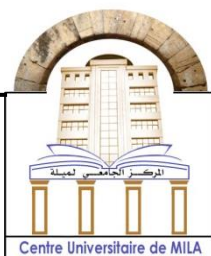


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :.....

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques et Agricoles

**Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de
Master**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème :

**Suivi des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de
la potabilisation des eaux de quelques sources dans la wilaya de Mila**

Présenté par :

- AZIEZE Nabila
- BENSGHIRE Chirine

Devant le jury :

MOUSSAOUI Bilal

MAA

Président

BENAYECHE Feryal

MCB

Examinatrice

LALAOUI Meryem

MCB

Promotrice

Année Universitaire : 2024/2025



REMERCIEMENT

Louange à Dieu, qui s'est établi sur le Trône, qui a fait germer de la poussière toute chose, qui a honoré l'Homme par la raison et l'éloquence, et lui a enseigné ce qu'il ne savait pas.

Dans ce contexte, nous exprimons nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à Madame LALAOUI Meryem, pour sa supervision précieuse, ses conseils avisés et ses remarques scientifiques qui ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également nos remerciements les plus sincères aux membres du jury de soutenance :

- ✧ Monsieur MOUSSAOUI **Bilal**
- ✧ Madame **BANAYECHE Feryal**, Pour les efforts qu'ils ont fournis dans la lecture et l'évaluation de ce travail, ainsi que pour leurs remarques scientifiques constructives qui ont permis de l'enrichir et de l'améliorer.

Nous remercions aussi tous les membres du Laboratoire des Sciences Naturelles et des Matériaux (LSNM) de Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila.

Nos sincères remerciements vont également à l'ensemble de nos enseignants ainsi qu'aux responsables du laboratoire du Département de Biologie de l'Université de Mila pour leur soutien, leurs conseils et leur disponibilité tout au long de ce parcours.

Finalement, nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالى: "وَقُلْ اَعْمَلُوا فَسَيَرَى الله عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ" [التوبة: 105]

Je rends grâce à Dieu qui m'a permis d'accomplir ce travail, et qui accorde à chaque effort sa juste récompense. Cette dédicace est un modeste témoignage de ma gratitude envers ceux qui ont joué un rôle important dans mon parcours académique et personnel, et qui m'ont soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire.

- ✧ À ma mère adorée **Bahia**, source de tendresse, de générosité et de soutien dans ma vie,
- ✧ À mon père bien-aimé **Fethi**, qui m'a appris la patience et la responsabilité, à mon grand-père **Mesbah** et à ma grand-mère **Malika**, à mes frères **Achraf** et **Saleh**, et à mes sœurs **Wissal** et **Oumaima**, à toute ma famille **Bensghir** et ma famille **Boulassane**, à chacun par son nom et son statut, et à mes **tantes** et **oncles**, je leur envoie toute ma reconnaissance et mon respect.
- ✧ À mon fiancé **Zaki**, je te remercie pour ta compréhension, ta patience et ton soutien constant, qui ont eu un impact profond sur ma motivation à poursuivre ce travail.
- ✧ À mes amies fidèles : **Khadija**, **Meriam**, **Rokia**, **Hadil**, **Manar**, **Rayhana**, **Nour**, **Sara**, **Batoul**, **Souha**, **Faiza** et **Houyem**, merci pour votre soutien, vos encouragements, et les moments précieux qui ont allégé mon parcours.
- ✧ Je ne saurais oublier de remercier ma collègue de recherche **Nabila**, avec qui j'ai partagé un voyage scientifique enrichissant, fondé sur la collaboration, la persévérance et la détermination.

Je dédie ce travail à ceux qui m'ont donné la force dans mes moments de faiblesse et l'espoir dans mes périodes de fatigue, vous êtes les véritables partenaires de cette réussite.



Chirine

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم

Louange à Dieu qui m'a guidé et soutenu, sans Lui je n'aurais pas surmonté les obstacles ni atteint ce stade. Après des années d'efforts et de défis, me voilà aujourd'hui récoltant les fruits de mon travail avec fierté et gratitude.

- ✧ Tout d'abord, je dédie ce travail à **moi-même**, En reconnaissance des efforts, de la réflexion et de la patience investis, avec la conviction que la science est un chemin sans fin.
- ✧ À la personne la plus chère dans ma vie, ma chère maman **Aicha**, les mots ne suffisent pas pour exprimer tout mon amour et ma gratitude pour toi. Tu es le battement de mon cœur et mon soutien dans ce monde. Que Dieu te protège et te garde toujours.
- ✧ À mon cher père **Houcine**, symbole de force et d'amour, merci pour chaque instant où tu m'as soutenue et pour chaque conseil que tu m'as donné. Tu es le héros de ma vie et mon soutien éternel. Que Dieu te protège et te garde.
- ✧ À mes chères sœurs « **Sarra, Hadjer et Doaa** » et mon frère « **Youcef** », vous êtes une partie de mon cœur et de mon âme.
- ✧ À nos petits anges de la famille, « **Jawad et Anes** ».
- ✧ À mes chers amies « **Souha, Ayda, Sarra, Batoul, Faiza et Houyem** », merci à vous pour chaque beau moment passé ensemble.
- ✧ À ma collègue de recherche « **Chirine** », je te remercie pour l'esprit de collaboration que tu as manifesté, ainsi que pour chaque moment que nous partagé ensemble afin d'atteindre ce résultat. Tu as toute mon estime et ma reconnaissance.
- ✧ À tous ceux qui me sont chers.



Nabila

Résumé

L'eau est un l'élément nécessaire à la vie, car c'est l'un des matériaux les plus utilisés dans les domaines de la nutrition et de l'hygiène, elle doit donc respecter les normes de qualité.

L'objectif de notre travail est d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau, ainsi que son état de pollution organique, en se basant sur l'indice de qualité de l'eau (IQE) et l'indice de pollution organique (IPO). L'étude a été menée sur trois sources d'eau localisées dans la wilaya de Mila (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf), durant une période de trois mois : Février, Mars et Avril. Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons en mesurant les paramètres physicochimiques (température, pH, conductivité électrique (CE), turbidité, la dureté totale, le calcium, phosphate, silicium, Chlorure, nitrite, et nitrate...) et des analyses bactériologiques (*Germes totaux*, *Coliformes totaux*, *Coliformes fécaux*, *Clostridium sulfito-réducteurs*...).

Les résultats ont montré que l'eau destinée à la consommation humaine est de bonne qualité, la plupart des paramètres analysés, aussi bien sur le plan physico-chimique que bactériologique étant conformes aux normes approuvées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et aux normes algériennes.

L'indice de qualité de l'eau a également indiqué que l'eau étudiée était potable. Il convient de noter que la source de Ouled Khelouf est excellente, tandis que de Chigara et Mechira fournissent une eau de bonne qualité.

Mots clés: eaux de source, qualité de l'eau, wilaya de Mila, analyse physico-chimique et bactériologique, normes d'OMS, normes Algériennes.

ملخص

الماء عنصر ضروري للحياة، فهو من أكثر المواد استعمالاً في مجالي التغذية و النظافة، لذا يجب أن يمثل لمعايير الجودة. يهدف هذا العمل إلى تقييم الجودة الفيزيائية-الكيميائية والبكتريولوجية للمياه، إضافة إلى حالة التلوث العضوي، وذلك بالاعتماد على مؤشر جودة المياه (IQE) ومؤشر التلوث العضوي (IPO). وقد تم إجراء هذه الدراسة على ثلاث منابع مائية تقع في ولاية ميله، وهي: شبقارة، المشيرة، وأولاد خلوف، خلال فترة زمنية امتدت على مدى ثلاثة أشهر: فيفري، مارس وأفريل.

شملت التحاليل قياس مجموعة من المعايير الفيزيائية-الكيميائية، مثل: درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني (pH)، التوصيلية الكهربائية (CE)، العكارة، القساوة الكلية، تركيز الكالسيوم، الفوسفات، السيليسيوم، الكلوريد، النتريت والنترات..... الخ كما تم إجراء تحاليل بكتريولوجية شملت: *Coliformes totaux*، *Coliformes*، *Germes totaux*، *Clostridium sulfito-réducteurs* و *fécaux*.

أظهرت النتائج أن المياه المخصصة للاستهلاك البشري ذات نوعية جيدة، إذ إن معظم المعايير المدروسة، سواء الفيزيائية-الكيميائية أو البكتريولوجية، كانت ضمن القيم المسموح بها وفقاً للمعايير المعتمدة من قبل منظمة الصحة العالمية (OMS) والمعايير الجزائرية.

كما أشار مؤشر جودة المياه إلى أن المياه المدروسة صالحة للشرب. وتجدر الإشارة إلى أن منبع أولاد خلوف يتميز بجودة ممتازة، في حين أن منبعي الشبقارة والمشيرة يوفران مياهاً ذات جودة جيّدة.

الكلمات المفتاحية: مياه منبع، جودة المياه، ولاية ميله، التحليل الفيزيوكيميائي و البكتريولوجي، معايير منظمة الصحة العالمية، المعايير الجزائرية.

Abstract

Water is the element necessary for life, because it is one of the most used materials in the fields of nutrition and hygiene, so it must meet quality standards.

The objective of our work is to assess the physicochemical and bacteriological quality, as well as the quality and state of organic pollution, based on the Water Quality Index (WQI) and the Organic Pollution Index (OPI) of three water sources located in the province of Mila (Chigara, Mechira, and Ouled Khelouf). The study period spans three months, namely February, March, and April. Analyses were performed on these samples by measuring physicochemical parameters (temperature, pH, electrical conductivity (EC), turbidity, total hardness, calcium, phosphate, silicon, chloride, nitrite, and nitrate, etc.) and bacteriological analyses (total germs, total coliforms, fecal coliforms, sulfite-reducing *Clostridium*, etc.).

The results showed that the water intended for human consumption is of good quality, with most of the analyzed parameters, both physicochemical and bacteriological, complying with the standards approved by the World Health Organization and Algerian standards.

The water quality index also indicated that the water studied was potable. It should be noted that the Ouled Khelouf spring is excellent, while the Chigara and Mechira springs provide good quality water.

Key words: water source, drinking water, wilaya of Mila, physichemical and bacteriological analysis, the world Health Organization standards, Algerian standards.

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I. Généralités sur l'eau.....3

1. Définition de l'eau.....3

2. Importance de l'eau.....3

3. Différents types d'eaux naturelles.....4

3.1. Les eaux souterraines.....4

3.2. Les eaux de surface.....4

3.3. Eaux de mers et eaux saumâtres.....5

4. Propriétés de l'eau.....5

4.1. Propriétés physique.....5

4.2. Propriétés chimiques.....6

4.3. Propriétés biologiques6

II .Pollution.6

1. Définition de la Pollution de l'eau.....6

2. Sources de la pollution.....6

3. Maladies transmissible par l'eau potable.....8

3.1. Maladies d'origine bactérienne8

3.1.1. Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes8

Sommaire

3.1.2. Gastroentérites aiguës et diarrhées.....	8
3.2. Maladies d'origine parasitaire.....	9
3.2.1. protozoaires.....	9
3.2.2. Virus.....	10

Chapitre II : Paramètres de la qualité d'eau potables

1. Définition d'eau potable.....	11
2. L'origine des eaux potables.....	11
2.1. L'eau minérale.....	11
2.2. Les eaux de source.....	11
2.3. L'eau du robinet	11
3. Normes de la qualité de l'eau	12
4. Caractéristiques de la qualité des eaux.....	13
4.1.1. L'odeur.....	13
4.1.2. La couleur.....	14
4.1.3. Saveur.....	14
4.2. Propriétés physico-chimiques.....	14
4.2.1. Propriétés physique	14
4.2.1.1. Température.....	14
4.2.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	14
4.2.1.3. Conductivité électrique (CE)	15
4.2.1.4. Turbidité.....	15
4.2.1.5. Salinité.....	15
4.2.1.6. Alcalinité (TA- TAC)	15
4.2.1.7. La dureté du l'eau.....	16
4.2.1.8. Oxygène dissous (O ₂)	16
4.2.1.9. Total des solides dissous (TDS)	16
4.2.2. Propriétés chimique	17
4.2.2.1. Ammonium (NH ₄ ⁺)	17

Sommaire

4.2.2.2. Sodium (Na^+).....	17
4.2.2.3. Sulfate (SO_4^{-2})	17
4.2.2.4. Chlorure (Cl^-)	17
4.2.2.5. Les bicarbonates (HCO_3^-).....	18
4.2.2.6. Le Calcium (Ca^{2+}).....	18
4.2.2.7. Manganèse (Mn^{2+}).....	18
4.2.2.8. Potassium (K^+).....	18
4.2.2.9. Nitrates (NO_3^-)	19
4.2.2.10. Nitrites (NO_2^-)	19
4.2.2.11. Phosphate (PO_4^-).....	19
4.2.2.12. Fer (Fe^{2+}).....	20
4.2.2.13. Magnésium(Mg^{2+}).....	20
4.3. Propriétés microbiologiques.....	20
4.3.1. Les germes totaux.....	20
4.3.2. Coliformes totaux.....	21
4.3.3. Coliformes fécaux	21
4.3.4. Streptocoques fécaux.....	21
4.3.5. Clostridium sulfite-réducteurs.....	22

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériels et méthode

1. Présentation de la région d'étude (Wilaya de Mila)	23
1.1. Situation géographique et administrative	23
1.2. Situation édaphique	24
1.3. Situation climatique.....	26
2. Présentation des zones d'études.....	32
2.1. Situation Chigara	32
2.2. Situation de Mechira.....	32
2.3. Situation de Ouled Khelouf.....	32

Sommaire

3. Echantillonnage.....	33
4. Technique de prélèvement	36
5. Enregistrement et étiquetage des échantillons.....	36
6. Transports des échantillons.....	36
7. Analyse physico-chimique	37
7.1. Analyses physiques.....	37
7.2. Analyses chimiques.....	38
7.2.1. Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique complet (TA/TAC)	39
7.2.2. Carbonate (CO_3) et Bicarbonate (HCO_3)	40
7.2.3. Chlorure (Cl^-).....	40
7.2.4. Sodium (Na^+).....	41
7.2.5. Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}) TH.....	41
7.2.6. Silicium ($\text{Si}(\text{OH})_4$).....	43
7.2.7. Nitrite (NO_2^-)	44
7.2.8. Nitrate (NO_3^-)	45
7.2.9. Sulfate (SO_4^{2-})	46
7.2.10. Phosphate (PO_4^{3-})	47
7.2.11. Ammonium (NH_4^+).....	48
8. Analyses bactériologiques de l'eau.....	49
8.1. Recherche et dénombrement des Germes totaux.....	49
8.2. Recherche et dénombrement des Clostridium-sulfito-réducteurs.....	50
8.3. Recherche des streptocoques.....	51

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Résultats des paramètres physico-chimiques.....	53
1.1. Résultats physique	55
1.1.1. Température (T°).....	55
1.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)	56
1.1.3. Conductivité électrique CE.....	57

Sommaire

1.1.4. Turbidité.....	57
1.1.5. Total des solides dissous (TDS)	59
1.1.6. Salinité.....	59
1.2. Résultats chimique	60
1.2.1. Sulfate (SO_4^{2-}).....	60
1.2. 2. Silicium (Si (OH)_4^+)	61
1.2. 3. Magnésium(Mg^+).....	62
1.2.4. Calcium (Ca^+).....	63
1.2.5. Nitrite (NO_2^-).....	64
1.2.6. Nitrate (NO_3^-).....	65
1.2.7. Phosphate (PO_4^-).....	66
1.2.8.Ammonium(NH_4^+).....	67
1.2.9. Chlorure (Cl^-).....	68
1.2.10. Sodium (Na^+).....	69
1.2.11. Carbonate (CO_3^-).....	70
1.2.12. Bicarbonate (HCO_3^-).....	71
2. Résultats des paramètres bactériologiques.....	72
3. L'indice de qualité d'eau.....	73
4. Indice de pollution organique.....	77
Conclusion générale	80
Références bibliographiques	81
Annexes	

LISTE DES ABREVIATIONS

C

C° : Degré Celsius.

Ca²⁺ : Calcium.

CE : Conductivité électrique.

Ci : La concentration de chaque paramètre en mg/l.

Cl⁻ : Chlorures.

CO₃⁻ : Carbonate.

Cm : Centimètre.

CT : Coliforme totaux.

D

D : Densité

F

Fe²⁺ : Fer.

G

g : Gramme.

GN : Gélose nutritif.

H

H : Heur.

HCO₃⁻ : Bicarbonate.

HCl : Acide chlorhydrique.

I

IQE : L'indice de la qualité de l'eau.

IPO : L'indice de pollution organique.

J

JORAPD : Journal Officiel Alger.

Liste des abréviations

K

K⁺: Potassium.

Km : Kilo Mètre.

L

LSNM : Laboratoire des sciences Naturelles et Matériaux centre universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.

M

M : Mètre.

M.R : Milieu de Roth.

m³ : Mètre cube.

m² : Mètre carré.

Mg /L : Milligramme par litre.

Min : minute.

Mg²⁺ : Magnésium.

Mm : Millimètre.

Mn²⁺ : Manganèse.

N

Na⁺ : sodium.

NED: Naphtyl EthylèneDiamine.

NH₄⁺:Ammonium.

NO₂⁻:Nitrite.

NO₃⁻:Nitrate.

nm : Nanomètre.

O

OMS : l'organisation mondiale de la santé.

O₂ : Oxygène dissous.

ONM : Office Nationale de Météorologie.

Liste des abréviations

P

PH : Potentiel hydrogéné.

PO₄⁻ : phosphate.

Q

Qi : échelle de notation de la qualité.

S

Sal : Salinité.

Si : la norme de l'OMS de chaque paramètre en mg/l.

SiOH₄ : Silicium.

T

T : Température.

TA : Alcalinité composite.

TAC : Alcalinité Totale.

TDS : Taux des sels dissous.

TH : Dureté Totale.

Turb : Turbidité.

V

VF : viande de foie.

VHA : Le virus de l'hépatite A.

W

Wi : le poids relatif.

μS : Microsiemens.

% : Pourcentage.

(-) : Négative.

(+) : Positive

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : structure de l'eau.	3
Figure 02 : La bactérie responsable de maladie choléra.	9
Figure 03 : Situation géographique de la wilaya de Mila Situation Administratif.	23
Figure 04 : Etages bioclimatiques de la wilaya de Mila .	26
Figure 05 : variation de température durant la période (2010-2019) dans la région D'étude.	27
Figure 06 : variation de la force moyenne de Précipitation durant la période (2010-2019).	28
Figure 07 : Variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2019)	29
Figure 08 : variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2019).	30
Figure 09 : diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique durant la période (2010-2019).	31
Figure 10 : Les trois communautés (Ouled Khelouf, Chigara et El Mechira).	33
Figure 11 : La source d'Aïn El Ward (commune de Chigara).	34
Figure 12 : La source d'Aïn Mechira (commune de Mechira).	34
Figure 13 : La source d'Aïn El Karma (commune de Ouled Khelouf).	35
Figure 14 : Turbidimètre.	38
Figure 15 :Dosage de chlorure.	41
Figure 16 :Dosage du calcium.	42
Figure 17 : Dosage de la dureté.	43
Figure 18 : Dosage du silicium.	44
Figure 19 : Dosage des nitrites.	45
Figure 20 : Dosage du nitrate.	46
Figure 21 : Dosage du sulfate.	47
Figure 22 : Dosage du phosphate.	48
Figure 23 : Dosage de l'ammonium.	49
Figure 24 : les boîtes de pétri contiennent la gélose nutritive avec l'eau analysée.	50

Liste des figures

Figure 25 : Les tubes stérile contient la viande de foie avec l'eau analysé.	51
Figure 26 : Les boites de pétri contient milieu Roth avec l'eau analysé.	52
Figure 27 : La variation de température dans des eaux étudiées.	55
Figure 28 : La variation de pH dans des eaux étudiées.	56
Figure 29 : La variation de CE dans des eaux étudiées.	57
Figure 30 : La variation de Turbidité dans des eaux étudiées	58
Figure 31 : La variation de TDS dans des eaux étudiées.	59
Figure 32 : La variation de salinité dans des eaux étudiées.	60
Figure 33 : La variation de sulfate dans des eaux étudiées.	61
Figure 34 : La variation de silicium dans des eaux étudiées.	62
Figure 35 : La variation de magnésium dans des eaux étudiées.	63
Figure 36 : La variation de calcium dans des eaux étudiées.	64
Figure 37 : La variation de nitrite dans des eaux étudiées.	65
Figure 38 : La variation de nitrate dans des eaux étudiées	66
Figure 39 : La variation de phosphate dans des eaux étudiées.	67
Figure 40 : La variation de Ammonium dans des eaux étudiées.	68
Figure 41 : La variation de chlorure dans des eaux étudiées.	69
Figure 42 : La variation de sodium dans des eaux étudiées.	70
Figure 43 : La variation de carbonate dans des eaux étudiées.	71
Figure 44 : La variation de bicarbonate dans des eaux étudiées.	72
Figure 45 : Indice de qualité d'eau de trois sources pour trois mois.	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Origine et nature des différentes sources de pollution de l'eau.	7
Tableau02 : Les normes d'eau portables selon les normes algérienne et les normes D'OMS.	12
Tableau 03 : Le découpage administratif de la région de Mila.	24
Tableau 04 : Paramètre de température durant la période (2010-2019) de la région d'étude	27
Tableau 05 : Variation de force moyenne de précipitation durant la période (2010-2019) de la région d'étude	28
Tableau 06 : variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2019) de la région d'étude	29
Tableau 07 : taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2019) dans la région D'étude	30
Tableau 08 : Les paramètres de PPT et T° (2010-2019) de la région d'étude	31
Tableau 09 : Lieux et dates de trois sources de prélèvement.	35
Tableau 10 : Appareilles des analyses physiques.	37
Tableau 11 : Différentes méthodes utilisées.	39
Tableau 12 : Détermination de Carbonate et Bicarbonate.	40
Tableau 13 : Les résultats des différentes paramètres physico-chimiques.	53
Tableau 14 : Les résultats bactériologiques des eaux étudiées.	72
Tableau 15 : Poids des paramètres physico-chimiques.	74
Tableau 16 : Classification de l'eau selon l'IQE.	75
Tableau 17 : Résultat d'IQE.	75
Tableau 18 : Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique.	77
Tableau 19 : Les valeurs calculé d'IPO de mois de Février.	78
Tableau 20 : Les valeurs calculé d'IPO de mois de Mars.	78
Tableau 21 : Les valeurs calculé d'IPO de mois d'Avril	78

Introduction

Introduction

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus vitales sur Terre, indispensable à la survie de tous les êtres vivants, des micro-organismes aux humains. Elle couvre environ 70 % de la surface terrestre et se distingue par ses propriétés chimiques et physiques uniques, qui en font un solvant universel essentiel pour de nombreuses fonctions biologiques et industrielles (**Obi et Okocha, 2007 ; Onifade et Ilori, 2008 ; Venkatesan et al., 2013**).

Les ressources en eau sont étroitement liées au climat, tant dans leur distribution géographique que dans leur variation saisonnière ou annuelle. La majorité des eaux de surface s'écoulent vers la mer ou dans des dépressions fermées à cause du ruissellement et des torrents. Ce phénomène est accentué par l'intensité des précipitations, la pente du relief et la nature imperméable des sols, entraînant une grande perte d'eau. Une évaporation importante, notamment visible sur les plans d'eau stagnants, qu'ils soient naturels ou artificiels, comme les lacs ou les retenues de barrages (**Touati, 2010**).

Les besoins en eau varient selon la localisation et le niveau de développement des populations. Elle est essentielle à toutes les activités humaines telles que l'alimentation, l'hygiène personnelle, le lavage du linge et de la vaisselle, ainsi que l'entretien de l'habitat. La qualité de l'eau utilisée pour ces différents usages a un impact direct sur la santé, et une eau contaminée peut entraîner diverses maladies, notamment des infections de la peau, des yeux, des voies urinaires ou du système digestif (**Gueroui, 2015**).

L'Algérie est majoritairement désertique (87 % de sa superficie), avec des précipitations très faibles, mais elle possède d'importantes réserves d'eaux souterraines fossiles. Le Nord du pays, bénéficiant d'un climat méditerranéen, dispose de ressources renouvelables, à la fois en eaux de surface et en nappes phréatiques. La région du Tell, qui ne représente que 4 % du territoire, concentre 90 % de ces eaux de surface. (**Mozas et Ghosn, 2013**).

Actuellement, l'amélioration de la qualité de l'eau constitue une priorité majeure pour préserver la santé publique et l'environnement. Cela implique des analyses régulières basées sur plusieurs critères physico- chimiques et microbiologiques (**Lalanne, 2012**).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui vise à évaluer la qualité de l'eau potable issue de trois sources naturelles — Mechira, Chigara et Ouled Khelouf — situées dans la wilaya de Mila, à travers l'analyse de leurs caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques.

Pour atteindre cet objectif, notre travail sera subdivisé en quatre chapitres essentiels :

Introduction

- Le premier chapitre comprend deux parties : une première partie abordant les notions générales liées à l'eau, et une deuxième consacrée à la pollution des eaux.
- Le deuxième chapitre est dédié à l'étude des paramètres utilisés pour évaluer la qualité de l'eau, en mettant l'accent sur les indicateurs physico-chimiques et bactériologiques.
- Le troisième chapitre constitue la partie expérimentale, où est décrits la zone d'étude ainsi que les différentes méthodes employées pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques.
- Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus, accompagnés de leur interprétation et discussion.

Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale résumant les principaux apports de l'étude.

Synthèse Bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur l'eau

I- Généralités sur l'eau

1. Définition d'eau

L'eau est le minéral le plus abondant à la surface de la Terre, formant ce qu'on appelle l'hydrosphère. Elle est présente dans l'écosphère sous ses trois formes : solide, liquide et gazeuse, selon la température et la pression ambiantes. L'eau se distingue des autres liquides par ses propriétés physico-chimiques remarquables : elle est un excellent solvant capable de dissoudre de nombreuses substances minérales et organiques, d'ioniser les électrolytes, et de disperser les colloïdes chargés électriquement. Les eaux naturelles contiennent également des gaz et des sels dissous, ainsi que des particules en suspension comme la poussière, et parfois des microbes pouvant être pathogènes (Michard, 2002).

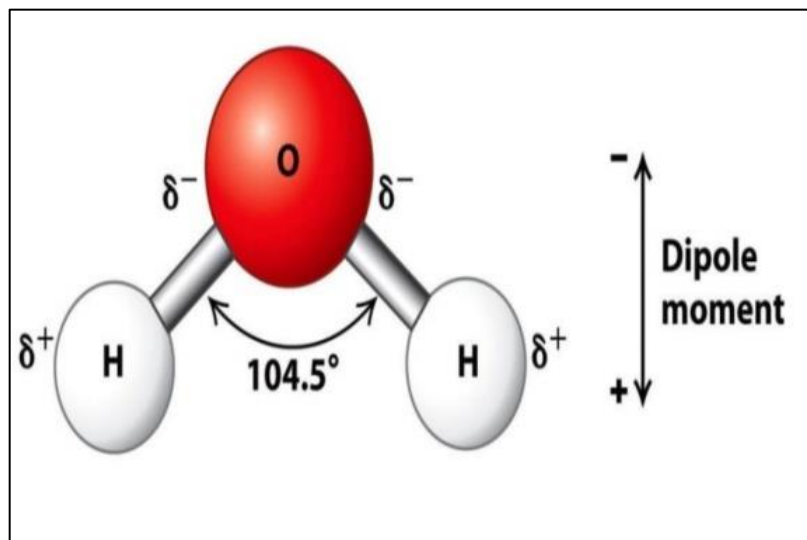


Figure 01 : Structure de l'eau.

2. Importance de l'eau

L'eau est indispensable à la vie : c'est une ressource fondamentale pour les êtres humains et pour tous les organismes vivants. Elle est nécessaire à tous, non seulement pour s'hydrater, mais aussi pour de nombreuses autres fonctions. Elle constitue l'élément le plus présent dans les organismes vivants, pouvant représenter jusqu'à 90 % de leur masse, chez certains animaux et plantes. Le corps humain est également composé en grande partie d'eau, avec une moyenne de 65 % chez un adulte, soit environ 45 litres pour une personne de 70 kg.

En plus de former une partie essentielle des cellules, l'eau joue plusieurs rôles importants :

- Elle intervient dans de nombreuses réactions chimiques de l'organisme,
- Elle transporte des substances dissoutes essentielles vers les cellules,

- Elle permet l'évacuation des déchets produits par le métabolisme,
- Elle aide à réguler la température interne du corps (**Monode, 1989**).

2. Différents types de l'eau naturelle

3. 3.1. Les eaux souterraines

L'eau souterraine désigne l'eau située en dessous de la surface terrestre, qui occupe les fissures des roches ou s'infiltre dans les espaces entre les grains de matériaux comme le sable et le gravier (**Myrand, 2008**).

De plus, elles sont peu exposées à la contamination bactérienne, car elles sont protégées des principales sources de pollution. En conséquence, ces eaux sont souvent dures, car elles traversent des roches riches en métaux bivalents tels que le calcium et le magnésium. Par ailleurs, on y observe fréquemment des concentrations élevées de fer et de magnésium. (**Degremont, 2005**).

3.2. Les eaux de surface

Les eaux de surface désignent les eaux qui s'écoulent ou sont retenues à la surface des terres. Elles peuvent provenir de nappes souterraines qui jaillissent sous forme de sources, ou encore du ruissellement des eaux (comme celles des fleuves, rivières, barrages, mares ou marigots). Ces eaux présentent une interface constante avec l'atmosphère, sont en mouvement permanent et ont une vitesse d'écoulement notable. (**Degremont, 2005**). Avant de pouvoir être utilisées pour la consommation humaine ou les besoins domestiques, elles doivent obligatoirement subir un traitement en plusieurs étapes. Leur usage direct sans traitement est inapproprié. Par ailleurs, pour utiliser les eaux de surface comme source d'approvisionnement pour des populations, il est essentiel de prévenir les phénomènes d'érosion des sols, les situations insalubres ainsi que les pollutions, qu'elles soient accidentelles ou continues. (**Molinie, 2009**).

En Algérie, l'usage des eaux de surface a connu une nette augmentation ces dernières années, notamment pour répondre aux besoins agricoles, à l'approvisionnement en eau potable et aux exigences industrielles. Toutefois, ces ressources sont exposées à divers types de pollution, qu'elles soient d'origine naturelle ou issues des rejets industriels, ce qui compromet leur qualité. Par conséquent, ces eaux nécessitent des traitements physiques, chimiques et biologiques afin de les rendre propres à la consommation. (**Oliveira et al., 2019**).

3.3. Eaux de mers et eaux saumâtre

La salinité observée dans les océans et les mers du globe résulte d'un équilibre entre différents facteurs : l'évaporation, les précipitations, les apports d'eau douce par les fleuves (qui diminuent la salinité), ainsi que les échanges d'eau avec d'autres mers ou océans avoisinants. On parle d'eau saumâtre lorsque la concentration en sel y est nettement plus faible que dans l'eau de mer. En général, cette teneur en sel varie entre 1 et 10 grammes par litre, contre une moyenne de 35 grammes par litre dans l'eau de mer. Dans les estuaires, la rencontre entre les eaux douces des rivières et celles salées de la mer crée des zones où l'eau est saumâtre (Degremont, 2005).

4. Propriétés de l'eau

4.1. Propriétés physique

La polarité de la molécule d'eau permet aux molécules d'eau de s'associer entre elles, ce qui entraîne plusieurs anomalies physiques, dont certaines sont brièvement mentionnées :

- **La température d'ébullition** : est exceptionnellement haute par rapport à celle d'autres substances ayant une masse moléculaire similaire et contenant plusieurs atomes d'hydrogène. À pression atmosphérique normale, elle atteint 100°C (Boglin Jean-claude, 2000).
- **La viscosité** : elle est fréquemment désignée comme un frottement interne. Quand la température s'élève, la viscosité baisse, ce qui facilite le traitement du fluide. De plus, des opérations comme la sédimentation et le dégazage se déroulent plus rapidement. En revanche, la présence de sels dissous tend à accroître la viscosité, car elle renforce les interactions entre les molécules (Ouali, 2008).
- **La masse volumique** : dépend de la température, de la pression et de la quantité de sels dissous dans l'eau. En général, celle de l'eau pure est de 1 g/cm³ (Boglin Jean-claude, 2000).
- **La tension superficielle** : elle correspond à une force de tension présente à la surface d'un liquide, qui tend en permanence à minimiser la superficie de cette surface. Cette force peut devenir particulièrement intense, atteignant jusqu'à 73 erg/cm à une température de 18 °C (Bliefert et Perraud, 2008).
Elle tend à diminuer lorsque la température augmente, mais elle s'accroît lorsqu'on ajoute des sels dissous dans l'eau (Degremont, 2005).

4.2. Propriétés chimique

L'eau a une énergie de formation élevée (242 kJ/mol), ce qui lui confère une grande stabilité. Cette stabilité, combinée à ses propriétés électriques et à sa structure moléculaire, en fait un excellent solvant pour de nombreuses substances. Elle est capable de dissoudre une grande variété de corps, qu'ils soient gazeux, liquides, polaires, ou surtout solides. Ainsi, la majorité des composés minéraux, ainsi que de nombreux gaz et substances organiques, peuvent se dissoudre dans l'eau (**Bliefert et Perraud, 2008**). L'effet dissolvant ou hydratant de l'eau provient du fait que ses molécules entourent les ions de la substance dissoute, établissant avec eux des liaisons hydrogène. Cela empêche les ions de se recombinaison entre eux, car une sorte de membrane se forme autour de chaque ion, l'isolant de tous les côtés et empêchant ainsi la formation de nouvelles structures (**Zella et Smadhi, 2006**).

4.3. Propriétés biologique

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone jouent un rôle essentiel dans la création d'un environnement favorable à la vie. Ils participent à un cycle biologique fait d'échanges successifs. L'eau, en particulier, constitue un composant fondamental des êtres (**Kouidri et al., 2006**).

II - La Pollution de l'eau

1. Définition de la Pollution d'eau

La pollution de l'eau désigne toute altération de ses caractéristiques physiques ou chimiques, qui nuit aux êtres vivants ou empêche son utilisation normale. On considère qu'une eau est polluée lorsque son contenu est changé, volontairement ou non, par les activités humaines (**Hamed et al., 2012**).

2. Les sources de la pollution

Les activités humaines, qu'elles soient d'origine industrielle, urbaine ou agricole, génèrent une diversité de substances polluantes. Ces dernières contribuent à plusieurs types de pollution (voir tableau 01), pouvant se manifester de manière continue comme les rejets domestiques d'une agglomération importante, périodique ou encore sous forme d'épisodes accidentels ou aigus (**Rodier et al., 2009**).

Tableau 01 : Origine et nature des différentes sources de pollution de l'eau (**Henaut, 2011**).

Type de pollution	Nature	Origine
Physique	Rejet d'eau chaude	Centrales thermiques nucléaire

	M.E.S (matière en suspension)	Rejet baign, érosion des sols.
Chimique	Matière organique	Effluent domestiques, agricoles, agroalimentaires
	Fertilisants, l'eutrophisation (nitrate, phosphate)	Agricultures, lessives
	Métaux(Cd, Pb, Al, As)	Industries, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides)	Industries, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvant)	Industries
	Composés organique de synthèse	Industries
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industries pétrolière, transports
Biologique	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains, Agricoles

Selon le Tableau 01, les trois principales sources de pollution sont :

- **Domestique**

Est principalement composée de micro-organismes d'origine fécale, de grandes quantités de matières organiques, de sels minéraux comme l'azote et le phosphore, ainsi que de détergents. Elle est générée par les activités des foyers. Cette pollution est généralement acheminée par le système d'assainissement jusqu'à une station d'épuration, lorsqu'elle existe. À la sortie de ces stations, les mêmes polluants sont toujours présents, mais en concentrations réduites (entre 50 et 90 % en moins), bien qu'ils restent localisés au point de rejet (**Touré, 2006**).

- **L'industrie**

L'industrie consomme de grandes quantités d'eau, mais le principal souci est que cette eau est majoritairement rejetée dans l'environnement après avoir été contaminée par des déchets, des substances chimiques et des métaux lourds. En effet, plus de 85 % de l'eau utilisée par le secteur industriel est restituée à la nature sous forme d'eaux usées (**Gupta, 1992**).

- **L'agriculture**

Est la principale source de pollution diffuse des ressources en eau (**Zerrouki et al., 2006**). Cette pollution est liée à l'usage intensif de fertilisants pour accroître les rendements agricoles et de pesticides pour protéger les cultures. Elle se propage soit par le ruissellement des eaux à la surface, soit par leur infiltration dans le sol, affectant ainsi à la fois les eaux de surface et les nappes souterraines (**Marcel, 1989**).

- **Naturelle**

Un phénomène comme la pluie peut jouer un rôle lorsque, par exemple, l'eau qui s'écoule en surface traverse des sols contenant des métaux lourds, ou lorsque les précipitations déposent au sol des polluants présents dans l'atmosphère (**Boumont, 2004**).

- **Biologique**

L'eau constitue un milieu propice à la présence de microorganismes pathogènes tels que des virus, des bactéries et des parasites, ce qui représente une menace pour la santé humaine et limite ainsi les différentes utilisations potentielles de l'eau (**Lounnas, 2008**).

3. Maladies transmissibles par l'eau potable

3.1. Maladies d'origine bactérienne

3.1.1. Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes : Il s'agit d'infections septicémiques causées par des bactéries du genre *Salmonella*, notamment *Salmonella typhi* et les paratyphi A, B et C. Ces affections se manifestent principalement par une fièvre persistante, des maux de tête, des douleurs abdominales, ainsi que des troubles digestifs tels que la diarrhée (**Ronald, 2010**).

3.1.2. Gastroentérites aiguës et diarrhées :

- **Escherichia coli :** est une bactérie naturellement présente dans le tube digestif des humains et des animaux, qu'elle colonise dès les premières heures de la vie. Elle se reproduit en très grand nombre dans les matières fécales. En raison de sa présence massive et de sa résistance dans l'eau, elle est utilisée comme indicateur de pollution fécale dans les analyses de qualité de l'eau. Chez l'être humain, l'infection par cette

bactérie peut provoquer des symptômes allant de simples diarrhées à des diarrhées sanglantes accompagnées de douleurs abdominales (**Ronald, 2010**).

- **Yersinia enterocolitica** : trouve son réservoir chez de nombreux animaux, notamment les lapins, les mulots et les porcs. La consommation de produits comme le lait, les glaces ou encore les légumes crus a été à l'origine de milliers de cas d'infections (**Ronald, 2010**).
- **Salmonella** : regroupe plusieurs centaines de souches, dont la classification a été revue à plusieurs reprises. La transmission de ces bactéries par l'eau se fait par la voie oro-fécale (**Ronald, 2010**).
- **Les légionelles** : ont pour principal réservoir l'eau. Les épidémies sont généralement liées à des installations où l'eau, maintenue autour de 37°C, favorise leur prolifération. À ce jour, aucun cas de transmission d'une personne à une autre n'a été observé (**Ronald, 2010**).
- **Le choléra** : est une maladie dont la période d'incubation est brève, variant de quelques heures à cinq jours. Elle se manifeste par une diarrhée abondante ressemblant à de l'eau de riz, souvent accompagnée de vomissements, de douleurs dans la région de l'estomac et de crampes musculaires (**Ronald, 2010**).

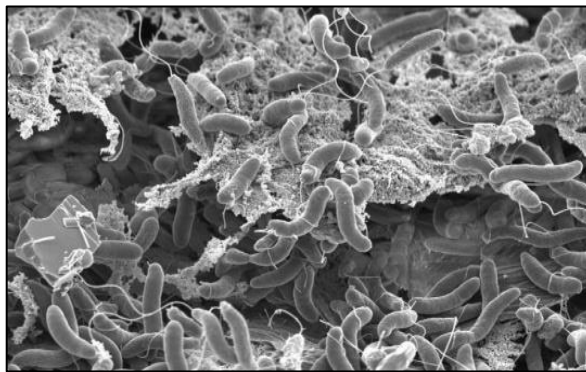


Figure 02 : La bactérie responsable de maladie choléra.

3.2. Maladies d'origine parasitaire

3.2.1. protozoaires

- **Cryptosporidium parvum** : est un parasite intestinal de type coccidie, qui ne peut survivre qu'en infectant les tissus. Il se localise principalement dans la muqueuse de l'intestin grêle. Chez les personnes immunodéprimées, il peut parfois atteindre d'autres organes. Les manifestations cliniques liées à l'infection par ce parasite varient selon

l'état immunitaire de l'individu, différenciant ainsi les patients ayant un système immunitaire normal de ceux dont les défenses sont affaiblies (**Ronald, 2010**).

- **Giardia Lamblia** : ce sont des flagellées habitant les régions intestinales et atriales. L'infection est oro-fécale par ingestion de Kystes. Les trophozoites infectent le haut intestin grêle mais N'envahissent pas les tissus et ne provoquent pas d'ulcération. Les symptômes incluent des Crampes abdominales, nausées et diarrhée aqueuses (**Ronald, 2010**).
- **Les amibes** : les amibes sont des parasites exclusivement humains, à l'origine de la dysenterie amibienne, une maladie peu fréquente dans les régions tempérées. Elles provoquent les symptômes typiques des entéocolites, notamment des crampes abdominales et une diarrhée contenant du mucus et du sang dans les cas les plus sévères (**Ronald, 2010**).

3.2.2. Virus

- **L'hépatite A** : aussi appelée hépatite infectieuse, est causée par un virus appartenant à la famille des Picornaviridae. Elle se transmet principalement par voie oro-fécale. Les mollusques bivalves contribuent de manière significative à sa propagation (**Ronald, 2010**).
- **L'hépatite E** : est aussi classée parmi les zoonoses, c'est-à-dire des maladies infectieuses pouvant être transmises à l'être humain par des animaux comme les chèvres, les vaches ou les moutons (**Ronald, 2010**)

Chapitre II :

Paramètres de la qualité d'eau potables

1. Définition d'eau potable

Est une eau propre à la consommation humaine. Elle ne doit contenir aucun microorganisme dangereux susceptible de transmettre des maladies, ni de substances toxiques. Sa teneur en éléments minéraux et organiques doit rester dans des limites acceptables. De plus, elle doit être claire, sans couleur, sans goût ni odeur désagréable (**Bras, 2005**).

2. L'origine des eaux potables

2.1. L'eau minérale

L'eau minérale naturelle provient exclusivement de sources souterraines, protégées de toute forme de pollution. Elle est naturellement pure sur le plan microbiologique, sans être affectée par une quelconque contamination humaine. Sa principale qualité réside dans cette pureté d'origine, exigée par la législation. Elle présente également une composition physico-chimique constante, ce qui peut lui conférer des bienfaits pour la santé. Ainsi, trois éléments définissent réglementairement une eau minérale naturelle : l'absence de traitement ou d'ajout de substances chimiques, une pureté originelle, et une composition minérale stable et bien définie (**Khammar, 2018**).

2.2. Les eaux de source

Les eaux de source, tout comme les eaux minérales naturelles, proviennent uniquement de nappes souterraines, sont saines sur le plan microbiologique et protégées de toute pollution d'origine humaine. Elles peuvent être consommées sans nécessiter de traitement ni ajout de substances. Cependant, à la différence des eaux minérales naturelles, leur composition minérale n'est pas nécessairement constante. Elles doivent satisfaire aux mêmes normes de potabilité que l'eau du robinet. De plus, leur appellation commerciale n'est pas toujours liée à une source unique : une même marque peut regrouper plusieurs sources, ce qui peut entraîner des différences de composition minérale. (**Khammar, 2018**).

2.3. L'eau du robinet

L'eau du robinet est une eau rendue potable et acheminée jusqu'aux consommateurs via un réseau de canalisations. Elle est prélevée dans des zones de captage, puis traitée dans des stations spécialisées avant d'être stockée dans un ou plusieurs réservoirs. Les sources de cette eau brute sont généralement des nappes souterraines (nappes phréatiques) ou des cours d'eau en surface comme les rivières, les lacs ou les fleuves. (**Khammar, 2018**).

3. Normes de la qualité de l'eau

Des normes ont été instaurées pour définir régulièrement ce qu'est une eau potable, en particulier en fixant des limites à ne pas dépasser pour diverses substances nuisibles qui pourraient être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, en d'autres termes potable, ne signifie pas nécessairement qu'elle est pure de toute substance polluante. Cela indique plutôt que leur concentration a été évaluée comme suffisamment basse pour ne pas compromettre la santé du consommateur (Alouane, 2012).

En général, l'eau potable doit respecter des standards établis par une législation nationale. Cela peut conduire, pour un pays ou une zone spécifiques, à des réglementations distinctes concernant la qualité de l'eau, comparativement aux standards internationaux (Bouziati, 2000). En Algérie, des normes locales définissent la qualité de l'eau potable en se référant au Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2011). Ce dernier établit les divers critères physico-chimiques et bactériologiques pour l'eau destinée à la consommation humaine, en fixant des seuils limites. Dans le cadre de notre recherche, nous faisons référence aux normes Algérienne ainsi qu'à celles de l'OMS, comme l'indiquent les tableaux ci-après :

Tableau 02 : Les normes d'eau portables selon les normes algérienne et les normes d'OMS (OMS, 2006) et (JORA, 2011 et 2014).

Group de Paramètres	Paramètre	Unité	Norme Algérienne	Normes d'OMS
Organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15	15
	Odeur	Taux dilution	4	4
	Saveur	Taux dilution	4	2
	Turbidité	NTU	5	<5
	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	500	500
	Calcium	mg/l	200	200
	Chlorure	mg/l	500	250
	Potentiel d'hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9	6,5-9,5
	CE	μS/cm	2800	1400
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500	00

Physico-chimiques	Fer	mg/l	0,3	/
	Magnésium	mg/l	150	150
	Phosphate	mg/l	0,5	/
	Salinité	mg/l	5	5
	Sodium	mg/l	200	200
	Sulfates	mg/l	400	500
	Température	°C	25	25
	TDS	mg/l	1110	1110
	Ammonium	mg/l	0,5	0,5
	Nitrite	mg/l	0,1	0,1
	Nitrate	mg/l	50	50
	Oxydabilité	mg/l	5	/
	Manganèse	µg/l	50	40
	Silicium	mg/l	/	10
Microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0	0
	Entérocoques	n/100ml	0	0
	Bactéries sulfito-réductrices y compris les spores	n/20ml	0	0

4. Caractéristiques de la qualité des eaux

Pour qu'une eau soit considérée comme potable, elle doit répondre à certains critères garantissant qu'elle est sans danger pour la consommation humaine. En plus d'avoir un goût agréable, elle doit respecter les normes fixées par les directives internationales de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (Guelil et al., 2010).

4.1. Propriétés organoleptiques

4.1.1. Odeur

L'odeur peut indiquer une forme de pollution ou la dégradation de matières organiques.

Ces éléments sont souvent présents en si faibles quantités qu'ils échappent aux méthodes d'analyse classiques. Seul l'odorat humain est parfois capable de les détecter (**Rodier, 2009**).

4.1.2. La couleur

On parle de coloration vraie ou réelle de l'eau lorsque celle-ci est causée uniquement par des substances dissoutes, capables de traverser un filtre ayant une porosité de 0,45 µm. En revanche, la coloration est dite apparente lorsque des particules en suspension contribuent aussi à la couleur. Dans une eau limpide ou peu trouble, les colorations réelle et apparente sont généralement très proches (**Rodier, 2009**).

4.1.3. Saveur

Les eaux prévues pour la consommation humaine doivent avoir un goût plaisant. Les substances les plus susceptibles de donner un mauvais goût à l'eau sont le fer, le manganèse, le chlore libre et le phénol (**Rodier, 2009**).

4.2. Propriétés physico-chimiques

4.2.1. Propriétés physique

4.2.1.1. Température

La température de l'eau a une influence significative sur la solubilité des sels et des gaz. En général, une élévation de 10°C entraîne une augmentation de la vitesse des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur compris entre 2 et 3. Ainsi, lorsque la température de l'eau s'élève, le métabolisme des organismes aquatiques s'intensifie. Ce paramètre dépend principalement de la température de l'air environnant, mais peut également être modifié par le rejet d'eaux usées chaudes (**Dali et Bentaleb, 2005**).

4.2.1.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH permet d'évaluer l'acidité ou l'alcalinité de l'eau, en mesurant la concentration en ions hydrogène (H^+). Cette mesure varie généralement entre 0 (fortement acide) et 14 (fortement basique), avec une valeur neutre de 7 à une température de 25 °C. Le pH des eaux naturelles peut se situer entre 4 et 10, selon la composition des sols qu'elles traversent. Un pH bas (acide) peut favoriser la présence de métaux sous une forme ionique plus nocive, tandis qu'un pH élevé (basique) peut entraîner une hausse de la concentration en ammoniac, substance toxique pour les poissons (**De Villers et al., 2005**).

4.2.1.3. Conductivité électrique (EC)

L'eau pure conduit mal le courant électrique car elle possède très peu d'ions, c'est-à-dire de particules chargées capables de se déplacer sous l'effet d'un champ électrique. La conductivité s'exprime en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Pour mesurer cette conductivité, il faut immerger la sonde dans le liquide à analyser, la bouger doucement pour bien la rincer, puis attendre que l'affichage se stabilise. Après chaque utilisation, il est important de rincer la sonde avec de l'eau déminéralisée (**Agrigon, 2000**).

La conductivité reflète la quantité totale de minéraux dissous dans l'eau. Elle dépend de la température et peut varier selon celle-ci (**Rodier, 1996**).

4.2.1.4. Turbidité

La turbidité de l'eau correspond à la présence de particules solides en suspension qui altèrent sa clarté. Elle peut également résulter de la prolifération d'algues, de plancton, de matières organiques, ainsi que de divers éléments tels que le zinc, le fer, le manganèse ou encore le sable, issus de l'érosion naturelle ou de rejets d'origine domestique et industrielle. Ce paramètre joue un rôle crucial dans le traitement de l'eau, car une turbidité élevée peut faciliter la formation de flocs plus denses, favorisant une décantation plus rapide par rapport à une eau peu turbide. Cependant, elle peut aussi représenter un obstacle à la désinfection, car les particules en suspension peuvent protéger les micro-organismes des agents désinfectants. Ainsi, la turbidité constitue à la fois un indicateur de la qualité sanitaire de l'eau et un critère organoleptique essentiel pour l'eau destinée à la consommation humaine (**Brasilia, 2013**).

4.2.1.5. Salinité

La salinité correspond à la quantité de sels dissous dans une solution, mesurée en grammes par litre. Elle peut provenir de différentes sources telles que la roche mère, l'eau utilisée pour l'irrigation ou encore les apports en engrais (**Ouzal, 2005**).

4.2.1.6. Alcalinité (TA- TAC)

L'alcalinité de l'eau, par opposition à son acidité, est déterminée par la présence de bases et de sels issus d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, cette alcalinité provient principalement des ions hydrogénocarbonate, carbonate et hydroxyde. Toutefois, d'autres sels dérivés d'acides faibles comme les acides humiques, les phosphates, les citrates ou encore les tartrates peuvent interférer avec la mesure. Il est aussi important de noter que la silice dissoute peut fausser les résultats, surtout lorsque le pH dépasse 8,5.

Concernant l'analyse de l'acidité de l'eau, deux types de titrages sont distingués : le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC). Ces mesures sont exprimées en degrés français, où 1°f équivaut à 10 mg de carbonate de calcium par litre, soit 0,2 milléquivalent par litre. Étant donné que le TA et le TAC sont déterminés successivement à partir du même échantillon, les méthodes de dosage sont généralement présentées ensemble. Il est donc essentiel de bien définir les conditions de réalisation ainsi que l'interprétation de ces mesures (**Hamiti et Lehrch, 2021**).

4.2.1.7. La dureté du l'eau

La dureté de l'eau, aussi appelée titre hydrotimétrique (TH), représente la concentration totale des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), en excluant les éléments alcalins (**Rodier, 2009**), on distingue plusieurs formes de dureté dans l'eau :

- La dureté calcique, qui mesure la quantité totale de sels de calcium.
- La dureté magnésienne, qui indique la teneur en sels de magnésium.
- La dureté carbonatée, qui correspond à la présence d'hydrogénocarbonates et de carbonates de calcium et de magnésium.

4.2.1.8. Oxygène dissous (O_2)

L'oxygène est un paramètre crucial pour l'eau et représente un excellent indicateur de sa qualité. Son rôle dans l'autoépuration et la préservation de la vie aquatique est essentiel, notamment grâce à sa présence dans les eaux superficielles. Toutefois, sa présence dans les milieux urbains est jugée problématique en raison du risque de corrosion des distributeurs métalliques. L'oxygène est un des éléments essentiels à la vie. Il constitue 21% de la composition de l'air atmosphérique et représente approximativement 35% des gaz dissous dans l'eau sous pression normale (**El morhit, 2009**).

4.2.1.9. Total des solides dissous (TDS)

Le TDS, ou total des solides dissous, correspond à la quantité totale de substances dissoutes dans l'eau. Il comprend principalement :

- Des sels inorganiques comme le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium.
- Des composés tels que les carbonates, bicarbonates, nitrates, chlorures et sulfates.
- Ainsi que certaines matières organiques.

Les eaux minérales naturelles présentent souvent un taux élevé de solides dissous, car elles traversent des zones rocheuses riches en sels (**Bouchebbah et Ayache, 2011**).

4.2.2. Propriétés chimiques :

4.2.2.1. Ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal est présent principalement sous forme d'ammoniac (NH_3), une espèce chimique toxique pour les organismes aquatiques. Sa détection dans les eaux traduit une dégradation incomplète de la matière organique. En milieu oxygéné, l'azote ammoniacal subit rapidement une transformation par oxydation, conduisant à la formation de nitrites (NO_2^-) puis de nitrates (NO_3^-). Par ailleurs, la présence d'ammoniac augmente la demande en chlore nécessaire à la désinfection de l'eau, rendant le processus moins efficace et plus coûteux (Chaden, 2014).

4.2.2.2. Sodium (Na^+)

Le sodium, fréquemment retrouvé dans les minéraux constituant les roches volcaniques, est notamment présent dans les feldspaths sodiques de formule $\text{Na} [\text{Si}_3\text{AlO}_8]$, qui figurent parmi les minéraux les plus abondants. Dans les eaux souterraines, il se trouve majoritairement sous forme ionique (Na^+) et subit des processus d'adsorption et de désorption similaires à ceux du calcium et du magnésium, conférant à sa mise en solution une complexité comparable. En l'absence d'affleurements de roches évaporitiques, les concentrations naturelles observées dans les contextes géologiques volcaniques ou de socle en métropole varient généralement de quelques milligrammes par litre à quelques dizaines de milligrammes par litre (BRGM, 2007).

4.2.2.3. Sulfate (SO_4^{2-})

Les ions sulfatent (SO) qui se lie aux cations principaux tels que le calcium, le magnésium et le sodium, constituent un élément naturel des eaux. La majorité des sulfates se dissolvent dans l'eau. Toutefois, ils peuvent être transformés en sulfure, évaporés dans l'air sous forme d'hydrogène sulfuré (HS), précipités sous forme de sel insoluble ou absorbés par des êtres vivants. La teneur en sulfates des eaux naturelles peut varier considérablement, mais elle n'excède généralement pas 1 g/l (Mihoubi, 2008).

4.2.2.4. Chlorure (Cl^-)

Les chlorures, des anions inorganiques essentiels, se trouvent en diverses concentrations dans les eaux naturelles, principalement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). On les utilise fréquemment comme un indicateur de pollution. Ils ont un impact sur la faune et la flore des milieux aquatiques ainsi que sur le développement des plantes (Makhoukh, 2011).

4.2.2.5. Les bicarbonates (HCO_3^-)

L'alcalinité des eaux naturelles résulte principalement de la présence de sels de carbonates, de bicarbonates, de borates, de silicates, de phosphates, ainsi que d'ions hydroxydes libres. La principale origine des ions carbonates et bicarbonates dans les eaux est le dioxyde de carbone dissous. En effet, lors de son infiltration à travers le sol et les formations rocheuses, l'eau enrichie en dioxyde de carbone interagit avec les minéraux carbonatés, entraînant leur dissolution et la formation de bicarbonates (**Mohammed et al., 2015**).

4.2.2.6. Le Calcium (Ca^{2+})

Toutes les eaux naturelles contiennent du calcium (**Benamar et al., 2011**). Il s'agit d'un métal alcalino-terreux qui se trouve couramment dans la nature, notamment dans les roches calcaires où il apparaît sous forme de carbonates. On le trouve surtout sous la forme d'hydrogénocarbonates, et en moindre mesure sous forme de sulfates, chlorures, etc. (**Rodier et al., 2005**). On retrouve également le calcium de manière courante dans les roches sédimentaires. Il peut aussi avoir une origine dans les gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) qui se dissolvent aisément (**Sedrati, 2011**). Le calcium ne soulève pas de questions de potabilité, le seul désagrément domestique associé à une forte dureté est la formation de tartre (**Gaujour, 1995**).

4.2.2.7. Manganèse (Mn^{2+})

Le manganèse se retrouve dans plus d'une centaine de composés de sels et de minéraux courants présents dans les roches, les sols ainsi qu'au fond des lacs et des océans. Il est généralement rencontré sous forme de dioxyde, de carbonate ou de silicate. Sous forme oxydée, ses états de valence varient de -3 à +7. Essentiel à la vie humaine et animale, le manganèse intervient notamment dans la formation d'enzymes et de métalloenzymes. Pour des raisons liées au goût et à l'apparence de l'eau, une concentration maximale de 0,05 mg/L (ou 50 µg/L) est recommandée dans l'eau potable, ce seuil étant jugé sans danger pour la santé. Toutefois, à des concentrations supérieures à 0,15 mg/L, le manganèse peut provoquer des taches sur la plomberie et les tissus, et altérer le goût des boissons. Tout comme le fer, il peut également favoriser la prolifération de microorganismes dans les systèmes de distribution d'eau (**Beer, 2010**).

II.4.2.2.8. Le Potassium (K^+)

Le potassium constitue un élément nutritif majeur pour les plantes, présent dans les sols à des concentrations relativement élevées (environ 3 % de la lithosphère). Cependant, la majeure partie de ce potassium est sous forme non assimilable par les végétaux, car il est incorporé dans

des structures minérales stables. Pour garantir une nutrition adéquate des cultures, un apport complémentaire via des engrais est souvent requis. Les eaux usées représentent une source secondaire de potassium, mais leurs teneurs restent généralement insuffisantes pour satisfaire les besoins agronomiques. D'après l'Organisation mondiale de la santé, l'application des eaux usées en agriculture n'engendre habituellement pas de risques environnementaux en lien avec l'apport en potassium (OMS, 2012).

II.4.2.2.9. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont des ions naturellement présents dans l'environnement, principalement issus de la décomposition de la matière organique (Dinepa et al., 2013). Ils figurent parmi les contaminants chimiques les plus répandus dans les ressources hydriques à l'échelle mondiale. La pollution des eaux potables par les nitrates est généralement liée à des activités anthropiques, telles que l'agriculture intensive ou l'élevage. En raison de leur forte solubilité, les nitrates peuvent se déplacer facilement dans les sols. Avec le temps, ils s'accumulent dans les nappes phréatiques, qui peuvent ensuite être exploitées comme source d'eau potable (Hailu, 2017).

II.4.2.2.10. Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites, bien que naturellement présents à l'état de traces dans les sols, les eaux et Les végétaux, proviennent principalement de processus biochimiques tels que l'oxydation incomplète de l'ammoniac ou la réduction des nitrates. Leur apparition peut également résulter d'un dysfonctionnement dans les systèmes de traitement des eaux, notamment lors d'une gestion inadéquate des filtres à sable, des filtres à charbon actif, ou encore au cours des phases de nitrification et de dénitrification biologiques. La détection de concentrations élevées de nitrites dans les eaux constitue un indicateur préoccupant, souvent corrélé à une dégradation de la qualité microbiologique, et peut refléter la présence d'une contamination fécale ou d'un déséquilibre dans les processus de purification (Savary, 2010 ; Bouziani, 2000).

II.4.2.2.11. Phosphate (PO_4^{+})

Le phosphate se trouve majoritairement sous forme minérale, principalement sous forme d'orthophosphates (HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4), et dans une moindre mesure, sous forme organique. Leur présence dans les eaux naturelles provient en grande partie de l'usage d'engrais chimiques et de pesticides en agriculture (Aissaoui et al., 2017).

Les phosphates sont des anions que l'organisme humain peut assimiler. Quelle que soit leur provenance — qu'elle soit domestique, industrielle ou agricole — leur concentration élevée dans l'eau favorise la prolifération excessive des algues. Ce phénomène engendre l'eutrophisation des milieux aquatiques tels que les lacs et les rivières. La directive des

Communautés européennes (CEE) fixe une valeur guide de 0,4 mg/l de phosphore dans l'eau potable, avec une concentration maximale tolérée de 5 mg/l. À noter que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ne propose aucune valeur indicative à ce sujet (**Youssef et al., 2015**).

II.4.2.2.12. Fer (Fe^{2+})

Le fer est fréquemment présent dans les eaux souterraines en raison de son abondance dans la croûte terrestre, où il représente environ 4,5 à 5 %. Sa concentration dans l'eau dépend de divers facteurs physico-hydrologiques tels que le lessivage des sols, les rejets industriels et la corrosion des conduites métalliques. Pour être conforme aux normes de potabilité, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir plus de 0,3 mg/L de fer (**Potelon et Zysman, 1998**).

II.4.2.2.13. Magnésium (Mg^{2+})

C'est l'un des composants majeurs de la dureté de l'eau, aux côtés des ions calcium. Il s'agit également de l'un des éléments les plus couramment présents dans le monde naturel (**Rodier et al., 2009**). Son contenu est déterminé par la composition des roches sédimentaires. Essentiel à l'existence et contribuant de manière significative à la respiration, leur provenance peut être naturelle (comme la dissolution des roches telles que les magnésites, basalts et argiles) ou industrielle (comme dans le secteur de la potasse de cellulose et la brasserie). Habituellement, la dureté manganésienne de l'eau correspond à environ un tiers de la dureté globale. L'eau acquiert une saveur amère en raison d'un surplus de magnésium (**Kemmer, 1984**).

4.3. Propriétés microbiologiques

4.3.1. Les germes totaux

L'objectif du dénombrement des germes aérobies mésophiles ou germes totaux est d'évaluer la densité de la population bactérienne globale dans l'eau potable. Elle offre donc une évaluation générale de la qualité sanitaire de l'eau, sans toutefois identifier les origines de la contamination (**Levallois, 2003**). En général, ce comptage est employé comme un baromètre de la pollution ainsi que pour évaluer l'efficacité des traitements, spécifiquement ceux physiques tels que la filtration du sol, qui devrait résulter soit en une réduction significative de la concentration bactérienne, soit même en une absence totale de bactéries (**CEAEQ, 2000 ; El Haissoufi et al., 2011**).

4.3.2. Coliformes totaux

On utilise les coliformes totaux depuis longtemps comme repère de la qualité microbienne de l'eau, car ils peuvent être liés de manière indirecte à une contamination d'origine fécale. Les coliformes totaux sont caractérisés comme des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, qui possèdent l'enzyme β -galactosidase et peuvent hydrolyser le lactose à 35°C pour produire des colonies rouges avec un éclat métallique sur un milieu gélosé adéquat (Archibald, 2000 ; CEAEQ, 2000 ; Edberg et al., 2000). Selon Chevalier (2003), ce groupe comprend les genres principaux suivants : *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia*. La majorité des espèces ne sont pas pathogènes et n'engendrent pas de danger immédiat pour la santé, sauf quelques souches d'*Escherichia coli* (*E. coli*) et quelques bactéries opportunistes rares qui peuvent être pathogènes. (Edberg et al., 2000 ; OMS, 2000).

4.3.3. Coliformes fécaux (*Escherichia coli*)

Les coliformes fécaux, également appelés coliformes thermo tolérants, sont une subdivision des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. *E. coli* est généralement l'espèce associée à ce groupe de bactéries (Elmund et al., 1999 ; Edberg et al., 2000). *E. coli* est l'unique bactérie indicatrice qui témoigne clairement d'une contamination d'origine fécale, qu'elle soit animale ou humaine. La détection de sa présence dans une eau doit être interprétée comme un indicateur potentiel de la présence de germes pathogènes d'origine entérique.

E. coli est effectivement perçue comme l'indicateur le plus fiable de la pollution fécale de l'eau (Edberg et al., 2000). Selon sa provenance, elle présente des dangers divers quant à une éventuelle infection intestinale (Bopp et al., 1999).

4.3.4. Streptocoques fécaux

Les entérocoques constituent une catégorie de bactéries que l'on trouve naturellement dans la flore intestinale des animaux et des humains. De plus, certains streptocoques fécaux sont étroitement liés aux entérocoques et demeurent utilisés comme indicateurs de contamination fécale (Gleeson et Gray, 1997). Ils sont généralement présents dans les eaux souterraines suite à une contamination d'origine fécale (Gleeson et Gray, 1997 ; Edberg et al., 2000). La majorité des entérocoques, notamment ceux présents dans l'environnement naturel, n'ont pas de capacité pathogène spécifique envers les êtres humains ; ils sont plutôt des agents infectieux opportunistes qui affectent les individus vulnérables comme les personnes immunodéprimées (Edmond et al., 1995 ; Madani et al., 1999).

4.3.5. *Clostridium* sulfito-réducteurs

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité microbiologique d'une eau destinée à la consommation, les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont également considérés. On a souvent recours aux *Clostridium* sulfito-réducteurs comme indicateurs de contamination fécale. La forme sous forme de spores, bien plus résistante que les formes végétatives ainsi que les coliformes et streptocoques fécaux, serait capable de révéler une contamination fécale ancienne ou sporadique. Il convient toutefois de noter que, bien que les *Clostridium* sulfito-réducteurs puissent être des germes fécaux, ils sont également des germes telluriques. Par conséquent, aucun lien spécifique avec une origine fécale ne peut être établi en les détectant (**Rodier et al., 2009**), sans entrer dans la discussion sur l'importance réelle d'une telle indication liée à la date de la pollution.

Chapitre III :

Matériel et méthodes

1. présentation de la région d'étude (Wilaya de Mila)

1.1. Situation géographique et administrative

- Situation géographique

Notre recherche a été effectuée dans la wilaya de Mila, située entre les latitudes $36^{\circ} 37' 30''$ et $35^{\circ} 52' 15''$, ainsi que les longitudes $5^{\circ} 44' 13''$ et $6^{\circ} 32' 55''$. Cette wilaya a vu le jour suite au dernier découpage administratif de l'Algérie en 1984, avec la ville de Mila désignée comme chef-lieu de la wilaya 43. Elle se trouve dans le Nord-Est de l'Algérie (**Athmania et al., 2011**), à une altitude de 464 mètres, et à une distance de 33 km de la mer Méditerranée, couvrant une superficie de 3470,60 km². La région de Mila est bordée au nord par la wilaya de Jijel, au nord-est par la wilaya de Skikda, à l'est par la wilaya de Constantine, au sud-est par la wilaya d'Oum El Bouaghi, au sud par la wilaya de Batna et à l'ouest par la wilaya de Sétif (**Messai et al., 2011**).

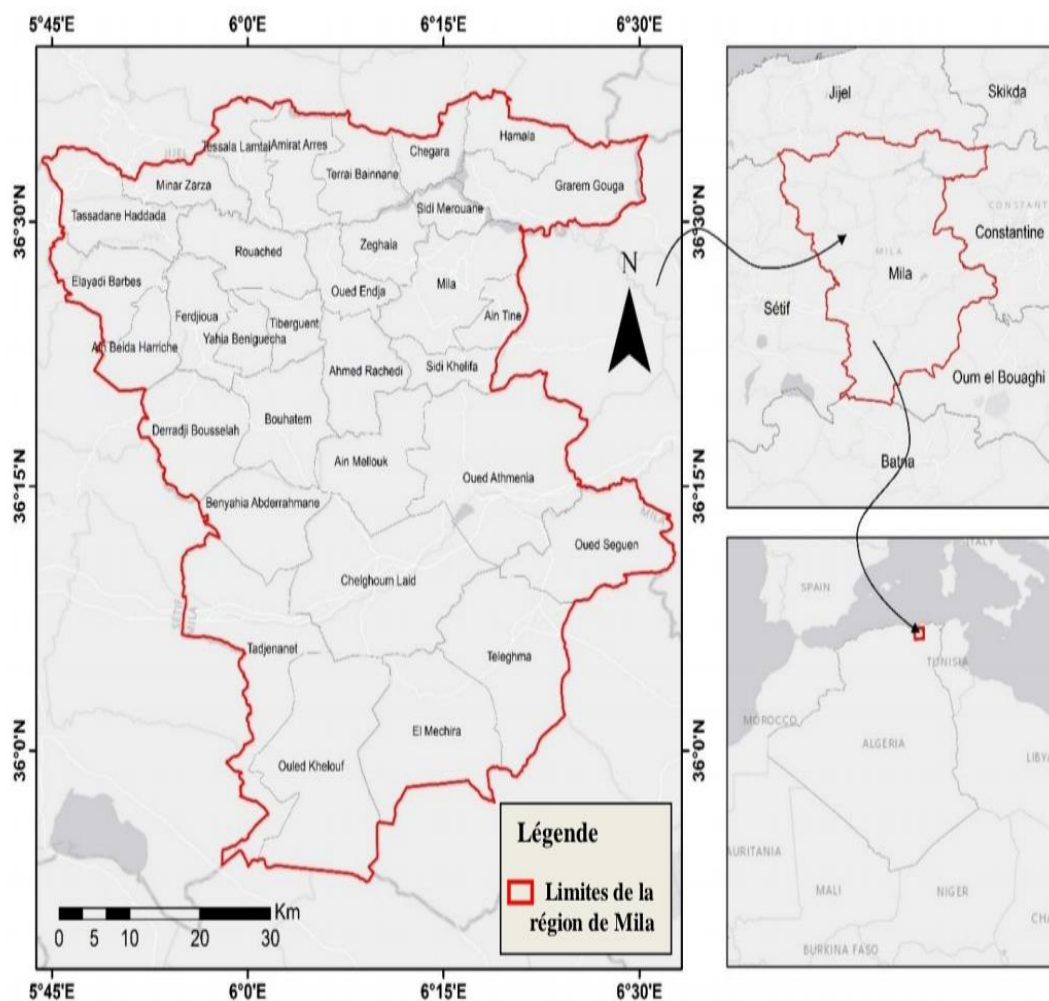


Figure 03 : Situation géographique de la wilaya de Mila (**Kadjoudj, 2022**).

- **Situation Administratif**

La wilaya de Mila compte 13 daïras regroupant 32 communes.

Tableau 03 : Le découpage administratif de la région de Mila.

Daïras	Communes
Mila	Mila- Ain Tine – Sidi Kkhlif
Grarem Gouga	Grarem Gouga- Hamala
Sidi Merouan	Sidi Merouane - Chigara
Oued Endja	Oued Endja- Zeghaia- Ahmed Rachdi
Rouached	Rouached -Tiberguent
Terrai Beinen	Terrai Beinen – Amira Arres – Tassala Lamtai
Ferdjioua	Ferdjioua-Yehya Beni Guecha
Tassadane Hadada	Tassadane Hadada – Minar Zaraza
Bouhatem	Bouhatem – Derahi Bousselah
Ain Baidah Ahriche	Ain Baidah Ahriche – Ayadi berbes– Mechira
Telaghma	Telaghma – Oued Seguen
Chelghoum Laid	Chelghoum Laid – Oued Athmania – Ain Melouk
Tadjenanet	Tadjnanet – Ben Yahia Abdrehmane –Ouled Khlouf

1.2. Situation édaphique

- **Le sols**

La wilaya de Mila se caractérise par des sols brun clair vertiques à constitution argileuse brune, superficiellement et ocre en profondeur ; à certains endroits, ils sont de couleur brun clair. La structure de ces sols est modérément fine en surface et plus raffinée en profondeur. Ces sols contiennent beaucoup de potassium échangeable, mais peu de phosphore assimilable. Ces terrains contiennent une forte concentration de calcaire (**Belattar, 2007**). La plupart des

sols examinés présentent une acidité (**Berkal et Elouaere, 2014**). Ces sols possèdent les caractéristiques suivantes : – Grande capacité de rétention en eau. – Formation de fissures de retrait durant les périodes arides.

- **Le relief**

La région de Mila se distingue par sa diversité géographique, présentant un relief à la fois complexe et irrégulier, fortement découpé par un réseau hydrographique abondant, on identifie trois zones distinctes dans la région. (**Zouidia, 2006**) :

- La zone du Nord : elle possède un caractère montagneux (constitué d'une série de massifs montagneux ; massifs telliens). Ce paysage escarpé englobe 14 communes, dont Tassala Lemtai, Amira Arres, Terrai et Bainnen. La proportion de terres cultivées est de 14%, et les précipitations annuelles varient entre 600 mm et 1200 mm annuellement.

- La zone médiane : elle était constituée d'anciens territoires coloniaux. Elle représente 68% de la superficie cultivée, avec des tranches annuelles de précipitations allant de 400 à 600 mm. Elle comprend 15 communes. Ces municipalités incluent Oued Endja, Ahmed Rachedi, Zeghaia, Mila, Grarem Gouga, Sidi Merouane, Ain Tine et Sidi Khelifa.

- La zone Sud : la section sud de la wilaya de Mila est une plaine indissociable des Hautes Plaines Constantinoises. Elle représente 18% de la superficie agricole cultivée. Le volume annuel des précipitations ne dépasse pas 350 mm. On dénombre 09 communes dans cette région. Les municipalités comprennent : Tadjenanet, Chelghoum-Laid, Telaghma, Oued Athmania, Oued Seguen, Mechira, Ouled Khelouf, Ben Yahia Abderrahmane et Ain Melouk

- **Réseau hydrographique**

Le nord de la wilaya est traversé par un dense réseau hydrographique composé de nombreux ruisseaux qui nourrissent de grands Oueds : Oued Endja, Oued el Kébir et Oued el Rhumel, ce dernier coulant à travers les hautes plaines (d'est en ouest) et possédant d'importants affluents tels que l'Oued Méhari, l'Oued Tadjenanet et l'Oued Athmania), sans oublier le barrage de transfert Sidi Khelifa (**Zouidia, 2006**). Le bassin de Beni Haroun figure parmi les plus grands bassins hydrographiques en Algérie. La superficie qu'il recouvre est de 6595 km². (**Kerdoud, 2006**) indique qu'il est situé à 36° de latitude Nord et 7° de longitude Est. Cette unité hydrographique cohérente offre la possibilité de gérer ou d'améliorer la qualité de l'eau de manière intégrale (**Bioret et al., 2010**).

1.3. Situation climatique

La wilaya de Mila figure parmi les wilayas algériennes les plus prolifiques. Selon la région présente

un climat de type méditerranéen (**Bouaroudj et al., 2019**). Avec un été extrêmement chaud et sec, l'hiver devient plutôt frais et plus humide. On décrit ce climat comme étant xérothermique. Il est généralement défini par deux périodes clairement marquées, l'une humide et pluvieuse qui va de novembre à avril, et l'autre chaude et sèche qui s'étend de mai à octobre (**Zouaidia, 2006**).

La wilaya de Mila se distingue par la présence de trois microclimats : un climat subhumide prédomine dans la majorité des zones, un climat semi-aride prévaut dans les provinces méridionales, et un climat humide se manifeste en altitude (**Bouaroudj et al., 2019**). Ces microclimats sont étroitement liés à la configuration des trois grandes unités morphologiques :

- Humide, pour les zones montagneuses du Nord et de la section centrale, allant de Bouhatem à Ain Tine.
- semi-aride à subhumide pour la portion centrale de la wilaya.
- Semi-aride, en référence aux « hautes plaines » (**ANDI, 2013**).

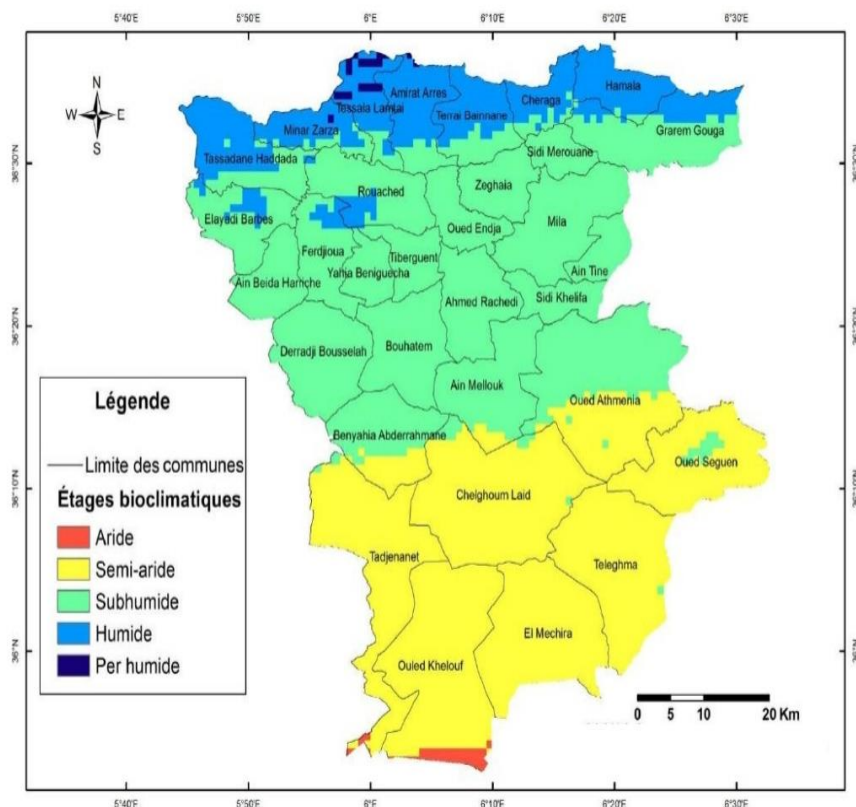


Figure 04 : Etages bioclimatiques de la wilaya de Mila (Laala et al., 2018).

- **Température**

Le facteur climatique le plus crucial est la température, puisqu'elle régule tous les processus métaboliques et définit la répartition de toutes les espèces et biomes au sein de la biosphère. On caractérise généralement la température d'un lieu spécifique en se basant sur les variables suivantes :

- La moyenne mensuelle de la température « T »
- La température à son maximum « M »
- La température à son minimum « m » **(Beldi, 2022).**

Le tableau ci-après présente les moyennes mensuelles et annuelles des températures de la wilaya de Mila pour la période s'étendant de 2010 à 2019.

Tableau 04 : Paramètre de température durant la période (2010-2019) de la région d'étude (Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

Paramètre	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Min (C°)	5	4,7	6,5	8,8	11,8	16,3	20,6	20,6	15,8	13,6	9,6	5,8
Max (C°)	13,5	13,8	16,2	20,3	24,1	30,7	34,8	34,5	29,3	23,9	17,4	13,6
Moy (C°)	8,9	9	11,3	14,5	17,7	23,4	28,6	26,3	22,3	18,7	13,2	9,7

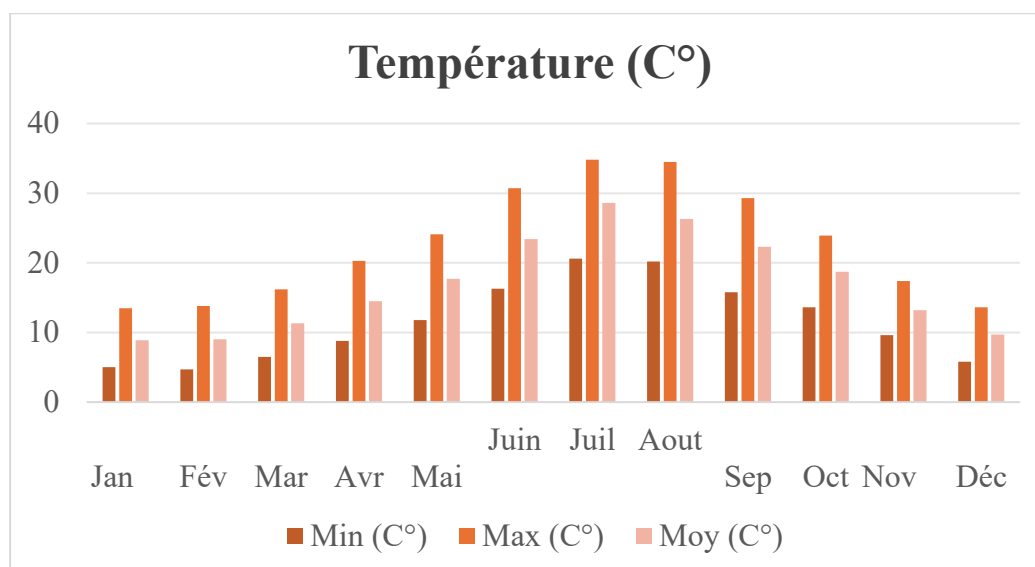


Figure 05 : variation de température durant la période (2010-2019) dans la région d'étude.

(Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

Selon le tableau 04, montre que les températures mensuelles de la zone d'étude atteignent leur minimal au mois de Février, avec une valeur de 4,7°C. Le maximal et observés au mois de juillet, avec une valeur de 34.8°C, la moyenne et variée entre 8,9 °C et 28,6°C.

• Précipitations

Les précipitations représentent tous les types d'eau qui tombent du ciel, qu'elles soient sous forme liquide ou solide (**Dajoz, 2000**). La distribution des espèces dans les zones biogéographiques est influencée par la quantité annuelle de précipitations (**Ramade, 1984**). Les besoins en humidité des espèces animales peuvent varier considérablement et dépendent à la fois des phases de leur développement et des fonctions vitales prévues (**Dreux, 1980**).

Tableau 05 : Variation de force moyenne de précipitation durant la période (2010-2019) de la région d'étude (Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

Paramètre	Ja n	Fé v	Ma r	Av r	Ma i	Jui n	Jui l	Aou t	Se p	Oc t	No v	Dé c
Précipitation(mm))	83	99	96	55	51	25	7	24	32	58	70	73

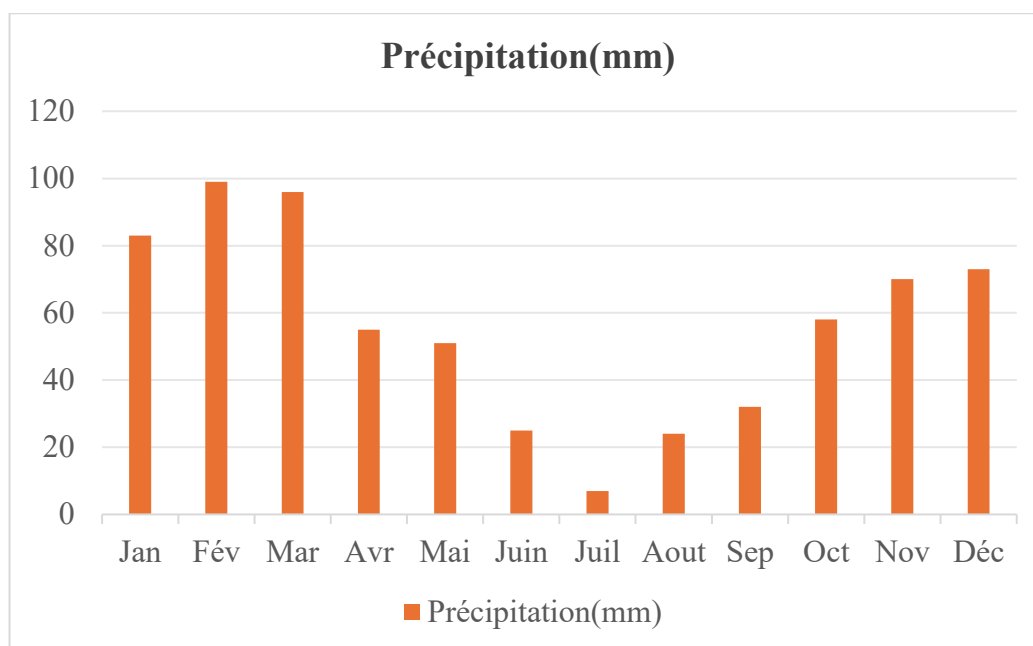


Figure 06 : Variation de force moyenne de Précipitation durant la période (2010-2019)
(Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

Selon le tableau 05, la précipitation annuelle dans la région Mila équivaut à 673mm. Ainsi Les précipitations sont les plus importantes entre Février et Mars. Le mois de juillet est le mois plus sec avec une précipitation moyenne de 7mm.

- **Vent**

Le vent est un élément climatique essentiel, puisqu'il intervient de manière cruciale dans le déplacement, la diffusion et la dispersion des polluants de diverses dimensions grâce à ses propriétés de direction et d'intensité (Melghit, 2009).

Tableau 06: variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2019) de la région d'étude (Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

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

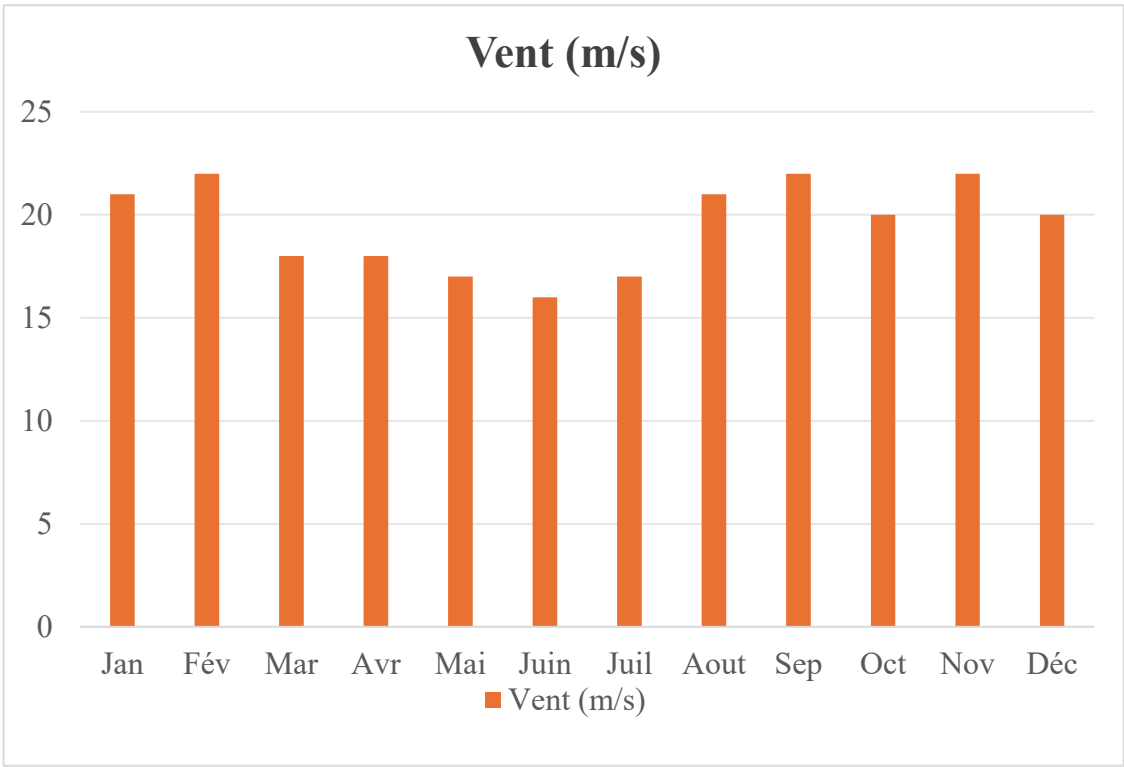


Figure 07 : variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2019) (Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

le tableau 06, montrent que la vitesse des vents atteigne son maximum en novembre avec 23 m/s et son minimum en Juin avec 16 m/s. Toutefois, on remarque que les vitesses des vents sont presque homogènes pendant plusieurs mois de l’année.

• **Humidité**

C’est le rapport entre la quantité de vapeur d’eau dans un volume d’air donné et la quantité possible dans le même volume à la même température (Villemeuve, 1974). Elle dépend de plusieurs facteurs climatiques comme la pluviométrie, la température et le vent (Faurie et al., 1980).

Tableau 07 : taux moyenne d’humidité durant la période (2010-2019) dans la région d’étude (Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

Paramètre	Ja n	Fé v	Ma r	Av r	Ma i	Jui n	Jui l	Aou t	Se p	Oc t	No v	Dé c
-----------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	---------	---------	---------	---------

Humidité(%)	74	76	72	70	63	54	43	49	64	66	73	76
)												

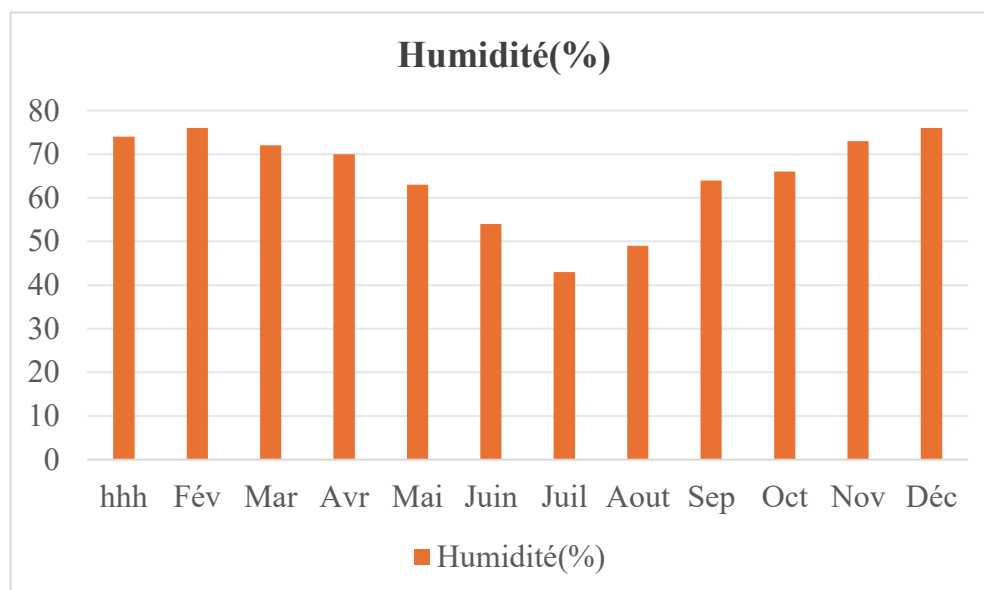


Figure 08 : variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2019) (**Office nationale de météorologie [ONM], 2025**).

Selon le tableau 07, Nous remarquons l'humidité de la région d'étude à une valeur maximale de l'ordre de 76 % est observée au mois de Décembre et Février, alors que la valeur minimale est observée au mois de Juillet 43%.

- **Diagramme Pluvio-Thermique ou Ombro-Thermique**

D'après Bagnouls et Gaussen, Ces diagrammes présentent, sur un même graphique, (les courbes des précipitations et des températures), ce qui permet de définir la durée de la période sèche durant laquelle : $P < 2 T$. P : Moyennes mensuelles des précipitations.

T : Température moyenne observée sur une base mensuelle. Le climat est considéré comme sec lorsque la courbe des températures se situe au-dessus de celle des précipitations, tandis qu'il est qualifié d'humide dans le cas inverse (**Hakemi, 2019 ; Laala, 2009**).

Tableau 08 : Les paramètres de Précipitation et Température (2010-2019) de la région d'étude (**Office nationale de météorologie [ONM], 2025**).

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	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
--------	-----	---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

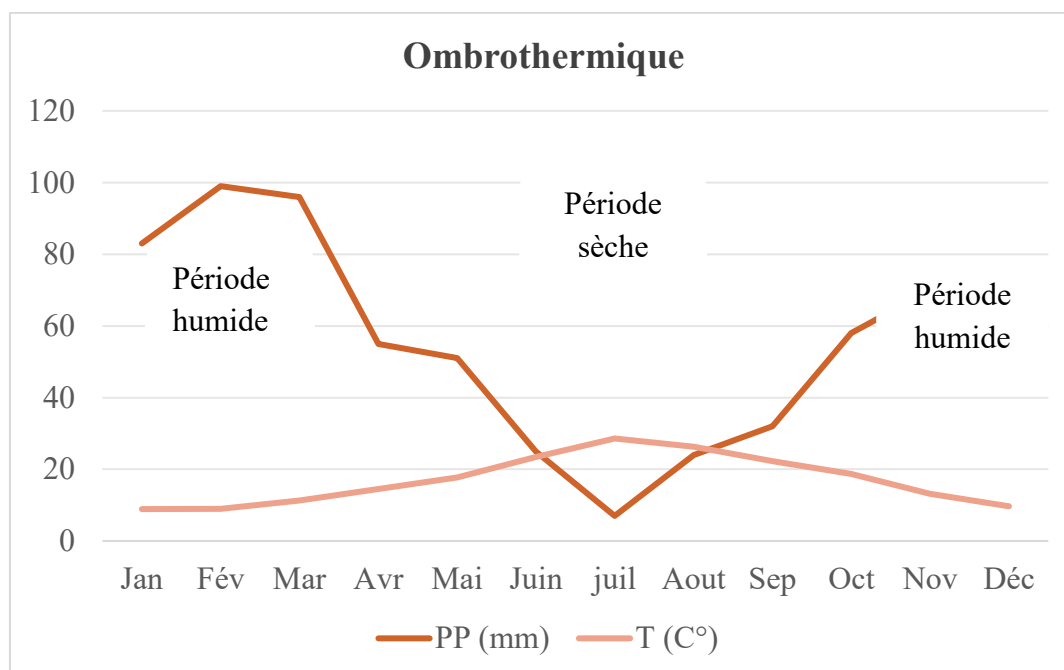


Figure 09 : diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique durant la période (2010-2019) (Office nationale de météorologie [ONM], 2025).

Selon le tableau 08, et à partir des données de températures et précipitations de la station d'Ain Tin on peut distinguer deux périodes :

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

2. Présentation des zones d'études

2.1. Situation Chigara

La Commune de Chigara est située à l'extrême nord de la province de Mila à environ 30 km du chef-lieu de la wilaya. Elle est bordée au nord par Ouled Rabbah dans la province de Jijel, à l'ouest par Trai Beinan, à l'est par El Garam Gouga et Hamala, et au sud par Sidi Marouane et le barrage de Beni Haroun. La commune se caractérise par un relief accidenté, le sommet du djebel Moul El Messid, qui culmine à environ 1 289 mètres d'altitude, étant le point culminant de la municipalité. Elle abrite également un réseau hydrographique dense, dont le

plus important est le barrage de Beni Haroun. La population de Chigara est estimée à environ 17 203 habitants sa superficie 49,32 km² (**Commune de Chigara**).

2.2. Situation de Mechira

La commune de Mechira est géographiquement située au sud de la wilaya. Elle se trouve à 74,8 km du chef-lieu de wilaya et relié à lui par la RN n°100, bordée au nord par Chelghoum El Aid et au sud par Bir Chouhada et Souk Naamane (Wilaya d'Oum El Bouaghi), Vers l'Est : par Teleghma, À l'ouest par d'Ouled Khelouf. Hydrographiquement de Mechira est située à limite de deux bassins versants, Kébir Rumel et les hauts plateaux Constantinois, et le sous bassin versant de l'Oued Rummel Seguin en premier, Merdja Zana et Sebkhet Ezamoul pour le second. Le commun compte une population de 13 350 habitants et sa superficie est estimée à 192,22km²(**Commune de Mechira**).

2.3. Situation d'Ouled Khelouf

La commune de Ouled Khelouf est localisée au sud de la wilaya de Mila, à environ 62 km du chef-lieu. Elle est traversée par la route communale n°37, reliant au nord la commune de Chelghoum Laid, distante de 4 km, cette dernière étant elle-même connectée à la route nationale n°100. Le territoire communal se caractérise par une topographie globalement plane, ponctuée par des reliefs montagneux au centre, notamment le mont Tafrent et le mont Chebka, lesquels occupent près de 30 % de la superficie totale de la commune. Sur le plan des limites administratives, Ouled Khelouf est bordée à l'ouest par la commune de Tadjenanet, à l'est par les communes de Mechira et de Bir Chouhada, et au sud par les communes d'Aïn Djasser et de Zana El Beida. La population communale est estimée à 14 212 habitants .sa superficie 254,20km²(**commune d'Ouled Khelouf**).



Figure 10 : Les trois communes (Ouled Khelouf , Chigara et El Mechira).

3. Echantillonnage

Dans le contexte de cette recherche expérimentale, les évaluations physico-chimiques et bactériologiques de l'eau provenant des sources dans la wilaya de Mila sont effectuées. De Février à Avril 2025, des analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été réalisées mensuellement dans le « Laboratoire des Sciences Naturelles et Matériaux – LSNM » ainsi que dans les laboratoires pédagogiques du département Science de la Nature et de la Vie (SNV) au centre universitaire Abdelhafid Boussouf Mila. L'analyse de la qualité de l'eau se fait en trois phases :

-Prélèvement et échantillonnage.

- Analyse.

- Interprétation des données.

- Pour cette recherche, nous avons choisi trois sources situées dans trois municipalités distinctes de la wilaya Mila :

- La source d'Aïn El Ward (**commune de Chigara**)
- La source d'Aïn Mechira (**commune de Mechira**)
- La source d'Aïn El Karma (**commune d'Ouled Khelouf**)



Figure 11 : La source d'Aïn El Ward (commune de Chigara).



Figure 12: La source d'Aïn Mechira (commune de Mechira).



Figure 13: La source d'Aïn El Karma (commune de Ouled Khelouf)

- ❖ Le tableau représente les lieux et les dates de trois stations de prélèvements au niveau de la wilaya de Mila pour les trois mois :

Tableau 09 : Lieux et dates de trois sources de prélèvement.

lieu de prélèvement	Coordonnées	Mois	Date
Ouled Khelouf (Aïn El Karma)	36° 03 32 Nord, 6° 08 19 Est	Février	16/02/2025
		Mars	16/03/2025
		Avril	16/04/2025
Chigara (Aïn El Ward)	36° 33 36 Nord, 6° 13 21 Est	Février	16/02/2025
		Mars	16/03/2025
		Avril	16/04/2025
Mechira (Aïn Mechira)	36 00 37 Nord, 6° 13 53 Est	Février	16/02/2025
		Mars	16/03/2025
		Avril	16/04/2025

4. Technique de prélèvement

Le prélèvement des échantillons d'eau constitue une étape essentielle qui requiert une rigueur méthodologique afin d'assurer l'obtention d'échantillons homogènes, représentatifs du milieu étudié, et exempts de toute altération de leurs propriétés physico-chimiques.

Avant le prélèvement, les bouteilles en plastique destinées aux analyses physico-chimiques sont soigneusement nettoyées pour éliminer toute trace de contaminants susceptibles d'influencer les résultats analytiques. Pour les analyses bactériologiques, des bouteilles en verre, préalablement stérilisées à une température appropriée pendant deux heures, sont utilisées afin de garantir des conditions d'asepsie optimales.

Chaque bouteille est étiquetée de manière précise avec la date, l'heure du prélèvement et l'identification de la source d'eau afin d'assurer la traçabilité des échantillons. Sur le site de prélèvement, les bouteilles sont rincées successivement avec de l'eau distillée puis avec l'eau à échantillonner, afin de préserver l'intégrité des paramètres analytiques et d'éviter toute contamination ou modification des caractéristiques initiales.

5. Enregistrement et étiquetage des échantillons

Il est impératif que les échantillons soient étiquetés de manière claire et immédiate avant le prélèvement, en veillant à ce que les étiquettes soient lisibles, inaltérables et résistantes aux altérations. Ces étiquettes doivent mentionner avec la plus grande précision : la date et l'heure du prélèvement, les conditions météorologiques au moment de l'échantillonnage, le numéro d'identification de l'échantillon, ainsi que toute circonstance exceptionnelle pouvant influencer les résultats d'analyse, afin d'éviter toute confusion ou erreur potentielle.

La quantité d'eau prélevée ainsi que la méthode d'échantillonnage dépendent de l'objectif et de la nature de l'analyse, lesquels sont eux-mêmes étroitement liés à la qualité de l'eau et à son utilisation prévue.

6. Transports des échantillons

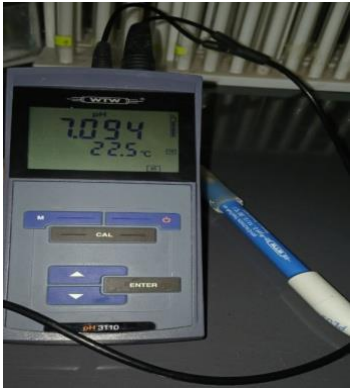
Le délai séparant le prélèvement de l'échantillon de son analyse ne doit en aucun cas dépasser 24 heures. Il est impératif de procéder à l'examen dans les plus brefs délais, en assurant le transport des échantillons dans des glacières maintenant une température stable comprise entre 4 °C et 6 °C, afin de préserver l'intégrité des échantillons et garantir la fiabilité des résultats analytiques.

7. Analyse physico-chimique

7.1. Analyses physiques

Les analyses physiques (température, PH, conductivité, TDS, salinité et la turbidité) sont réalisées sur terrain à l'aide des appareils spécifiques comme suite :

Tableau 10 : Appareilles des analyses physiques.

Paramètre	Nom de l'appareille	Appareille
pH	pH mètre	
Température	Thermomètre	
Conductivité (CE)	Coduvtivimètre	
Salinité (Sal)		
TDS		

✓ **Détermination de la turbidité** (c'est un paramètre physique qui mesuré sur terrain aussi)

- **Principe**

Les échantillons d'eau prélevés sont transférés dans des cuves stériles. Une agitation manuelle est ensuite réalisée afin d'homogénéiser les échantillons et d'éliminer toute présence de bulles d'air. Les cuves sont ensuite placées dans le turbidimètre, en sélectionnant le programme de mesure spécifique à la turbidité. Les résultats sont lus directement sur l'écran d'affichage de l'appareil.



Figure 14 : Turbidimètre.

7.2. Analyses chimiques

Cette étude a été réalisée à travers une série d'analyses effectuées au sein du Laboratoire de Recherche en Sciences Naturelles et des Matériaux (LSNM) du Centre Universitaire de Mila, durant la période allant de Février à Avril 2025. Les méthodes analytiques adoptées se sont basées sur les protocoles décrits par Rodier, (2009), conformément aux normes scientifiques en vigueur.

Tableau 11 : Différentes méthodes utilisées.

Paramètre	Méthode
TA, TAC, Chlorure, calcium et magnésium	Titrimétrie
Ammonium, Phosphate, Silicium, Sulfate, Nitrate, Nitrite	Spectrophotométrie

7.2.1. Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique complet (TA/TAC) :

- **Principe**

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide Chlorhydrique (HCl), dilué en présence de la phénophtaléine. Le but est de mesurer la teneur en hydroxyde libre et en carbonate.

- **Solution utilisé :**

• Solution de phénophtaléine • Solution de rouge de méthyle • Solution d'orange de méthyle

- **Mode opératoire**

Mettre 10 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, ajouter 1 ml de phénophtaléine et titrer avec du HCl 0,02 N jusqu'au premier virage de couleur, et noter le volume qui exprime le titre alcalimétrique (V).

Ajouter ensuite 2 gouttes de rouge de méthyle et orange de méthyle, puis poursuivre le titrage jusqu'au second virage pour déterminer le volume de titre alcalimétrique total (V').

- **Expression des résultats**

- **TA**

_ V/5 exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

_ V exprime le volume de titre alcalimétrique

- **TAC**

_ V'/5 exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

_ V' exprime le volume de titre alcalimétrique complet

7.2.2. Carbonate (CO_3^{2-}) et Bicarbonate (HCO_3^-)

- **Principe**

Les carbonates (CO_3^{2-}) existent à $\text{pH} > 8,3$ et les bicarbonates (HCO_3^-) entre 4,4 et 8,3. Le dosage des carbonates totaux s'effectue simplement par la mesure de l'alcalinité via les titres TA et TAC.

Tableau 12 : Détermination de Carbonate et Bicarbonate.

Espèces carbonatées	Valeurs respectives des titres TA et TAC		
	Si TA = 0	Si TA < TAC/2	Si TA = TAC/2
CO_3^{2-}	0	2 TA	TAC
	TAC	TAC – 2TA	0

7.2.3. Chlorure (Cl^-) :

- **Principe**

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

- **Solution et produits utilisé**

_ L'acide nitrique

_ Carbonate de calcium (poudre)

_ Solution de chromate de potassium 10%

_ Solution de nitrate d'argent 0,1 N : dissoudre 4,21 g de nitrate d'argent dans 250 ml d'eau Distillé.

- **Mode opératoire**

100 ml de l'eau à analyser dans un bécher et ajouter ensuite 2 à 3 gouttes d'acide nitrique, puis l'indicateur spécifique au carbonate de calcium, ainsi que 3 gouttes de chromate de potassium. Effectuer le titrage de la solution en ajoutant progressivement, goutte à goutte, une solution de

nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge persistante. Relever avec précision le volume de nitrate d'argent utilisé.



Figure 15 : Dosage de chlorure.

- **Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de 100 ml :

- $V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl par litre d'eau.
- $V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

7.2.4. Sodium (Na^+) :

- $\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
- $\text{Na}^+ = \text{NaCl} - \text{Cl}^-$

7.2.5. Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+})

- **Principe**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH compris entre 12 – 13. Ce dosage se fait en présence de MUREXIDE. L'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions de calcium libre, puis avec les ions calcium combiné avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur violet.

- **Réactifs**

- _ EDTA Na ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- _ NaOH à 2N
- _ Murexide (puparate d'ammonium)

- **Mode opératoire**

_ prélever 50 ml de l'eau à analyser

_ Ajouter 3 ml de NaOH à 2N (si l'échantillon est acidifié avec 2 ml de HNO₃, et ajouter 6ml de NaOH).

_ Ajoutez du murexide (quelques grains), vous obtenez une douce couleur rose.

_ Titrer l'EDTA à N/50 jusqu'à ce qu'il atteigne une couleur violette pour obtenir cette mesure.

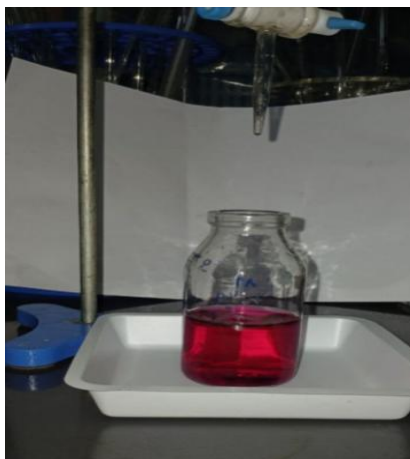


Figure 16 : Dosage de calcium.

- **Expression des résultats**

Pour une portion de 50 ml d'eau à analyser :

$$\text{➤ } [\text{Ca}] \text{ méq/l} = 0,02 \cdot V \cdot 1000 \cdot 5/50$$

V : Volume du titre EDTA

- **Dosage de la dureté de l'eau [(Ca²⁺) + (Mg²⁺)]**

- **Réactifs**

_ EDTA Na (C₁₀H₁₄N₂O₈Na₂ 2H₂O)

_ Tampon ammoniacal

_ Noir Ériochrome T (NET)

- **Mode opératoire**

_ Prendre 50 ml de l'eau à analyser

_ Ajouter un tampon d'ammoniaque : 5 ml

_ Ajouter du noir ériochrome (grain trempé).

_ Titrer avec EDTA à N/50 jusqu'à obtention d'une couleur bleu cobalt. Prendre cette mesure.

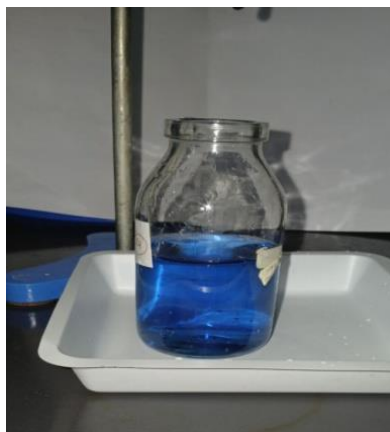


Figure 17 : Dosage de la dureté.

- **Expression des résultats**

Pour une portion de 50 ml d'eau à analyser

$$\text{➤ } [\text{Mg}+\text{Ca}] \text{ méq/l} = 0,02 \cdot V \cdot 1000 \cdot 5/50$$

V : Volume d'EDTA titré

- **Dosage de Mg^{2+}**

Sur l'effet du dosage de (Ca^{2+} Mg)

Les concentrations de magnésium sont calculées selon la formule suivante

$$\text{➤ } [\text{Mg}] \text{ mg/l} = [\text{Mg} + \text{Ca}] - [\text{Ca}]$$

7.2.6. Silicium (SiOH_4)

• **Principe**

La technique employée implique la formation d'un complexe entre le molybdate d'ammonium et les versions monomères ou dimères de l'acide ortho-siliciques. Par la suite, le métol convertit ce composé en un complexe bleu qui peut être évalué via spectrophotométrie.

• **Réactifs et solutions utilisées**

✓ Réactif 01 : Molybdate

✓ Réactif 02 : Réducteur

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

❖ 100 ml de solution de métol-sulfite.

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

- **Mode opératoire**

Introduire à la pipette dans trois béchers 5 ml de réactif 1, ajouter 12,5 ml de chaque échantillon, boucher et mélanger et attendre 10 min.

Ensuite ajouter 7,5 ml de réactif 2 et mélanger à nouveau et attendre 02 h et faire les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 810 nm.



Figure 18 : Dosage de silicium.

7.2.7. Nitrite (NO_2^-) :

- **Principe**

En milieu acide ($\text{pH}=1,9$), les ions nitrites interagissent avec le sulfamide pour créer un sel de di-azonium (diazotation), qui à son tour réagit avec le N-(1-naphtyl). Un colorant azoïque rouge à base d'éthylènediamine-dichlorohydraté.

- **Réactifs et solutions utilisées**

✓ Réactif 1 : solution de sulfanilamide

✓ Réactif 2 : solution de N-naphtyl-éthylendiamine

- **Mode opératoire**

Verser 50 ml de chaque échantillon dans trois béchers. Ajouter ensuite 1 ml du réactif 1, bien homogénéiser, puis laisser reposer pendant un délai maximal de 8 minutes.

Ajouter ensuite 1 ml du réactif 2, mélanger de nouveau, et laisser réagir entre 10 minutes et 2 heures. Réaliser ensuite les mesures au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 543 nm.



Figure 19 : Dosage de nitrite.

7.2.8. Nitrate (NO_3^-) :

- **Principe**

En milieu contenant du salicylate de sodium, les ions nitrates réagissent pour former du paranitrosoulate de sodium, un composé jaune permettant une quantification par méthode Colorimétrique.

- **Réactifs et solutions utilisées :** sont les mêmes réactifs de dosage de nitrite.
- **Mode opératoire**

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

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



Figure 20 : Dosage de nitrate.

7.2.9. Sulfate (SO_4^{2-})

- **Principe**

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

- **Réactifs et solutions utilisés :**

_ Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.

_ Solution de Tween 20 à 25 %.

_ Solution de chlorure de baryum.

✓ Solution de chlorure de baryum + Tween 20 : diluer 10g de chlorure de baryum dans 20 ml de Tween 20% et compléter à 100 ml par l'eau distillée.

- **Mode opératoire**

-Mettre 50 ml d'eau à analyser, ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique au 1/10 et 5 ml de solution de chlorure de baryum + Tween 20.

-Préparer dans les mêmes conditions un témoin en remplaçant l'eau à analyser par l'eau distillée.

-Agiter et laisser reposer 15 min. Agiter à nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm.



Figure 21 : Dosage de sulfate.

7.2.10. Phosphate (PO_3^{4-})

- **Principe**

En milieu acide, les orthophosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe phosphomolybdique. La réduction de ce complexe par l'acide ascorbique entraîne l'apparition d'une coloration bleue, mesurable par spectrophotométrie. Certaines formes organiques de phosphore peuvent subir une hydrolyse lors du développement de la coloration, libérant ainsi des orthophosphates. Afin d'accélérer cette réaction, un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium, est utilisé.

- **Solution et produits utilisé**

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

- **Mode opératoire :**

Préparation du mélange réactif : Verser 4 ml de solution de molybdate d'ammonium dans un bécher, puis ajouter successivement 10 ml d'acide sulfurique, 4 ml d'acide ascorbique et enfin 2 ml de solution d'oxytartrate de potassium et d'antimoine.

Après, Prélever 50 ml de chaque l'eau à analyser dans des béchers distincts, puis ajouter 5 ml du mélange réactif préparé. Laisser reposer pendant 5 minutes pour permettre le développement

de la réaction. Réaliser la lecture à une longueur d'onde de 650 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.



Figure 22 : Dosage de phosphate.

7.2.11. Ammonium (NH_4^+) :

- **Principe**

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

- **Solution et produits utilisé**

Réactif 01 : solution de phénol-nitroprussiate

Réactif 02 : solution alcaline d'hypochlorite

- **Mode opératoire :**

_ Mettre 100 ml d'eau à analyser directement dans les erlenmeyers de réaction, et ajouter 3 ml du réactif 1, boucher le flacon, puis agiter pour homogénéiser.

_ Ajouter sans délai 3 ml du réactif 2 et agiter de nouveau.

_ Placer immédiatement le flacon à l'abri de la lumière et laisser reposer toute la nuit à température ambiante ; après effectuer la lecture au spectromètre à 630 nm.



Figure 23 : Dosage d'ammonium.

8. Analyses bactériologiques de l'eau

Des analyses bactériologiques ont été réalisées au sein des laboratoires pédagogiques du département des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) du Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf de Mila, en vue d'évaluer la qualité bactériologique des eaux potables.

8.1. Recherche et dénombrement des Germes totaux

- **Principe**

Recherche et dénombrement des Germes totaux elle consiste en une estimation du nombre total des germes présents dans l'eau à analyser. Un volume précis d'eau analysé est incorporé dans le milieu gélose nutritive. La lecture se fait après 24 h d'incubation à 37°C et après 48 h d'incubation à 37°C (protocole d'analyse bactériologique de l'algérienne des eaux).

- **Mode opératoire :**

1. Désinfecter la paillasse à l'aide d'une solution d'eau de Javel, puis stériliser
2. l'environnement immédiat de travail à l'aide d'un bec Bunsen afin de créer un flux d'air ascendant limitant la contamination.
2. À l'aide d'une pipette stérile, déposer délicatement 20 gouttes de l'échantillon d'eau à analyser, goutte à goutte, dans des boîtes de Pétri stériles.
3. Verser ensuite la gélose nutritive stérile et fondue sur les gouttes déposées dans chaque boîte de Pétri.
4. Laisser solidifier les milieux à température ambiante.
5. Incuber les boîtes de Pétri à 37 °C pendant une durée de 24 à 48 heures.
6. À l'issue de l'incubation, procéder à la lecture et à l'interprétation des résultats microbiologiques.

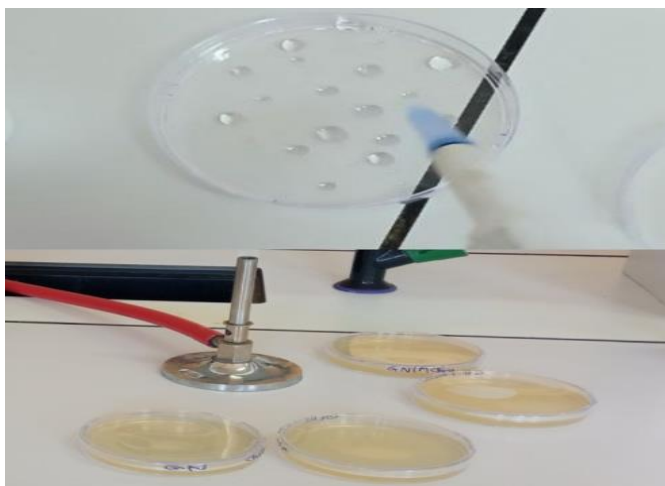


Figure 24 : les boîtes de pétri contiennent la GN avec l'eau analysée.

8.2. Recherche et dénombrement des *Clostridium*-sulfito-réducteurs

- **Principe**

Nous utilisons la gélose viande – foie (VF) préalablement fondue au bain marie ($47 \pm 1^\circ \text{C}$) et refroidie, auxquelles nous ajoutons de sulfite de sodium et l'alun de fer de telle façon que pour un flacon de 200ml de gélose, nous ajoutons 05ml sulfite de sodium stérilisé à 5 % et 2 ml d'alun de fer ammoniacal préparé aseptiquement à 5 %. Les tubes positifs sont ceux qui contiennent des colonies noires entourées d'un halo noir. (Sont des colonies de *Clostridium* – sulfito – réducteurs).

- **Mode opératoire :**

Protocole d'analyse des bactéries anaérobies sulfito-réductrices dans l'eau :

1. Prélever environ 20 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans un tube stérile.
2. Soumettre ce tube à un traitement thermique à 75°C pendant 15 minutes afin d'éliminer toutes les formes végétatives potentielles des bactéries anaérobies sulfito-réductrices.
(Un deuxième flacon contenant un autre échantillon d'eau sera utilisé comme témoin de température pour vérifier la stabilité thermique).
3. Après le chauffage, refroidir immédiatement le tube destiné à l'analyse en le plaçant sous un jet d'eau du robinet.
4. Répartir ensuite le contenu du tube en quatre tubes stériles, en transférant 5 ml dans chacun.
5. Ajouter à chaque tube environ 18 à 20 ml de gélose VF fondue et maintenue à une température adaptée pour ne pas endommager les microorganismes résiduels.
6. Homogénéiser délicatement le contenu de chaque tube en évitant l'introduction de bulles d'air ou d'oxygène.

7. Laisser les tubes solidifier à température ambiante sur la paillasse pendant environ 30 minutes.
8. Incuber les tubes solidifiés à 36 ± 2 °C pendant 44 ± 2 heures.



Figure 25 : Les tubes stérile contient la VF avec l'eau analysé.

8.3. Recherche des streptocoques

- **Principe**

La recherche des streptocoques est réalisée en utilisant un milieu Rothe simple (**Bricha, 2007**)

. L'incubation des échantillons s'effectue à 37 °C pendant une durée de 24 à 48 heures (**Lebres, 2002**). Les tubes présentant un trouble microbien après incubation seront considérés comme positifs (**Rejesk, 2002**).

- **Mode opératoire :**

1. Désinfecter la paillasse à l'aide d'une solution d'eau de Javel, puis stériliser l'environnement de travail en maintenant une flamme de bec Bunsen allumée afin de limiter la contamination.
2. Verser du bouillon de Roth M.R stérile dans des boîtes de Pétri.
3. Laisser le milieu solidifier à température ambiante.
4. À l'aide d'une pipette stérile, déposer quatre gouttes de l'échantillon d'eau à analyser, goutte à goutte, sur la surface du milieu solidifié dans chaque boîte de Pétri.
5. Ensemencer les gouttes à l'aide d'une anse de platine, d'un ensemenceur métallique ou en verre stérile.
6. Incuber les boîtes à 37 °C pendant 24 heures.
7. Après incubation, procéder à l'observation et à l'interprétation des résultats.

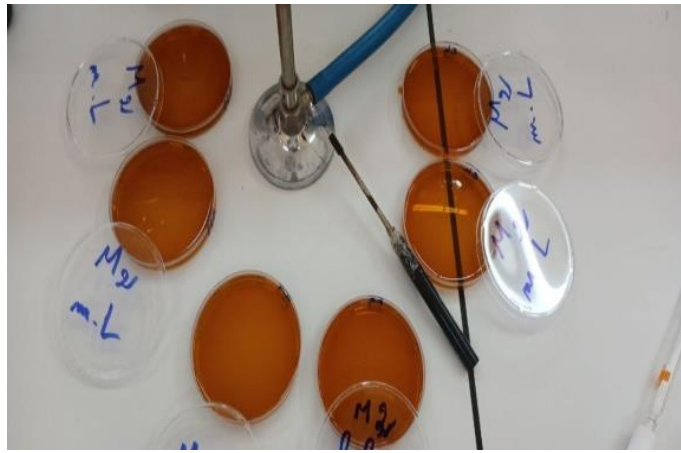


Figure 26 : Les boîtes de pétri contient MR avec l'eau analysé.

Chapitre IV :

Résultats et discussion

Dans le cadre de cette étude expérimentale, nous avons effectué une série d’analyses sur des échantillons d’eau prélevés dans la wilaya de Mila, en particulier au niveau des communes Chigara, Mechira et Ouled Khelouf.

L’objectif principal est d’évaluer la qualité de l’eau à travers l’analyse de ses paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Les prélèvements ont été réalisés dans trois stations distinctes durant une période de trois mois (de Février à Avril), de l’année universitaire 2024/2025. Les résultats obtenus ont été présentés sous forme de tableaux et de graphiques, puis comparés aux normes algériennes ainsi qu’aux recommandations de l’Organisation mondiale de la santé, dans le but de vérifier le niveau de qualité de l’eau.

1. Résultats des paramètres physico-chimiques

Tableau 13 : Les résultats des différents paramètres physico-chimiques.

Paramètre Physico-chimique	Mois	Les sources			Normes Algérienne	Normes OMS
		Chigara	Mechira	Ouled Khelouf		
pH	Février	7,3	8	7,8	6,5-8,5	9,2
	Mars	7,5	8,2	7,8		
	Avril	7,1	8	7		
Température (C°)	Février	16,8	18,4	19,2	25	25
	Mars	20,9	11,7	19		
	Avril	22,9	22	24		
CE (µs/cm)	Février	547	398	368	2800	1400
	Mars	563	411	364		
	Avril	610	380	490		
Salinité (g/l)	Février	0,2	0,1	0,1	5	5
	Mars	0,1	0,1	0,1		
	Avril	0,5	0,2	0,4		
TDS (mg/l)	Février	592	431	399	1110	1110
	Mars	611	395	444		
	Avril	603	380	490		

Turbidité (NTU)	Fivrier	0,57	0,19	0,43	5	5
	Mars	1,2	0,26	0,66		
	Avril	1,04	0,25	0,55		
Nitrate (NO₃⁻) (mg/l)	Février	0,188	0,297	0,141	50	50
	Mars	0,412	0,108	0,0975		
	Avril	0,008	0,003	0,012		
Nitrite (NO₂⁻) (mg/l)	Février	0,0415	0,0502	0,0437	0,1	0,1
	Mars	0,899	0,052	0,206		
	Avril	0,020	0,017	0,018		
Sulfate (SO₄²⁻) (mg/l)	Février	27,038	32,23	37,0384	400	250
	Mars	30,115	37,615	48,384		
	Avril	23,769	28,576	42,038		
Phosphate (PO₄⁻) (mg/l)	Février	0,291	0,192	0,048	0,5	—
	Mars	1,1095	0,5601	0,3024		
	Avril	0,129	0,047	0,041		
Chlorure (Cl⁻) (mg/l)	Février	49,7	142	63,9	500	250
	Mars	145,55	85,2	92,3		
	Avril	145,55	78,1	67,45		
Ammonium (NH₄⁺) (mg/l)	Février	0,060	0,067	0,031	0,5	0,5
	Mars	0,010	0,007	0,008		
	Avril	0,0249	0,00812	0,0308		
Silisium (SiOH₄) (mg/l)	Février	15,1399	11,5184	17,2982	10	10
	Mars	10,607	16,11	15,556		
	Avril	17,95	12,785	13,319		
Sodium (Na⁺) (mg/l)	Février	32,2	92	41,4	200	200
	Mars	94,3	55,2	59,8		
	Avril	94,3	50,6	43,7		
Calcium (Ca₂⁺)	Février	4,1	3,3	2,2		
	Mars	2	3,4	2,5		

(mg/l)	Avril	2,6	1,8	2,9	200	200
Magnésium (Mg²⁺) (mg/l)	Février	13	13,5	10,3	150	150
	Mars	5,5	7,5	7,2		
	Avril	8,2	9	7,8		
Carbonate (CO₃²⁻) (mg/l)	Février	0	0	0	—	125
	Mars	0	0	0		
	Avril	0	0	0		
Bicarbonate (HCO₃⁻) (mg/l)	Février	24,4	6,1	12,2	—	125
	Mars	18,3	12,2	18,3		
	Avril	18,3	12,2	24,4		

1.1. Résultats physique

1.1.1. Température (T°)

La figure représente la variation spatiale de température dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

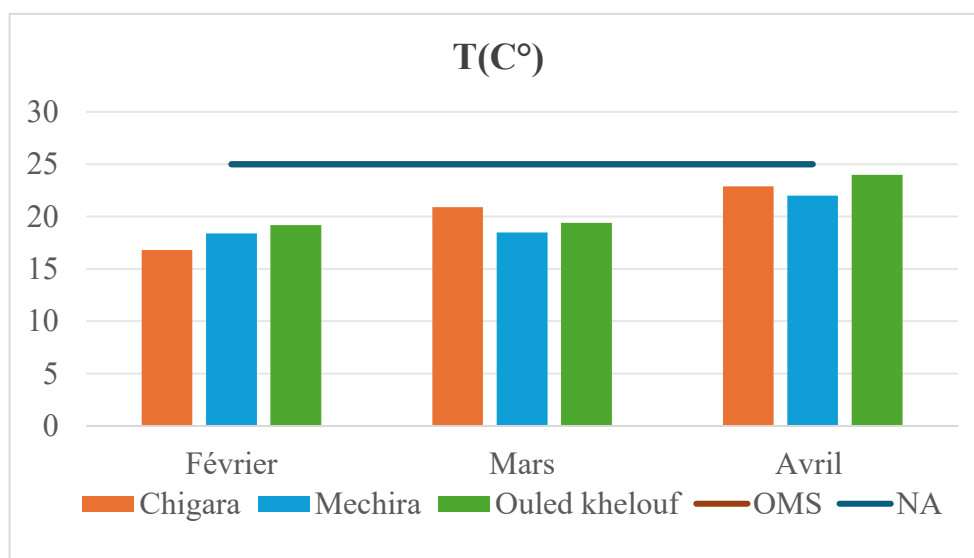


Figure 27 : La variation de température dans des eaux étudiées.

D'après nos résultats obtenus, la température des échantillons d'eau prélevés dans les trois sources au cours de la période d'étude (Février, Mars et Avril) varie entre 16,8°C et 24,2°C. La température la plus basse (16,8°C) a été enregistrée à Chigara en Février, tandis que la T° la

plus élevée (24,2°C) a été relevé à Ouled Khelouf en Avril. De manière générale, les valeurs enregistrées sont conformes aux NA ainsi qu'aux recommandations de l'OMS, qui fixent la température maximale admissible de l'eau potable à 25°C. La variation observée dans les températures des eaux durant les mois de l'étude peut être expliquée par des facteurs climatiques et le moment du prélèvement, ainsi que par la nature des sources d'eau, leur exposition au rayonnement solaire, la présence de couverture végétale, en plus d'éventuelles activités humaines autour des sites, ce qui contribue collectivement à influencer les valeurs thermiques mesurées. Et c'est selon Dib. (2009), la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques et par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes).

1.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

La figure représente la variation spatiale de pH dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

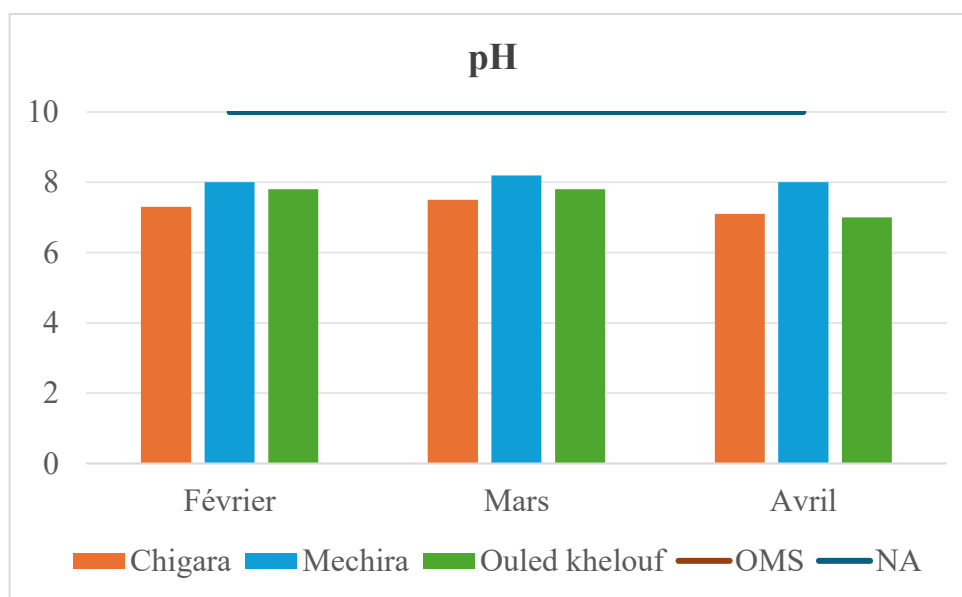


Figure 28 : La variation de pH dans des eaux étudiées.

D'après nos résultats obtenus, les valeurs du pH enregistrées pour l'ensemble des échantillons prélevés dans les trois sources, au cours des mois de Février, Mars et Avril, se situent dans une plage neutre, variant entre 7 et 8,2. Ces résultats sont en conformité avec les NA, qui préconisent une valeur de pH comprise entre 6,5 et 8,5, ainsi qu'avec la limite fixée par l'OMS, qui est de 9,2. Cela témoigne d'une qualité acceptable de l'eau du point de vue de son acidité. Et c'est selon Saadali. (2007) ; Gouaidia. (2008), le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés.

1.1.3. Conductivité électrique CE

La figure représente la variation spatiale de conductivité électrique dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

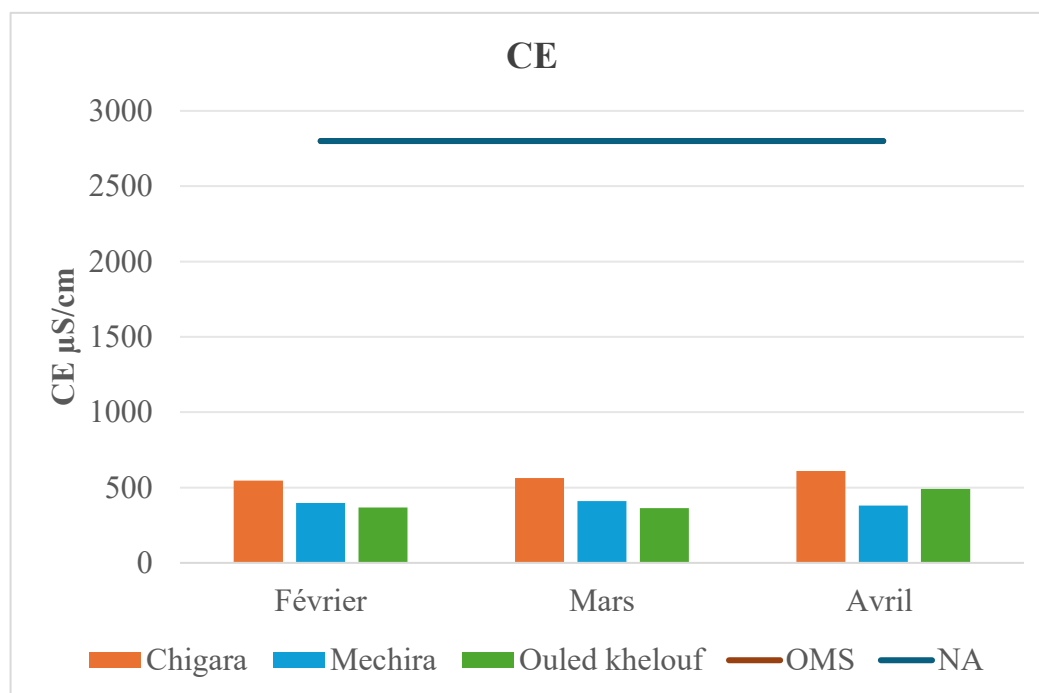


Figure 29 : La variation de CE dans des eaux étudiées.

D'après Le graphe obtenu montrent que la conductivité de l'eau dans les sources étudiées est globalement conforme aux normes définies par la réglementation algérienne. Les valeurs mesurées varient entre 364 $\mu\text{S/cm}$ et 610 $\mu\text{S/cm}$, ce qui reste largement en dessous de la limite maximale fixée par la NA, soit 2800 $\mu\text{S/cm}$. Ces mesures ont été relevées durant les trois mois de (février, mars et avril) au niveau des trois sources. Et c'est selon Rodier et al. (2009), signalent que la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium (Ca^{2+}), de sodium (Na^{+}), de chlorures (Cl^{-}), des bicarbonates (HCO_3^{-})...etc.

1.1.4. Turbidité

La figure représente la variation spatiale de turbidité dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

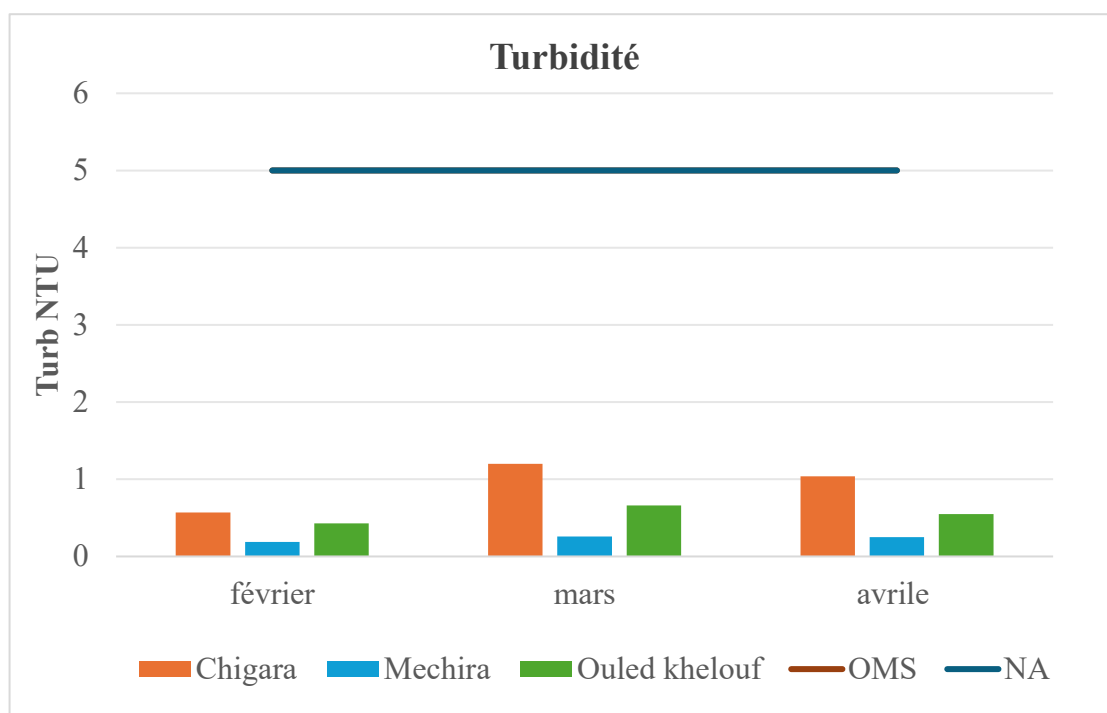


Figure 30 : La variation de Turbidité dans des eaux étudiées

D'après le graphe obtenues montrent que les valeurs de turbidité mesurées dans les différentes sources d'eau étudiées varient entre 0,19 et 1,20 NTU, ce qui reste largement en dessous de la limite maximale fixée par les NA ainsi que par celles de l'OMS, établies à 5 NTU. Cela indique que, dans des conditions normales, l'eau est claire et ne contient qu'une faible concentration de particules en suspension.

Cependant, une augmentation notable de la turbidité a été observée durant le mois de Mars dans l'ensemble des sources étudiées, avec une valeur maximale enregistrée au niveau du source de Chigara. Cette hausse est probablement liée aux précipitations survenues avant le prélèvement des échantillons. En effet, les eaux de pluie peuvent entraîner des particules de sol et autres matières en suspension vers les sources d'eau, augmentant ainsi la turbidité. Ainsi, la qualité de l'eau dans les trois sources peut être considérée comme satisfaisante, ce qui témoigne de l'efficacité des processus de clarification naturels ou artificiels auxquels l'eau. Et c'est selon Rodier et al. (2005) ; Hade. (2007), la turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu) ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau.

1.1.5. Total des solides dissous (TDS)

La figure représente la variation spatiale de TDS dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

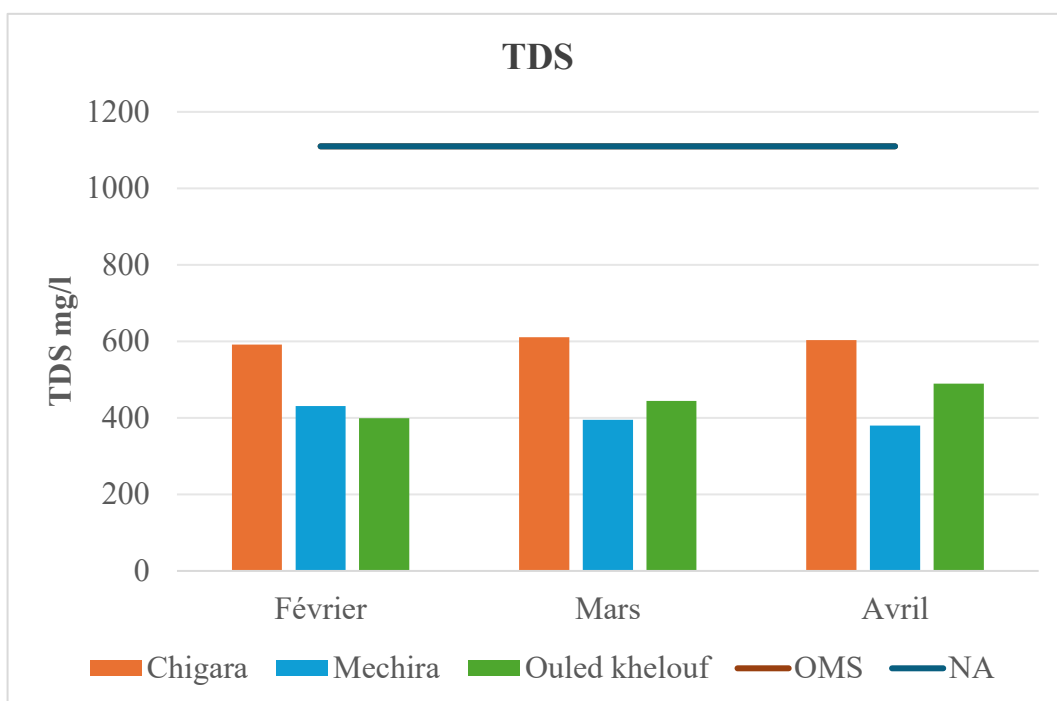


Figure 31 : La variation de TDS dans des eaux étudiées.

D'après les résultats du TDS étudiés, nous constatons que les valeurs mesurées des solides dissous totaux (TDS) varient entre 395 mg/l et 611 mg/l. La concentration maximale, soit 611 mg/l, a été enregistrée à la station de Chigara au mois de Mars, tandis que la concentration minimale de 395 mg/l a été observée à la station de Mechira durant le même mois. Il convient de souligner que les valeurs de TDS mesurées dans les sources de Chigara, Mechira et Ouled Khelouf durant les trois mois respectent les NA ainsi que celles de l'OMS, fixées à 1110 mg/l. Cependant, une élévation relative des valeurs de TDS a été constatée au niveau de la source de Chigara par rapport aux autres stations durant cette période. Cette augmentation peut être expliquée par une concentration élevée de sels dissous dans l'eau analysée, due principalement à un déficit en précipitations.

1.1.6. Salinité

La figure représente la variation spatiale de salinité dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

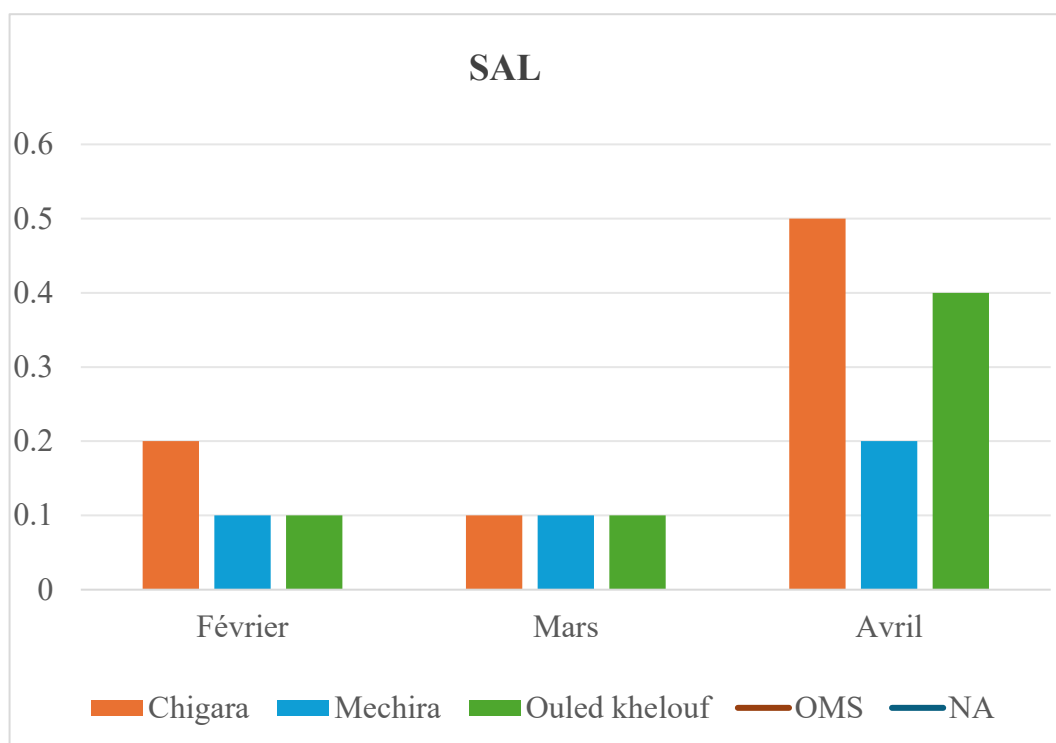


Figure 32 : La variation de salinité dans des eaux étudiées.

Le graphe montre que la salinité varie entre 0,1 g/L et 0,5 g/L. La valeur la plus élevée, soit 0,5 mg/L, a été enregistrée au mois d'avril dans la région de Chigara. En revanche, la valeur minimale de 0,1 g/L a été observée dans les trois sources au mois de Mars.

Ces résultats indiquent une augmentation de la salinité au mois d'Avril, période caractérisée par une faible pluviométrie, ce qui favorise l'évaporation et par conséquent, l'augmentation de la concentration des sels. À l'opposé, une diminution des niveaux de salinité est constatée en Mars, mois marqué par des précipitations plus abondantes, entraînant une dilution des sels dans les milieux aquatiques. Ainsi, il est possible de conclure que la salinité augmente durant les périodes de forte évaporation et diminue lors des périodes de pluies.

1.2. Résultats chimique

1.2.1. Sulfate (SO_4^{2-})

La figure représente la variation spatiale de sulfate dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

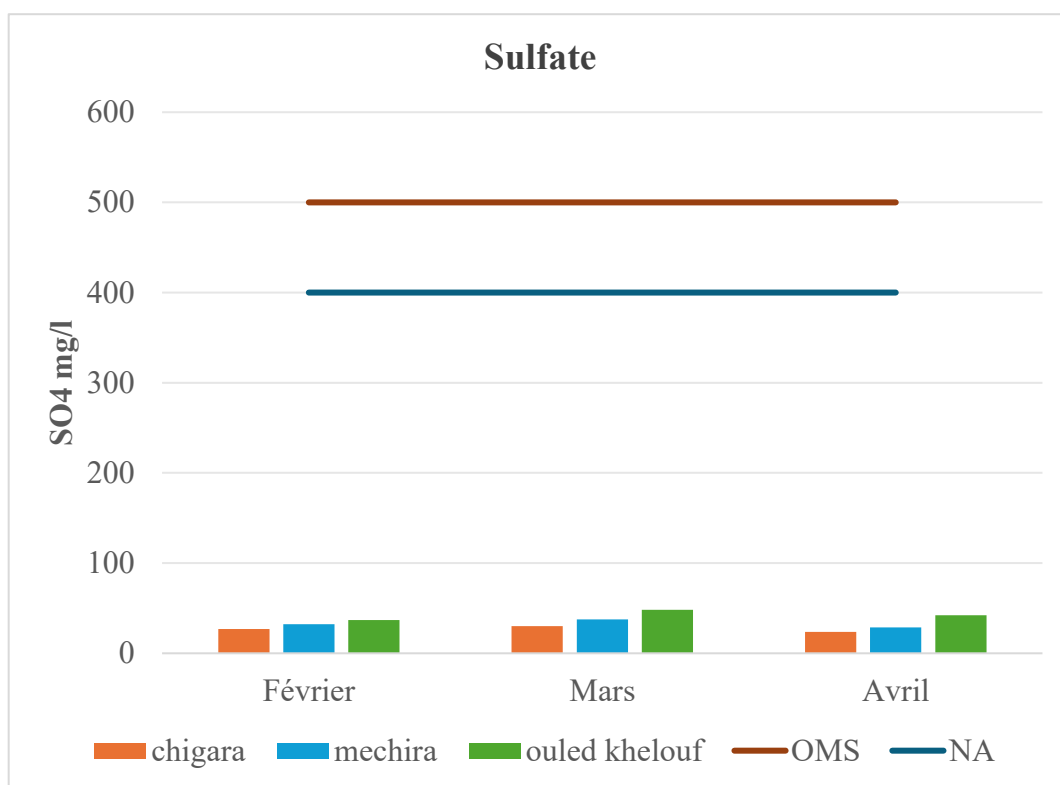


Figure 33 : La variation de sulfate dans des eaux étudiées.

D'après les données présentées dans le graphique, on observe que la concentration en sulfates dans les eaux des sources étudiées varie entre 23,7 mg/L et 48,3 mg/L. La valeur maximale (48,3 mg/L) a été enregistrée à Ouled Khelouf au mois de Mars, tandis que la valeur minimale (23,7 mg/L) a été relevée à Chigara au mois de Avril.

Ces concentrations demeurent conformes aux NA fixées à 400 mg/L, ainsi qu'aux recommandations de l'OMS, qui établit une limite de 250 mg/L. Il est à noter que le site d'Ouled Khelouf présente une teneur relativement élevée en sulfates, ce qui pourrait être attribué à la nature géologique des formations rocheuses traversées par les eaux souterraines. Il est probable que ces roches soient riches en composés sulfatés, tels que le gypse, qui contient du sulfate de calcium hydraté. Et c'est selon Boucenna. (2009), les sulfates sont présents dans l'eau en quantités variables. Ils peuvent provenir de : la solubilité des formations gypseuses dans le haut bassin versant ou du lessivage des niveaux argileux et marneux de la nappe, rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4) et l'utilisation d'engrais chimiques.

1.2.2. Silicium ($Si(OH)_4$)

La figure représente la variation spatiale de sulfate dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

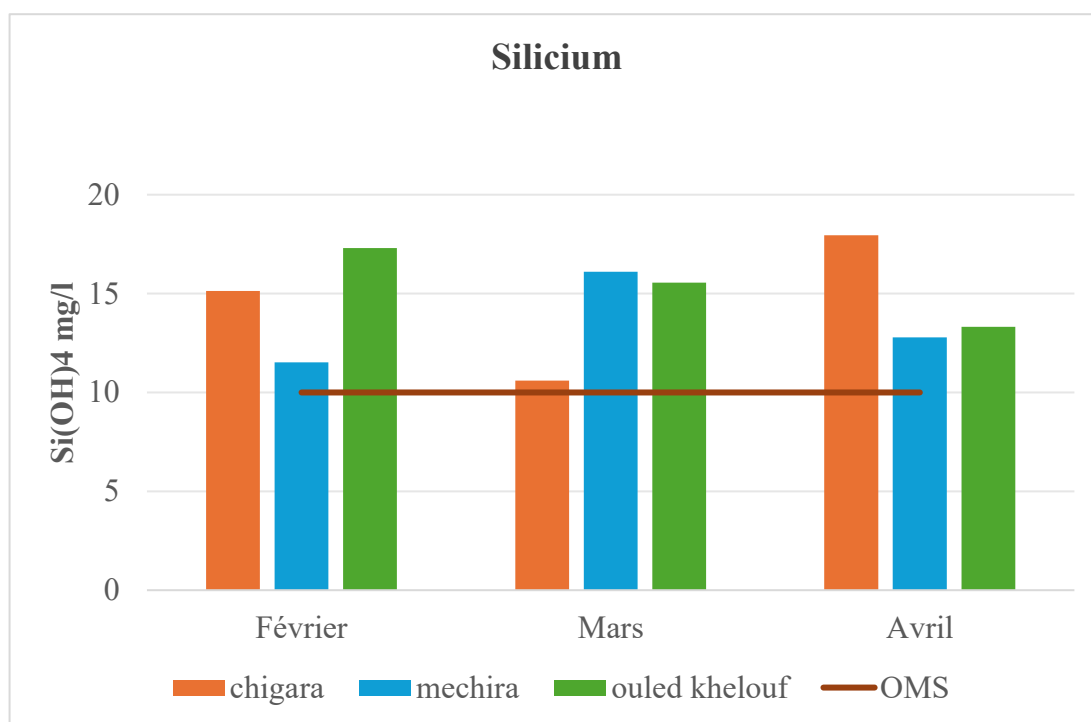


Figure 34 : La variation de silicium dans des eaux étudiées.

D'après le graphe révèle que les concentrations en silicium dans les eaux souterraines de trois sources durant les mois de Février, Mars et Avril dépassent la limite fixée par les autorités des NA et l'OMS, qui est de 10 mg/L. La valeur maximale a été enregistrée à Chigara au mois d'Avril, avec une concentration de 17,95 mg/L, tandis que la valeur minimale a été observée dans la même source en Mars, avec un taux de 10,60 mg/L. L'augmentation de la concentration de silicium dans les eaux souterraines est due à la dissolution des minéraux silicatés, tels que le quartz, le feldspath et le mica, lors du passage de l'eau à travers les roches riches en ces composants, où les processus d'altération et de dissolution chimique libèrent le silicium dans le système aquatique.

1.2.3. Magnésium (Mg^{2+})

La figure représente la variation spatiale de magnésium dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

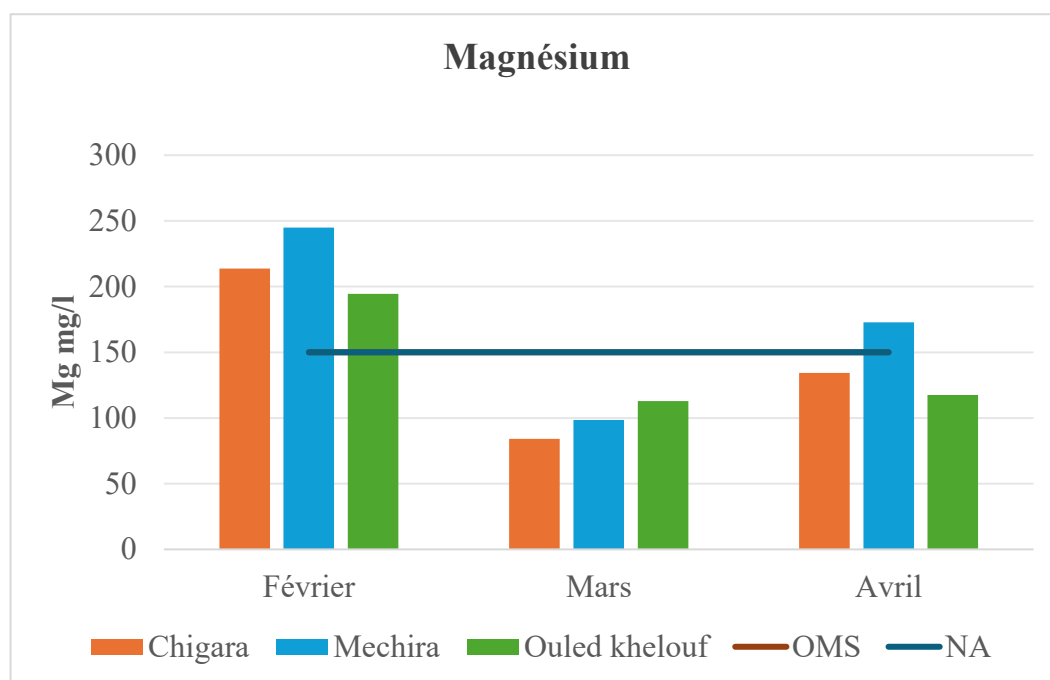


Figure 35 : La variation de magnésium dans des eaux étudiées.

D'après le graphe, les résultats obtenus montrent que les concentrations en magnésium aux trois sources, sur la période de Février à Avril, varient entre 84 mg/L et 244,8 mg/L. La concentration maximale a été enregistrée à la station de Mechira au mois de Février avec une valeur de 244,8 mg/L, tandis que la concentration minimale a été observée à Chigara au mois de Mars, atteignant 84 mg/L. Le mois de Février a connu une élévation des concentrations dans les trois stations, dépassant la norme recommandée par les standards internationaux et les normes algériennes (150 mg/L). Une concentration élevée a également été enregistrée à Mechira durant le mois d'Avril.

L'augmentation de la concentration en magnésium dans les eaux souterraines est attribuée aux interactions géochimiques entre l'eau et les roches riches en minéraux magnésiens, tels que la dolomite et la magnésite. Les caractéristiques géologiques des formations, ainsi que des facteurs physico-chimiques comme le pH et la température, favorisent la dissolution du magnésium. De plus, les activités agricoles, notamment l'utilisation d'engrais contenant du magnésium, peuvent contribuer à l'infiltration de cet élément dans les nappes phréatiques. Et c'est selon Nouayti et al. (2015), La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

1.2.4. Calcium (Ca^{+})

La figure représente la variation spatiale de calcium dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

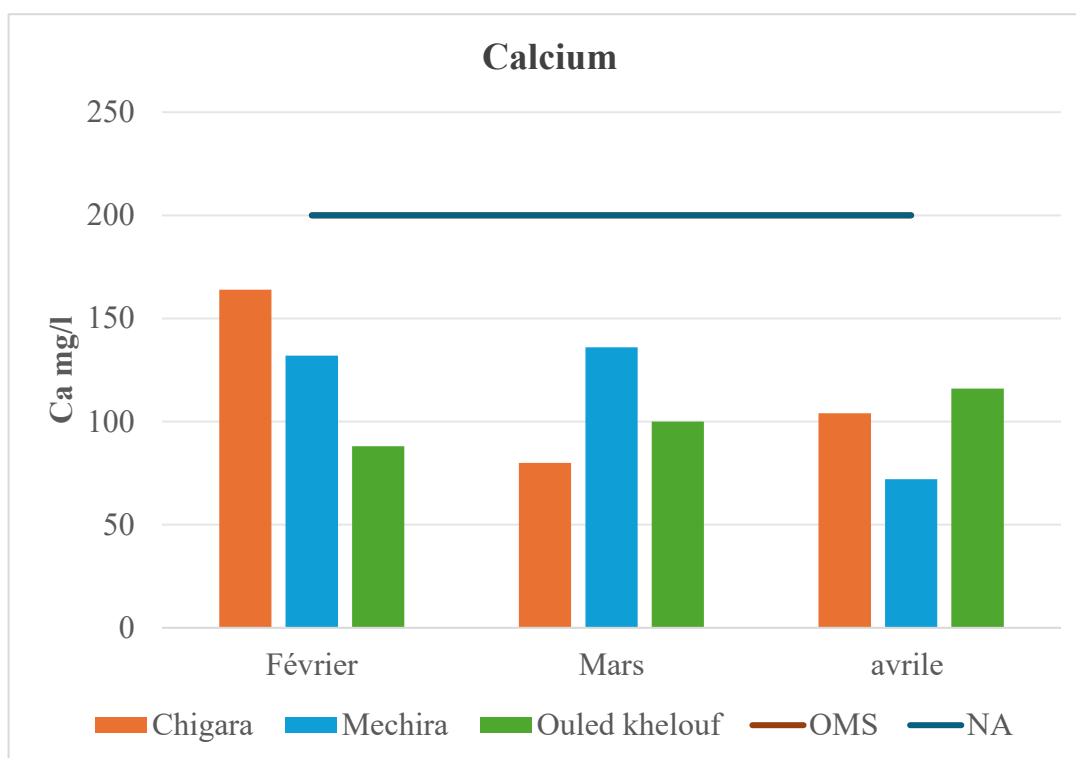


Figure 36 : La variation de calcium dans des eaux étudiées.

Selon les données de graphe, la concentration en calcium dans l'eau varie entre 72 mg/L et 164 mg/L. La valeur minimale (72 mg/L) a été enregistrée à la station de Mechira durant le mois d'Avril, tandis que la valeur maximale (164 mg/L) a été relevée à la source de Chigara au cours du mois de Février. Ces résultats indiquent que la concentration en calcium reste en dessous de la limite maximale recommandée par l'OMS et les NA (200 mg/L). L'augmentation observée de la concentration en calcium, bien qu'elle demeure dans les limites autorisées, est attribuée à des facteurs géologiques naturels, notamment la dissolution des roches carbonatées telles que la calcite et la dolomite, ainsi qu'à l'effet des conditions hydrologiques saisonnières qui favorisent le transfert des ions calcium vers le milieu aquatique.

1.2.5. Nitrite (NO_2^-)

La figure représente la variation spatiale de nitrite dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

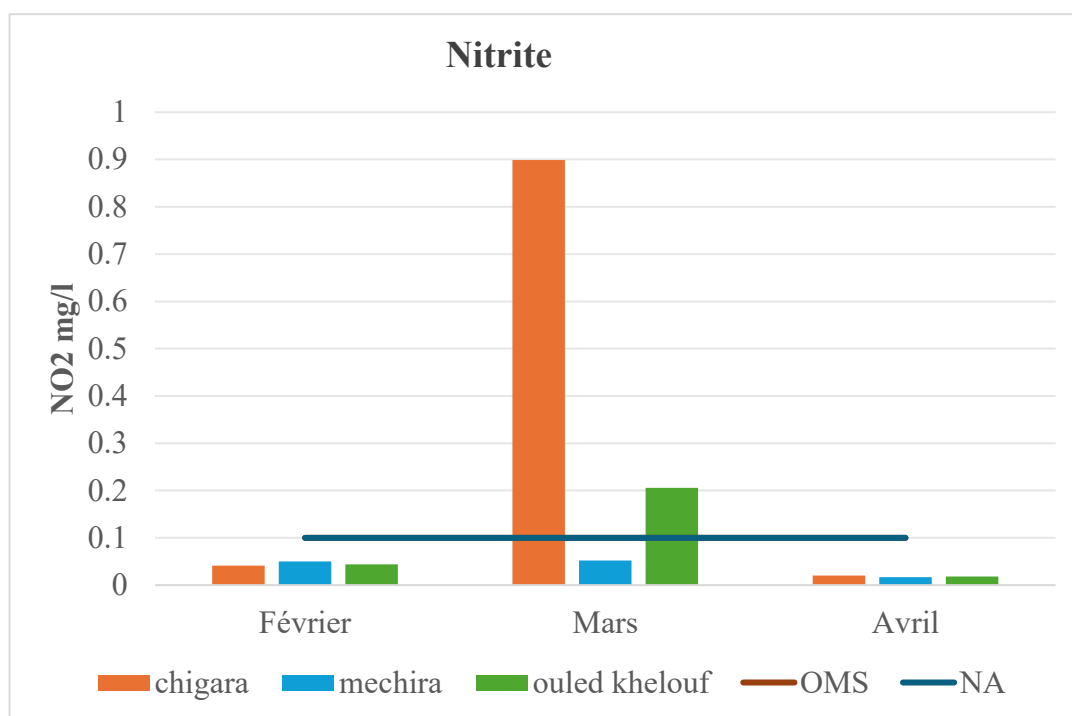


Figure 37 : La variation de nitrite dans des eaux étudiées.

Selon le graphe les valeurs de nitrite mesurées dans les différentes sources d'eau étudiées varient entre 0,017 mg/L et 0,899 mg/L. La valeur maximale de 0,899 mg/L a été enregistrée à Chigara au mois de mars, tandis que la valeur minimale de 0,017 mg/L a été observée à Mechira en Avril.

En réalité, les concentrations mesurées sont conformes aux NA (0,1 mg/L) et aux normes de l'OMS (0,1 mg/L), à l'exception des stations de Chigara (0,899 mg/L) et Ouled Khelouf (0,206 mg/L) qui ont connu une augmentation au mois de Mars. Cette élévation peut s'expliquer par la décomposition de matières organiques (plantes, animaux), par l'activité de bactéries anaérobies qui transforment les nitrates en nitrites, ou encore par la proximité d'activités agricoles, où les précipitations facilitent le transfert des déchets vers les eaux. Et c'est selon Degbey et al. (2010) ; Bricha et al. (2007) ; Lagnika et al. (2014), La pollution nitrique des eaux souterraines serait due aux déchets des animaux, au fumier ou aux engrais chimiques utilisés dans la fertilisation des terres agricoles avoisinantes aux puits.

1.2.6. Nitrate (NO₃⁻)

La figure représente la variation spatiale de nitrate dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

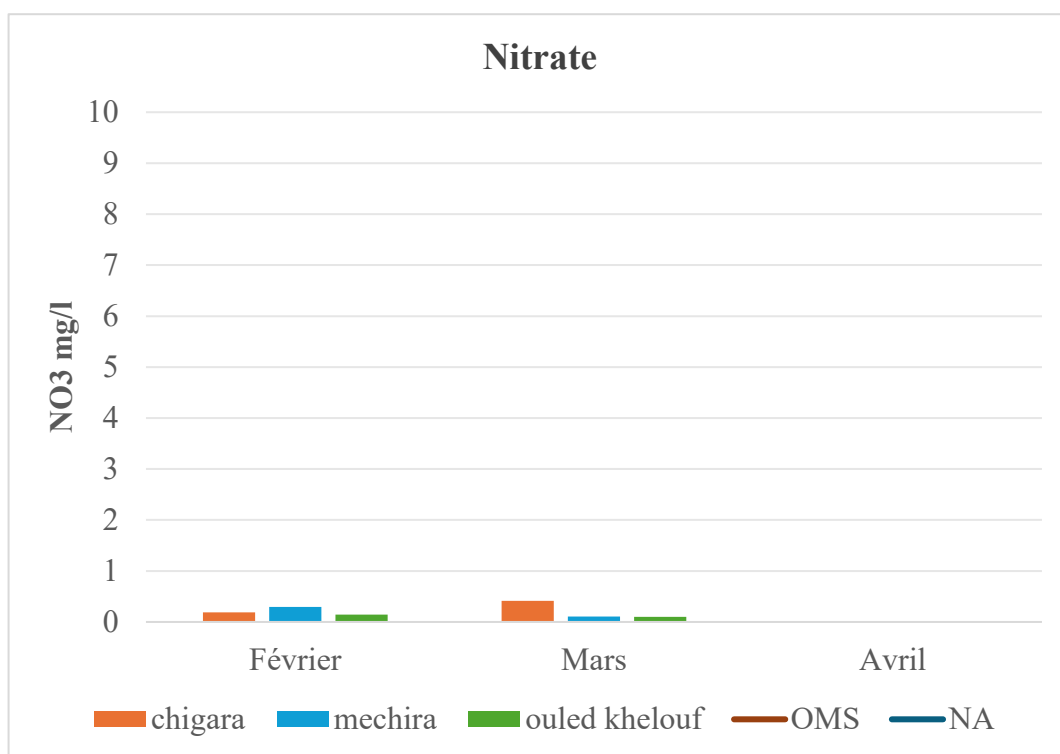


Figure 38 : La variation de nitrate dans des eaux étudiées

Selon les résultats obtenus à partir du graphique, il est constaté que la concentration de nitrate dans les échantillons d'eau étudiés se situe généralement dans les limites autorisées. Les valeurs enregistrées varient entre un minimum de 0,003 mg/L et un maximum de 0,188 mg/L. La concentration la plus basse (0,003 mg/L) a été enregistrée à Mechira au mois d'Avril, tandis que la valeur la plus élevée (0,188 mg/L) a été observée à Chigara en Février. Il est à noter que toutes les valeurs restent en dessous du seuil maximal autorisé par la législation algérienne et l'Organisation mondiale de la santé, fixé à 50 mg/L.

1.2.7. Phosphate (PO_4^-)

La figure représente la variation spatiale de phosphate dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

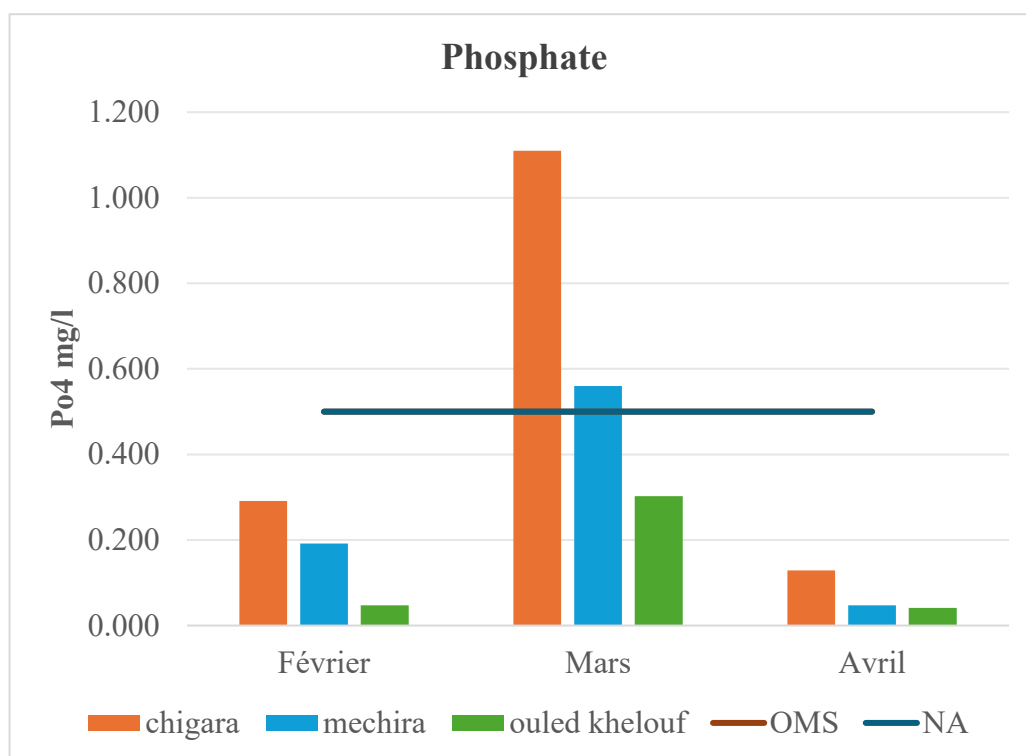


Figure 39 : La variation de phosphate dans des eaux étudiées.

D'après le graphe, les résultats obtenus montrent que les concentrations en phosphates dans les eaux des trois sources stations varient entre 0,041 mg/L et 1,1095 mg/L. Ces concentrations respectent les normes établies par les NA et l'OMS (0,5 mg/L), à l'exception des stations de Chigara (1,1095 mg/L) et Mechira (0,5601 mg/L) durant le mois de Mars, où les valeurs dépassent la limite recommandée.

Cette élévation des concentrations en phosphates observée en Mars à Chigara et Mechira pourrait s'expliquer par la présence de formations géologiques riches en minéraux phosphatés. La dégradation naturelle de ces roches, sous l'effet des précipitations et de l'altération chimique, libère des ions phosphate dans les eaux. Une autre hypothèse plausible serait le ruissellement des engrais phosphatés utilisés dans les activités agricoles situées à proximité des zones de collecte d'eau, notamment en période de fortes pluies. Et c'est selon Morabbi. (2013), les phosphates proviennent principalement de l'activité agricole, les eaux usées domestiques et de l'activité industrielle.

1.2.8. Ammonium (NH_4^+)

La figure représente la variation spatiale de ammonium dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

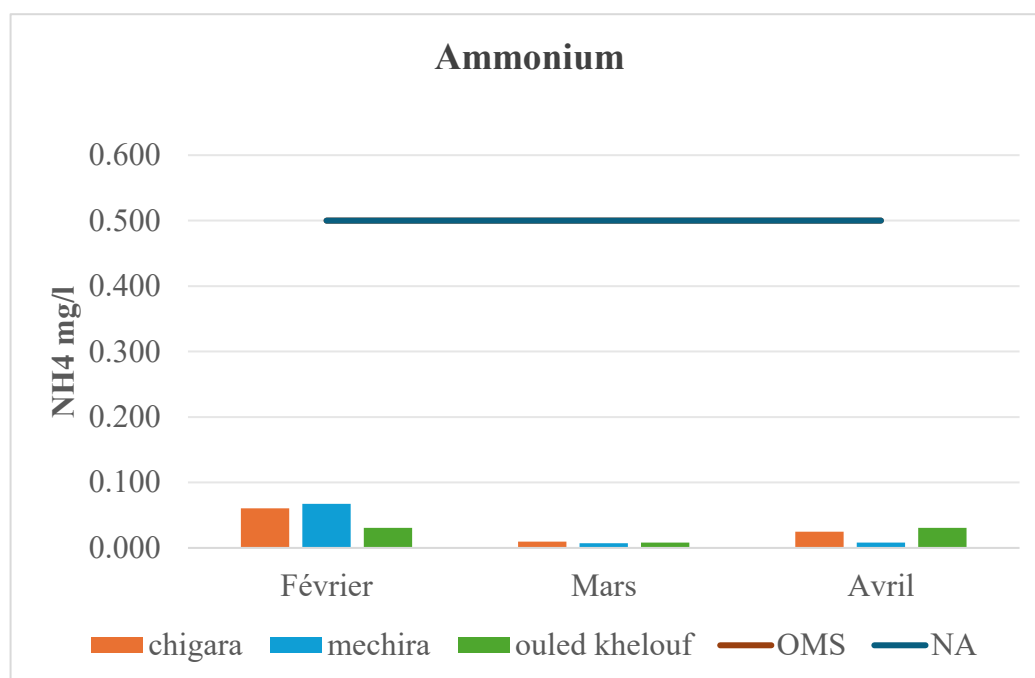


Figure 40 : La variation d'Ammonium dans des eaux étudiées.

D'après le graphe, les résultats obtenus ont montré que les concentrations en ammonium variaient entre 0,007 mg/L et 0,067 mg/L. La concentration maximale (0,067 mg/L) a été enregistrée au niveau de la source de Mechira durant le mois de Février, tandis que la concentration minimale (0,007 mg/L) a été relevée au même source au mois de Mars. Il convient de noter que ces valeurs restent conformes aux normes fixées par les NA ainsi que par l'OMS, qui établissent la limite maximale admissible de l'ammonium à 0,5 mg/L. selon Boukertouta. (2009), ammonium est souvent trouvé sous forme ionisée (NH_4^+) ou ionisée (NH_3), il peut avoir pour origine dans les eaux superficielles ; la matière végétale des cours d'eau, la matière organique animale ou humaine, les rejets industriels, les engrais.

1.2.9. Chlorure (Cl^-)

La figure représente la variation spatiale de chlorure dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

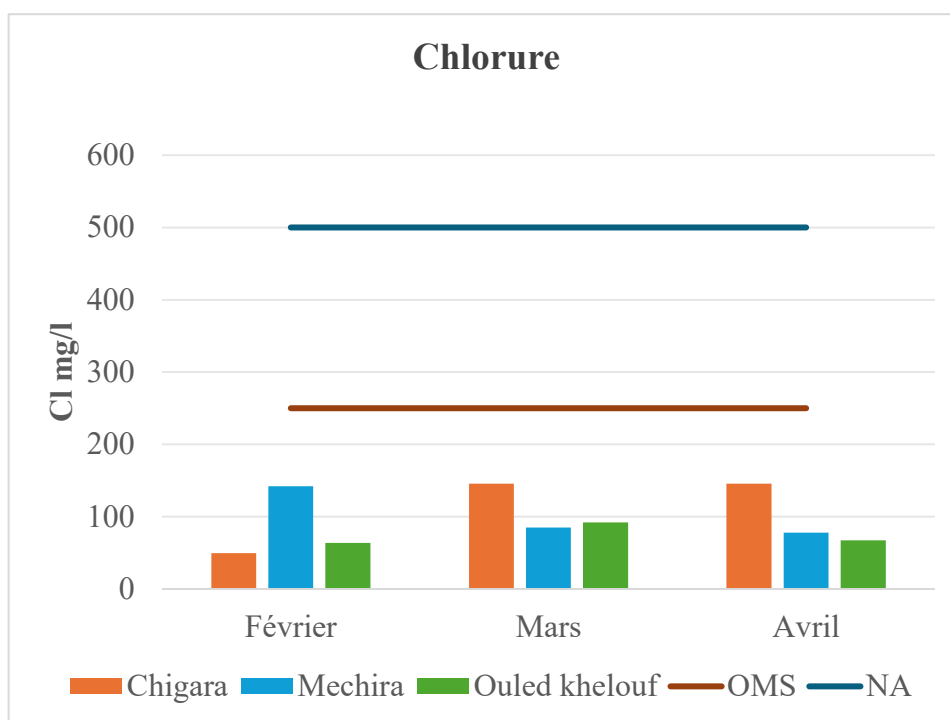


Figure 41 : La variation de chlorure dans des eaux étudiées.

D'après Le graphe obtenu montrent que la concentration en chlorures dans les eaux analysées varie entre 49,7 mg/L et 145,55 mg/L. La valeur minimale (49,7 mg/L) a été enregistrée à Chigara durant le mois de Février, tandis que la valeur maximale (145,55 mg/L) a été observée dans la même source au cours des mois de Mars et Avril. Ces résultats indiquent que la concentration en chlorures demeure inférieure aux limites recommandées par l'OMS (500 mg/L) et par les NA (250 mg/L).

1.2.10. Sodium (Na^+)

La figure représente la variation spatiale de sodium dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

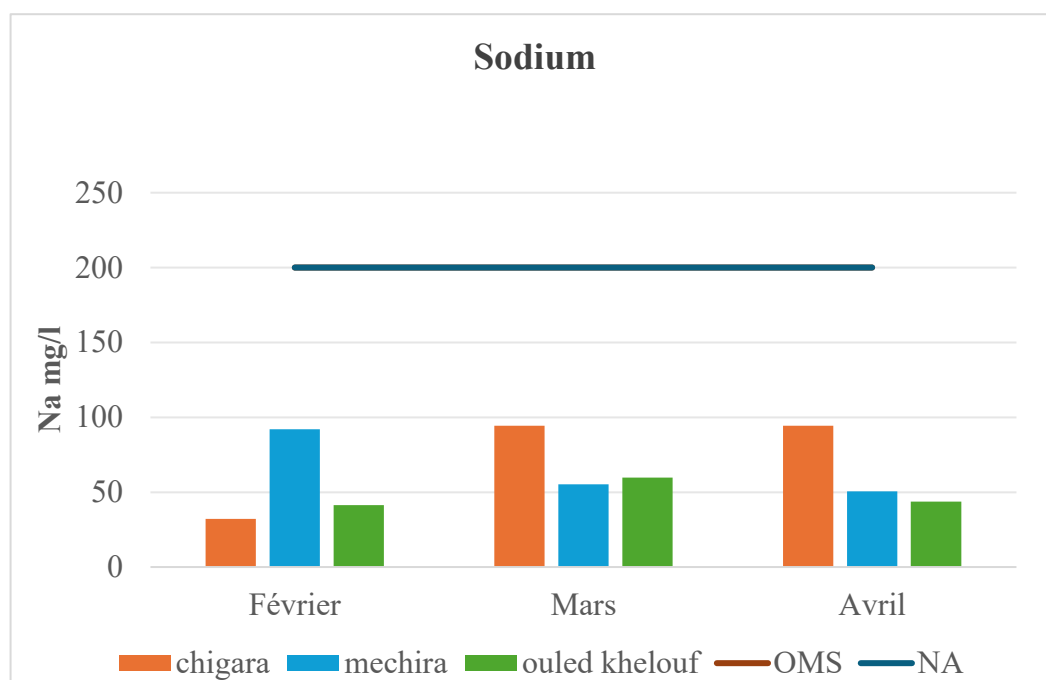


Figure 42 : La variation de sodium dans des eaux étudiées.

Les résultats obtenus des analyses effectuées ont montré que les concentrations de sodium dans l'eau variaient entre 32,2 mg/L et 94,3 mg/L dans les différentes stations étudiées. La concentration minimale, soit 32,2 mg/L, a été enregistrée au mois de Février à Chigara, tandis que la concentration maximale, soit 94,3 mg/L, a été observée dans la même station durant les mois de Mars et Avril. Ces résultats sont conformes aux normes et restent inférieurs à la limite fixée par les NA et par l'OMS (200 mg/L).

1.2.11. Carbonate (CO_3^{2-})

La figure représente la variation spatiale de carbonate dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

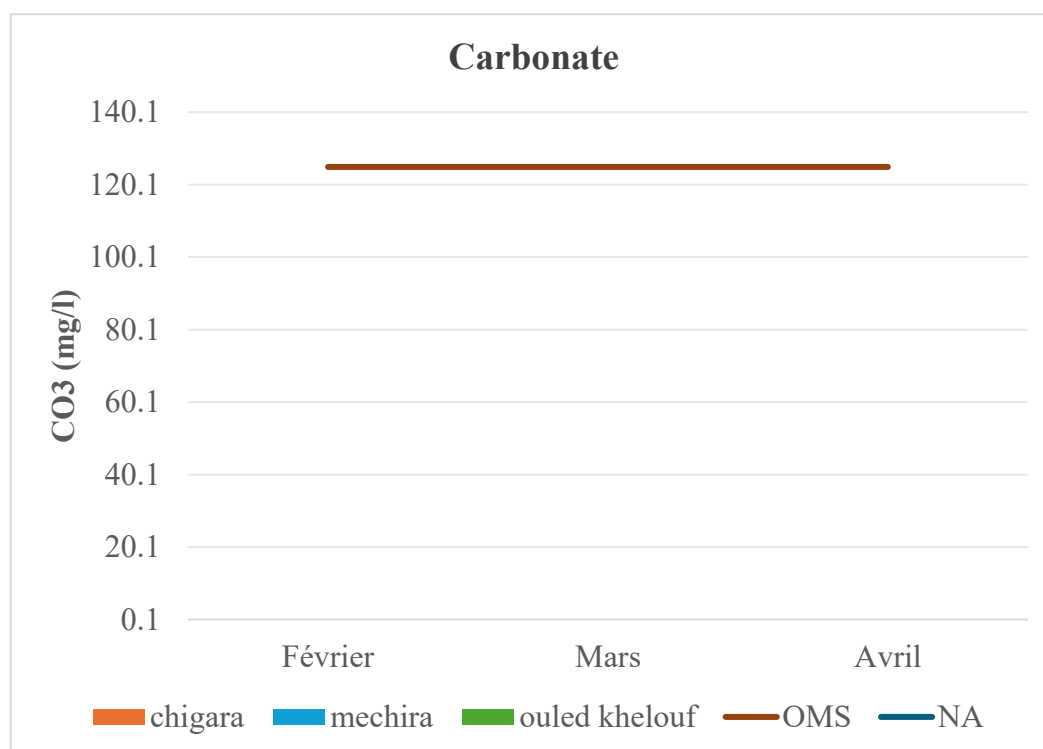


Figure 43 : La variation de carbonate dans des eaux étudiées.

L'analyse du graphique révèle des variations notables dans les concentrations en carbonates au niveau des différentes sources étudiées. Une valeur de 0 mg/L a été enregistrée dans les trois sources : Chigara , Mechira et Ouled Khelouf, durant les trois mois. L'absence de carbonates dans ces eaux peut être expliquée par plusieurs facteurs géologiques et chimiques. Sur le plan géologique, les formations dominantes dans les zones montagneuses entourant les stations sont essentiellement composées de roches ignées ou métamorphiques, telles que le granite et le schiste, qui sont naturellement pauvres en composés carbonatés, contrairement aux roches sédimentaires calcaires. Ce type de substrat ne favorise donc pas la dissolution des carbonates, ce qui justifie les faibles valeurs observées. Sur le plan chimique, les eaux souterraines de montagne sont généralement alimentées par les précipitations atmosphériques (pluie ou fonte de neige), qui présentent souvent un pH acide. Cette acidité contribue à la dissolution des carbonates et à leur transformation en dioxyde de carbone (CO_2) dissous ou volatil, ce qui réduit considérablement leur concentration dans l'eau.

1.2.12. Bicarbonate (HCO_3^-)

La figure représente la variation spatiale de bicarbonate dans les eaux pour les différents échantillons (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) étudiées pour trois mois :

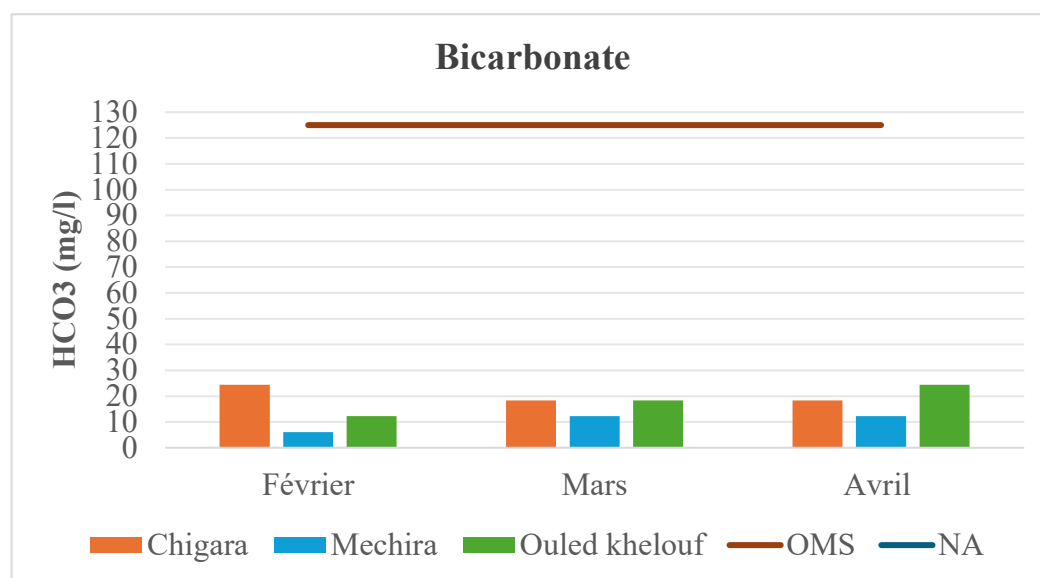


Figure 44 : La variation de bicarbonate dans des eaux étudiées.

D'après le graphe, les résultats obtenus montrent que la concentration en bicarbonates dans les sources varie entre 6,1 mg/L et 24,4 mg/L. La valeur minimale de 6,1 mg/L a été enregistrée à Mechira au mois de Février, tandis que la valeur maximale de 24,4 mg/L a été observée à Ouled Khelouf en Avril. Une stabilité des concentrations en bicarbonates a été notée durant les mois de Mars et Avril à Chigara et Mechira. Ces mesures sont conformes aux normes établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (125 mg/L). Et c'est selon Kherchiche. (2013), les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en CO₂ dissous et la nature lithologique du Sol.

2. Résultats des paramètres bactériologiques

Tableau 14 : Les résultats bactériologiques des eaux étudiées.

Les sources	Prélèvement du Février			Prélèvement du Mars			Prélèvement du Avril		
	Chigara	Mechira	Ouled Khelouf	Chigara	Mechira	Ouled Khelouf	Chigara	Mechira	Ouled Khelouf
Germe totaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Streptocoque	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs
Clostridium-sulfito-réducteur	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs

D'après le tableau ci-dessus, nous notons une absence totale de tous les indicateurs bactériens : Germe totaux, Streptocoque et Clostridium-sulfito-réducteur, dans les trois sources (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) durant les mois étudiés : février, mars et avril ; Cela peut être dû à la qualité élevée de l'eau, aux activités de conservation naturelles ou humaines et aux conditions climatiques durant la période de février à avril. Tous les échantillons testés étaient conformes aux NA et de l'OMS. Cela indique que l'eau étudiées présente une bonne qualité bactérienne et n'est pas contaminée.

Selon Figarella et Leyral (2002) ; Rodier et al. (2005), la présence des streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation.

3. L'indice de qualité d'eau

C'est une méthode très appréciable et largement utilisée dans l'évaluation de la qualité de l'eau potable. L'indice de qualité de l'eau (IQE) reflète l'influence composite des différents paramètres de qualité de l'eau sur sa potabilité et permet de décrire l'état global de la qualité de l'eau en un seul terme qui repose sur la comparaison des différents paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationale ou nationales recommandées (Abbasnia et al., 2018). Autrement dit, l'IQE synthétise de nombreuses informations sur la qualité de l'eau en utilisant des termes simples tels que « excellent », « bon », « mauvais »...etc., (Horton, 1965 ; Brown et al., 1970) ont été les premiers à suggérer cette méthode. Ces dernières années, de nombreuses recherches ont employé ce principe afin d'évaluer la qualité de l'eau souterraine en utilisant diverses méthodes de calcul. Ainsi, l'IQE a été utilisé dans cette recherche pour évaluer l'impact des éléments naturels et humains sur plusieurs indicateurs principaux de la chimie des eaux souterraines.

Dans notre étude, l'indice de la qualité de l'eau a été calculé selon la méthode proposée par Yidana et Yidana (Yidana S et Yidana A, 2010), cette approche, Une valeur numérique appelée poids (wight), comprise entre 2 et 5, est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence sur la qualité de l'eau. Un poids maximum de 5 a été attribué pour les NO_3^- , 4 pour le Cl^- et le T°C , 3 pour le TDS et le PH et CE, SO_4^{2-} , HCO_3^- et un poids minimum de 2 pour Na^+ , Turb, Ca^{2+} et Mg^{2+} . Les poids attribués aux différents paramètres physico-chimiques sont présentés dans le tableau15.

Tableau 15 : Poids des paramètres physico-chimiques.

Parameters	Facteur de poids (wi)	Poids relative (Wi)	Norme de l'OMS
pH	3	0,083	8,5
T°C	4	0,111	25
CE	3	0,083	900
TDS	3	0,083	600
Turb	2	0,056	5
Ca ²⁺	2	0,056	75
Mg ²⁺	2	0,056	50
Na ⁺	2	0,056	200
Cl ⁻	4	0,111	250
SO ₄ ²⁻	3	0,083	200
HCO ₃ ⁻	3	0,083	125
NO ₃ ⁻	5	0,139	50
Somme	36		

Trois étapes ont été suivies pour le calcul :

- ✓ dans la première étape c'est le poids relatif (Wi) de chaque paramètre qui a été déterminé à l'aide de l'équation (1) :

$$Wi = wi / \sum wi \text{ n}=1 \text{ -----}(1)$$

Où : Wi est le poids relatif.

Wi est le poids de chaque paramètre.

n est le nombre des paramètres.

- ✓ Dans la deuxième étape consiste au calcul de l'échelle de notation de la qualité (qi) à l'aide

$$\text{De l'équation (2) : } qi = (Ci/Si) \times 100 \text{ ----- (2)}$$

Où : qi : échelle de notation de la qualité.

Ci : la concentration de chaque paramètre en mg/l

Si : la norme de l'OMS de chaque paramètre en mg/l.

- ✓ Quant à la troisième étape au calcul du Sous-Indice de qualité (SI_i) (équation 3) qui est le premier indice à déterminer pour calculer l'Indice de la Qualité de l'Eau à partir de la somme des Sous Indices de chaque paramètre ce qui permet de déterminer l'IQE de chaque échantillon (équation 4) :

$$SI_i = W_i \times q_i \text{----- (3)}$$

$$IQE = \sum SI_i \text{----- (4)}$$

- ❖ Selon les valeurs des IQE, Quatre classes de qualité peuvent être identifiées (Tab16) :

Tableau 16 : Classification de l'eau selon l'IQE.

Valeur de l'IQE	Type d'eau
< 50	Excellente qualité
50-100.1	Bonne qualité
100-200.1	Mauvaise qualité
200-300.1	Très mauvaise qualité
>300	Eau non potable

Dans notre étude, l'indice de qualité d'eau est calculé en tenant compte de douze (12) paramètres physico-chimiques importants (pH, T°C, CE, TDS, Turbidité, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻) afin d'évaluer la qualité globale des eaux de notre étude durant les trois mois.

Tableau 17 : Résultat d'IQE.

	Chigara	Mechira	Ouled Khelouf
Février	70,53	55,53	45,75
Mars	52,38	44,30	47,16
Avril	56,32	45,32	50,04

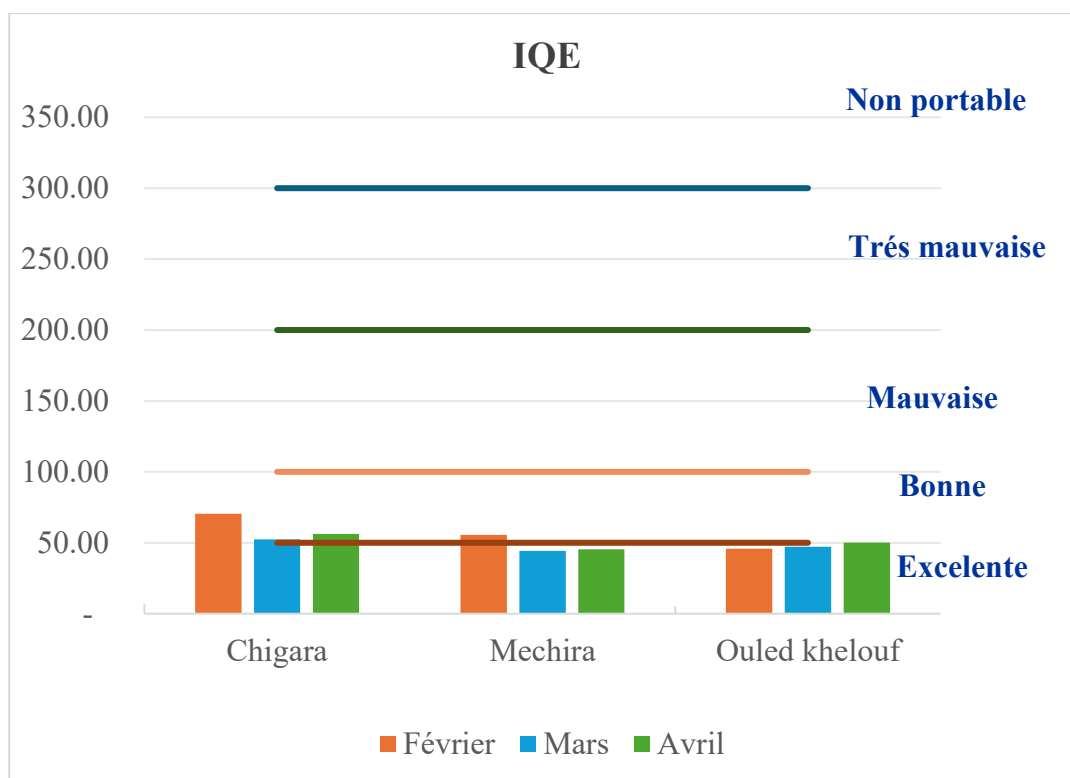


Figure 45 : Indice de qualité d'eau de trois stations pour trois mois

Selon les données présentées dans le tableau et la figure explicative, les observations suivantes peuvent être faites :

Pour la station de Chigara, l'indice de qualité de l'eau (IQE) enregistré était de 70,53 au mois de Février. Il a diminué en mars pour atteindre 52,38, puis a légèrement augmenté en Avril avec une valeur de 56,32. À partir de ces résultats, on peut conclure que la qualité de l'eau durant le mois de Mars était relativement meilleure que celle enregistrée en Février et en Avril.

Pour la station de Mechira, l'IQE était de 55,53 en Février, a chuté à 44,30 en mars, puis a légèrement augmenté en avril pour atteindre 45,32. Ainsi, la qualité de l'eau en Mars peut être considérée comme la meilleure par rapport aux deux autres mois.

Pour la station d'Ouled Khelouf, l'indice était de 45,75 en Février, puis a augmenté à 47,16 en Mars, et à 50,04 en Avril. Contrairement aux deux autres stations, les valeurs enregistrées indiquent une dégradation progressive de la qualité de l'eau au fil du temps, ce qui signifie que le mois de Février présente la meilleure qualité pour cette source.

À partir de ces données, il est possible de conclure que l'eau des trois sources étudiées reste dans les normes de potabilité. Toutefois, l'eau de la station de Ouled Khelouf est classée dans la catégorie de « très bonne qualité », ce qui la rend la plus appropriée à la consommation. En revanche, les eaux des stations de Chigara et Mechira sont classées comme étant de « bonne qualité », mais restent moins pures comparativement à celle de Ouled Khelouf.

4. Indice de pollution organique

L'indice de la Pollution Organique (IPO) calculé à partir des mesures des principaux paramètres analysés à savoir l'ammonium, les nitrites et les orthophosphates. Selon Leclercq (2001), cet indice peut être évalué à partir des concentrations de ces trois paramètres, du fait qu'ils sont déjà des formes minérales, résultant directement de la minéralisation des matières organiques et reflètent bien la pollution organique (**Zinsou, 2016**). L'IPO c'est la moyenne de ces trois éléments dans le même site.

D'après les valeurs des IPO des divers éléments polluants, le niveau de pollution des eaux est divisé en 05 classes (Tab), où l'IPO est la moyenne des valeurs des classes pour chaque paramètre mesuré (**Lalaoui, 2021**).

Tableau 18 : Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique.

Classe	5	4	3	2	1
NH4 (mg/l)	<0,1	0,1-0,9	2,4	2,5-6	>6
PO4 (mg/l)	15	16-75	76-250	251-900	>900
NO2 (mg/l)	5	6-10	11-50	51-150	>150

IPO= moyenne des valeurs des classes des 03 paramètres :

IPO= 4,6–5,0 : pollution organique nulle.

IPO= 4,0 –4,5 : pollution organique faible.

IPO= 3,0 –3,9 : pollution organique modérée.

IPO= 2,0 –2,9 : pollution organique forte.

IPO= 1,0 – 1,9 : pollution organique très forte.

Tableau 19 : Les valeurs calculé d'IPO de mois de Février.

Février				
	NH4 mg/l	NO2 µg/l	PO4 µg/l	IPO
Chigara	5	3	2	3,333333333
Mechira	5	3	3	3,666666667
Ouled Khlouf	5	3	4	4

D'après le tableau 19, en Février, on remarque une valeur modérée de l'indice de pollution organique dans les deux stations : Chigara et Mechira, tandis que la station de Ouled Khelouf affiche une valeur faible de l'indice de pollution organique.

Tableau 20 : Les valeurs calculé d'IPO de mois de Mars.

Mars				
	NH4 mg/l	NO2 µg/l	PO4 µg/l	IPO
Chigara	5	1	1	2,333333333
Mechira	5	2	2	3
Ouled Khlouf	5	1	2	2,666666667

D'après le tableau 20, en Mars, on remarque qu'une valeur forte de l'indice de pollution organique dans les deux stations : Chigara et Ouled Khelouf (Relier ces résultats à l'augmentation des nitrites et des phosphates est possible), tandis que la station de Mechira on observe une valeur modérée l'indice de pollution organique.

Tableau 21 : Les valeurs calculé d'IPO de mois d'Avril.

Avril				
	NH4 mg/l	NO2 µg/l	PO4 µg/l	IPO
Chigara	5	3	3	3,666666667
Mechira	5	3	4	4
Ouled Khlouf	5	3	4	4

D'après le tableau 21, en Avril, on remarque que une valeur faible de l'indice de pollution organique dans les deux stations : Mechira et Ouled Khelouf, tandis que la station de Chigara on observe une valeur modérée l'indice de pollution organique.

Nous en concluons qu'au la plupart mois la valeur de l'indice de pollution organique n'est pas idéale, mais cela n'affecte pas négativement la potabilité et la qualité de l'eau.

Conclusion générale

Conclusion

Le contrôle continu de la qualité de l'eau potable distribuée à la population constitue une étape cruciale dans la prévention des maladies hydriques. Dans ce contexte, notre étude vise à évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de trois sources d'eau (Chigara, Mechira et Ouled Khelouf) situées dans la wilaya de Mila.

Les résultats des analyses effectuées ont révélé des variations notables selon les sites et les périodes, dues à l'influence des facteurs environnementaux, anthropiques ainsi qu'aux fluctuations saisonnières. Les analyses ont montré que les paramètres physiques tels que la température, la turbidité et la conductivité électrique, ainsi que les paramètres microbiologiques, notamment les germes totaux, les streptocoques fécaux et les clostridiums sulfito-réducteurs, respectent les normes de potabilité fixées par la réglementation algérienne et les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), témoignant ainsi d'une qualité microbiologique et physique globalement satisfaisante. En revanche, les analyses chimiques ont révélé que certains paramètres tels que le silicium, les nitrites, le magnésium et les phosphates dépassaient les seuils recommandés, ce qui pourrait représenter un risque pour la santé publique à long terme en cas de consommation non contrôlée.

Les indicateurs de qualité de l'eau (IQE) et les indicateurs de pollution organique (IPO) ont confirmé ces résultats, montrant que l'eau d'Ain Ouled Khelouf était d'excellente qualité, tandis que les eaux de Chigara et de Mechira maintenaient une bonne qualité globale.

Enfin, notre étude souligne la nécessité de renforcer les mécanismes de surveillance, d'intensifier les efforts de sensibilisation et d'adopter des politiques de gestion intégrée et durable des ressources en eau afin de garantir un approvisionnement en eau potable sûr, équitable et durable à tous les habitants de la province de Mila.

Références bibliographiques

A

- Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A.H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., Alimohammadi, M. (2018). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment. An International Journal*, 1–18 p.
- Agrigon, A. (2000) : *Annuaire de la qualité des eaux et des sédiments*. DUNOD. 206p.
- Aissaoui, A., Sadoudi-ali Ahmed, D., Cherchar, N., Gherib, A. (2017). Caractéristiques Hydro Chimiques Des Eaux de l'Oued Seybouse – Cas de La région de Guelma (Nord Est Algérien) Hydro Chemical Characteristics of the seybouse River – Case Study of the Guelma Region Northeast of Algeria. *RevSciTechnol Synthèse*. 35.178–86p.
- Alouane, H. (2012). Evaluation des teneurs en nitrates dans les sols et dans les eaux Captées et émergentes en zones à vocation agricole ; Impact des nitrates sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Mémoire de Magister, Gestion des déchets : Évaluation et Solutions Environnementales, Université Mentouri Constantine, 49p.
- Andi. (2013), Agence Nationale de Développement de l'Investissement.
- Archibald, F. (2000). The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill Water systems – a cause for concern ? *Water Qual Res J. Canada*, 35, PP :1-22.
- Athmania, D., Benaissa, A., Bouassida, M. (2011). Géologie et géotechnique de quelques formations superficielles du Nord-OuestConstantinois, Algérie. *Afrique Science* 07(1), 105 – 115 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>.

B

- Beer. (2010), *Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable*.
- 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.
- Beldi, H. (2022), Influence des facteurs écologiques sur l'accumulation des métabolites secondaires chez *Aristolochia longa* L. et *Capparis spinosa* L. Thèse de Doctorat, biodiversité et Valorisation des Ressources Naturelles, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.
- Benamar, N., Mouadih, N., Benamar, A. (2011). Étude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest algérien : le cas de l'oued Cheliff, Colloque international, Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée : quels enjeux pour quels services ?, Université de Provence, Marseille, 20-21 Janvier 2011, 6 p.

Références bibliographique

- Berkal, K., et Elouaere, F. (2014). Inventaire et écologie des oiseaux d'eau au niveau du barrage de béni Haroun (Wilaya de Mila) : saison d'hivernage 2013/2014. Mémoire Master II. Centre Universitaire de Mila. 85p.
- Bioret, F., Estève, R., Sturbois, A. (2010). Dictionnaire de la protection de la nature. Presses Universitaires de Rennes 357p.
- Bliefert Claus-Perraud Robert. (2008). Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. P : 271,290, 291.
- Boglin Jean-claude. (2000). Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement G1 110.
- Bopp, C., Brenner, F., Wells, J., Strockbine, N. (1999). Escherichia, Shigella and salmonella, In Manual of clinical microbiology (Eds, Patrick R. Murray and American Society for Microbiology) American Society for Microbiology Press, Washington, D.C., PP : 459-474.
- Bouaroudj, S., Menad, A., Bounamous, A., Ali-Khodja, H., Gherib, A., Weigel, D.E., Chenchouni, H. (2019). Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. Chemosphere 219, 76–88.
- Boucenna, F. (2009) : cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité a la pollution d'une nappe cotière cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Jijel, nord-est algérien). Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba .53-54 p.
- Bouchebbah et Ayache. (2011). Caractéristique des eaux de surfaces de l'Oued Djemaa de la région de Bejaia. Mémoire d'ingénieur en écologie et environnement, université de Bejaia, p : 54.
- Boukertouta, S., Sellaoui, C., Tahraoui, C. (2009) : Contribution à l'étude des Paramètres physicochimiques et l'identification fongiques à partir des eaux du lac Obeira. Mémoire d'ingéniorat. Université 8 Mai 1945 Guelma. 36p.
- Boumont. (2004). Réutilisation des eaux usés, risqué sanitaires et faisabilité en IleDe-France, Rapport ORS, p : 220.
- Bouziani, M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p.
- Bras, A. (2005). Evaluation des risques sanitaires des oocystes de Cryptospridium dans l'eau destinée à la consommation humaine distribuée dans la zone métropolitaine de Port-au-Prince, Haïti, Université de Quisqueya.
- Brasilia. (2013). Manuel pratique d'analyse de l'eau.4^{ème} édition. 54, 57, 63 P.

Références bibliographique

- BRGM. (2007). Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation.
- Bricha, B. (2007), étude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc).
- Brown, R., Mc Clelland, M., Deininger, I., Tozer, R. (1970), a water quality index— do we dare ? Water Sew. Works 117, p 339–343.

C

- CEAEQ. (2000), Recherche et dénombrement des coliformes totaux ; méthode par filtration sur membrane, Centre d'expertise en analyse environnementale, gouvernement du Québec, 25 p.
- Chaden, M. H. (2014). Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la Rivière du Litani, Liban approche hydrogéochimique. Thèse de doctorat en géosciences. Université de Lorraine. P99.

D

- Dajoz, R. (2000). Précis d'écologie : cours et exercices résolus. 7^{ième} édition. Dunod, paris. 613p.
- Dali, Z., et Bentaleb, F. (2005) : Impact humaine sur l'environnement « cas de l'ensablement de la région de Boussaâda ». Mémoire d'ingéniorat, Université de, M'sila, 71 p.
- De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. (2005). Qualité physico-chimique et Chimique des eaux de surface : cadre général. Fiche.2, pp.158-162.
- Degbey, C., Makoutode, M., Fayomi, B., Brouwer, C. (2010). La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, Journal Internationale de Santé et travaux, Vol 1, PP : 15-22.
- Degremont, G. (2005). Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. Tec et Doc, PP : 3- 38.
- Dib, I. (2009). L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p.
- Dinepa, O. I. Eau, unicef. (2013). Echantillonnage et analyse de l'eau potable pour laboratoires simplifiés. 1.3.1. FIT 1. ISBN 13-978-99970-51-24-0.Pp 27-28.
- Dreux, P. (1980). Précis d'écologie. Ed. Presses univ. France, Paris, 231 p.

E

- Edberg, S.C., Rice E.W., Karlin R.J., Allen M.J., (2000). *Escherichia coli* : the best biological drinking water indicator for public health protection, *Journal of Applied Microbiology*, N°88, PP : 106-116.
- Edmond, M.B., Ober, J.F., Weinbaum, D.L., Pfaller, M. A., Hwang, T., Sanford, M.D., Wenzel, R.P. (1995). Vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* bacteremia : risk Factors for infection, *Clin Infect Dis*, Vol 20, N°5, PP : 1126-1133.
- El Haissoufi, H., Berrada, S., Merzouki, M., Aabouch, M., Bennani, L., Benlemlih, M., Idir, M., Zanibou, A., Bennis, Y., El Ouali lalami, A. (2011). Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, Vol 5, N°1, PP : 37-68.
- El morhit, M. (2009). *Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences*.
- Elmund, G.K., Allen, M.J., Rice, E.W. (1999). Comparison of *Escherichia coli*, total Coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency, *water Environ. Res*, N°71, PP : 332-339.

F

- Faurie, C., Ferra, C., Medori, P. (1980). *Ecologie*. Edition. J. B. Baillière. Paris. 168 p.

G

- Gaujour, D. (1995). *La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire*. 2^{ème} édition, Lavoisier, P49.
- Gleeson, C., Gray, N. (1997). *The coliform index and water borne disease : problems of microbial drinking water assessment*, E & FN Spoon, London, 194 p.
- Gouaidia, L. (2008). *Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien*, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 131p.
- Guelil, A., Madoui, F., Herizi, L. (2010). *Etude comparative de la qualité de l'eau potable des trois wilayas : M'sila, Bouira et Bordj Bou Arreridj*. Mémoire d'ingénieur d'état en science de la nature et de la vie. Université de Biskra.
- Gueroui, Y. (2015) : *Caractérisation hydro chimique et bactériologique des eaux souterraines de l'Aquifère superficiel de la plaine de Tamlouka (Nord-Est Algérien)*. Thèse de Doctorat, Université 8 mai 1945 de Guelma, Algérie. 154p.

Références bibliographique

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

H

- Hade, A. (2007). Nos lacs : Les connaître pour mieux les protéger, Edition Fides, Bibliothèque national du Québec, Canada, 27p.
- Hailu, B. (2017). Physicochemical and microbial quality of drinking water from source to household taps : The case of Legedadi reservoir. A Thesis submitted to the centre for Environmental Science. Addis Ababa University. Ethiopia. 14p.
- Hakemi, Z. (2019). Auto ecologie d'Aristolochia baticea L. dans les monts de Tessala (Algérie de l'ouest) et physiologie de germination de ses graines. Thèse de doctorat en Sciences. Université Djillali Laabes de Sidi Bel Abbes (Algérie) ; 195p.
- Hamed, M., Guettache, A. & Bouamer, L. (2012). Etude des propriétés physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar. Mémoire De Fin D'Etude Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'état en biologie, Option : Contrôle de Qualité et d'Analyse Faculté des Sciences et technologies Département Des Sciences, Université de Bechar, Bechar, p : 134.
- Hamiti, S., Lechrech, B. (2021), Dimensionnement D'une Station De déminéralisation A La Daïra De Sidi Khouiled (W. Ouargla).
- Henaut, A. (2011). Pollution de l'air et de l'eau, Les dossiers de science et politiques publiques, université Pierre et Marie Curie, Paris, P 02).
- Horton, R. (1965), an index number system for rating water quality. J. Water Pollut. Control Fed. 37 (3), p 300–306.

J

- 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.
- Journal officiel. (2014), n°13, 53^{ème} année, Alger.

K

- Kadjoudj, N. (2022), Etude bioécologique des insectes vecteurs des maladies parasitaires telles que la leishmaniose et virales à transmission vectorielle dans les régions subhumides et semi-arides, Thèse de Doctorat, Biodiversité et valorisation des ressources naturelles, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.

Références bibliographique

- Kemmer, F. (1984). Manuelle de l'eau. Edit. Lavoisier technique et documentation. P : 95-96-112.
- Kerdoud, S. (2006). Les bassines versent de Beni Haroune eau et pollution. Présenté pour l'obtention du Diplôme de magister. Université Mentouri- Constantine, 7-31 p.
- Khamar, H. (2018). Hydrochimie et qualité des eaux : Cours et travaux pratiques. Université Larbi Ben M'hidi – Oum El Bouaghi, Département des Sciences de la Nature et de la Vie.p2-4.
- Kherchiche, A., et Bouzidi, A. (2013).Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux de surface : cas du barrage de Hammam Debagh-Guelma. Mémoire de Master. Université 8 mai 1945 Guelma. 16-25-39p.
- Kouidri, Z. B. (2006). Étude et traitement de l'eau du barrage Djorf-Eltorba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables (Mémoire de Magister, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie).

L

- La commune de Chigara en 2025.
- La commune de Mech en 2025.
- La commune de Ouled Khelouf en 2025.
- Laala, A. (2018), etages bioclimatiques de la wilaya de Mila (Algerie), Documents pareils, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila- (Algerie).
- Laala, A. (2009). Comportement des semis de Pin d'Alep sous contraintes thermiques. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Biologie Végétale, Uni. Mentouri Constantine. 204p.
- Lagnika, M., Ibikounle, M., Montcho, J.C., Wotto, V.D., Sakiti, N.G. (2014). Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest), Journal of Applied Biosciences, N°79, PP :6887– 6897.
- Lalanne, F. (2012), Etude de la qualité de l'eau le long de la chaîne d'approvisionnement au niveau des consommateurs dans 10 villages de la Province du Ganzourgou. (Région du Plateau Central, Burkina Faso). Pp 10.
- Lalaoui, M. (2021), Contribution à l'Etude Biogéochimique des Eaux du Barrage Hammam Grouz. Thèse Doctorat, Biodiversité dans les Milieux Naturels. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.
- Lebres, A. (2002), Listériose bovine en Algérie (ressource textuelle, sauf manuscrits) isolement et identification à partir du lait cru de vache Thèse El- hadj –Ahmed, Université Saad Dahleb (Editeur (scientifique)).

Références bibliographique

- Levallois, P. (2003). Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 3p.
- Lounnas, A. (2008), Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi –Kroma de Skikda, Algérie. Mémoire de magister. Université du 20 Aout1955 Skikda, p120.

M

- Madani, T. A. A., Kabani, A., Orr, P., Nicolle, L. (1999). Enterococcal bacteremia in a tertiary care centre in Winnipeg, Canadian Journal of Infectious Diseases, Vol 10, PP : 5763.
- Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal, (09), 149–169. ISSN 1112-3680
- Marcel, D. (1989). Chimie des oxydants et traitement des eaux. La Revue de Génie chimique- technique industrielles- Génie des procédés, Vol.7, Lavoisier S.A.S, p : 582.
- Melghit, M. (2009).qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau / sédiments de l'oued rhumel, et des barrages hammam grouz et beni haroun. Mémoire de magister. Universitémentouri, Constantine, 132p.
- Messai, N., Berchi, S., Boulknaft, F., Louadi, K. (2011). Diversité biologique de phlébotomes (Diptera : Psychodidae) de la région de Mila. Actes du Séminaire International sur la biodiversité Faunistique en Zones Arides et Semi-arides. 182-184.
- Michard, G. (2002). Chimie des eaux naturelles. Principe de géochimie des eaux ; Principes de géochimie. Edition publisud 565p.
- Mihoubi, N. (2008). Fonctionnement et gestion hydrologique de ressources en eau du bassin de hammam grouz. Thèse de magister, université mentouri, Constantine. 52-57 P.
- Mohammed, I. U., Ndahi, A. K., Adamu, I. C. (2015). Rapid assessment of reservoir water quality and suitability indices for irrigation purpose: a case study of Ero and Ele Reservoirs in Ekiti State Nigeria. Int. J. of Multi disciplinary and current search, 3 p.
- Molinie, L. (2009). Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées, Agro Paris Tech, Montpellier, cedex 4, 7p.
- Monode, T. (1989) : Méharées géographié. Loisir. France, 233 p
- Morabbi, A ., et Souabni, O. (2013) : Caractérisation de la qualité des ressources en eau dans le sous bassin Ksob (Région d'Essaouira, Maroc). Mémoire de licence. Université cadi ayyad, 27-28 p.

Références bibliographique

- Mozas, M., et Ghosn, A. (2013). État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. Rapport de L'institut de prospective économique du monde méditerranéen (IPEMED). 27p.
- Myrand, D. (2008). Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.

N

- Nouayti, N., Khattach, D., Hilali, M. (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 6, N° 4, PP : 1068-1081.

O

- Obi, C.N. and Okocha, C.O. (2007). Microbiological and physicochemical analysis of selected borehole waters. Journals of Engineering Applied Science, 257 : 920-929.
- Oliveira, J. C., Maia, K. P., Decastro, N. L. (2019). Spatial-temporal analysis of the surface Water quality of the Para River Basin through statistical techniques. Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol.14 (1), p, 1-14.
- OMS. (2000). Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2^{ème} édition, 1050 p.
- OMS. (2006). Paludisme : lutte antivectorielle et protection individuelle, Série de rapports techniques, N°936, 71p.
- OMS. (2012). Guide OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux résiduaires, Organisation Mondiale de la santé (OMS), volIII, Genève, 225 p.
- Onifade, A.K. and Ilori, R.M. (2008). Microbiological analysis of sachet water vended in Ondo state, Nigeria. Environmental Research Journal, 2 : 107-110.
- ONM. (2025), Office Nationale de la météorologie.
- Oual. (2008) : Cours de procédés sanitaires biologiques et traitement des eaux. 2^{ème} Edition : OPU.
- Ouzal, F. (2005). « Effets des antagonismes ammonium (NH₄⁺), potassium (K⁺) sur l'absorption du sodium (Na⁺) pour la nutrition du haricot (variété. Contenter) par des eaux salines non conventionnelles, » INA.

P

- Potelon, J.L. et Zysman, K. (1998) : Le guide des analyses de l'eau potable. La lettre du cadre territoriale. S.E.P.T Voiron, Cedex. 253 p.

R

- Ramade, F. (1984). Eléments d'écologie fondamentale. Ed. mc. Graw hill, Paris, 397 p.

Références bibliographique

- Rejsek, F. (2002), Analyses des eaux, les aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux. P 109.
- Rodier, J. (2009). Analyse de l'eau ; Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Ed. Dunod bordas, Paris, 9^{ème} édition, 1526 pp.
- Rodier, J. (1996). L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition, DUNOD. Paris.752p.
- Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition, Dunod. Paris.
- 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, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champasaur, H. & Rodi, L. (2009). L'analyse de l'eau. 9^{ème} Ed. Bordas-Paris. P : 328.
- Rodier, J., Legube, B., et Merlet, N. (2009). Analyse de l'eau. Dunod, 9^{ème} édition, Paris, France, 1579 p.
- Ronald, V. (2010). Eau environnement et santé publique introduction à l'hydrologie 3^e Edition. Paris.

S

- Saadali, B. (2007). Etude de la qualité des eaux de sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême Nord oriental), Mémoire de magister en géologie, Géosciences, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 110p.
- Savary, P. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial édition, voiron, PP : 10-179.
- Sedrati, N. (2011). Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-sud est Algérien, thèse de doctorat en géologie, Hydrogéologie , faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 252p.

T

- Touati, B. (2010). Les Barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable, Thèse de doctorat, Université Mentouri-Constantine, Faculté des sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire.
- Touré, (2006). La politique de l'environnement dans les capitales africaines : le cas de côte d'Ivoire. Ed. Pulibook. P : 159.

V

Références bibliographique

- Venkatesan, G., Swaminathan, G., and Nagarajan,R. (2013). Study on groundwater quality in and around solid waste landfill site at Tiruchirappalli, Tamil Nadu, India. International Journal of Environmental Engineering, 5(2) :179-196.
- Villemeuve, O. (1974). Glossaire de météorologie et de climatologie. Les presses l'Université, Laval. Imprimé au Canada. 560 p.

Y

- Yidana, S., Yidana, A. (2010), Environ Earth Sci (2010) 59, p1461.
- Youssef, M. A., Eissa, M. A. (2015). Heavy metals accumulation in the edible vegetables grown on contaminated soils. Egyptian Journal of Soil Science, 1-14p.

Z

- Zella, L., et Smadhi, D. (2006). L'eau la gouvernance et l'éthique Alger. Office des publications universitaires. (p.131).
- Zerrouki, H., Selt, M.T., Ouadjina, N., Milliani, Z., Menoueri, K., Krider, C., Haddadi, N., Bouzertit, N., Boudjella, A., Benguerba, D., Azzouz, D., et Ahmed Messoud, R. (2006). Le Fian de l'eau. Le magazine des journalistes scientifiques. Université SSAD DAHLAB DE BLIDA. P : 24.
- Zinsou, H., Attingli, A., Gnohossou, P., Adandedjan, D., Laleye, P. (2016),caractéristiques physico-chimiques et pollution de l'eau du delta de l'Oueme au Benin. Journal of Applied Biosciences p 10.
- Zouaidia, H. (2006). Bilan des incendies de forêts dans l'est algérien cas de Mila.

Annexes

Annexes 01 : Les réactifs et solutions des quelques paramètres chimiques.

paramètres chimique	Réactif / Solution
Ammonium (NH_4^+)	➤ Réactif 01 : solution de phénol-nitroprussiate. - Pour 500 ml de réactif : dissoudre 17,5 g de phénol et 200 mg de nitroprussiate de sodium dans l'eau distillée et compléter à 500 ml. ➤ Réactif 02 : solution alcaline d'hypochlorite. - Pour 500 ml de réactif : dissoudre 140 g de citrate trisodique et 11 g de soude dans environ 400 ml d'eau distillée, ajouter alors un volume de solution d'hypochlorite de sodium correspondant à 1,4 g de chlore et compléter à 500 ml.
Silicium (Si(OH)_4)	➤ Réactif 01 : Molybdate - Pour 500 ml de réactif : dissoudre 4 g de para molybdate d'ammonium en poudre fine dans environ 300 ml d'eau distillée, ajouter 12 ml d'acide chlorhydrique concentrer ($d=1,18$), mélanger et compléter à 500 ml avec de l'eau distillée. ➤ Réactif 02 : Réducteur - Ce réactif réducteur est obtenu en mélangeant successivement les réactifs ci-dessus dans l'ordre et les proportions suivantes : - 100 ml de solution de métol-sulfite. - 60 ml de solution d'acide oxalique. - 60 ml d'acide sulfurique à 50 %. - Compléter avec de l'eau distillée pour obtenir 300 ml de solution. Cette solution doit être préparée juste avant utilisation et ne se conserve pas.

Annexes

Nitrite (NO₂⁻) et Nitrate (NO₃⁻)	➤ Réactif 1 : solution de sulfanilamide - Pour préparer 500 ml de réactif : diluer 50 ml d'acide chlorhydrique concentré (d=1,18) dans environ 300 ml d'eau distillé. - Dissoudre 5 g de sulfanilamide dans cette solution et compléter à 500 ml. ➤ Réactif 2 : solution de N-naphtyl-éthylendiamine - Dans 500 d'eau distillée, dissoudre 0,5 g de dichlorhydrate de N-(1-naphtyl) -éthylènediamine (NED).
Chlorure (Cl⁻)	➤ Solution de chromate de potassium 10% - dissoudre 2,5 g de chromate de potassium dans 25 ml d'eau distillé.
TA/TAC	➤ Solution de phénolphtaléine - 100 ml d'éthanol avec 0,5 g de phénolphthaléine. ➤ Solution de rouge de méthyle - chauffer 25 ml de l'eau distillé puis ajouter 5 mg de rouge de méthyle. ➤ Solution d'orange de méthyle - chauffer 25 ml de l'eau distillé puis ajouter 5 mg d'orange de méthyle.