

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة-

UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département Ecologie et Environnement

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Intitulé :

**Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique
des eaux souterraines et de source de la commune de
Filfila -SKIKDA-**

Présenté par :

Mlle. Bouhadja Kawther – Mlle. Gharbi Hassina – Mlle. Nouari Ines – Mlle. Zouyene Rania

Membre de Jury:

Président : Dr Dziri H. (MCA) Université 1955. Skikda

Examineur : Mme Ferroum A. (MAA) Université 1955. Skikda

Promoteur : Dr Rouidi S. (MCA) Université 1955. Skikda

Année universitaire 2024-2025



Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail.

Nous remercions, tout particulièrement Mme ROUIDI.S l'encadreur de nous avoir laissé une large autonomie dans ce travail, pour nous diriger sur des pistes de réflexions riches et porteuses.

Nous remercions également nos professeurs de Département d'Ecologie et Environnement pour la qualité de l'enseignement au cours de ces années passées.

Nous adressons nos sincères remerciements à toute l'équipe du laboratoire central de l'algérienne des eaux à ZIRAMENA .



Dédicace :

Avant tout, je remercie Dieu le tout-Puissant qui m'a donné la volonté et la force de mener à bien ce travail.

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ma vie, je les remercie de m'avoir épaulé pour m'aider à atteindre mes objectifs.

A toutes mes sœurs : Assia, Sara, Ihcene, Hiba , qui m'ont soutenue et encouragée durant tout mon parcours.

A mes chères trinômes : Ines, Rania et Hassina.

A toute ma famille, pour leur soutien inestimable.

A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, à réaliser ce travail .

Kawther .





Dédicace

Je rends grâce à (DIEU) de m'avoir donné le courage, la conscience d'avoir pu terminer mes études.

Je dédie ce travail à mes parents, en hommage à leurs sacrifices et à leur présence constante qui m'a guidé tout au long de mon parcours.

A mes frères : Abdrezek et Aymen.

A ma petite sœur : Alaa.

A ma famille.

A mes Chères trinômes : Kawther ,Rania ,Hassina.

A mes proches pour m'avoir soutenu par leur présence dans les bons comme dans les mauvais moments.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Ines.





Dédicace :

Je remercie Allah, Le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la réussite et guidé tout au long de ce travail.

Je dédie ce mémoire à mes parents pour leur soutien et leurs encouragements.

A ma sœur sawsen et à mes frères.

A ma famille.

A mes chères trinômes : Kawther ,Ines ,Hassina.

Rania.



Dédicace :

Je dédie ce modeste travail, fruit de plusieurs années d'efforts, à toutes les personnes qui ont été à mes côtés tout au long de ce parcours universitaire.

*À ma chère mère " **Louiza** " et à mon père " **Houcine** " , pour leur amour inconditionnel, leurs prières, leurs sacrifices et leur soutien sans faille. Vous êtes ma fierté et ma force.*

*À mes sœurs " **Nabila** " et " **Ahlam** " , à mon frère " **Ramzi** " , ainsi qu'à leurs enfants, pour leur affection, leurs encouragements et leur présence constante dans ma vie.*

À tous mes enseignants de l'université, que je remercie sincèrement pour leur savoir, leur pédagogie et leur accompagnement tout au long de ma formation.

*À l'ensemble des membres du laboratoire de Berrahal, et tout particulièrement à " **Besma** ", " **Amina** ", " **Souad** " et " **Hajar** ", pour leur accueil, leur aide précieuse et leur bienveillance.*

*Et enfin, à mes collègues et camarades de mémoire : " **Rania** ", " **Kawther** " et " **Ines** ", pour leur collaboration, leur sérieux et les moments partagés durant cette belle aventure académique.*

Hassina



Table des matières

REMERCIEMENTS

DEDICACE

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE..... 1

CHAPITRE 01: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Le cycle de l'eau 3

2. Classification des eaux 4

2.1. Les eaux de surface..... 4

2.2. Les eaux de mer et océans 4

2.3. Les eaux souterraines 4

3. Les eaux de sources 5

3.1. Différents types de sources 5

3.1.1. Sources de pression ou de déversement 5

3.1.2. Sources de contact 5

3.1.3. Sources artésiennes ou d'émergences 6

3.1.4. Sources en roches imperméables ou d'affleurements 6

4. l'eau potable : 6

4.1. Les normes de potabilités : 6

5. Pollution de l'eau : 8

5.1. Les sources de pollution : 8

CHAPITRE 02: MATERIELS ET METHODES

1-Cadre de l'étude 10

2-Présentation de la commune d'étude	10
2-1-Situation géographique de la wilaya de Skikda	10
2-2- Géographie de la commune de Filfila	10
2-3-La géologie	11
2-4-L'hydrographie	12
2-5- L'étude climatologique	12
<i>2-5-1-La température</i>	12
<i>2-5-2-Les précipitations</i>	13
<i>2-5-4-Le vent</i>	14
<i>2-5-5-Synthèse climatique:</i>	15
3-Echantillonnage	16
3-1-Localisation des sites de prélèvement	16
3-2-Prélèvement des échantillons d'eau	17
<i>3-2-1- Choix des sites et techniques de prélèvement</i>	17
3-3-Transport et conservation	18
4-Techniques d'analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques :.....	18
CHAPITRE 03: RESULTATS ET DISCUSSION	
1- Résultats des analyses organoleptiques	20
1-1- La couleur :.....	20
1-2- L'odeur :	20
2- Résultats des analyses physico-chimiques	21
2-1-La conductivité	21
2-2-La température	22
2-3-Le potentiel d'Hydrogène (pH)	23
2-4- La turbidité	23
2-5-Le Sodium (Na⁺)	24

2-6-Le Potassium (K^+)	26
2-7-Les matières dissoutes totales (TDS)	26
2-8- Les matières en suspension (MES) :	28
2-9- La demande biochimique en Oxygène (DBO_5) :	28
2-10-L'oxygène Dissous (OD) :	29
2-11-Le titre alcalimétrique simple (TA) :	30
2-12-Le titre alcalimétrique complet (TAC) :	32
2-13-Le Calcium (Ca^{2+}) :	33
2-14- Les chlorures (Cl^-) :	34
2-15-Les nitrites (NO_2^-) :	35
2-16-Les Phosphates (PO_4^{3-}) :	36
2-17- La salinité :	37
1-18-La dureté totale (TH) :	38
1-19- Les coliformes totaux :	39
1-20-Coliformes fécaux :	40
1-21-Streptocoques fécaux :	41
Conclusion et perspectives :	42

Résumé

L'eau est une ressource précieuse, pour pouvoir être utilisée dans l'alimentation ou l'hygiène, elle doit être très propre et de bonne qualité.

Pour apprécier la qualité des eaux de source destinée à la consommation humaine dans la commune de Filfila, qui est située au nord-est de l'Algérie, un contrôle physico-chimique, organoleptique et bactériologique a été réalisé, il a concerné plusieurs échantillons d'eau, prélevés au niveau de six sources appartenant à cette localité. Afin de suivre la variation saisonnière des différents paramètres, les prélèvements ont été réalisés pendant les périodes suivantes : fin février, début mars, fin mars, début avril, fin avril et début de mai 2025.

Les résultats d'analyses ont montré que les eaux étudiées, sont de bonne qualité physico-chimique et organoleptique et respectent les normes du JORA (2014) et de l'OMS (2006), et cela au niveau des six stations d'étude.

Concernant les résultats des analyses bactériologiques, nous avons enregistré des contaminations par les streptocoques fécaux durant les deux premières périodes de travail (P 1 et P 2) avec un dépassement atteignant 23 dans les stations 1 et 6, en plus d'une pollution par *Escherichia coli* pendant la cinquième période d'étude (fin d'avril 2025). Cette pollution constitue sans doute un danger non négligeable à la santé des populations consommatrices de ces eaux. Ce qui nécessite un traitement très urgent avant sa propagation dans la nappe profonde.

Mots clés : Eaux de source, physico-chimique, qualité organoleptique, bactériologique, streptocoques fécaux, *Escherichia coli*, Filfila (Skikda).

Abstract

Water is a valuable resource. In order to be used for food or hygiene purposes, it must be very clean and of good quality.

To assess the quality of spring water intended for human consumption in the municipality of Filfila, located in the northeast of Algeria, a physico-chemical, organoleptic, and bacteriological analysis was carried out. It involved several water samples taken from six springs belonging to this locality. To monitor the seasonal variation of the different parameters, samples were collected during the following periods: late February, early March, late March, early April, late April, and early May 2025.

The analysis results showed that the studied waters are of good physico-chemical and organoleptic quality and comply with the standards of JORA (2014) and WHO (2006), across all six study sites. As for the bacteriological analysis results, contamination by fecal streptococci was recorded during the first two sampling periods (P1 and P2), with a peak value of 23 in stations 1 and 6. In addition, pollution by *Escherichia coli* was observed during the fifth sampling period (late April 2025). This contamination undoubtedly poses a significant health risk to the population consuming this water, and therefore requires urgent treatment before it spreads to the deep aquifer.

Keywords: Spring water, physico-chemical, organoleptic quality, bacteriological, fecal streptococci, *Escherichia coli*, Filfila (Skikda).

المخلص

تُعدّ المياه مورداً ثميناً، ولاستخدامها في التغذية أو النظافة، يجب أن تكون نظيفة جداً وذات جودة عالية. وللوقوف على جودة مياه الينابيع المخصصة للاستهلاك البشري في بلدية فلفلة الواقعة في شمال شرق الجزائر، تم إجراء تحليل فيزيائي-كيميائي، حسي (عضوي-ذوقي)، وبكتيريولوجي. وقد شمل هذا التحليل عدّة عينات من المياه تم جمعها من ستة ينابيع تابعة لهذه المنطقة. ولمتابعة التغيرات الموسمية في مختلف المعايير، أُجريت عمليات أخذ العينات خلال الفترات التالية: نهاية شهر فيفري، بداية مارس، نهاية مارس، بداية أبريل، نهاية أبريل، وبداية ماي 2025. أظهرت نتائج التحاليل أن المياه المدروسة ذات جودة فيزيائية-كيميائية وحسية جيدة، وتحترم المعايير المنصوص عليها في الجريدة الرسمية الجزائرية (JORA 2014) ومنظمة الصحة العالمية (OMS 2006)، وذلك على مستوى المحطات الست للدراسة. أما فيما يخص نتائج التحاليل البكتيريولوجية، فقد سُجّلت حالات تلوث بالبكتيريا العقدية البرازية خلال الفترتين الأولى والثانية من الدراسة (P1) و(P2)، حيث بلغ التلوث مستوى 23 في المحطتين 1 و6. كما لوحظ تلوث ببكتيريا *Escherichia coli* خلال الفترة الخامسة من الدراسة (نهاية أبريل 2025). ويُعدّ هذا التلوث خطراً حقيقياً على صحة السكان الذين يستهلكون هذه المياه، مما يتطلب معالجة مستعجلة قبل انتشارها في الطبقة الجوفية العميقة.

الكلمات المفتاحية: مياه الينابيع، التحليل الفيزيائي-الكيميائي، الجودة الحسية، التحليل البكتيريولوجي، العقود البرازية، الإشريكية القولونية، فلفلة (سكيكدة).

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux.

AFNOR : Association Française de Normalisation.

AgNO₃ : Nitrate d'argent.

Al : Aluminium.

As : Arsenic.

C° : Degré Celsius.

Ca : Calcium.

Ca²⁺ : Ion Calcium.

CaCl₂ : Chlorure de Calcium.

Cd : Cadmium.

CFU : Colony Forming Units (Unités Formant Colonies).

Cl⁻ : Chlorures.

CO₃²⁻ : Ion Carbonate.

CT : Coliformes Totaux.

DBO : Demande Biologique en Oxygène.

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours.

E. coli : *Escherichia coli*.

EDTA : Acide éthylène diamine tétra-acétique.

FM : Filtration sur Membrane.

GPS : Global Positioning System.

HCO₃⁻ : Ion Bicarbonate.

ISO : International Organisation for Standardisation.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne.

K⁺: Potassium.

km : Kilomètre.

m : Mètre.

m³/an : Mètre cube par an.

MES : Matières en suspension.

Mg²⁺ : Magnésium.

mg/l : Milligramme par litre.

Na⁺ : Sodium.

NaCl : Chlorure de sodium.

NF : Norme Française.

NO₂⁻: Nitrites.

NPP : Nombre le Plus Probable.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit (Unité de turbidité néphélo-métrique).

OD : Oxygène Dissous.

OH⁻ : Ion Hydroxyde.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONEDD : Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.

P: Périodes d'échantillonnage.

pH : Potentiel Hydrogène.

PO₄³⁻ : Phosphates.

SO₄²⁻ : Sulfates.

St : Station.

TA : Titre Alcalimétrique Simple.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TDS : Total Dissolved Solids (Solides Dissous Totaux).

TH : Titre Hydrotimétrique (Dureté Totale).

UFC/100 ml : Unité Formant Colonie par 100 millilitres.

g/l : grammes par litre.

μS/cm : Microsiemens par centimètre.

PCB : polychlorobiphényles

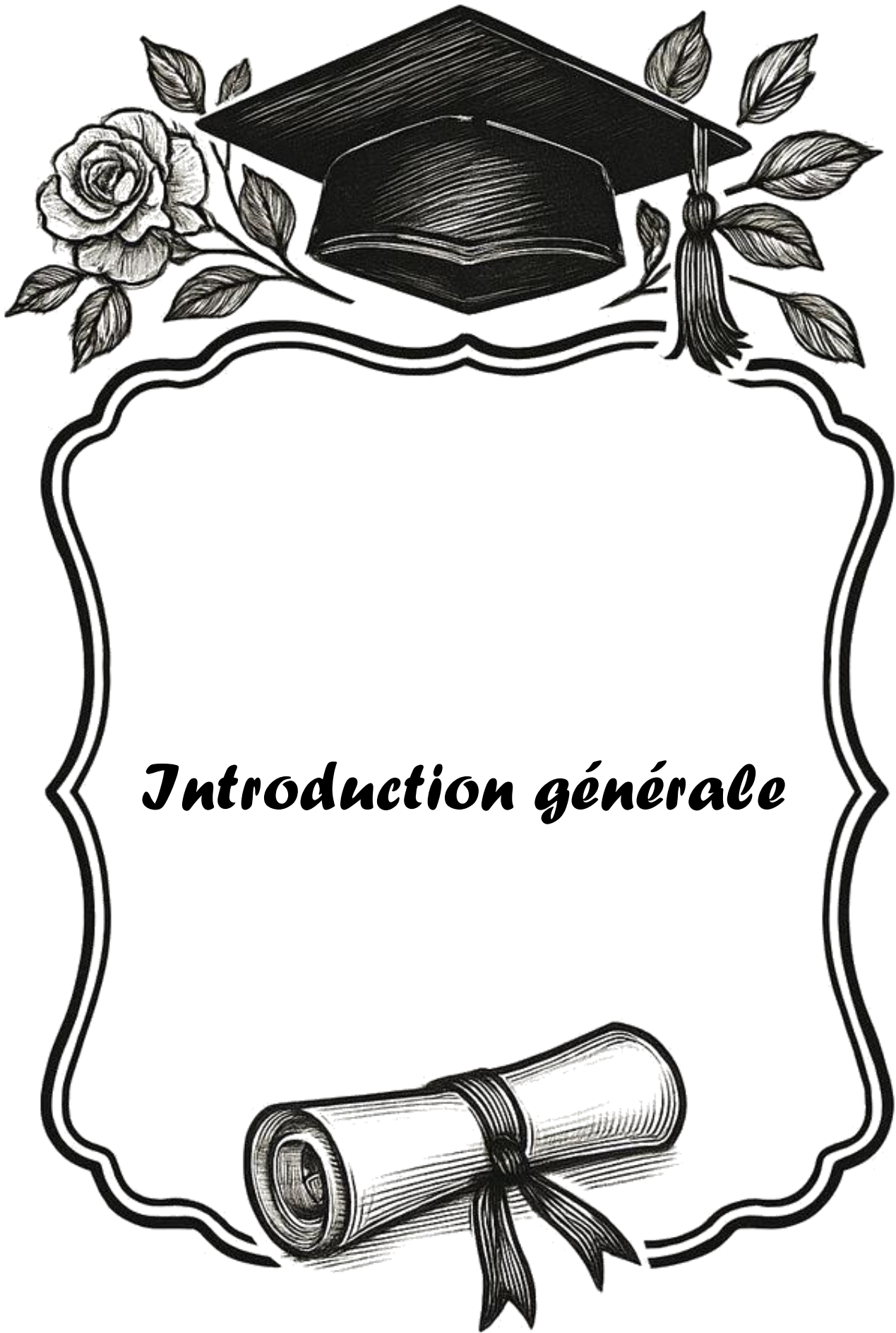
Liste des figures

N ° FIGURE	Titre	Page
Fig.1	Schéma illustre le cycle de l'eau (Google image)	3
Fig.2	Les différentes nappes d'eau souterraines (AEAG, 2012)	5
Fig.3	Situation géographique de la commune de Filfila (Google image)	11
Fig.4	Réseau hydrographique dans la Wilaya de Skikda (ANRH, 2000)	12
Fig.5	Température mensuelle moyenne (C°) de la wilaya de Skikda de 2015 à 2024	13
Fig.6	Pluviométrie mensuelle moyenne (mm) de la wilaya de Skikda de 2015 à 2024	14
Fig.7	Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gaussens (1957) de la wilaya de Skikda en (2024)	16
Fig.8	Localisation des sites de prélèvements dans la commune de Filfila (Image satellitaire, Google Earth, 2025)	17
Fig. 9	Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique de l'eau de source	21
Fig.10	Variation spatio-temporelle de la température de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	22
Fig.11	Variation spatio-temporelle du pH de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	23
Fig.12	Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de source des stations étudiées dans la période de début mars à début mai (2025)	24
Fig.13	Variation spatio-temporelle de sodium de l'eau de source des stations étudiées dans la période de début mars à début mai (2025)	25
Fig.14	Variation spatio-temporelle de potassium de l'eau de source des stations étudiées dans la période de début mars à début mai (2025)	26
Fig.15	Variation spatio-temporelle de TDS de l'eau de source des stations étudiées dans la période de début mars à début mai (2025)	27
Fig.16	Variation spatio-temporelle de la matière en suspension de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à fin mars (2025)	28
Fig.17	Variation spatio-temporelle de la DBO de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à fin mars (2025)	29
Fig. 18	Variation spatio-temporelle de l'Oxygène dissous de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février a début mai (2025)	30

Fig.19	Variation spatio-temporelle de TA de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	31
Fig.20	Variation spatio-temporelle de TAC de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	32
Fig.21	Variation spatio-temporelle de calcium de l'eau de source des stations étudiées dans la période de début mars à début mai (2025)	33
Fig.22	Variation spatio-temporelle des Chlorures de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	34
Fig.23	Variation spatio-temporelle des nitrites de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à fin mars (2025)	35
Fig.24	Variation spatio-temporelle de phosphate de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à fin mars (2025)	36
Fig.25	Variation spatio-temporelle de Salinité des stations étudiées dans la période de fin février à fin mars (2025)	37
Fig.26	Variation spatio-temporelle de la Dureté Totale (TH) de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin mars (2025)	38
Fig.27	Variation spatio-temporelle des coliformes totaux de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	39
Fig.28	Variation spatio-temporelle des coliformes fécaux de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	40
Fig.29	Variation spatio-temporelle des streptocoques fécaux de l'eau de source des stations étudiées dans la période de fin février à début mai (2025)	41

Liste des tableaux

N	Titre de tableau	Page
Tab.1	Normes OMS et Algériennes des paramètres physico-chimiques pour eau potable (OMS,2006) et (JORA,2014)	6
Tab.2	Les critères bactériologiques selon le journal officiel algérienne (JORA, 2014)	7
Tab.3	Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut, 2011)	9
Tab.4	Localisations des sites de prélèvement dans la commune de Filfila	16
Tab.5	Liste des paramètres étudiés, unités de mesure et appareillage employé	19



Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale, indispensable à l'être humain sa survie, sa santé, son alimentation, pour cela, elle doit être protégée, défendue et traitée. La demande en eau au fil des années ne cesse d'augmenter, car elle est d'une absolue nécessité pour l'hygiène individuelle, collective et pour la quasi-totalité des activités humaines **(Salhi et Saidani, 2015)**.

L'eau potable est définie comme une eau sans substances chimiques ni de germes nocifs pour la santé agréable à boire. Elle doit contenir des éléments minéraux en solution (sel, gaz dissous) qui sont indispensables au bon goût, elle peut contenir aussi des microorganismes dans la mesure où elles ne provoquent aucun effet pathogène et ne créent aucun gêne aux consommateurs, pour cela on impose à l'eau des règles strictes en matière de qualité organoleptique physico-chimiques et bactériologiques que répondant à des critères scientifiques à usage quotidien **(Nmer , 2015)**.

L'accès à l'eau potable est un problème sérieux et permanent touchant le monde entier. En raison de l'augmentation de la population humaine, les besoins en eau sont en croissance progressive, ceci est aggravée par la diminution de la quantité d'eau potable disponible à cause de la réduction des précipitations (changements climatiques) d'une part, et de la pollution de l'eau d'autre part **(Walaa, 2016)**.

Une eau potable saine ne doit pas exposer le consommateur aux dangers sanitaires, L'eau pourrait devenir source de maladies lors d'une contamination engendrée principalement par l'impact des différentes activités de l'homme ,Selon l'OMS (2005), chaque année 1,8 millions de personnes dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra); 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse.

En Algérie, les eaux de surface sont les principales sources pour notre approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus l'individu et la municipalité se tournent vers les nappes phréatiques qui renferment un volume énorme d'eau exploitable **(Chekroud, 2007)**.

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides **(Bosca, 2002)**. Selon Merzoug et al. (2010), 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine.

Filfila connaît une forte croissance démographique depuis les années 1990. Des quartiers comme Salah Chebel, Bouzaaroura ou Larbi Ben M'hidi témoignent de cette expansion rapide, parfois désordonnée **(le Quotidien de Constantine)**.

Introduction générale

Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux souterraines proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment d'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture (**Ahoussi et al., 2013 ; Aka et al., 2013 ; Amadou et al., 2014 ; Lagnika et al., 2014 ; Nouayti et al., 2015**).

D'autres études ont révélées que la pollution des eaux souterraines est liée à la présence des fosses septiques, à l'absence du traitement, au manque du réseau d'assainissement et au non-respect des conditions d'hygiène publique (**Degbey et al., 2010 ; Fakh et al., 2014 ; Guessoum et al., 2014**).

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimiques et microbiologique des eaux de six sources utilisées par les citoyens comme eau potable d'origine souterraine, dans la commune de Filfila, une commune de la wilaya de Skikda, tout en faisons des analyses physico-chimiques afin de déterminer la potabilité des eaux et ses qualités nutritionnelles, et des analyses microbiologiques pour assurer l'absence de contamination et de germes à risque potentiel.

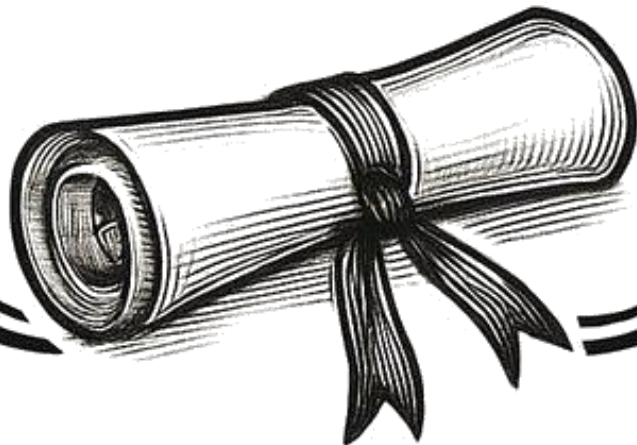
Ce travail est divisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique qui englobe des généralités sur l'eau.
- Le deuxième chapitre est une partie expérimentale comprenant une présentation de la zone d'étude (Filfila), la méthodologie générale en présentant les stations de prélèvement et également les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques d'eau.
- Le troisième chapitre présente les résultats obtenus avec leur discussion.
- Enfin, nous tirons une conclusion et nous proposons quelques perspectives.

Introduction générale



Chapitre I
Synthèse bibliographique



Le thème de l'eau est l'un des plus importants en ce début du XXI^e siècle car, au fur et à mesure que la population de la terre augmente, la demande en eau s'accroît. Or l'eau est une ressource qui n'est pas aussi inépuisable qu'il apparaît, et l'on constate de plus en plus des déséquilibres entre les quantités disponibles et la consommation par l'homme (Rougier et Wackermann, 2009).

1. Le cycle de l'eau

L'eau, élément sous trois formes (liquide, gaz et solide), passe par un cycle éternel. L'évaporation lente et incessante des eaux de surface provoque la formation dans la haute atmosphère, de nuages qui par condensation se transforment en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface du sol et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Une partie des eaux d'infiltration est récupérée par les plantes qu'elle alimente avant d'être rejetée dans l'atmosphère par ce que l'on appelle l'évapotranspiration. L'autre partie s'accumule dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour peuvent former des sources émergentes à la surface du sol (Figure 01), (Maiga, 2002).

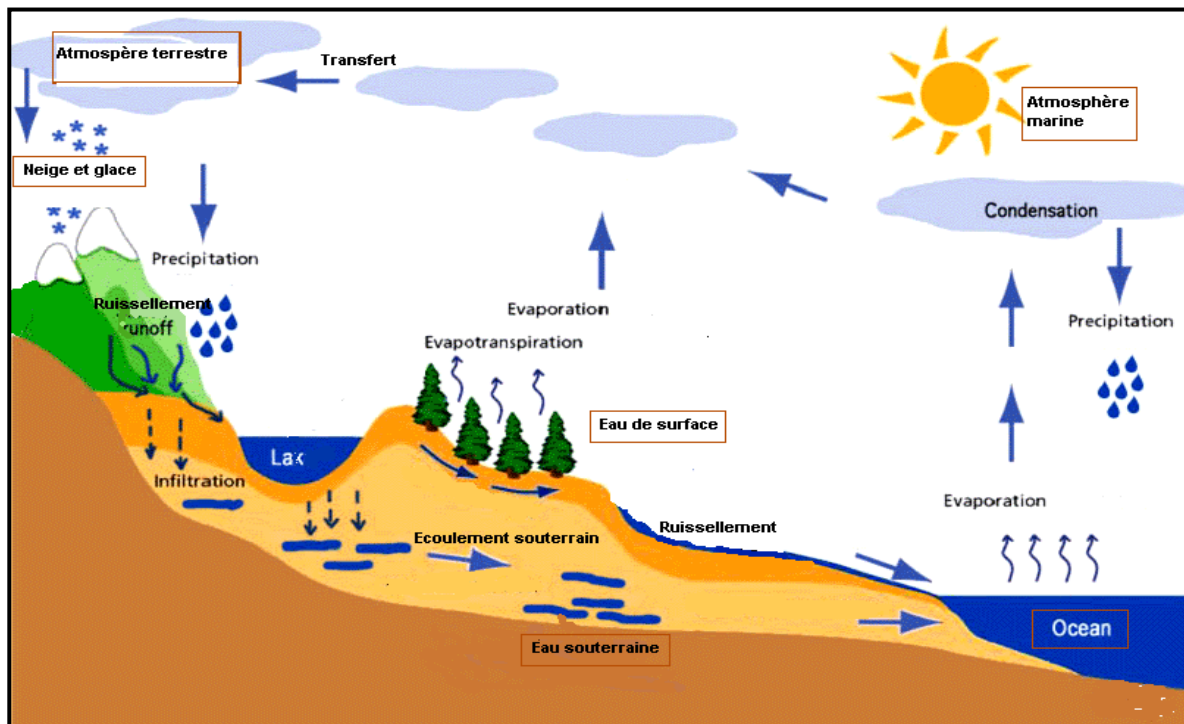


Figure 01 : Schéma illustre le cycle de l'eau (Google image)

2. Classification des eaux

Les réserves des eaux naturelles disponibles, sont constituées des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières), des eaux de mer et des eaux souterraines (infiltration, nappe).

2.1. Les eaux de surface

Les eaux de la surface, sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivière, barrage, mares, marigots). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère, toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable **(Degrémont, 2005)**.

2.2. Les eaux de mer et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraine et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement **(Djabri, 2009)**.

2.3. Les eaux souterraines

Ces sont des eaux de profondeur, généralement limpides et de bonne qualité bactériologique. Les eaux souterraines sont principalement des eaux de puits, forage, source, qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires. L'eau souterraine provient des précipitations, s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval **(Benabderrahmane, 2022) ; (Iungbi Singa et al, 2019)**.

Les eaux souterraines représentent 60% des eaux continentales, leur écoulement est estimé à 12000 milliards de m³/an, soit 30% du débit des fleuves. Leur renouvellement total est de 5000 ans en moyenne et de 300 ans pour les nappes superficielles les plus vives **(Roux, 1990)**.

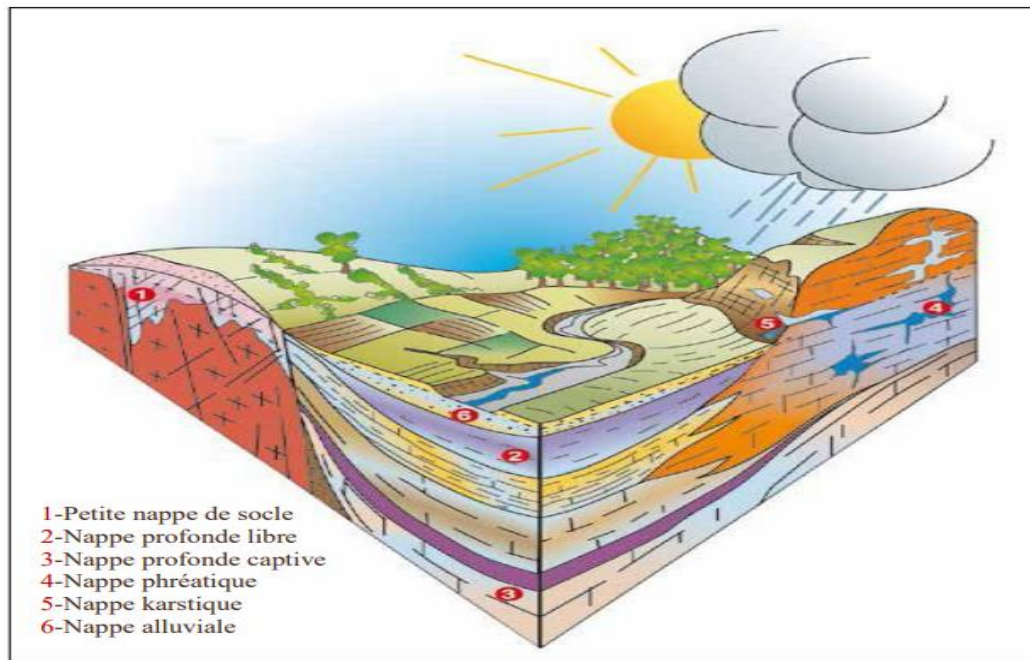


Figure 2 : Les différentes nappes d'eau souterraines (AEAG, 2012)

3. Les eaux de sources

Les eaux de source sont des eaux souterraines d'origine naturelle, captées à l'émergence ou par forage et propres à la consommation humaine sans traitement préalable (OMS, 1980).

3.1. Différents types de sources

Selon Phok (2015), il existe différentes formes de sources d'eau, qui sont classées en fonction de la structure, du débit, de la température et de la volatilité de la roche mère. Les principaux types de sources sont les suivants :

3.1.1. Sources de pression ou de déversement

Les sources de déversement formées à l'intersection de la surface du sol avec la surface de l'eau souterraine.

3.1.2. Sources de contact

Les sources de contact sont formées sur une couche peu perméable qui croise la surface de l'eau souterraine avec la surface du sol.

3.1.3. Sources artésiennes ou d'émergences

Les sources d'émergences proviennent des libérations d'eau sous la pression d'aquifères confinés, soit à un affleurement de l'aquifère, soit par une ouverture dans le lit confiné.

3.1.4. Sources en roches imperméables ou d'affleurements

Les sources d'affleurements se produisent dans les canaux tubulaires ou dans les fractures de la roche imperméable. L'eau de source représente une ressource importante pour l'alimentation en eau potable, pour les habitants.

4. l'eau potable :

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. L'OMS la définit comme une eau ayant les caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques qui répondent à ses directives ou aux normes nationales relatives à la qualité de l'eau de boisson. Une eau potable, est une eau qui ne contient pas d'agents pathogènes ou d'agents chimiques à des concentrations pouvant nuire à la santé.

4.1. Les normes de potabilités :

La qualité de l'eau potable est un enjeu sanitaire majeur, strictement encadré par des normes nationales et internationales. En Algérie, les critères de potabilité sont définis par le Journal Officiel et s'appuient souvent sur les recommandations de l'OMS.

Cette section présente deux tableaux synthétiques des normes algériennes et mondiales en vigueur, incluant les paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Ces valeurs limites, permettent d'évaluer la conformité de l'eau aux standards de potabilité.

Tableau 01: Normes d'eau potable selon le journal officiel algérienne (JORA, 2014),OMS (2006)

Paramètres	Unité	Norme Algérienne	OMS
Température	C°	25	25
pH	/	≥ 6,5 et ≤ 9	≥ 6,5 et ≤ 9,5
CE à 20°C	µs/cm	2800	/
Sodium	mg/l	200	/
Calcium	mg/l	200	/

Potassium	mg/l	<12	/
Chlorure	mg/l	500	250
Oxygène dissous	mg/l	5	5
Phosphate	mg/l	0,5	/
Turbidité	NTU	5	5
Nitrites	mg/l	0,2	0,2
Titre alcalimétrique simple (TA)	°F	0	/
Titre alcalimétrique complète (TAC)	°F	≤30	/
MES	mg/l	25	/
TDS	mg/l	1500	Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Salinité	mg/l	0,5	/
DBO	mg/l	<3	/
Dureté total (TH)	mg/l	500	200

Le tableau n° 02 présente les critères bactériologiques établis par le JORA (2014).

Tableau 02 : Les critères bactériologiques selon le journal officiel algérienne (JORA, 2014)

Paramètres	Unités	Norme algérienne	OMS
Coliformes totaux	Nombre /100ml	0	0
Coliformes fécaux	Nombre /100ml	0	0
Streptocoque fécaux	Nombre /100ml	0	0

5. Pollution de l'eau :

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement, car l'eau est une interface entre l'air et le sol, elle subit donc les dégradations de ces deux milieux **(Bouziati, 2000)**.

Une eau est dite polluée, lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines **(Rodier et al., 2005)**.

5.1. Les sources de pollution :

L'activité humaine, qu'elle soit son origine, industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toute nature qui engendrent de différents types de pollution (Tab.03) qui peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville par exemple), périodiques ou encore accidentelles ou aiguës **(Rodier et al., 2009)**.

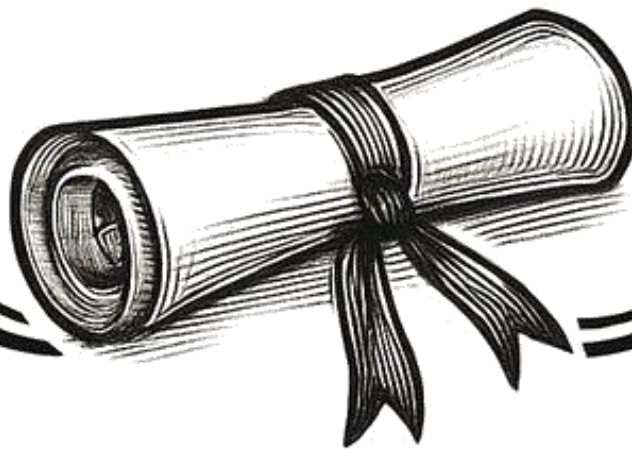
Tableau 03 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut, 2011)

Type de pollution	Nature	Origine
Physique	Rejet d'eau chaude	Centrales thermiques
	M.E.S (matière en suspension)	Rejet bains, érosion des sols
Chimique	Matière organique	Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
	Métaux (Cd, Pb, Al,As)	Industries, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides...)	Industries, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvants)	Industries
	Composés organiques de synthèse	Industries
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports
Biologique	Bactéries, virus, champignons.	Effluents urbains, agricoles



Chapitre II

Matériels et méthodes



1-Cadre de l'étude

La commune de Filfila a connu une croissance démographique importante ces dernières années, entraînant des difficultés dans l'approvisionnement en eau potable, ce qui rend l'utilisation des eaux souterraines obligatoire.

Les eaux souterraines que nous avons étudiées sont des eaux phréatiques, accessibles au niveau des forages.

Nous avons effectué des analyses physico-chimiques et d'autres bactériologiques au niveau de trois laboratoires différents :

- 1- Le laboratoire central de l'Algérie des eaux (ADE), qui se trouve à ZERAMNA ;
- 2- Le laboratoire de l'observatoire national de l'environnement et du développement durable (ONEDD), qui se trouve au centre de ville de Skikda ;
- 3- Le laboratoire de l'établissement public de santé (service d'épidémiologie et de médecine préventive) qui se situe à Berahal (wilaya d'Annaba).

2-Présentation de la commune d'étude

2-1-Situation géographique de la wilaya de Skikda

La commune de Skikda fait partie des bassins côtiers Constantinois, au Nord-Est de l'Algérie. Elle se trouve entre la longitude 6°,50 Est et la latitude 36°,35 Nord. La commune de Skikda s'étend sur une superficie de 55 82 Km². Elle compte une population d'environ 800.000 habitants, soit une densité de 192 ha/Km² (Aniref, 2013).

2-2- Géographie de la commune de Filfila

La commune de Filfila est située conformément à la division administrative de 1974, au Nord-Est de Skikda. Située sur la bonde côtière et délimitée par :

- La commune de Mohamed Saadi (Djendal) à l'Est et au Sud-Est,
- La commune Hammadi Krouma au Sud,
- La commune de Skikda à l'Ouest,
- La mer Méditerranée au Nord.

2-4-L’hydrographie

Le réseau hydraulique de la wilaya, particulièrement dense, est dû à l’humidité du climat, à la pente et à la présence de terrains de faible perméabilité, ce qui favorise le ruissellement au détriment de l’infiltration. Les potentialités hydrauliques de la wilaya sont constituées de trois (03) types de ressources en eau ; superficielles, souterraines et sources.

Les ressources en eaux souterraines (forages et puits), dont le volume est estimé à 87115 Hm³ se localisent dans les nappes alluviales des oueds de la wilaya (le Kébir, l’oued Saf-Saf, le Guebli, le Bibi côtier, le Fil-Fila et le côtier de Bougaroun) (**Monographie de la wilaya de Skikda, 2015**).



Figure 04 : Réseau hydrographique dans la Wilaya de Skikda (ANRH, 2000)

2-5- L’étude climatologique

L’étude climatologique est nécessaire pour toute étude hydrogéologique, car elle facilite la compréhension des mécanismes d’alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. L’évaluation du bilan hydrique exige la connaissance des paramètres suivants : les températures, les précipitations, l’humidité relative et les vents. La connaissance de ces caractéristiques climatiques conditionne le développement des végétaux et assure la bonne production (**Nechem, 2009**).

2-5-1-La température

La température constitue un facteur limitant, d'où l'importance de connaître les températures pour évaluer leur incidence sur le choix des cultures.

Le climat de la commune de Skikda est de type subhumide à humide, tempéré et relativement doux, sous l'influence de la mer Méditerranée. Il se caractérise par deux saisons bien distinctes :

- Une saison froide et humide, s'étendant généralement de novembre à mars, avec une température moyenne de 17,57°C.
- Une saison chaude, allant de mai à septembre, caractérisée par une température moyenne de 25,32°C.
- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 20,81°C.
- Ces valeurs concernent la période 2015 à 2024 (**Infoclimat, 2024**).

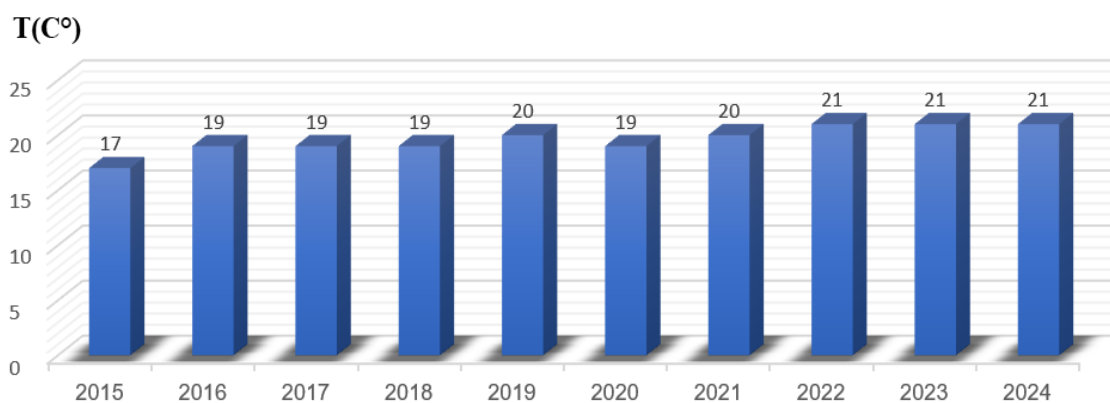


Figure 05: Température mensuelle moyenne (C°) de la wilaya de Skikda de 2015-2024

2-5-2-Les précipitations

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une commune. Elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines (**Ayad, 2016**).

- La pluviométrie annuelle pour l'année 2024 est de 65 mm (**Infoclimat, 2024**).
- Le mois le plus pluvieux est novembre avec 11 mm, tandis que les mois les plus secs sont juin et juillet, sans aucune précipitation enregistrée.

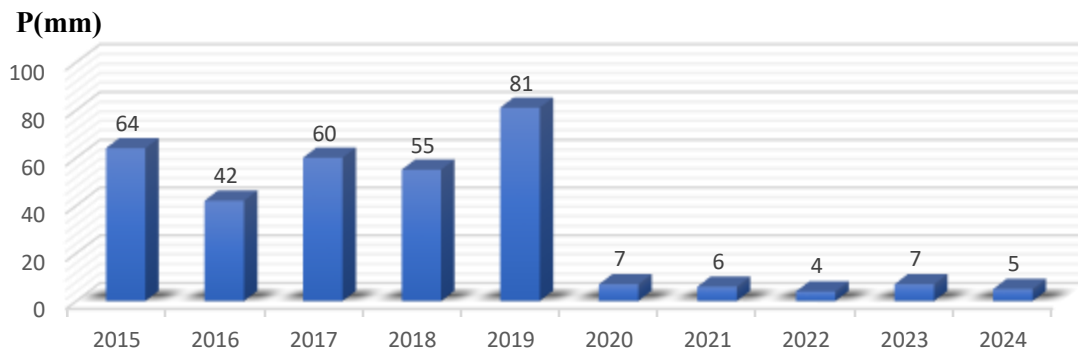


Figure 06 : Pluviométrie mensuelle moyenne (mm) de la wilaya de Skikda de 2015-2024

2-5-3-L'humidité

L'humidité relative de la wilaya de Skikda, enregistre une valeur très importante. Elle connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue.

La période la plus lourde de l'année dure quatre mois et demi, du 2 juin au 17 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 20 % du temps. Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Skikda est août, avec 23,6 jours lourds ou plus accablants. (**Weather Spark, 2024**).

2-5-4-Le vent

- La vitesse moyenne annuelle du vent est enregistrée en 2018, elle est d'environ 3.7 m/s.
- La zone littorale de la wilaya de Skikda est particulièrement exposée à des vents très violents pouvant atteindre une vitesse de 130 km/h. Ces vents provoquent de nombreux dégâts aussi bien sur le littoral qu'à l'intérieur des terres (**Infoclimat, 2018**).
- La direction des vents dominants est de Sud-Ouest à Sud-Est.

2-5-5-Synthèse climatique:**➤ Diagramme pluviométrique de Bagnouls et Gausсен**

Le diagramme pluviométrique de Bagnouls et Gausсен permet de mettre en évidence la période sèche de notre zone d'étude. Il est construit avec deux axes d'ordonnées où les valeurs de la pluviométrie, qui sont portées à une échelle double de celle des températures (**Bagnouls et Gausсен, 1957**).

$$P=2T$$

P: Pluviométrie en (mm)

T: Température en (C°)

_L'examen de ce diagramme met en évidence une période de sécheresse s'étalant de mars à début novembre, totalisant huit mois durant lesquels les pluies sont bien en deçà du double des températures. Ceci indique un manque d'eau significatif, typique du climat méditerranéen que l'on retrouve dans cette zone.

_En particulier, juin et juillet montrent une absence totale de pluie (0 mm), tandis que les températures sont au plus haut, renforçant ainsi la sécheresse estivale.

_Inversement, les pluies augmentent sensiblement en hiver, surtout en entre janvier et février, avec un pic au mois de novembre, confirmant une distribution des précipitations typique des communes côtières méditerranéennes, caractérisée par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides.

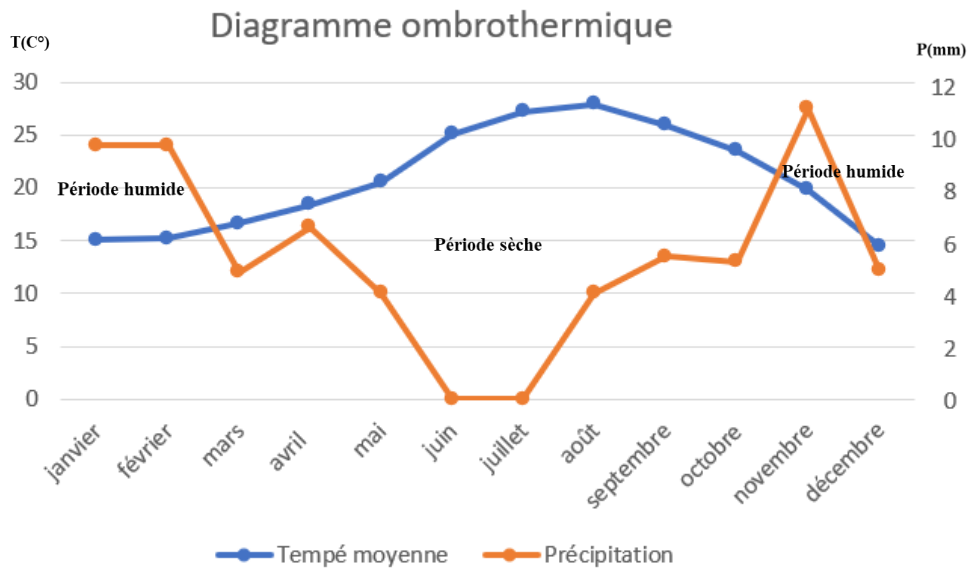


Figure 07: Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gausson (1957) de la wilaya de Skikda (2024).

3-Echantillonnage

3-1-Localisation des sites de prélèvement

Dans ce travail nous avons choisi 6 stations pour réaliser nos prélèvements. Le tableau 04 ainsi que la figure 05, montrent les localisations géographiques des sites de prélèvements dans la commune de Filfila .

Tableau 04 : Localisations des sites de prélèvement dans la commune de Filfila

Station	Source	Coordonnées géographiques
St 1	Le forage Ilias	36°52'56.37"N / 7°01'51.90"E
St 2	La mosquée El Imam Malik	36°53'59.33"N / 7°03'18.96"E
St 3	La gendarmerie	36°53'56.64"N / 7°02'59.08"E
St 4	La mosquée El Tawhid	36°53'34.45"N / 7°03'21.94"E
St 5	La mosquée El Nasr	36°53'37.36"N / 7°02'56.23"E
St 6	La mosquée El Houda	36°52'53.78"N / 7°01'50.35"E



Figure 08: Localisation des sites de prélèvements dans la commune de Filfila (Image satellitaire, Google Earth, 2025)

3-2-Prélèvement des échantillons d'eau

3-2-1- Choix des sites et techniques de prélèvement

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total 72 échantillons d'eau dont 36 prélèvements pour l'analyse physico-chimique et 36 prélèvements pour l'analyse bactériologique. Tous ces prélèvements ont été réalisés dans 6 sources numérotés de St 1 à St 6. Chacun de ces sources a fait l'objet de 6 prélèvements physico-chimiques et 6 prélèvements bactériologiques pendant toute la durée de notre travail (fin février à début mai).

- Les échantillons d'eau nécessaires à l'analyse physico-chimique ont été prélevés selon la méthode décrite par **Rodier et al. (2009)**, dans des flacons jetables en matière plastique et conservés à 4°C, ensuite analysés dans les 24 heures qui suivent.

- Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml propres stériles.
- Pour éviter les risques de contamination, les flacons d'échantillonnages ne doivent être ouverts qu'au moment du prélèvement. Une fois d'échantillon est prélevé, les flacons doivent être fermés hermétiquement jusqu'au moment de l'analyse (**Bouchair et Benalia, 2015**).
- Les flacons contenant les échantillons d'eau prélevée ont été marqués et étiquetés.
 - Six campagnes de prélèvements ont été réalisées :
 - **P 1** : le 24 février 2025
 - **P 2** : le 10 mars 2025
 - **P 3**: le 25 mars 2025
 - **P 4**: le 13 avril 2025
 - **P 5**: le 27 avril 2025
 - **P 6**: le 12 mai 2025

3-3-Transport et conservation

- Les échantillons d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique sont placés dans une glacière à 4°C et transportés ensuite au laboratoire. Il faut utiliser une boîte isotherme muni d'élément réfrigérant dont la température doit être comprise entre 4 à 6°C, si le transport doit dépasser une heure, tandis que l'analyse bactériologique doit commencer dans un délai maximum de 8 heures après le prélèvement de l'échantillon (**Rodier et al, 1996**).
- Toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible, pour éviter la teneur initiale en germes des eaux ne risquent de subir des modifications dans le flacon. L'évolution est difficile à prévoir et dépend de nombreux facteurs : température, concurrence bactérienne des espèces présentes, composition chimique de l'eau (**Rodier et al, 2005**).

4-Techniques d'analyses des paramètres physico-chimiques et bactériologiques :

Le tableau suivant synthétise l'ensemble des paramètres étudiés, de leurs unités de mesures et de l'appareillage et des méthodes employés au laboratoire.

Tableau 05 : Liste des paramètres étudiés, unité de mesure et appareillage employé

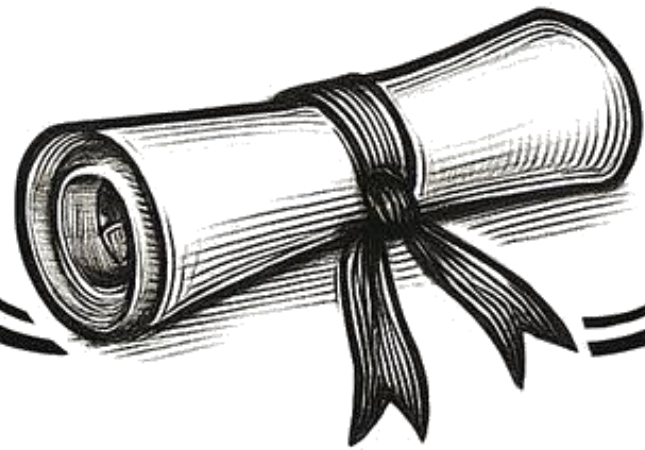
Type de paramètres	Paramètres effectués	Unité	Appareillage de mesure et méthodes d'analyse
Paramètres physiques	-Température	- (C°)	- Appareil multi-paramètre.
	-PH		- Appareil pH-mètre.
	-Conductivité électrique	- (µS/cm)	- Appareil multi-paramètre.
	-Oxygène dissous	- (mg/l)	- Appareil multi-paramètre.
	-TDS	- (mg/l)	-Appareil multi-paramètre.
	-La turbidité	- (NTU)	- Le turbidimètre.
	-MES	- (mg/l)	- Système de filtration sur membrane.
Paramètres chimiques	-TA	- (mg/l)	- Méthode Titrimétrique à l'acide sulfurique.
	-TAC	- (mg/l)	- Méthode Titrimétrique à l'acide sulfurique.
	-Sodium	- (mg/l)	- L'appareil spectrophotomètre
	-Potassium	- (mg/l)	-L'appareil spectrophotomètre.
	-Calcium	- (mg/l)	- Méthode Titrimétrique à l'EDTA
	-Chlorures	- (mg/l)	- Méthode Titrimétrique à Ag No ₃
	-Nitrites	- (mg/l)	- Le spectrophotomètre .
	-DBO	- (mg/l)	- Appareil multi-paramètre.
	-Phosphate	- (mg/l)	- Le spectrophotomètre .
	- Dureté (TH)	- (mg/l)	- Méthode Titrimétrique à l'EDTA.

	-Salinité	- (mg/l)	-Appareil multi-paramètre.
Paramètres bactériologiques	- Les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques	-CFU/100ml	- La méthode de filtration sur membrane (FM).
	- Les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques	-Npp/ml	-La méthode statistique du nombre le plus probable (NPP).



Chapitre III

Résultats et discussions



Au cours de ce chapitre, nous allons présenter les principaux résultats obtenus. Tout en les comparant avec les normes algériennes et celles de l’OMS.

1- Résultats des analyses organoleptiques

1-1- La couleur :

Les eaux de sources étudiées au niveau des 6 stations d’étude et durant toutes nos périodes de travail étaient limpides, ceci revient à l’absence ou aux faibles teneurs en matières susceptibles de provoquer une coloration de l’eau. Ceci permet de caractériser ces eaux «de bonne qualité» car d’après **Chelli and Djouhri (2013)** : Dans l’idéal, l’eau potable doit être claire et incolore. Le changement de couleur d’une eau potable peut être le premier signe d’un problème de qualité.

1-2- L’odeur :

L’eau de l’ensemble de nos stations était inodore durant nos prélèvements, ce qui indique que l’eau est pure et dépourvue de substances polluantes et de matière organique qui sont les principaux facteurs qui confèrent une odeur non souhaitable.

Ces résultats concordent avec ceux de **Lassed (2015)**, dans son étude physicochimique et bactériologique des sources d’Oued Leksob, qui se situe dans la même zone de notre site de travail (la commune de Filfila), rapporte également la présence d’une bonne qualité organoleptique de l’eau.

Nos résultats rejoignent aussi la définition de **Rodier et al. (2009)**, qui disent qu’une eau destinée à l’alimentation doit être inodore et toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition.

2- Résultats des analyses physico-chimiques

2-1-La conductivité

Durant la période de notre étude qui s'étend de la fin février au début de mai au niveau de 6 stations de la zone de Filfila, nous avons enregistré des valeurs comprises entre 486 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figure 11). Le minimum est enregistré à la St 2 à la fin février et le maximum est enregistré à deux stations : St 1 à la fin mars et St 4 au début mai. Toutes ces valeurs rencontrées, ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée par JORA (2014) à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Nous remarquons que la conductivité notée durant la période qui s'étend de fin février à fin mars, est plus faible que celle enregistrée au début d'avril jusqu'à début de mai et cela est dû aux variations de la température tout au long de la période d'étude : plus l'eau est froide plus il y a diminution de la conductivité et plus l'eau est chaude, plus ce paramètre augmente ; car d'après **Dib (2009)**, la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Ce qui rejoint la définition de **Rodier et al. (2009)** qui dit que, la mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau, donc elle renseigne sur le degré de sa minéralisation.

Lassed (2015) a travaillé sur la même problématique et a trouvé des résultats plus ou moins proches par rapport à nos valeurs, ils variaient entre 286 à 850 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

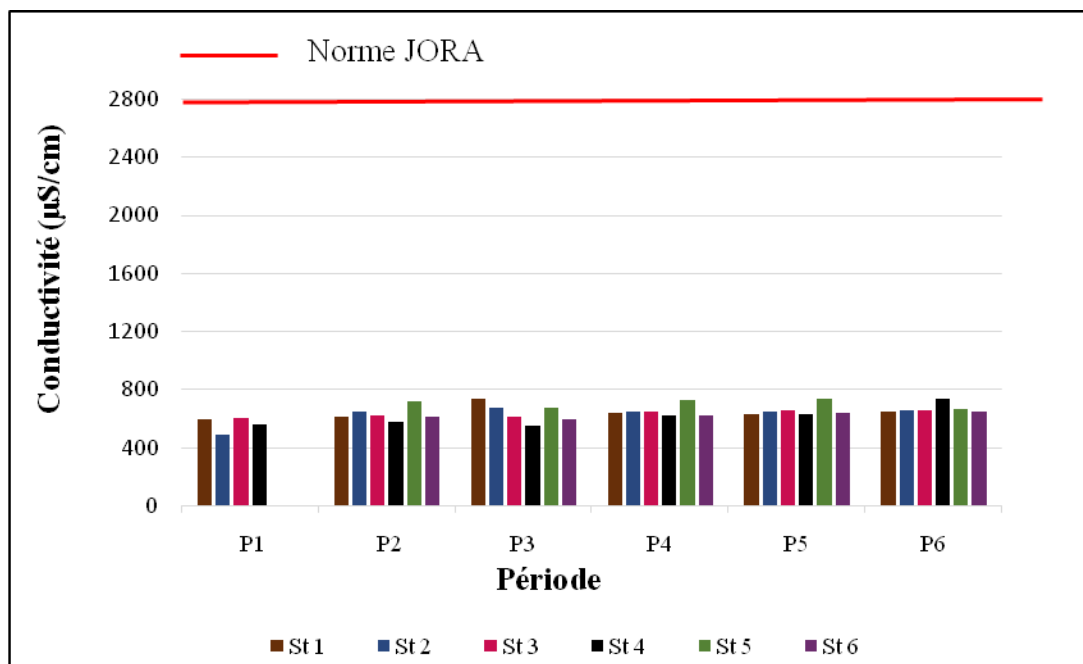


Figure 09: Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à début mai 2025

2-2-La température

Les résultats de la température obtenus dans notre zone d'étude, montrent une variation notable entre période sèche et humide. Durant la période humide (fin février à fin mars), la température est inférieure à 20°C, avec un minimum de 10,9 °C à la St 6. Par contre pendant la période sèche qui va du début avril au début mai, elle est supérieure à 20°C avec un maximum de 23,5°C à la St 3 (figure 12). Ceci est du probablement au changement climatique et rejoint ce qui a été annoncé par **Dib (2009)** : D'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques.

L'ensemble des valeurs de la température obtenues durant notre période de travail, sont conformes à la norme algérienne définie par JORA (2014) et l'OMS (2006), qui est de 25 °C.

Nos résultats ne concordent pas avec ceux de **Lassed (2015)**, qui a enregistré des températures variant entre 13,5°C et 18,4°C, probablement liés aux effets du changement climatique.

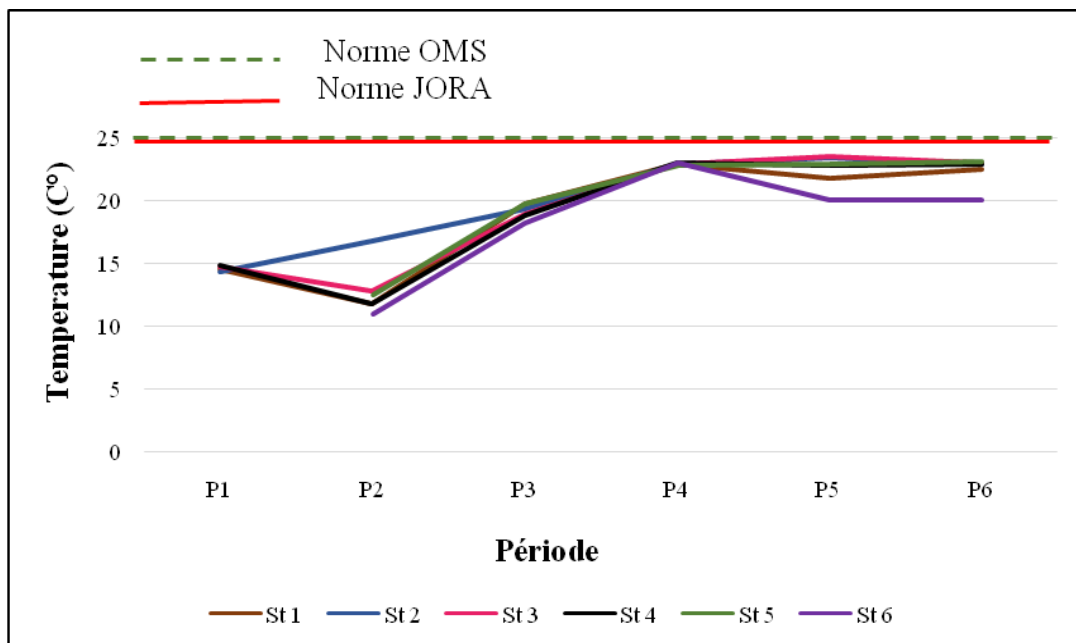


Figure 10 : Variation spatio-temporelle de la température de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à début mai 2025

2-3-Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est influencé par l'origine des eaux et de la nature des terrains traversés. Il joue un rôle important dans l'équilibre physico-chimique de l'eau (Belghiti et al., 2013).

Durant notre période de travail (fin février à début mai), les valeurs du pH des stations étudiées ont varié entre 7,01 et 8,17. Elles rentrent dans la gamme de la norme de potabilité algérienne fixée par JORA (2014) et celle de l'OMS (2006) (figure 13).

On observe que les valeurs du pH les plus élevées ont été enregistrées au début du mois de mars, cela peut être dû à la diminution de la température pendant cette période.

Des valeurs proches de nos résultats (comprises entre 7,01 et 8,17), ont été obtenus par Lassed (2015).

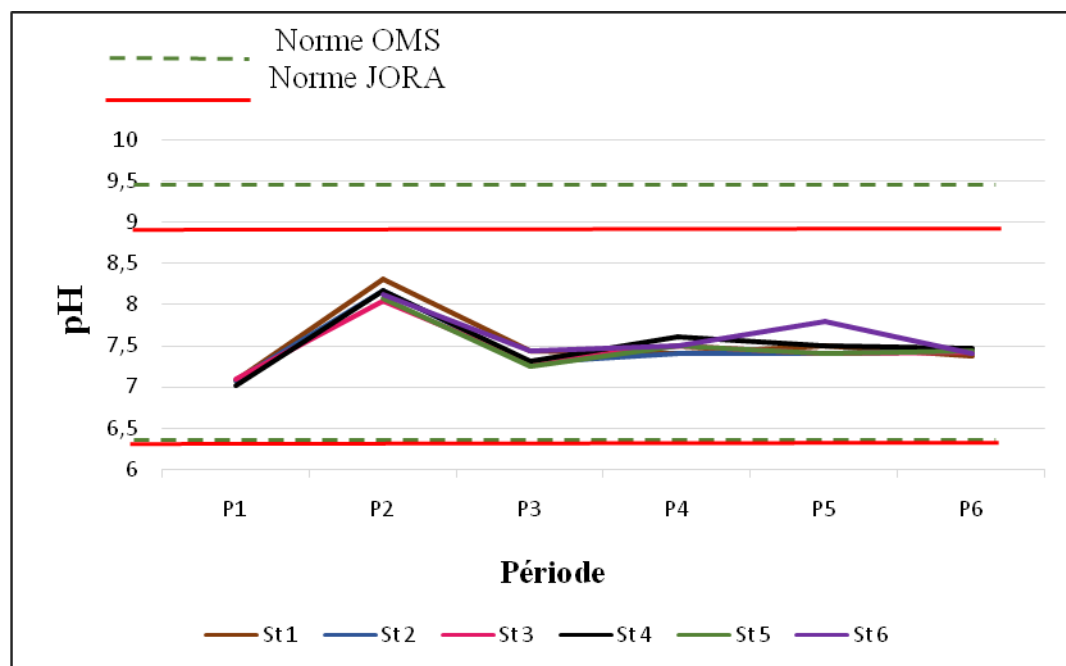


Figure 11 : Variation spatio-temporelle du pH de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à début mai 2025

2-4- La turbidité

La turbidité est due à la présence de matières en suspension entraînées dans les eaux (Gregorio and Pierre-Marie, 2007).

Les résultats présents dans la figure 14, montrent que les valeurs de la turbidité des stations étudiées sont basses et varient entre une valeur minimale égale à 0,16 NTU pour la St 3 et une valeur maximale

de 1,7 NTU pour la St 5, qui a enregistré toujours des résultats plus élevés que les autres stations. Les valeurs obtenues sont conformes avec la norme Algérienne (2014) et l’OMS (2006), qui fixent la turbidité à 5 NTU.

Les eaux qui contiennent des quantités très basses de particules en suspension, ce qui rend ces eaux claires et transparentes (**Ramade, 2000**).

Hors, nos résultats ne correspondent pas à ceux de **Lassed (2015)**, qui a trouvé des valeurs très élevées allant jusqu’à 17,4 NTU à la station 3.

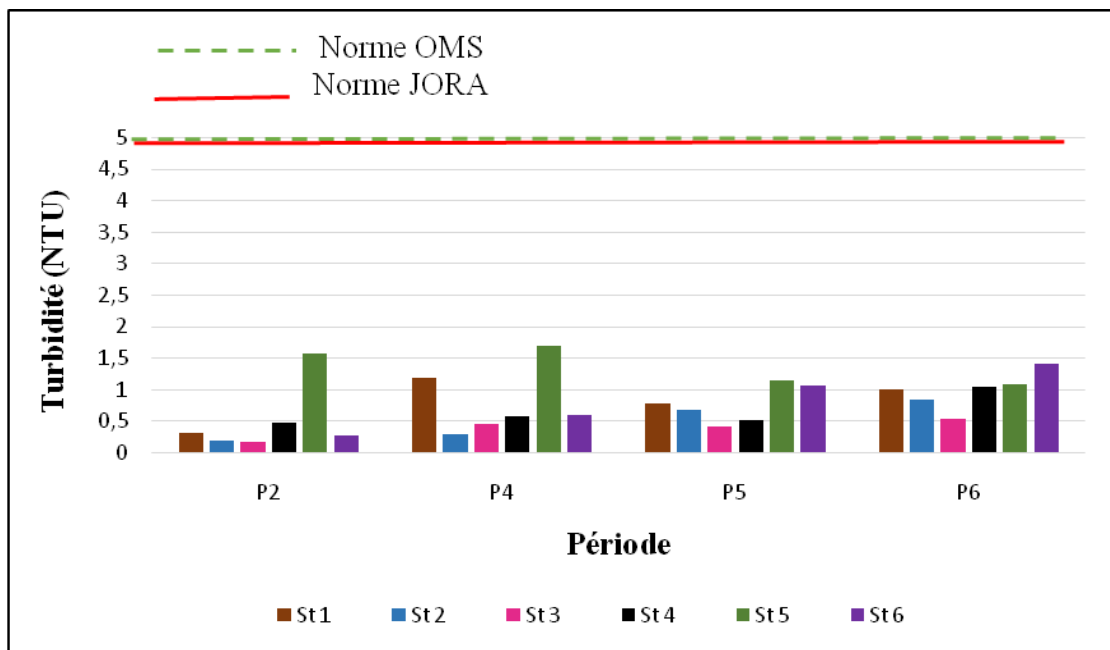


Figure 12 : Variation spatio-temporelle de la turbidité de l’eau de source des stations étudiées durant la période début mars à début mai 2025

2-5-Le Sodium (Na⁺)

Le sodium est un élément très soluble et très fréquent dans les eaux, il peut provenir à partir de plusieurs origines à savoir : la décomposition des sels minéraux tels que les silicates, le lessivage des formations géologiques riches en NaCl, des eaux salées, des nappes et des rejets des eaux usées d’origine industrielle et domestique (**Rodier et al., 2005**).

Nous avons enregistré durant les quatre mois de travail, des valeurs en Sodium comprises entre 20 et 33,4 mg/l dans les six stations (figure 15). La valeur minimale a été enregistrée à la St 4 et la valeur maximale à la St 6 qui affiche à chaque fois les résultats les plus élevés, ce qui est certainement dû à la nature des terrains traversés.

Les concentrations obtenues sont conformes aux normes exigées par la réglementation algérienne JORA (2014) qui est de 200 mg/l.

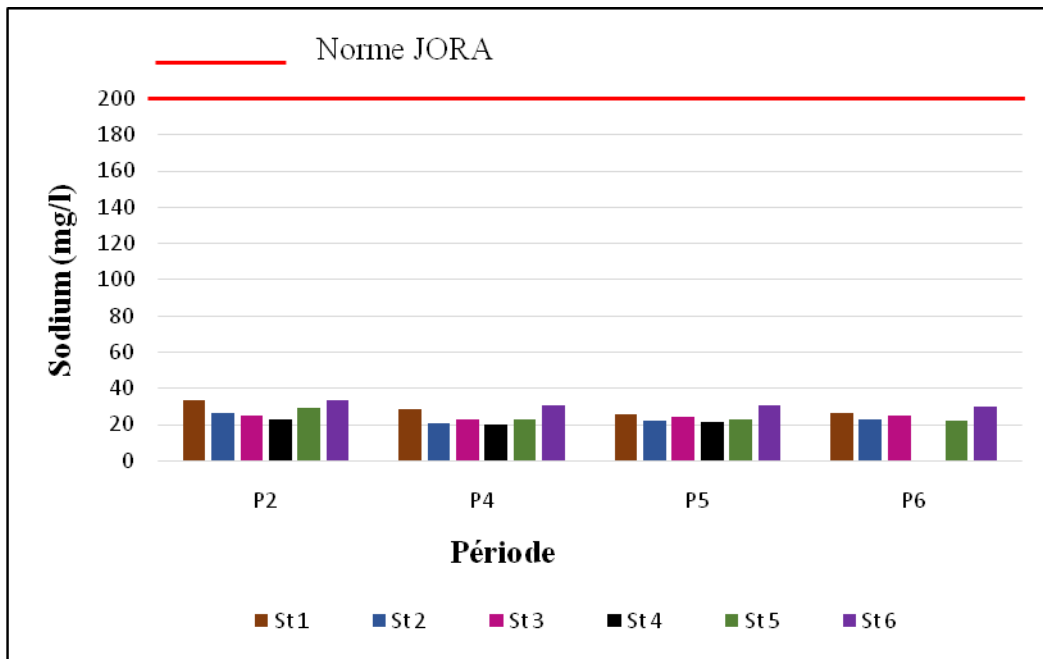


Figure 13 : Variation spatio-temporelle du Sodium de l'eau de source des stations étudiées durant la période début mars à début mai 2025

2-6-Le Potassium (K⁺)

Les teneurs en Potassium enregistrées dans les eaux des stations étudiées, varient entre 1,06 et 1,6 mg/l (figure 16). Ces valeurs sont globalement très proches et inférieures aux valeurs limites admissibles recommandées par la réglementation algérienne JORA (2014) qui est de 12 mg/l.

Les eaux potables à faible dose de Potassium, ne présentent pas de risque significatif sur la santé humaine et les besoins de l'organisme sont facilement fournis par l'apport alimentaire. **Houillier et al. (2004)**, déclarent que le Potassium est le cation le plus abondant du liquide intracellulaire et joue un rôle important dans un grand nombre de fonctions cellulaires pour lesquelles les besoins de l'organisme par jour sont importants.

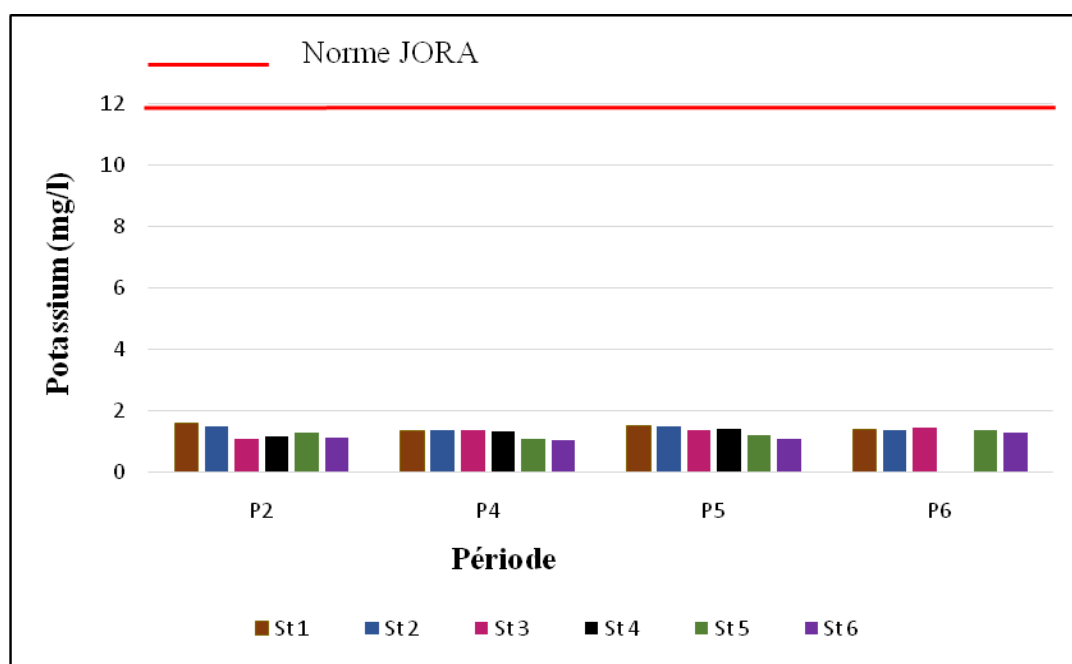


Figure 14 : Variation spatio-temporelle de potassium de l'eau de source des stations étudiées durant la période début mars à début mai 2025

2-7-Les matières dissoutes totales (TDS)

Selon l'OMS (2006), les TDS représentent la quantité totale de sels minéraux, ions et substances organiques dissous dans l'eau, comme le calcium, le magnésium ou les carbonates.

Tout au long de la période de notre étude, nous n'avons pas remarqué de grandes variations entre les points de prélèvement. Les valeurs enregistrées étaient globalement très proches et variaient entre 278 mg/l et 359 mg/l (figure 17). Ces valeurs ne dépassent pas la norme fixée par JORA (2014), qui est de 1500 mg/l.

Les résultats de **Lassed (2015)**, sont discordants par rapport à nos données, dont les valeurs varient entre 99 mg/l et 893 mg/l, ce qui montre une différence importante.

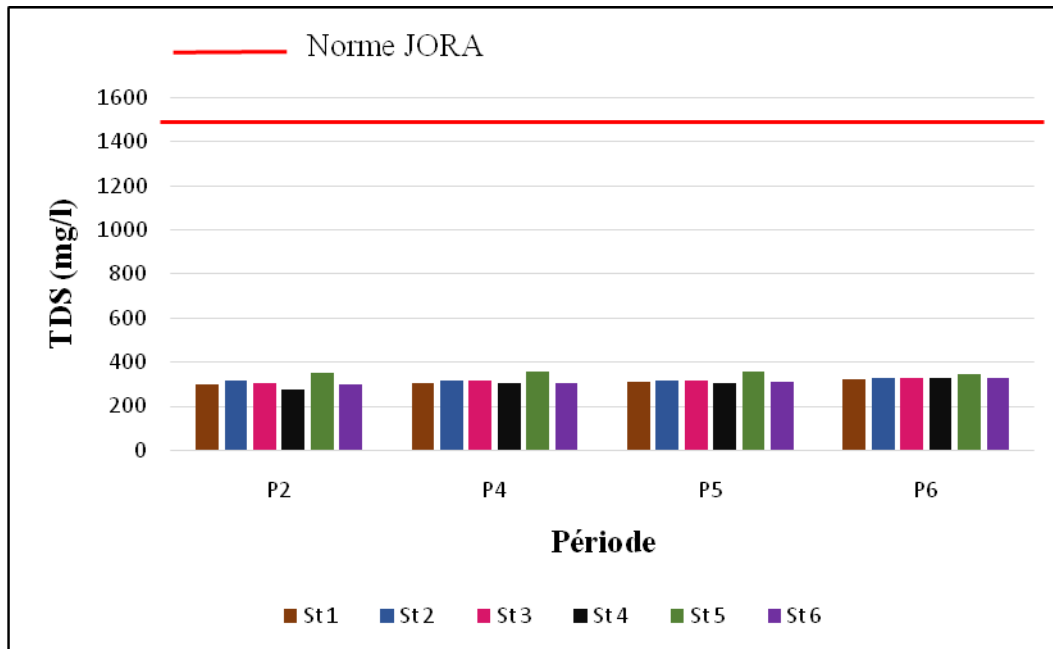


Figure 15: Variation spatio-temporelle de TDS de l’eau de source des stations étudiées durant la période début mars à début mai 2025

2-8- Les matières en suspension (MES) :

Lors des deux campagnes de prélèvements réalisées respectivement à la fin du mois de février et à la fin du mois de mars, une variation significative des concentrations en matières en suspension (MES) a été observée à la St1 et la St4. En effet, la valeur maximale enregistrée en P1 était de 6 mg/l pour la St 1 et 5 mg/l pour St4. Hors ces taux demeurent conformes aux normes de qualité des eaux de source, définies par la réglementation algérienne (JORA, 2014). Cependant en P3, cette concentration a fortement augmenté pour atteindre 33 et 36 mg/l pour la St1 et la St4 (figure18), dépassant largement les seuils réglementaires. Ceci peut certainement être due aux pluies saisonnières pendant la P3. Cela est rapporté par Ramade (1984) qui annonce que les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc.

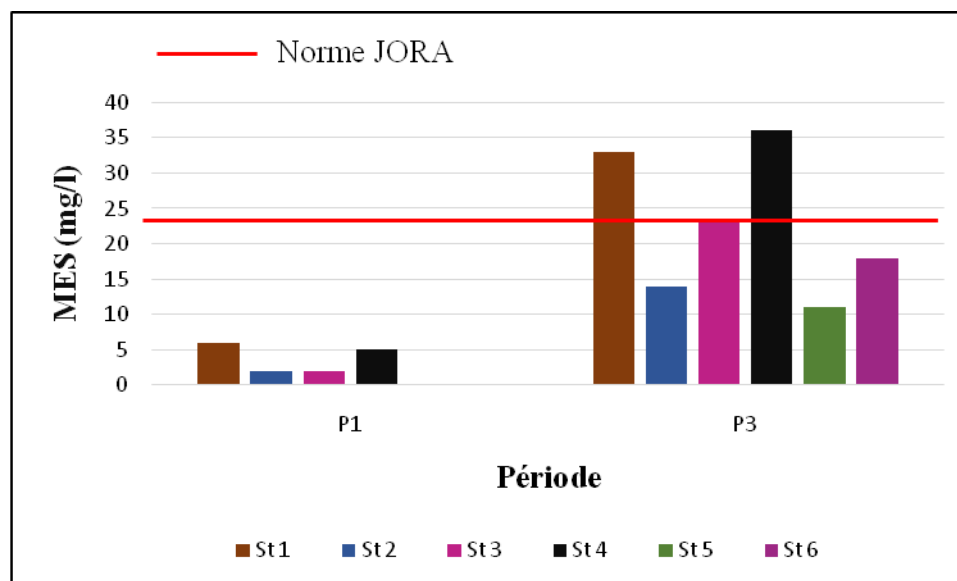


Figure 16: Variation spatio-temporelle de la matière en suspension de l'eau de source des stations étudiées durant la période de fin février à fin mars 2025

2-9- La demande biochimique en Oxygène (DBO₅) :

Les mesures de la DBO₅ ont été effectuées sur six stations à la fin du mois de février (P1) et à la fin mars (P3). La valeur maximale a été enregistrée au niveau de la station 4 durant la période 3, avec une DBO de 5 mg/l, suivie de la station 5, avec une DBO de 4 mg/l (figure19). Ces dernières valeurs dépassent les normes algériennes (JORA, 2014). Cette élévation est liée à la présence de la matière

organique biodégradable dans l'eau. Ce qui correspond à la définition donnée par **Rodier et al. (2009)**, qui annonce que : la DBO₅ d'une eau est la quantité d'oxygène exprimée en mg/l, consommée pendant 5 jours à une température de 20°C, nécessaire pour décomposer par oxydation biologique des matières organiques présents dans l'effluent. La valeur obtenue représente environ 80% de la pollution biodégradable totale.

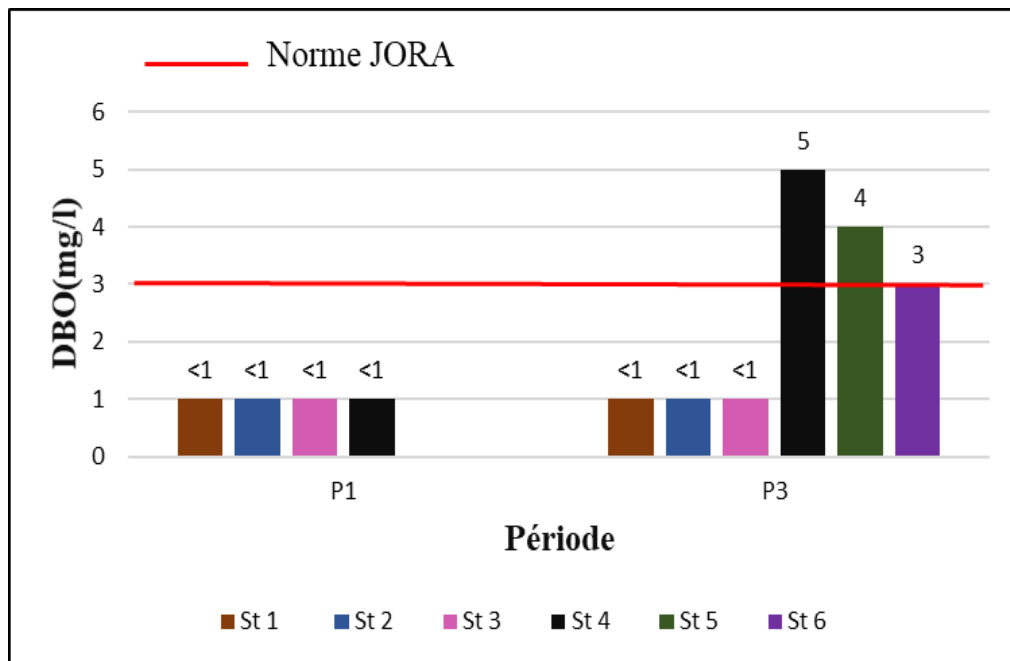


Figure 17 : Variation spatio-temporelle de la DBO de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à fin mars 2025

2-10-L'oxygène Dissous (OD) :

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre (**Rodier et al., 2009**).

Lors de notre campagne d'échantillonnage effectuée à la fin du mois de février (P1) et à la fin du mois de mars (P3), les teneurs en oxygène dissous (OD) mesurées sur les six stations ont montré des valeurs qui excèdent les normes (JORA, 2014). La valeur maximale a été enregistrée au niveau de la St 3, avec une concentration de 10,64 mg/l durant la période 1. En revanche, la valeur minimale de

5,83 mg/l, a été observée au niveau de la St 4 pendant la P1 figure (20). L'augmentation de l'oxygène dissous peut être due à la baisse de température.

En comparaison avec le travail de **Lassed (2015)**, qui a enregistré des valeurs inférieures à la norme JORA (2014) et sont comprises entre 2,4 mg/l et 3,6 mg/l ; nos résultats dépassent ces dernières.

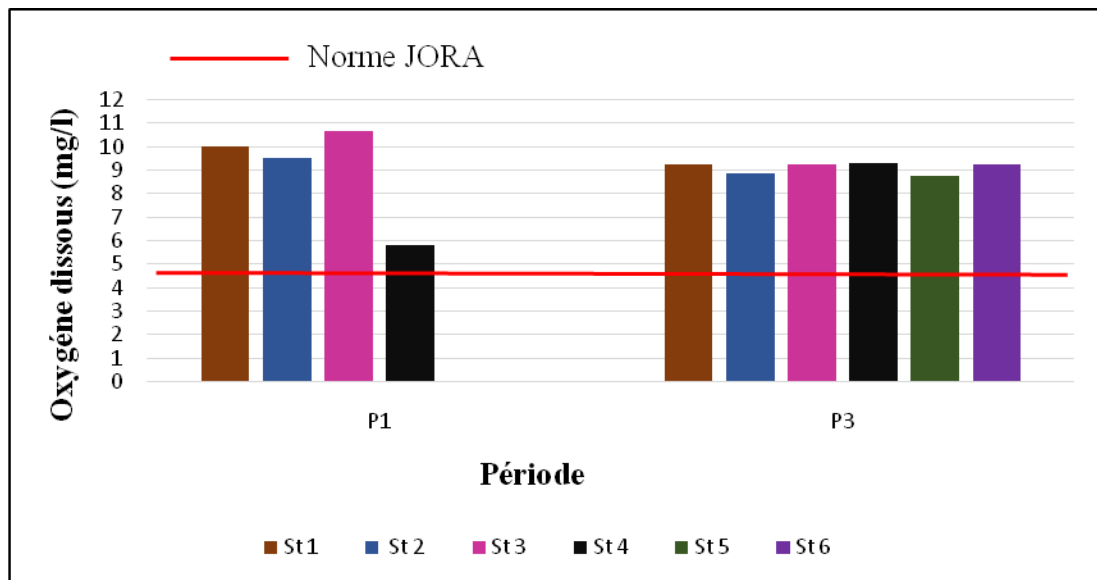


Figure 18 : Variation spatio-temporelle de l'Oxygène dissous de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à fin mars 2025

2-11-Le titre alcalimétrique simple (TA) :

Le titre alcalimétrique ou TA, mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et carbonates alcalines caustiques. Donc c'est la teneur en hydroxyde (OH^-) et la moitié de la teneur en carbonates (CO_3^{2-}) (**Rodier et al., 1996**).

Les valeurs du TA trouvées au niveau des eaux prélevées pendant la période début mars à début mai 2025, dans les 6 stations de notre zone d'étude (Filfila) étaient égales à 0 mg/l. Ce qui signifie l'absence de (OH) et de (CO_3), ceci paraît logique puisque le pH est inférieur à 8,3 (**Hakmi, 2006**). La réglementation Algérienne n'exige aucune valeur pour ce paramètre, car quel que soit sa concentration dans l'eau, la potabilité n'est pas affectée.

Nos résultats concordent avec ceux de **Lassed (2015)**, qui a également enregistré un titre alcalimétrique nul (0 mg/l) dans toutes les stations et durant toute la période d'étude. Cette

concordance s'explique par des valeurs de pH inférieures à 8,3, ce qui justifie l'absence d'ions OH^- et CO_3^{2-} .

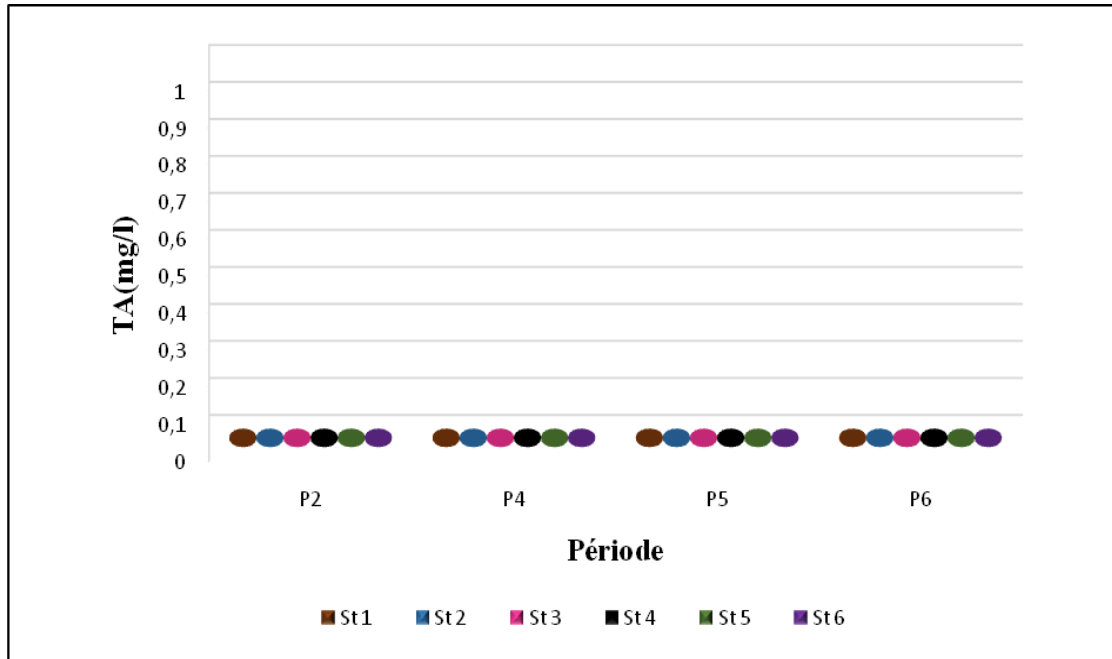


Figure 19 : Variation spatio-temporelle de TA de l'eau de source des stations étudiées durant la période début mars à début mai 2025

2-12-Le titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le TAC donne l'alcalinité totale de l'eau, il mesure les substances basiques : ions hydroxydes (OH⁻), ions carbonates (CO₃²⁻) et ions bicarbonates (HCO₃⁻). Le TAC est un indicateur de la capacité tampon de l'eau contre les substances acides. Il existe une relation entre pH et TAC, en pratique, pour une eau dont le pH est inférieur à 8,3. Le TAC correspond à la concentration en ion bicarbonate (HCO₃⁻) (Bengaibona, 2010).

Les valeurs du TAC trouvées au niveau des eaux prélevées pendant la période d'étude (début mars à début mai) au niveau des 6 stations de la commune de Filfila, sont comprises entre 70 et 140 mg/l. Le minimum est enregistré à la St 5 au début mai et le maximum est enregistré à la St1 début avril (figure 21). Toutes ces valeurs ne dépassent pas la norme algérienne fixées à par JORA (2014) à 500 mg/l.

Nos données sont similaires avec ceux de **Lassed (2015)**, qui a obtenue des valeurs variant entre 43 et 157,66 mg/l .

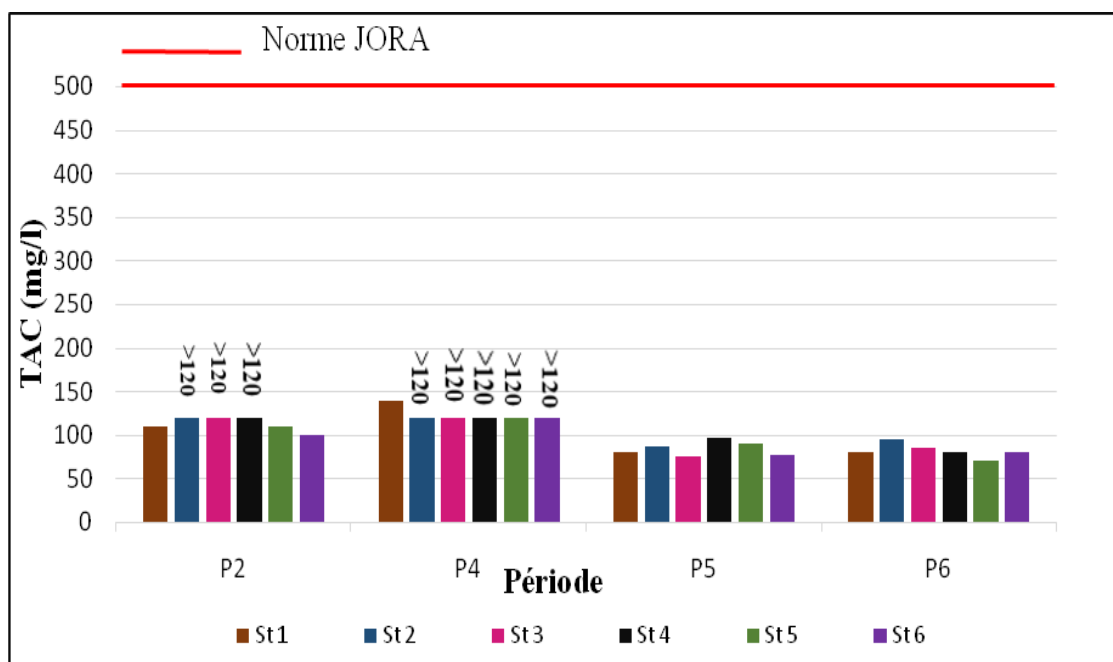


Figure 20 : Variation spatio-temporelle de TAC de l’eau de source des stations étudiées durant la période fin février à début mai 2025

2-13-Le Calcium (Ca^{2+}) :

Le Calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc. (Rodier et al., 2009).

Selon la norme JORA (2014) de l'eau potable, le calcium est plafonné à 200 mg/l. Alors que nos résultats obtenus pendant la période début mars à début mai 2025, au niveau des 6 stations de la commune de Filfila, sont bons et compris entre 32,04 et 66,48 mg/l (figure22) ; donc ces valeurs sont conformes à la norme algérienne.

Le Calcium ne pose pas des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique est lié à une dureté élevée est l'entartrage (Gaujour, 1995).

Les valeurs enregistrées par Lassed (2015), sont quant à elle plus élevées que celles obtenues lors de notre étude.

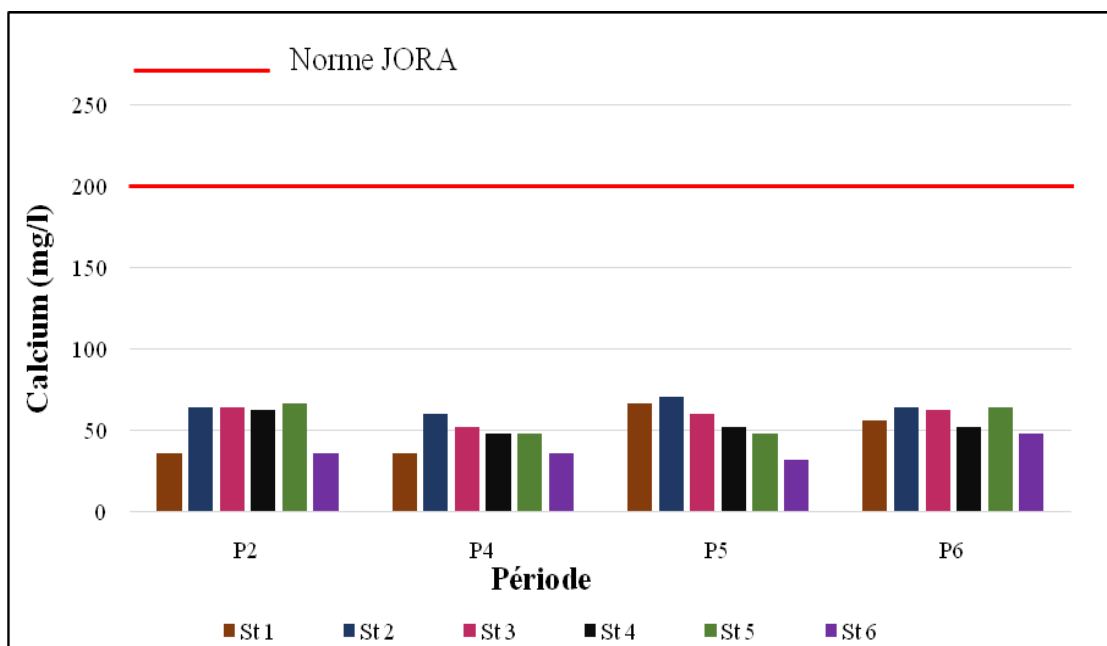


Figure 21 : Variation spatio-temporelle du Calcium de l'eau de source des stations étudiées durant la période début mars à début mai 2025

2-14- Les chlorures (Cl⁻) :

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (Rodier, 2005).

Les teneurs en chlorures enregistrées dans les eaux des stations étudiées durant la période (début mars à début mai 2025) varient entre 63,9 mg/l et 120,7 mg/l (figure 23).

Le minimum est enregistré au niveau de deux stations : à la St 2 au début du mois d'avril et à la St 3 à la fin du mois de mars ; alors que le maximum est enregistré à la St 6 au début mars.

Les concentrations obtenues n'ont dépassé ni la norme algérienne annoncée par JORA (2014) requise pour les eaux de consommation qui est de 500 mg/l, ni la norme AFNOR_T90_036 qui fixée aussi à 500 mg/l, ni même la norme de l'OMS (2006) qui est de 250 mg/l.

Contrairement à nos données qui varient entre 63,9 et 120,7 mg/l, l'étude de Lassed (2015) a enregistré des valeurs plus faibles, comprises entre 35,3 et 85,2 mg/l.

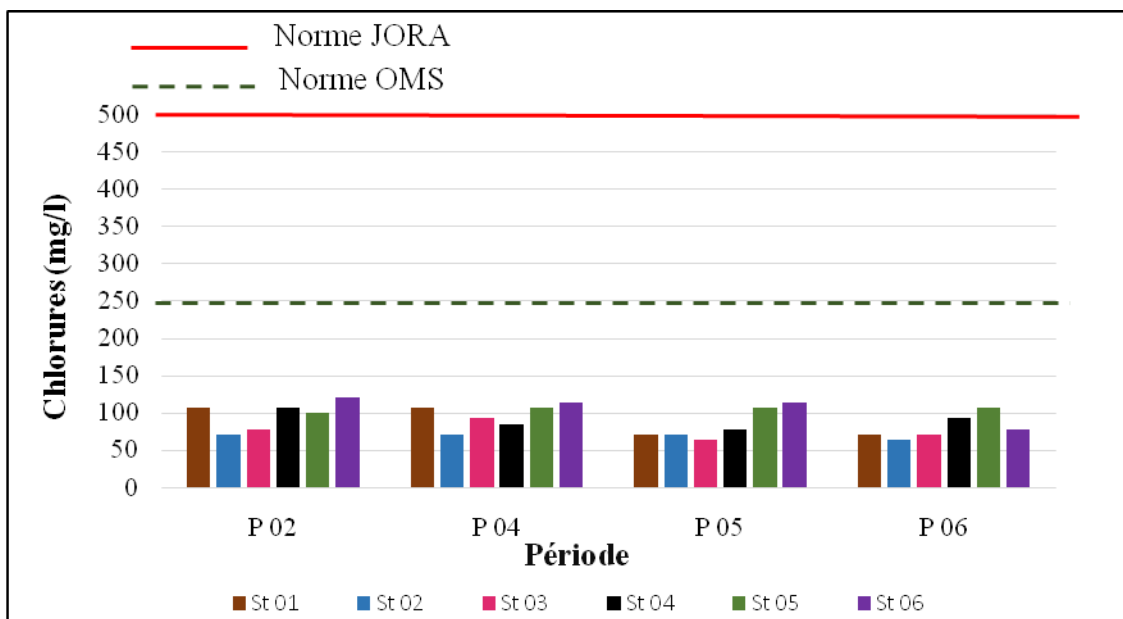


Figure 22 : Variation spatio-temporelle des Chlorures de l'eau de source des stations étudiées durant la période début mars à début mai 2025

2-15-Les nitrites (NO_2^-) :

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte, car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (Rodier, 1976).

Durant la période fin février (P1) au niveau de 4 stations (St 1, St 2, St 3 et St 4) et la fin mars (P3) au niveau des 6 stations de zone d'étude, on retrouve que la valeur minimale enregistrée est $<0,02$ mg/l et la valeur maximale est $<0,2$ mg/l (figure 24). Ces valeurs ne dépassent pas la norme fixée par JORA (2014), l'OMS (2006) qui est aussi égale à 0,2 mg/l, et la norme AFNOR_T90_013, tous fixés à 0,2 mg/l.

D'après les études de Dégbey *et al.*, 2010, 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. Toutefois, dans le cadre de notre étude, les analyses effectuées révèlent des concentrations en nitrites inférieures aux seuils réglementaires, indiquant l'absence de contamination par les nitrites.

Nos résultats concordent avec ceux de Lassed (2015), qui a trouvé des teneurs faibles en nitrites à l'état de traces (0,0009 mg/l).

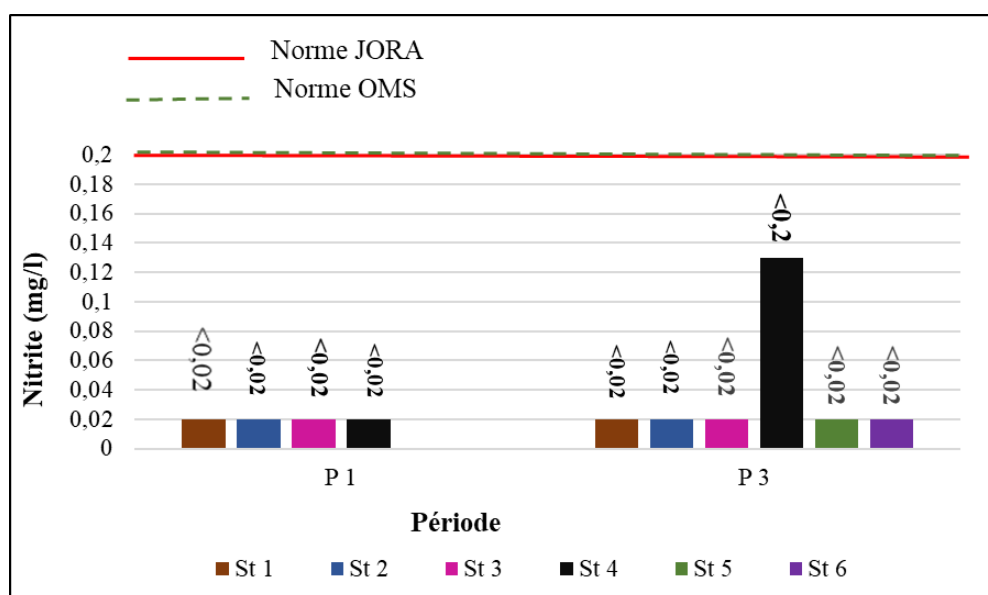


Figure 23 : Variation spatio-temporelle des nitrites de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à fin mars 2025

2-16-Les Phosphates (PO₄³⁻) :

D'après **Rodier et al. (2009)**, les phosphates sont des composés dérivés de l'acide phosphorique, présents dans les eaux sous forme d'orthophosphates, de poly Phosphates ou de phosphates organiques. Ils proviennent principalement des rejets domestiques (détergents), agricoles (engrais) et industriels. Leur accumulation dans les milieux aquatiques favorise l'eutrophisation, un phénomène de prolifération excessive d'algues et de micro-organismes, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau.

Au cours des deux périodes d'étude qui s'étendent de la fin février au niveau de 4 stations d'étude (St 1, St 2, St 3 et St 4) et la fin mars au niveau des 6 stations de la commune de Filfila, les valeurs obtenues varient entre une valeur minimale de 0 mg/l pour la St 6 et une valeur maximale de 0,02 mg/l pour la St 4 (figure 25). Ces deux valeurs sont enregistrées durant la période 3.

Les résultats obtenus, ont été comparés à la norme fixée par JORA (2014) et n'ont pas dépassé la limite maximale qui est de 0,5 mg/l.

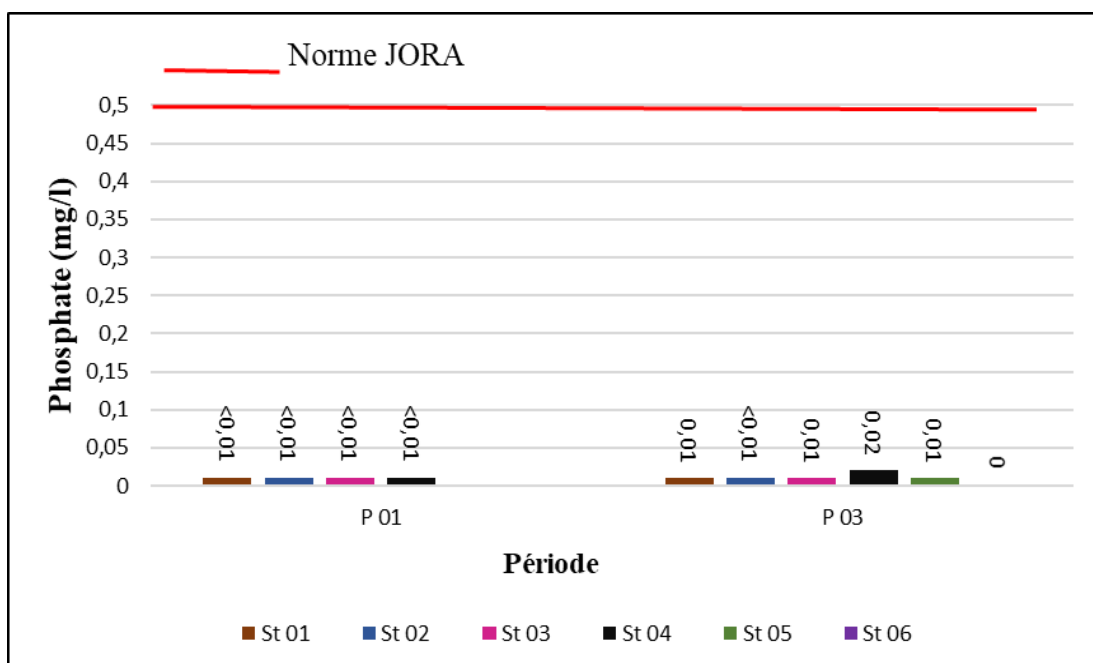


Figure 24 : Variation spatio-temporelle des phosphates de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à fin mars 2025

2-17- La salinité :

La salinité est la somme des concentrations des sels dissous dans l'eau, incluant principalement le sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}) et le potassium (K^+). Une salinité élevée peut affecter la potabilité de l'eau et causer des effets néfastes sur la santé humaine, notamment à travers l'apport excessif de sodium (OMS, 2017).

Pendant notre période d'étude, à la fin février au niveau de 4 stations (St 1, St 2, St 3 et St 4) et la fin mars au niveau des 6 stations de la zone de Filfila, nous avons enregistré des valeurs comprises entre 0 et 0,1 mg/l (figure 26). Ces valeurs ne dépassent pas la norme algérienne JORA (2014) fixée à 0,5 mg/l.

Nos résultats concordent globalement avec ceux de Lassed (2015), qui a observé des valeurs de salinité très faibles dans la majorité des stations.

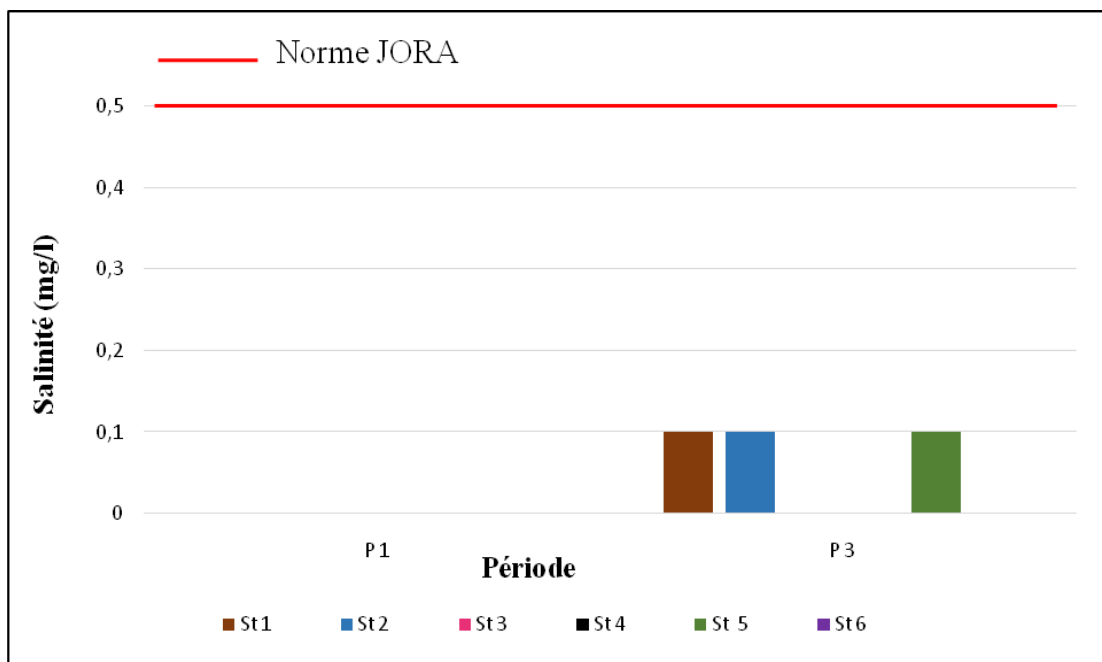


Figure 25 : Variation spatio-temporelle de la Salinité de l'eau de source des stations étudiée pendant la période fin février à fin mars 2025

1-18-La dureté totale (TH) :

Le TH est le titre hydrotimétrique et représente la dureté de l'eau. Il correspond approximativement à la somme de Ca^{+2} et Mg^{+2} (Dambrine et al., 1999).

Durant la période d'étude et à la fin mars au niveau de nos 6 stations de la zone de Filfila, la valeur minimale de la dureté totale est de 160 mg/l, qui a été observée à la St5 ; alors que la valeur maximale est de 260 mg/l pour les stations : St 4 et St 6 (figure 27). Ces valeurs ne dépassent pas la norme fixée par JORA (2014) à 500 mg/l.

Les valeurs enregistrées par Lassed (2015) varient entre 100 et 370 mg/l, sont plus élevées que celles obtenues lors de notre étude.

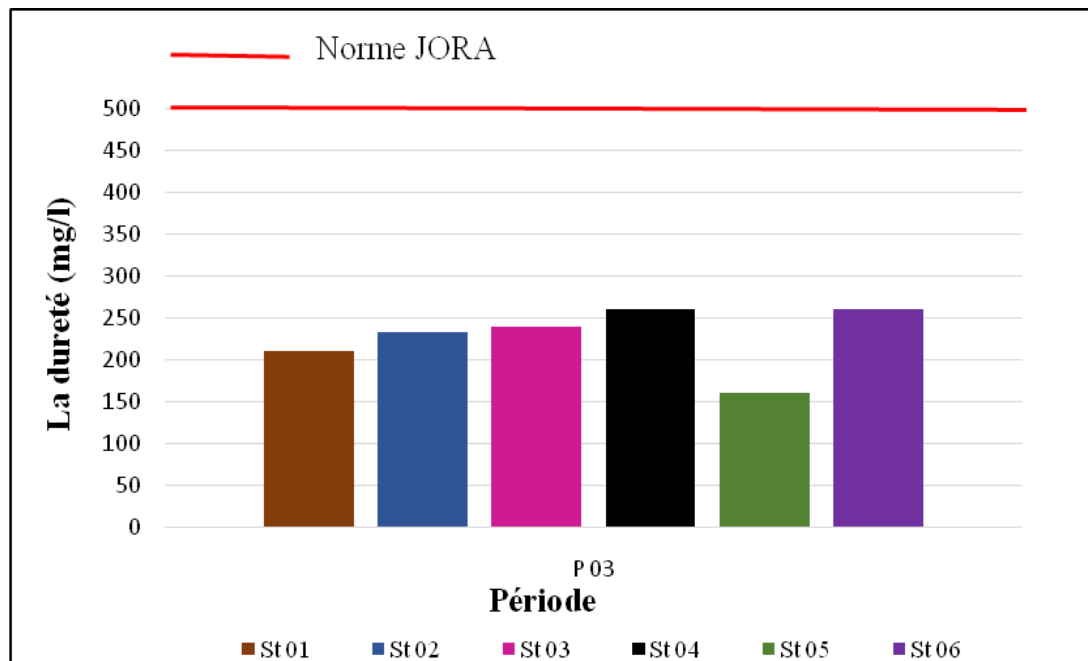


Figure 26 : Variation spatio-temporelle de la dureté totale (TH) de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin mars 2025

1-19- Les coliformes totaux :

Les coliformes appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Le terme «coliforme» correspond aux organismes en bâtonnets, non sporogène, Gram-négatifs, oxydase négatif, aéro-anaérobies facultatif, capable de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et gaz en 48 heures à des températures de 35 et 37 °C (Rodier, 2005).

Sur les 6 stations étudiées pendant six périodes successives, on a détecté des concentrations variables en coliformes totaux. La contamination la plus élevée a été enregistrée à la station 6 durant le prélèvement 1, avec une valeur de 1100 UFC/100 ml, ce qui constitue un dépassement significatif par rapport à la norme algérienne fixée à 0 UFC/100 ml par JORA (2014). Outre la station 6, d'autres points de prélèvement ont montré l'absence des CT : les stations 4 et 5 durant la période 2, les stations 3 et 4 durant la période 4, ainsi que la station 3 à la période 6 (figure 28). Le reste des stations ont enregistré des contaminations avec une valeur moyenne. Cette contamination est due à la pollution avoisinante, comme l'élevage de bétails, l'existence des fosses septiques et l'absence d'un réseau d'assainissement.

Nos résultats sont en accord avec ceux de Lassed (2015), qui a également enregistré la présence des coliformes totaux dans certaines analyses, indiquant une altération de la qualité bactériologique de l'eau.

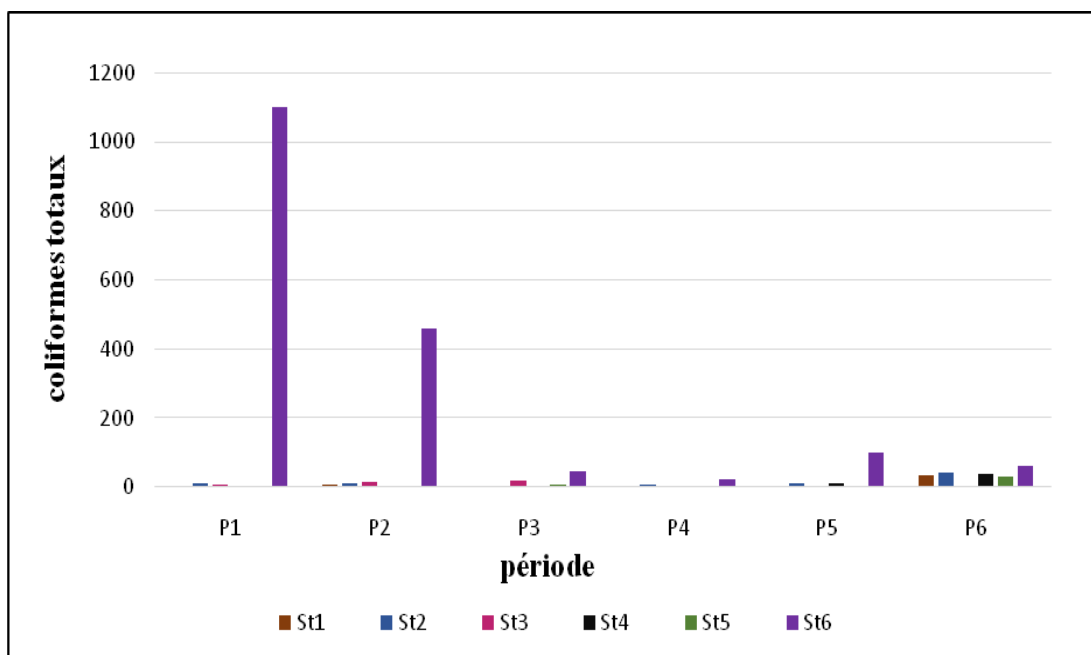


Figure 27 : Variation spatio-temporelle des coliformes totaux dans l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à début mai 2025

1-20-Coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux ou coliformes thermos tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux. Ils se caractérisent par leur aptitude à fermenter le lactose à une température de 44°C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *Escherichia coli*. Les bactéries *E. coli* représentent 80 à 90% des coliformes fécaux détectés, bien que la présence de ces derniers témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale. Les *Escherichia coli* sont des coliformes thermos tolérants ayant la capacité de produire de l'indole à partir de tryptophane dans le milieu à une température voisine de 42 C° (**Bouزيد et Chelhi, 2017**).

Au cours de notre période d'étude, allant de fin février à début mai 2025, une seule contamination par des coliformes fécaux a été signalée au niveau des six stations surveillées. Cette contamination a été détectée lors du cinquième prélèvement à la station 6, probablement en raison d'une pollution provenant des fosses septiques voisines. Contrairement à cela, l'étude de **Lassed (2015)** a observé une contamination fécale récurrente durant toute la période d'étude.

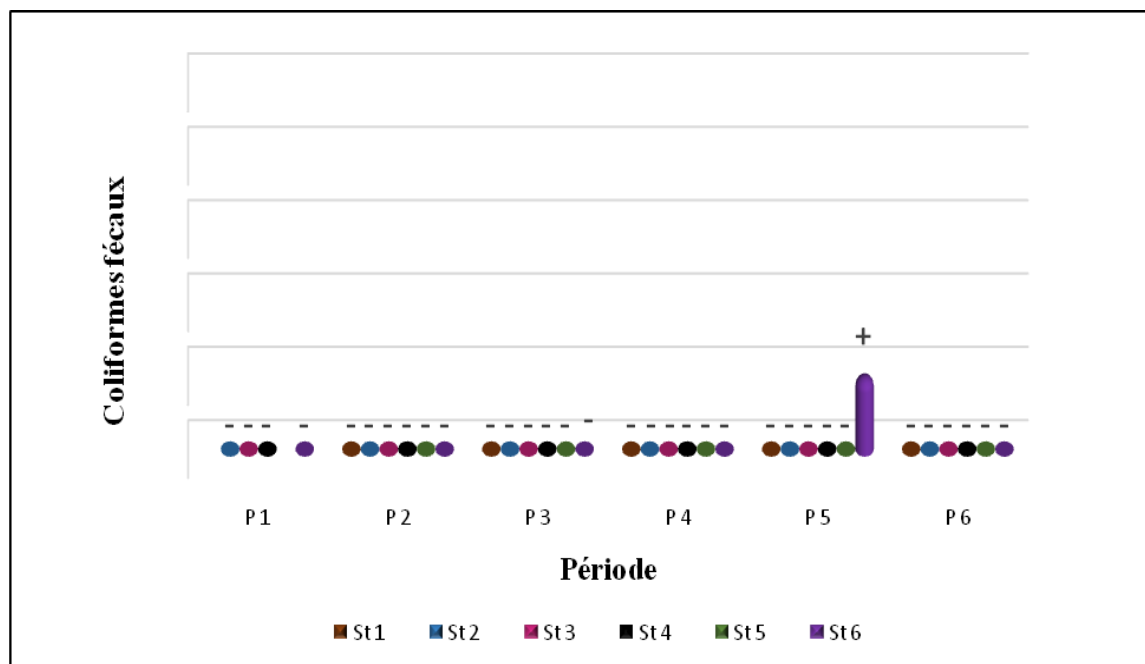


Figure 28 : Variation spatio-temporelle des coliformes fécaux de l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à début mai 2025

1-21-Streptocoques fécaux :

Sont des bactéries qui appartiennent à la famille de Streptococcaceae, au genre Streptococcus. Ils sont des cocci sphériques à ovoïdes, grams positifs. Les streptocoques fécaux disposent en diplocoque ou en chainettes, se développent à 37C° et ils possèdent le caractère homo-fermentaire avec la production de l'acide lactique sans gaz (Mokhdadi and Messai, 2015).

Concernant les streptocoques fécaux, des taux élevés ont été observés à la station 1 lors de la période 1, ainsi qu'à la station 6 lors de la période 2. La concentration maximale enregistrée a été de 23 UFC/100 ml, observée aux stations 1 et 6, tandis que la valeur minimale, de 4 UFC/100 ml, a été relevée à la station 5 lors de la période 5 (figure 29). Ce nombre de streptocoques fécaux dépasse largement les normes locales (JORA, 2014), à partir de la période 3 jusqu'à la période 6.

La présence en nombre important de streptocoques fécaux dans les eaux de puits, atteste la contamination des eaux par les matières fécales stockées dans les latrines (Youmbi et al., 2013). Il existe une similarité avec les résultats de Lassed (2015), qui a constaté des dépassements des normes pour les streptocoques fécaux .

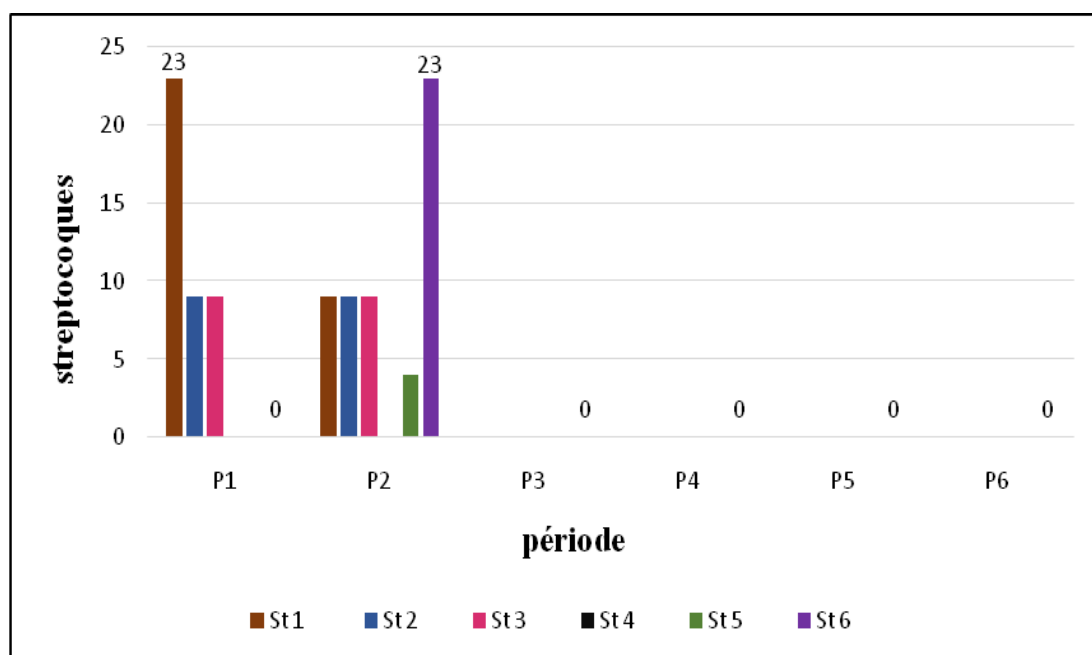
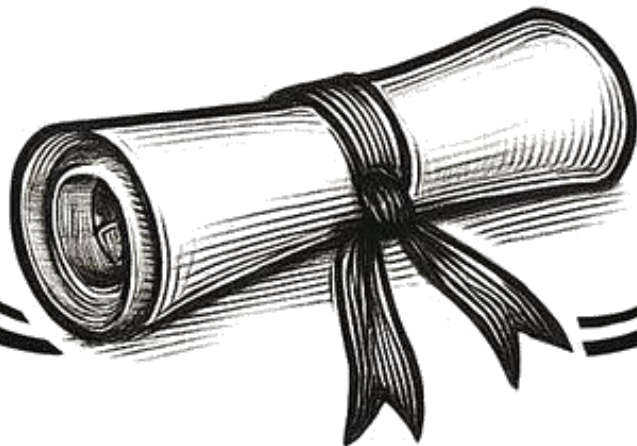


Figure 29 : Variation spatio-temporelle des streptocoques fécaux dans l'eau de source des stations étudiées durant la période fin février à début mai 2025



***Conclusion
et
perspectives***



Conclusion et perspectives

Dans notre étude, nous avons étudié la qualité des eaux de six sources destinées à la consommation humaine dans la commune de Filfila, wilaya de Skikda. Nous avons analysé un nombre conséquent de paramètres physico-chimiques, bactériologiques et organoleptiques de l'eau.

Cette étude nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- L'analyse des paramètres organoleptiques indiquent que les eaux de source étudiées suite à nos prélèvements était de bonne qualité.
- Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, telles que la température, le pH, la teneur en calcium, et en chlorures, respectent les normes algériennes (JORA, 2014) et mondiales (OMS, 2006) .
- Pour les paramètres indésirables comme les nitrites, les phosphates, les valeurs obtenues sont dans les normes de l'eau potable. Donc l'eau n'est pas polluée.
- Sur le plan bactériologique, les résultats montrent la présence de coliformes totaux dans l'ensemble des sources étudiées, avec la présence des germes fécaux dans presque toutes les stations durant la saison humide, principalement représentée par les streptocoques fécaux, et une seule contamination a été détectée par *Escherichia coli* au niveau de la station 6 lors de la cinquième période, ce qui représente un risque sanitaire pour les habitants de la commune de Filfila qui consomment cette eau.

Garantir la sécurité et la qualité des eaux de source pour les générations présentes et futures, exige la mise en œuvre de stratégies efficaces et c'est pourquoi nous proposons quelques perspectives utiles pour une préservation durable des ressources naturelles:

- Mise en œuvre d'un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées ;
- Faire un suivi périodique des nappes par la mise en place d'un réseau piézométrique ;
- Effectuer un suivi régulier de la qualité physico-chimique et bactériologique des sources par des prélèvements périodiques tout au long de l'année ;
- Préserver et protéger les eaux des sources contre la pollution en respectant les périmètres de protection et en interdisant les activités polluantes aux alentours ;
- Sensibiliser les populations contre les maladies à transmission hydrique et les risques éventuelles .



Références

Bibliographique

Références bibliographiques

- 1.AFNOR. (s.d.). Essais des eaux. Table de solubilité de l'oxygène dans l'eau. NF T 90-013.
- 2.AFNOR. (s.d.). Essais des eaux. Table de solubilité de l'oxygène dans l'eau. NF T 90-36.
- 3.Ahoussi, K. E., Koffi, Y. B., Kouassi, A. M., Soro, G., & Biemi, J. (2013). Évolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 1(3), 45–60.
- 4.Aka, N., Bamba, S. B., Soro, G., & Soro, N. (2013). Étude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, (16), 31–52.
- 5.Amadou, H., Laouali, M. S., & Manzola, A. (2014). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la commune de Tillabery : application des méthodes d'analyses statistiques multivariées. *Larhyss Journal*, (20), 25–41.
- 6.Amiour, A. (2005). Les zones préférentielles de la mondialisation en Algérie : Exemple de Skikda (Mémoire de magister). Université Mentouri, Constantine.
- 7.ANRH. (2000). Agence nationale des ressources hydrauliques.
- 8.Ayad, W. (2016). Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : Cas des puits de la commune d'El-Harrouch (wilaya de Skikda) (Thèse de doctorat). Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie.
- 9.Belghiti, B., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., & El Moustaine, R. (2013). Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la commune de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*, (14), 21–36.
- 10.Benabderrahmane, H. (2022). Étude de la variation spatio-temporelle des paramètres de qualité des eaux de la nappe phréatique de la commune d'oued M'Zab. Élimination des phosphates par les graines d'olive activé (Thèse de doctorat). Université de Ghardaïa.
- 11.Bengaibona, B. (2010). Analyse comparée des qualités microbiologiques et physico-chimiques des eaux de pluie stockées dans des citernes en ferro-ciment : Cas des impluviums de Dori (Mémoire de fin d'étude en Master spécialisé en génie sanitaire et environnement). Burkina Faso.
- 12.Bouchair, R., & Benalia, A. (2015). Bonnes pratiques d'échantillonnage pour l'analyse microbiologique de l'eau.
- 13.Bosca, M. (2002). Les eaux souterraines : ressources et gestion. Paris : Lavoisier.

14. Bouziani, A. (2000). Problématique de la pollution des eaux en Algérie. *Revue des Sciences de l'Environnement*, 3, 45–52.
15. Bouzid, K., & Chelih, A. (2017). Étude de la qualité bactériologique des eaux de consommation : Cas des coliformes fécaux et d'*Escherichia coli* (Mémoire de Master). Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arréridj, Algérie.
16. Chekroud, H. (2007). Étude de la pollution des eaux de la plaine Telezza due aux activités agricoles et commerciales (Mémoire de Magister). Université du 22 Août 1955, Skikda, Algérie.
17. Chelli, L., & Djouhri, N. (2013). Analyses des eaux de réseau de la ville de Béjaïa et évaluation de leur pouvoir entartrant (Mémoire de Magister). Université A. MIRA, Béjaïa, Algérie.
18. Dambrine, E., Party, J.-P., Pollier, B., Nicolaï, M., Probst, A., Rozin, C., & Duc, M. (1999). Acidification des eaux de source et saturnisme dans le Massif vosgien. *Revue forestière française*, 51(2), 173–183.
19. Degrémont. (2005). *Mémento technique de l'eau* (11^e éd.). Paris : Lavoisier.
20. Degbey, C., Makoutodé, M., Fayomi, B., & Brouwer, C. (2010). La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin. *Journal International de Santé et Travaux*, 1, 15–22.
21. Djabri, L. (2009). *Hydrologie et ressources en eau*. Alger : Office des Publications Universitaires.
22. Fakh Lanjri, A., Brigui, J., El Cadi, A., Khaddor, M., & Salmoune, F. (2014). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger. *Journal de Matériaux et Sciences de l'Environnement*, 5(S1), 2230–2235.
23. Gaujour, D. (1995). *La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire* (2^e éd.). Paris : Lavoisier, p. 49.
24. Gregorio, C., & Pierre-Marie, B. (2007). *Traitement et épuration des eaux industrielles polluées : Procédés*. Presses Universitaires de Franche-Comté.
25. Guessoum, H., Benbrahim, F., Halilat, M. T., Laouar, F., Bensalama, M., & Darem, S. (2014). *International Journal of Environment and Water*, 3, 35–43.
26. Hakmi, A. (2006). *Traitement de l'eau de source Bousfer Oran* (Mémoire de licence). Université des Sciences et de la Technologie, Oran.
27. 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. 2.

- 28.Houillier, P., Blanchard, A., & Pailard, M. (2004). *Métabolisme du potassium*. Elsevier SAS, 1, 138–157.
- 29.Iungbi Singa, G., Ngnikam, E., & Ndjama, J. (2019). Évaluation de la qualité des eaux souterraines utilisées pour l'alimentation en eau potable à Douala (Cameroun). *Afrique Science*, 15(4), 172–183.
- 30.JORA. (2014). *Journal Officiel de la République Algérienne*.
- 31.Lagnika, M., Ibikounlé, 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*, (79), 6887–6897.
- 32.Maïga, F. S. (2002). *Manuel de la cour d'hygiène du milieu*. F.M.P.O.S.
- 33.Merzoug, S., Boutaleb, A., & Bouguerra, M. L. (2010). Contribution à l'étude de la qualité des eaux souterraines de la commune de Tébessa (Algérie orientale). *Revue des Sciences de l'Eau*, 23(2), 147–158.
- 34.Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales. (2015). *Monographie de la wilaya de Skikda – Ressources hydriques*. République Algérienne Démocratique et Populaire.
- 35.Mokhdadi, H., & Messai, A. (2015). Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique de quelques zones humides de la wilaya d'El-Oued (Cas du lac Ayata, chott Marouan, lac Sif El-Menadi et chott Halloufa) (Mémoire de Master). Université d'El Oued, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie.
- 36.Monographie de la wilaya de Skikda. (2015).
- 37.Nechem, D. (2009). *Qualité des eaux des sources thermales : Cas des sources de Djebel Safia (Hadjar Soud), Nord Est Algérien (Mémoire de Magister)*. Hydrogéologie environnementale et modélisation, Faculté des sciences de la Terre, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 64 p.
- 38.Nmer. (2015). *Contrôle de la qualité microbiologique des eaux en milieu hospitalier à Fès (Mémoire de Licence en bioprocédés hygiène et sécurité alimentaire)*. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah.
- 39.Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2015). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc). *Journal de Matériaux et Sciences de l'Environnement*, 6(4), 1068–1081.

- 40.OMS. (1980). Directives de qualité pour l'eau de boisson. Genève : Organisation Mondiale de la Santé.
- 41.OMS. (2005). L'eau, l'assainissement et l'hygiène en rapport avec la santé. Rapport mondial sur la santé.
- 42.OMS. (2006). Directives de qualité pour l'eau de boisson.
- 43.OMS. (2017). Directives sur la qualité de l'eau de boisson (4e éd.). Genève.
- 44.Phok, B. (2015). Hydrogéologie et gestion des eaux souterraines (Mémoire de Master). Université de Strasbourg.
- 45.Ramade, F. (2000). Dictionnaire encyclopédique de la pollution. Paris : Ed. Ediscience International.
- 46.Rodier, J. (1976). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer (8^e éd.). Paris : Dunod.
- 47.Rodier, J. (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer (8^e éd.). Dunod, Paris, France, 1383 p.
- 48.Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (9^e éd.). Paris : Dunod.
- 49.Rodier, J., Legube, B., Merlat, N., et al. (2009). L'analyse de l'eau (9^e éd.). Dunod, Paris, pp. 35–50.
- 50.Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq, J.-C., Leroy, P., Houssin, et al. (2009). L'analyse de l'eau (9^e éd.). Paris : Dunod.
- 51.Roux, J.-C. (1999). Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine (2^e éd.). Orléans : BRGM.
- 52.Rougier, H., & Wackermann, G. (2009). L'eau : ressources et usages. Paris : Ellipses, p. 22.
- 53.Rougier, H., & Wackermann, G. (2010). L'eau : Ressources et usages. Paris : Éditions Ellipses.
- 54.Salhi, A., & Saidani, F. (2015). Évaluation de la qualité des eaux brutes et traitées du barrage Koudiat Acerdoune (Bouira) (Mémoire de Master). Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou.
- 55.Walaa, D. (2016). Étude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban (Thèse de doctorat en géosciences). Université de Lorraine, Faculté des Sciences de la Terre, 185 p.

56. Youmbi, J. G. T., Feumba, R., Njitat, V. T., de Marsily, G., & Ekodeck, G. E. (2013). Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun. *Comptes Rendus Biologies*, 336(7–8), 379–385.

Sites Web :

- Infoclimat, 2024 <https://www.infoclimat.fr/> .

- <https://weatherspark.com/> .

-Le Quotidien de Constantine.