

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة 20 اوت 1955 سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

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

Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité: Protection des Ecosystèmes
Intitulé

**Evaluation de la qualité physicochimique et
microbiologique des eaux souterraines utilisées comme
source d'approvisionnement en eau potable à Skikda**

Présenté Par : Boussera chaima
Boussouffa rania
Ghadjadjet lina
Rabehi aya

Membre de Jury:

Dr. Fekrach Fadila	Présidente	Université 20 Août 1955 – Skikda
Dr. Boudeffa Khaled	Promoteur	Université 20 Août 1955 – Skikda
Dr. Hadjouja Nawel	Examinatrice	Université 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Nous remercions en premier lieu Allah. Nous remercions en premier lieu le courage et la chance qu'il nous a donné pour l'achèvement de ce mémoire. Nous tenons à remercier notre encadreur monsieur Boudeffa Khaled, pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail, pour ses aides, ses conseils, tout au long de l'élaboration de ce modeste travail. Pour le temps qu'il a consacré à nous apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence nous avons grandement stimulés. A notre président de jury, Mme Fekrach Fadila et Mme Hadjoujd Nawele de l'université 20 août 1955 Skikda qui nous a fait le grand honneur de présider ce mémoire. Qu'il trouve ici le témoignage de notre profond respect et de notre sincère reconnaissance. Nous remercions sincèrement tous les enseignants de département de biologie. Ainsi que tout le staff du Laboratoire de ADE de Skikda.

Une grande gratitude à nos chers parents qui nous soutenu, encouragé et épaulé tout au long de nos années d'études. Nous leur témoignons notre affection et remerciments les plus sincères.

Didicace

Je dédie ce travail à :

A mes chers parents: messoudé et síhem

Pour tous les sacrifices consentis, pour ces encouragements et son soutien moral .Merci pour être sacrifiées pour que ces enfances grandissent et prospèrent

A ma belle sœur : razen

Pour leur disponibilité ,leur soutien moral et Leurencouragement.

Atout la famille boussoufa

A Tous mes amis

Merci pour vos conseils et vos encouragements, mais aussi pour les

bons moments qui ont contribué à rendre ces années inoubliables.

A mes belles binômes :ma puce aya ,lina et chaïma

Bonne chance à tous

Merci

Rania boussoufa

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents Mourad et Amina, Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour vous. Vous m'avez comblé avec votre tendresse et affection tout au long de mon parcours. Vous n'avez cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, vous étiez toujours présents à mes cotés pour me consoler quand il fallait. Vos conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Votre patience sans fin, votre compréhension et votre encouragement sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Puisse le tout puissant vous donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse vous combler à mon tour.

A A mes très chères FRERES ZINOÛ ET NAZIM Que Dieu garde pour moi.

A MA ETOILE BRILLANTE MA CHÈRE PRINCESSE MA SOEURETTE eline QUE DIEU A Gardée

A mon très cher Fiancé YOUNES, Les mots me manquent pour te qualifier, Je ne saurais jamais te remercier assez, tout ce que j'aurais à dire ne saurait exprimer à fond, tu étais mon soutien moral, la source de ma joie et mon bonheur

A mes très chères tantes SALIHA SOUHILA ET SOUAD MERCI POUR VOTRE SOUTIEN ET ENCOURAGEMENTS JE VOUS AIME.

A MES CHÈRES SAMIA, HASSIBA ET RAHIM SANS OUBLIER NOTRE PETIT PETIT HEROSGHAI

A MA CHÈRE AMIE MON BRAT DROIT QUE J'AIME WISSEM.

A MES GRANDS PERE ET MERE QUE DIEU GARDE POUR MOI.

A TOUS MES oncles, cousins, cousines

A MES CHÈRES AMIES HADJER, NADA, CHAIMA ET HOURIA POUR LE VRAI AMOUR QUI MA Donné.

A mes belles binômes et chères collègues de ma promotion d'écologie pour toutes les années et les souvenirs qu'on a partagé ensemble.

Lina

Didicace

Je dédie ce travail à :

A mes chers parents: hocine et wassila

Pour tous les sacrifices consentis, pour ces encouragements et son soutien moral .Merci pour être sacrifiées pour que ces enfances grandissent et prospèrent

A ma belle sœur :hadjer et mon beau frère : islem

Pour leurs disponibilités, leur soutien moral et Leur encouragement.

Atout la famille Rabehi

A Tous mes amis et spécialement hania ,yousra et awres.

Merci pour vos conseils et vos encouragements, mais aussi pour les bons moments qui ont contribué à rendre ces années inoubliables.

A mes belles binômes : ma puce rania, lina et chaima

Bonne chance à tous

Merci

Aya rabehi

الإهداء

الى أعلی ابوين في العالم قبل كل شيء والى كل احبتي الذين هم دائما الى
جانبي

الى امي الغالية رحمة الله عليها الى من فضلها انا وصلت لهذه النقطة
تمنيت ان تكوني الى جانبي ولكن مشيئة الله فوق كل شيء

الى ابي الذي تعب ليرانا في اعلى المراتب الى السند الذي لا يقهر

الى اخوتي سمية ومنى وزهرة اللواتي كانتا بمثابة الام لي عوضا من الله
ونبعا للحنان

الى اخواتي بلال ونبيل اللذان كانا بمثابة جرعة من القوة والحب والحماس
الى زوجي الذي كان سندي الثاني وملجئي الذي الجا اليه حين اتعب
ومشجعي حين اتعب ومشجعي حين انهمر

وصغيري فلذة كبدي الذي كان مصدر قوتي وعزمي واصراري على بذل
الجهد للوصول الى القمة وتحدي الصعاب مهما كانت الصعاب والمشاق

ودون ان أنسي عائلة زوجي عائلتي الثانية التي ساعدتني ووفرة لي الجو
المناسب للدراسة جزيل الشكر لهم

وصديقاتي اية أسماء ايمان ياسمين ريان مروة رانية سمية اللاتي ساعدتني
في مرضي وتعبي وفترة غيابي احبة قلبي صديقات دربي ومهما كتبت
فلن أجد من الحروف ما يعبر عن مدى امتناني لكم جميعا

Résumé

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages. Son utilisation des fins alimentaires ou d'hygiène nécessite une excellente qualité physico-chimique et microbiologique. Pour apprécier la qualité des eaux de puits destinées à la consommation humaine dans la région de Skikda qui est située au Nord-est de l'Algérie, un contrôle physico-chimique et microbiologique a été réalisé et a porté sur plusieurs échantillons d'eau prélevés au niveau de 8 puits appartenant à cette localité. Afin de suivre la variation des différents paramètres.

Les analyses ont été effectuées sur ces échantillons en mesurant les paramètres physico-chimiques suivants : La température, le pH, la conductivité électrique (CE), la turbidité, la dureté, le calcium (Ca^{2+}), les chlorures (Cl^-), le fer (Fe), les nitrites (NO_2^-), les titres (TA) et (TAC) et en recherchant éventuellement les germes indésirables : Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux.

Les résultats des analyses effectuées ont fait ressortir que les eaux d'un grand nombre de puits sont de bonne qualité physico-chimique et microbiologique.

Ces résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau de consommation de Skikda révèlent une conformité parfaite par rapport aux normes de l'OMS. D'autre part, sur le plan microbiologique, les résultats obtenus à partir des différentes analyses effectuées sur l'eau indiquent l'absence totale des germes de contamination fécale ce qui signifie l'inexistence de pollution. De ces résultats obtenus, nous pouvons donc conclure que l'eau de consommation de ces sources de Skikda sont de bonne qualité bactériologique et physicochimique.

Mots clés: potabilité, eau souterraine, Qualité, pollution, bactériologie, Skikda.

Abstract

Water is a precious and essential natural resource for multiple uses. Its use for food and hygiene purposes requires excellent physicochemical and microbiological quality. In order to assess the quality of well water intended for human consumption in the Skikda region, located in northeastern Algeria, a physicochemical and microbiological control was carried out on several water samples taken from 8 wells in this locality. This was done to monitor the variation of different parameters.

The analyses were conducted on these samples by measuring the following physicochemical parameters: temperature, pH, electrical conductivity (EC), turbidity, hardness, calcium (Ca²⁺), chlorides (Cl⁻), iron (Fe), nitrites (NO₂⁻), total alkalinity (TA), total acid capacity (TAC), and optionally testing for undesirable microorganisms such as total coliforms, fecal coliforms, and fecal streptococci.

The results of the conducted analyses revealed that the water from a large number of wells has good physicochemical and microbiological quality.

These results of the physicochemical parameters of Skikda's drinking water indicate perfect compliance with WHO standards. Furthermore, regarding microbiology, the results obtained from the various water analyses indicate the complete absence of fecal contamination, signifying the absence of pollution. Based on these results, we can therefore conclude that the drinking water from these sources in Skikda has good bacteriological and physicochemical quality.

Keywords: potability, groundwater, quality, pollution, bacteriology, Skikda.

ملخص

الماء هو مورد طبيعي ثمين وأساسي لاستخدامات متعددة. يتطلب استخدامه للأغراض الغذائية والنظافة جودة ممتازة من الناحية الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية. تم إجراء فحص فيزيائي وكيميائي وميكروبيولوجي لتقييم جودة مياه الآبار المخصصة لاستهلاك الإنسان في منطقة سكيكدة، التي تقع في شمال شرق الجزائر. تم أخذ عينات مياه من 8 آبار في هذه المنطقة لمتابعة تغير المعلمات المختلفة.

تم إجراء التحاليل على هذه العينات عن طريق قياس المعلمات الفيزيائية والكيميائية التالية: درجة الحرارة، ومستوى الحموضة (pH)، والتوصيل الكهربائي، والعكارة، وصلابة المياه، وكالسيوم (Ca²⁺)، والكلورايد (Cl⁻)، والحديد (Fe)، والنترات (NO₂-)، والقوية الكلية (TA)، والسعة الحمضية الكلية (TAC)، وفحص وجود الكائنات الحية الدقيقة غير المرغوب فيها، مثل الكوليفورم الكلي، والكوليفورم الفئوي، ومكورات العفن الفئوية.

أظهرت نتائج التحاليل التي أجريت أن مياه العديد من الآبار لديها جودة جيدة من الناحية الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية.

تشير هذه النتائج لمعايير الفيزياء والكيمياء لمياه الشرب في سكيكدة إلى التماسي الكامل مع معايير منظمة الصحة العالمية. ومن ناحية الميكروبيولوجيا، تشير النتائج التي تم الحصول عليها من التحاليل المختلفة للمياه إلى عدم وجود تلوث. من النتائج المتحصل عليها، يمكننا أن نستنتج أن مياه الشرب من هذه المصادر في سكيكدة تتمتع بجودة جيدة من الناحية البكتيريولوجية والفيزيائية والكيميائية.

كلمات مفتاحية: صلاحية للشرب، مياه جوفية، جودة، تلوث، بكتيريولوجيا، سكيكدة

Liste des tableaux

N	Titer de tableau	Page
Tab.1	Normes OMS et Algériennes des paramètres physico-chimique pour éau potable (OMS,2003)et (JORA,2011)	5/6
Tab.2	Localisations des sources sites de prélèvement dans la Willaya de Skikda.	21
Tab.3	Les analyses physico-chimiques des eaux des sites d'étude.	32
Tab.4	Valeurs mesurées des différents paramètres bactériologiques des eaux Étudiées.	44

Liste de figures

N ° FIGURE	Titre	Page
Fig.1	Carte géographique de la wilaya de Skikda.	17
Fig.2	Carte de réseau hydrographique du secteur d'étude	20
Fig.3	Localisation des sites de prélèvements dans la wilaya de Skikda (Image satellitaire, Google Earth, 2023).	22
Fig.4	Matériels de prélèvement utilisés (photo originale, 2023).	23
Fig.5	Équipement utilisé pour mesurer le PH et la conductivité (photo originale, 2023).	25
Fig.6	Représentatif de titrage de chlorure (photo original 2023).	26
Fig.7	L'ensemble des étapes du titrage de titre alcalimétrique complet (TAC) (photo originale 2023).	27
Fig.8	Spectrophotomètre TL2300	28
Fig.9	Kit du réactif spécifique au Fer (LCK320)	28
Fig.10	Kit du réactif spécifique aux l'ammonium (LCK 305)	29
Fig.11	Kit du réactif spécifique aux ions nitrite (LCK 341).	29
Fig.12	(Photos originales des étapes des analyses bactériologiques).	32
Fig.13	La variation du pH des eaux étudiées.	33
Fig.14	14. La variation de la conductivité électrique en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) des eaux étudiées	34
Fig.15	La variation de la température en $^{\circ}\text{C}$ des eaux étudiées	35
Fig.16	La variation de la turbidité en NTU des eaux étudiées.	36
Fig.17	La variation de la dureté en mg/l des eaux étudiées.	37
Fig.18	La variation du TAC en mg/L des eaux étudiées	38
Fig.19	La variation du TA en mg/L des eaux des eaux étudiées.	39
Fig.20	Les variations de Chlorure en mg/L des eaux étudiées.	40
Fig.21	La variation de Ca^{++} en mg/L des eaux étudiées.	41
Fig.22	Les variations de Nitrite en mg/L des eaux étudiées.	42
Fig.23	Les variations de Fer en mg/L des eaux étudiées.	44
Fig.24	Les photos des résultats des analyses bactériologiques	44
Fig.25	Variation du nombre de coliformes totaux (n germes /100ml) dans les eaux étudiées.	46
Fig.26	Variation du nombre de coliformes totaux (n germes /100ml) dans les eaux étudiées.	47

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des eaux.

Al : aluminium

As : l'arsenic

Ag NO₃ : Le nitrate d'argent

ASR :

Ca²⁺: Calcium

°C: degrés Celsius

Ca: calcium

CaCl₂ : Le chlorure de calcium

Cd : cadmium

CO₃⁻ : L'ion carbonate

CF : coliformes fécaux

Cl⁻: Chlorures

CT: Coliformes totaux

EC : Escherichia coli

EDTA : acide éthylène diamine tétra-acétique

JORA : journal officiel de la république algérienne

H⁺: Le cation hydrogène

H : heure

HCO₃⁻: Bicarbonate

H₂O : l'eau

HCl : L'acide chlorhydrique

HCO₃:Bicarbonate (hydrogénocarbonate)

g/cm³ : Gramme par centimètre cube

G: Le gramme

K⁺:Potassium

KJ/mol: kilo joule par mol.

Km³ : kilo mètre cube

Km/h : kilo mètre par heure

KCl : Chlorure de potassium

L : litre

m : mètre

MES : matière en suspension

Mg/l: Milligramme par litre

Mg²⁺:Magnésium

NA: Normes Algériennes

Na⁺: Sodium

NH₄⁺: Ammonium

NO₂⁻: Nitrite

Nm : nanomètre

NTU: Unité Néphélométrique

Noah : hydroxyde de sodium

NO₃⁻: Nitrate

OMS : organisation mondiale

ONA : organisation nationale

ONED : organisation nationale

Pb : plomb

PCB : polychlorobiphényles

PH : potentiel d hydrogène

P1 : prélèvement numéro 1

P2 : prélèvement numéro 2

PO₄: Phosphate

RS : Résidu Sec

s/cm : Siemens par centimètre

SO₄⁻: sulfate l'anion

SOS : service de l'observation et des statistiques du ministère en charge de développement durable.

SF : streptocoques fécaux

TA : titre alcalimétrique

TAC : titre alcalimétrique complet

T°C: La temperature

TH : dureté totale

TSD : traitement spécial et différencié

US/cm : le sous-multiple microsiemens par cm.

VF : viande-foie

Sommaire

Résumé	
ملخص	
Abstract	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1

Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique

I. Généralité sur l'eau

1. Propriétés de l'eau.....	4
1.1 Propriétés chimiques de l'eau.....	4
1.2 Propriétés biologiques de l'eau.....	4
2. Ressources hydriques naturelles.....	4
2.1. Eaux souterraine.....	5
2.2. Eaux de surface.....	5
2.3. Eaux de mers et océans.....	5
3. Pollution des eaux.....	5
3.1. Définition.....	6
3.2. Origine de pollution.....	6
3.3. Pollution domestique.....	7
4. Norme de la qualité de l'eau.....	7
5. Les paramètres de la qualité des eaux potable et leurs normes.....	9
5.1. Les paramètres physico-chimiques.....	9
5.1.1 .Les paramètres physiques.....	9
5.1.2. Les paramètres chimiques.....	10
5.1.3. Les éléments traces.....	12
5 .2. Les paramètres bactériologiques.....	13
5 .2. 1. Les coliformes totaux.....	14
5 .2. 2. Les coliformes fécaux.....	14
5 .2. 3. Streptocoques fécaux.....	14

6. Traitement de potabilisation.....	15
6.1. La chloration.....	15
6.2. Les Systèmes de chloration.....	15
6.3. L'intérêt de l'utilisation de chlore.....	16

II. Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude.....	17
1.1. Situation géographique.....	17
1. 2. Topographie.....	17
1. 3. Géomorphologie et relief.....	18
1. 4. Climat et végétation.....	19
1.5.hydrographie.....	19
1.6.géologie et sol.....	20
2. Présentation des sites d'étude.....	20
2.1. Localisation des sites d'étude.....	20
2.2.Méthodologie d'échantillonnage.....	22
2.2 .1 . Choix des sites et techniques des prélèvements physicochimiques.....	22
2.2 .2 . Techniques des prélèvements bactériologiques.....	22
2.2 .3 .Transport et conservation des échantillons bactériologiques.....	22
2.3 . . Analyse au laboratoire.....	23
2.3.1 . Analyse physicochimique.....	23
2.3.1 .1 .Parties électrochimiques	23
2.3 .1.2 . Parties volumétriques.....	24
2.3. 1.3. Parties spectrophotométriques	26
2.3.2. Analyse bactériologiques.....	29
2.3.2.1 Recherche des coliformes	
2.3.2.1. Recherche des streptocoques	30

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Paramètres Physico-chimique	32
1.1. Ph	33
1.2. Conductivité électrique.....	34
1.3. Température	35
1.4. Turbidité.....	35

1.5. Dureté.....	36
1.6. TAC.....	37
1.7. TA.....	38
1.8. Les chlorures	39
1.9. Calcium.....	40
1.10. Les nitrites.....	41
1.11. Ammonium.....	42
1.12. Fer.....	43
2. Analyse microbiologique.....	44
2.1. Coliformes totaux (CT).....	45
2.2. Coliformes fécaux (CF).....	46
2.3. Streptocoques fécaux (SF).....	47
Conclusion.....	48
Références bibliographiques.....	49

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets. Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (**henrie, 2012**).

Les eaux souterraines représentent environ 97% du total des eaux douces continentales liquides, 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine. 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**).

Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Certaines régions algériennes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène et ainsi l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité (**Remini, 2010**).

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 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**).

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 [physique: Rejet d'eau chaude, M.E.S, chimique: la matière organique, Fertilisants (nitrate, phosphate), Métaux (Cd, Pb, Al, As) Pesticides (insecticides, herbicides, fongicides...), Organochlorés (PCB, Solvants) Composés organiques de synthèse détergents, hydrocarbures et biologique comme: Bactéries, virus, champignons] (**Henaut, 2011**).

Les trois principales origines de pollution sont 1) les rejets domestiques dans le cas d'un assainissement collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent contaminées la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...). Le cas se manifeste avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées (**Faurie et al., 2003**). 2) Les rejets agricoles : Le régime et la qualité des eaux sont fortement influencés par les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage (**Faurie et al., 2003**), L'utilisation des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration (**Djabri, 1996**). 3) Les rejets industriels : les activités industrielles rejettent principalement des métaux, des hydrocarbures, des acides, et augmentent la température de l'eau. En moyenne, de 2004 à 2009, le SOS (Service de l'Observation et des Statistiques du Ministère en charge du Développement Durable) en France, a montré que les secteurs de la métallurgie et de la chimie sont responsables des rejets de polluants dans l'eau les plus importants (**Benmaïd, 2013**).

Ces pollutions peuvent entraîner divers types de nuisances: augmenter la mortalité de certaines espèces animales ou végétales jusqu'à parfois les faire disparaître, altérer leurs capacités physiologiques, détériorer la qualité de l'eau au point de la rendre impropre à certains usages, comme l'alimentation humaine.

Une eau souterraine exempte de substances toxiques est considérée en bon état chimique. L'évaluation de cet état est réalisée grâce à la surveillance régulière de près de 1 500 paramètres sur un large réseau de stations. Si la variabilité des caractéristiques chimiques des nappes peut différer selon les aquifères), elle peut être fortement accentuée par les activités humaines. À la surface des bassins versants, ces activités sont susceptibles d'impacter leur état (**Molinie, 2009**).

Les premiers suivis des eaux souterraines sont menés dans les années 1970 pour évaluer ces impacts potentiels. Ils portent alors sur quelques critères physico-chimiques, sans tenir compte de leur contamination potentielle par des substances issues notamment des produits phytosanitaires. Progressivement, le niveau des nappes - ou "suivi quantitatif" - est considéré comme partie intégrante de l'état d'une eau souterraine et est inclus à l'évaluation. Une innovation introduite par la directive-cadre sur l'eau (DCE) est la prise en compte des relations qui lient les eaux souterraines aux eaux de surface (continentales et littorales). Ainsi, le bon état requiert non seulement une bonne qualité de l'eau - le bon état qualitatif- mais aussi un bon état quantitatif.

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimiques et microbiologique des eaux de puits utilisées comme eau potable au niveau de la région de Skikda en faisant des analyses des matériaux et de leur caractéristique afin de confirmer leurs compositions et faire conscience les consommateurs la qualité de l'eau.

Notre travail a été représenté en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre est une synthèse bibliographique intitulé généralité sur l'eau.
- ✓ Le deuxième chapitre est une partie expérimentale comprenant une présentation de la zone d'étude (Skikda), la méthodologie générale en présentant les stations de prélèvement et également les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques d'eau.
- ✓ Le troisième chapitre est consacré aux résultats obtenus des analyses physicochimique et microbiologique avec une discussion.
- ✓ Enfin, nous tirons une conclusion et nous proposons quelques perspectives.

CHAPITRE I.
GENERALITE SUR L'EAU

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'EAU

1. Propriétés de l'eau

Sur la terre, l'eau existe dans les trois états phases : liquide (eau proprement dite), solide (glace) gazeux (vapeur d'eau). Ces trois phases coexistent dans la nature, toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau- glace, eau- vapeur, glace vapeur selon les conditions de température et de pression.

1.1 Propriétés chimiques de l'eau

L'énergie de formation de la molécule d'eau, 242 kJ/mol, est élevée. Il s'ensuit que l'eau possède une grande stabilité. Cette stabilité, associée aux propriétés électriques et à la constitution moléculaire de l'eau, la rend particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires, et surtout solide. La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau, ainsi qu'un grand nombre de gaz et de produits organiques.

La solvation (ou action hydratante de l'eau) est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre, pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau, et forger ainsi des nouvelles structures : il se produit une véritable réaction chimique (une solvation complète est une dissolution) (**Jean-Claude, 2006**).

1.2 Propriétés biologiques de l'eau

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants (**Jean-Claude, 2006**). Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges ; l'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants.

2. Ressources hydriques naturelles

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

2.1. Eaux souterraine

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en : Nappes phréatiques ou alluviales : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus. Nappes captives : plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures (**Cardot, 2006**). La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants. Quand une eau souterraine contient une concentration en certains minéraux dépassant les normes de potabilité, mais elle représente des propriétés thérapeutiques on la distribue en bouteilles avec parfois un traitement bien défini, ces eaux sont dites eaux minérales (**Degremont, 2009**).

2.2. Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement (**Djabri, 2009**).

2.3. Eaux de mers 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, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement (**Djabri, 2009**).

3. Pollution des eaux

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés. Le problème de la pollution des eaux

3.1. Définition

La pollution de l'eau est due à sa contamination par des corps étrangers tels que des microorganismes, des produits chimiques, des déchets industriels ou autres. Ces substances et corps étrangers dégradent la qualité de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités **(Ramade, 1984)**.

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés. **(Boeglin, 2001)**.

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. 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.

L'activité humaine, qu'elle soit industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substance polluantes de toute nature qui sont à l'origine de différents types de pollution qui peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville par exemple), périodique où

Représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel. Encore accidentelles ou aiguës, à la suite du déversement intempestif des produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou de lessivage des sols urbains lors de fortes pluies **(Rodier, 2005)**.

3.2. Origine de la pollution

➤ L'industrie

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme (**Djabri, 2009**).

Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration.

➤ **L'agriculture**

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration (**Djemmal, 2009**).

3.3. Pollution domestique

Nos eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable certes mais de grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes et de produits chimiques (**Degremont, 2009**).

4. Normes de la qualité de l'eau

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Globalement, les qualités de l'eau de boisson doivent obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales (**OMS, 2003**). Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (**Maiga, 2005**).

➤ **Normes Algérienne**

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en Citant le Journal Officiel de la république algérienne qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites (**JORA, 2011**). Elles ont été adoptées par des différentes directions de l'hydraulique des wilayas du nord et qui concernent 41 paramètres de qualité classés en 04 catégories : paramètres Généralités sur l'eau 24 organiques, physico-chimiques, substances indésirables et substances toxiques (**Alouane, 2012**).

➤ **Normes selon l'OMS**

L'OMS établit, pour chaque paramètre, des recommandations qui peuvent être adaptées dans chaque pays, en fonction de l'état sanitaire et des conditions économiques, pour aboutir aux normes réglementaires nationales (**OMS, 2003**).

Tableau 1. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau potable (**OMS, 2003**) et (**JORA, 2011**).

Substances	UNITE	Normes OMS	Normes algériennes
Turbidité	NTU	<2	<2
température	C	<25	<25
TA	Mg/l	<15	<5
TAC	Mg/l	<15	<15
Calcium	Mg/l	<270	<200
Magnésium	Mg/l	<50	<150
Chlorure	Mg/l	<250	<500
PH	/	≥6,5 et ≤ 9.5	≥6,5 et ≤ 9
Dureté	Mg/l de caco3	<500	<500
Conductivité a 20	µS/cm	<2100	<2800
Ammonium	Mg/l	<0,5	<0,5
Potassium	Mg/l	<20	<12
Aluminium	Mg/l	<0,2	<0,2
Cadmium	Mg/l	<3	<3
Cuivre	Mg/l	<2	<2

Oxygène dissous	Mg/l	<6,5	Pas de valeur guide
fluorure	Mg/l	<1,5 mg/l (jusqu'à 10)	<15

5. Les paramètres de qualité des eaux potables et leurs normes

L'eau doit répondre à des critères de la qualité très stricte fixée par le ministre de la santé et le conseil supérieur du secteur d'hygiène publique (**Zanat, 2009**).

5.1. Les paramètres physico-chimiques

Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau souterraine en mesurant les quantités des divers constituants contenus dans l'eau. Ces quantités sont souvent exprimées en milligrammes par litre (mg/l).

5.1.1. Les paramètres physiques

➤ Température

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée (**Rodier, 1984**).

➤ Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH mesurant l'acidité d'une solution, est défini par l'expression $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ où (H+) est l'activité de l'ion hydrogène H+ dans la solution (**Ramade, 1998**). Les équilibres physicochimiques sont conditionnés par le pH. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'alcalinité et la température, habituellement il varie entre 7,2 et 7,6 (**Bremond et al., 1973**). Il ressort que le pH n'a qu'un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes (**Marsily, 1995**). L'effet du pH du sol sur le transport des microorganismes pathogènes se manifeste principalement au niveau du processus d'adsorption (**Kemp et al., 1992**).

➤ La conductivité électrique

La conductivité électrique d'eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Généralement l'on considère que la situation est particulière ou anormale au-delà de 2000 µS/cm (**Rodier et al., 2009**). Elle constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau. Une conductivité élevée une quantité de sels dissous très importante (**Rodier et al., 1996**).

➤ **Turbidité**

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (**Rodier et al., 2009**).

➤ **Dureté**

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO₃. Elle est aussi très souvent donnée en degrés Français (**Rodier et al., 2009**).

5.1.2. Les paramètres chimiques

➤ **Les ions majeurs**

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium, et Potassium, et anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate.

➤ **Les cations**

1. Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie

essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc (**Rodier, 1976**).

2. Magnésium

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et il est présent dans la plupart des eaux naturelles. Le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel et aussi il est indispensable pour la croissance et pour la production de certaines hormones (**Savary, 2010**).

3. Potassium

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 (**Houillier et al., 2004**).

➤ Les anions

1. Sulfate

Les ions sulfates sont utilisés principalement dans l'industrie chimique. Ils sont rejetés dans l'eau à travers les déchets industriels. Cependant, les niveaux les plus élevés se produisent habituellement dans les eaux souterraines et proviennent de sources naturelles. Toutefois, dans les zones où l'approvisionnement en eau potable contenant des niveaux élevés de sulfate, l'eau potable peut constituer la principale source de consommation (**OMS, 2003**).

2. Les chlorures

Les chlorures présents dans l'eau potable proviennent des eaux usées et des effluents industriels. La principale source d'exposition humaine au chlorure est l'ajout de sels aux aliments. L'apport de cette source est généralement supérieur à celui de l'eau de boisson. Les concentrations excessives de chlorure augmentent les taux de corrosion des métaux. Cela peut conduire à une augmentation des concentrations de métaux dans les systèmes d'alimentation en eau potable (**OMS, 2003**).

3. Alcalinité

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes (**Rodier et al., 2009**).

5.1.3. Les éléments traces

1. Fer

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg /litre. Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine (**OMS, 2003**).

2. Les nitrites

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 de nitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (**Rodier, 1976**).

3. Les nitrates

Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates sont très répandus dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles. Les nitrates sont employés dans la fabrication des explosifs, dans l'industrie chimique comme oxydant, et comme conservateur dans les denrées alimentaires (**Savary, 2010**).

4. Manganèse

Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 600 mg/kg. Les minerais les plus connus sont la pyrolusite, rhodocrosite, et la brunîtes. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre 1mg/l en

particulier lorsqu'il y a support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries **(Rodier, 1976)**.

5. Arsenic

L'arsenic est un élément naturel très répandu dans la croûte terrestre. Il est présent dans certaines réserves d'eau potable, y compris les puits. L'exposition à de fortes concentrations d'arsenic peut avoir des effets sur la santé, L'arsenic n'a ni goût ni odeur. Il est donc impossible de savoir si l'eau potable en contient. Parce que l'arsenic peut causer le cancer, il faut limiter le plus possible les concentrations d'arsenic dans l'eau potable **(Ministre de la Santé, 2006)**.

6. Zinc

Le zinc est un oligo-élément essentiel qui se trouve dans presque tous les aliments et dans l'eau potable sous forme de sels ou de complexes organiques. Le régime alimentaire est normalement la principale source de zinc. Bien que les niveaux de zinc dans les eaux de surface et les eaux souterraines ne dépassent pas 0,01 et 0,05 mg /litre, respectivement, les concentrations dans l'eau du robinet peut être beaucoup plus élevée à cause de la dissolution de zinc à partir de tuyaux **(OMS, 2003)**.

7. Argent

L'argent se présente à l'état natif sous forme de minerai, ou associé à des minerais de plomb, d'or, de cuivre et de zinc. Il est pratiquement inexistant dans l'eau, et il arrive que la teneur soit élevée dans l'eau de robinet du fait de sa présence à l'état de traces dans certains accessoires de plomberie **(Savary, 2010)**.

8. Cuivre

Le cuivre se présente dans la nature sous forme de minérale de cuivre natif. De minerais oxydés ou sulfurés, à l'air, il se recouvre d'une mince couche de carbonate basique **(Rodier, 1976)**.

5.2. Les paramètres bactériologiques

L'eau potable ne doit pas contenir de micro-organismes pathogènes et doit être libre de bactéries indicatrices de contamination fécale.

5.2.1. Les coliformes totaux

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Enterobacteriaceae, correspondent à des bacilles Gram négatif, non sporulés, aéro/anaérobies facultatifs, possèdent des propriétés caractéristiques de structure et de culture à 35-37C°, ils sont sensibles au chlore (**Hamed et al., 2012**).

5.2.2. Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont un sous-groupe de coliformes totaux, l'existence de ces germes peut être une indication de la présence des micro-organismes, comme les salmonelles. Un autre test peut fournir les mêmes indications que celles fournies par le dénombrement des coliformes fécaux, c'est le dénombrement des E. coli présumés (**Debabza, 2005**). E. coli : L'espèce la plus fréquemment associée aux coliformes fécaux est représentée toutefois 80 à 90% des coliformes thermo-tolérants détectés. L'OMS (2004), n'énonce que la présence d'E. coli, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente (**Maiga, 2005**).

➤ Intérêt de la recherche et de dénombrement d'E. coli :

Selon l'OMS, l'indicateur le plus précis pour estimer la pollution fécale est en fait E. coli, en raison de son abondance dans les fèces humaines (jusqu'à 1 milliard de bactéries par gramme de matière fraîche), et de sa persistance pour être recherché (sa durée de détection dans l'eau à 20°C varie d'une semaine à un mois) (**Debabza, 2005**).

5.2.3. Streptocoques fécaux (Les entérocoques)

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale. Et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. L'identification de streptocoques fécaux donnera une confirmation importante du caractère fécal de pollution.

➤ **Intérêt du dénombrement des streptocoques fécaux :**

L'apport d'entérocoques par rapport aux coliformes consiste en leur plus grande résistance dans les eaux naturelles. Leur présence serait donc le signe d'une contamination fécale de l'eau plus ancienne (Maiga, 2005).

6. Traitement de potabilisation

Pour faire la transition d'une eau brute à une eau potable, on utilise différents procédés de traitement de potabilisation. Bien que de nombreuses autres méthodes existent, la désinfection de l'eau par chloration est la méthode la plus facilement applicable et la plus utilisée.

6.1. La chloration

La chloration est un des moyens utilisables pour fournir une eau de qualité aux usagers, mais elle ne constitue qu'un des maillons de la chaîne de potabilisation, elle ne doit donc pas être isolée des autres mesures d'hygiène public (Grondin, 1996).

6.2. Les systèmes de chloration

A. Chloration manuelle

1. Galets de Chlore Utilisés avec des concentrations suffisantes pour un volume d'eau donné, donc on met le nombre de galets nécessaires pour la désinfection d'un puits pendant Une durés de 1 mois (Grondin, 1996).

2. Ajout d'eau de javel dans un réservoir ou une bache à eau destinée à l'approvisionnement en eau potable ; on incorpore un volume d'eau de javel. Cette méthode est à éviter, car elle ne respecte ni le temps de contact du désinfectant dans l'eau, ni le volume d'eau variable suivant le débit d'arrivée de l'eau (Grondin, 1996).

3. Pots chlorateurs Le système est constitué d'un double pot, à l'intérieur duquel on introduit de l'hypochlorite de calcium, du sable pour lester et de l'hexamétaphosphate de sodium pour éviter la prise en masse de l'ensemble. Le principe est basé sur la diffusion lente de l'acide hypochloreux au travers de ce double pot.

B. Chloration automatique

1. Chlorateurs à la pompe

Il s'agit de mettre au point un équipement qui puisse être aisément placé sur une pompe manuelle d'hydraulique villageoise (du type de celles utilisées en Afrique) et pouvant chlorer l'eau proportionnellement au volume pompé par la pompe (**Grondin, 1996**).

2. Chloration par pompes doseuses

L'idée de départ était d'intercaler entre la batterie et le matériel d'injection (pompe doseuse), un élément permettant d'économiser et de régulariser l'énergie, mais aussi de diffuser le chlore proportionnellement au débit d'eau (**Grondin, 1996**).

6.3. L'intérêt de l'utilisation de chlore

- Le Cl et ses dérivés sont de bons désinfectants ;
- Le Cl a un pouvoir rémanent contrairement aux autres désinfectants ;
- Contrôle des odeurs et des goûts (**Grondin, 1996**).

CHAPITRE II.
MATRIEL ET METHODES

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la vérification de la qualité physicochimique et microbiologique des eaux destinées à la consommation issue des puits dans la wilaya de Skikda.

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographiques de la wilaya de Skikda

La région 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 région 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 (figure 01) (Aniref, 2013).

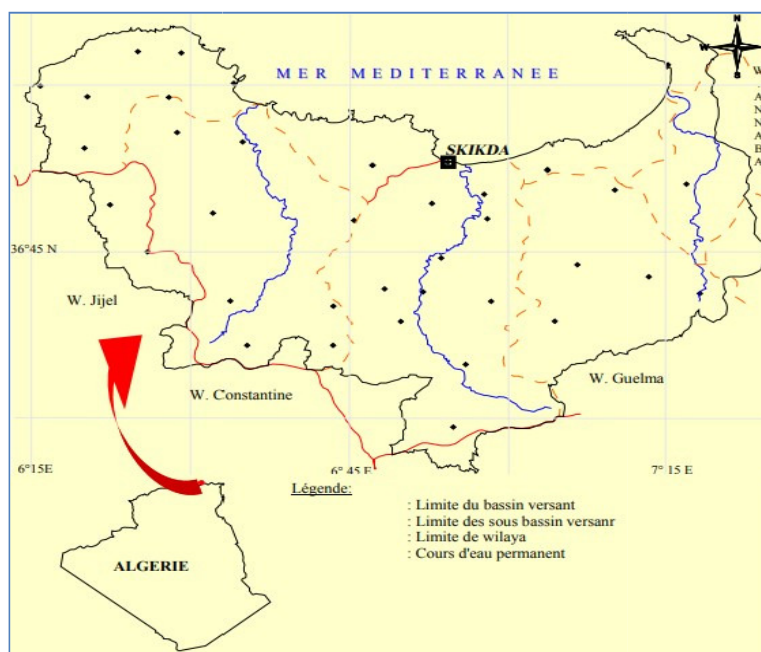


Figure 1. Carte géographique de la wilaya de Skikda.

1.2. Topographie

Le relief est très accidenté sur la frange littorale et dans les massifs de Collo, Azzaba et la Marsa.

On rencontre différentes classes de pentes :

- Les pentes faibles (0 à 3%) occupent les plaines de l'ouest, notamment la plaine de Benazzouz et un petit bout de la ville de Skikda et sa plaine côtière. Elles occupent 9% du territoire.
- Les pentes moyennes (3 à 12%) représentent 23% du territoire.
- Les pentes fortes (12% et plus) occupent 68% de la superficie totale de la wilaya, c'est la zone des hauts piémonts de montagnes (**Amiour, 2005**). On distingue trois types de zones topographiques : les montagnes, les plaines et les piémonts :

- ✓ **Les montagnes**

Elles constituent 60% de la superficie globale de la wilaya. Le territoire de Skikda se caractérise par un relief de montagne, un relief relativement aéré par un dispositif de basses Terres : couloirs fluviaux, plaines côtières et bassin intérieurs (**Amiour, 2005**). Elles se subdivisent en plusieurs parties, constituées par des massifs.

- ✓ **Les plaines**

Les plaines de la vallée de Safsaf allongée dans une direction sud-est / nord-ouest, elle débute à El-Harrouch et déborde sur la petite plaine de Skikda par un long couloir partageant la wilaya en son centre, épousant les contours de l'oued Safsaf (**Amiour, 2005**). Les plaines de la vallée de l'oued Guebli débutent à Oum Toub, s'évasent au niveau de Tamalous, s'effilent jusqu'à Collo ou elles s'évasent de nouveau. La plaine d'Azzaba, arrosée par l'oued El Kébir, elle s'étend d'Es-Sebt à Azzaba jusqu'à Djendel où elle présente un étranglement débouchant à Ain Charchar et Bekkouche Lakhdar.

- ✓ **Les piémonts**

Les piémonts sont localisés en particulier dans les régions d'El-Harrouch et Azzaba (**Amiour, 2005**). L'Est de la wilaya de Skikda est formé exclusivement de sols peu évolués d'apports éoliens ou alluvionnaires. La majorité des sols sont situés en zones relativement planes et qui présentent des contraintes aux dépôts éoliens généralement instables et pauvres chimiquement. Dans la plaine de Guerbès les sols sont de deux types, soit sableux soit argileux. Les sols sableux se développent dans la partie Nord et Nord-est et forment une barrière qui sépare les dunes de la vallée de l'oued El Kébir Ouest. L'autre partie de cette plaine est argileuse (**Benderradji, 2000**). Au niveau du massif forestier de Collo dans la plupart des cas les sols sont de type forestier jeune, suffisamment profond et riche en éléments nutritifs qui résistent assez bien à l'érosion. Il s'agit surtout des sols bruns forestiers et de sols minéraux bruts ou peu évolués (**Trainer, 1991**).

1.3. Géomorphologie et relief

Autour de la région de Skikda se trouvent quelques reliefs :

- Le Djebel El Alia et le Djebel Filfila à altitudes variant entre 400 et 600 m.

• La chaîne numidique ou Dorsale de l'Atlas tellien, barrière physique Est-Ouest, composée de plusieurs massifs dont le Kef Sidi Driss culminant à 1364m. La partie septentrionale de la chaîne numidique prend une orientation Sud-Ouest, Nord-Est ; les altitudes diminuent et atteignent 620m à Kef Moma et 600m au Kef Sebarvoud (**Gana, 2018**).

1.4. Climat et végétation

Le climat qui règne sur la région de Skikda est un climat sub-humide à humide tempéré relativement doux, influencé par la mer méditerranée, caractérisé par deux saisons distinctes :

• Une saison un peu froide et humide, qui s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, elle est caractérisée par une température moyenne de l'ordre de 14°C.

• Une saison chaude et sèche allant du Mai jusqu'à Septembre caractérisée par une température moyenne 22°C. La température moyenne annuelle de l'ordre de 18°C (**O.N.M., 2012**).

La zone littorale de la wilaya de Skikda, est particulièrement soumise à des vents très violents dont la vitesse peut atteindre les 130 km/h. Ces vents causent de multiples dommages aussi bien sur la côte que sur l'intérieur des terres. La direction des vents dominants est Sud-Ouest à Sud-est (**Touati et al., 2004**). Ces conditions climatiques imposent le développement d'une végétation typique dans la région. On trouve surtout des cultures maraîchères et la céréaliculture ainsi que des orangeries et des vignes, les montagnes sont couvertes de maquis et des chaînes liège.

1.5. Hydrographie

Dans sa partie Nord-est, la wilaya de Skikda englobe un réseau hydrologique important, constitué par plusieurs oueds tels qu'oued El Kébir, oued Fendekh, oued Maboul, oued Magroune, oued Aneb, oued Dem El Bagraat, oued Bou Djenane et oued Ennkouche. Différents oueds constituent le bassin versant occidental de l'oued El Kébir, auquel viennent s'ajouter les sous-bassins versants de l'Est de Skikda et de l'Ouest d'Annaba ainsi que le bassin versant de Collo dans la partie Ouest de la région (**Boumezbeur, 2001**). Quatre grands oueds en plus de l'oued El Kébir, traversent cette zone. Il s'agit d'oued Guebli, d'oued Tamanart, d'oued Damous et d'oued Z'hour (**Roubault, 1934**). L'alimentation de la nappe phréatique, dans la localité d'Azzaba, se fait à partir des formations numidiennes Nord-Sud selon des gradients hydrauliques différents (**B.E.G.A.S., 2002**). Les eaux phréatiques contenues dans les dépôts récents d'argiles limono-sableuses, de graviers et de galets, ont un niveau libre. La plaine alluviale de Benazzouz est traversée par l'oued El-Kébir Ouest sur une longueur de plus de 20 km (**Benderradji, 2000**). Tout le long de son trajet jusqu'à la mer de petites dépressions existe, se remplissent d'eau et donnent naissance à Garâat Béni M'Hamed et à Garâat Moussissi (Figure 02).

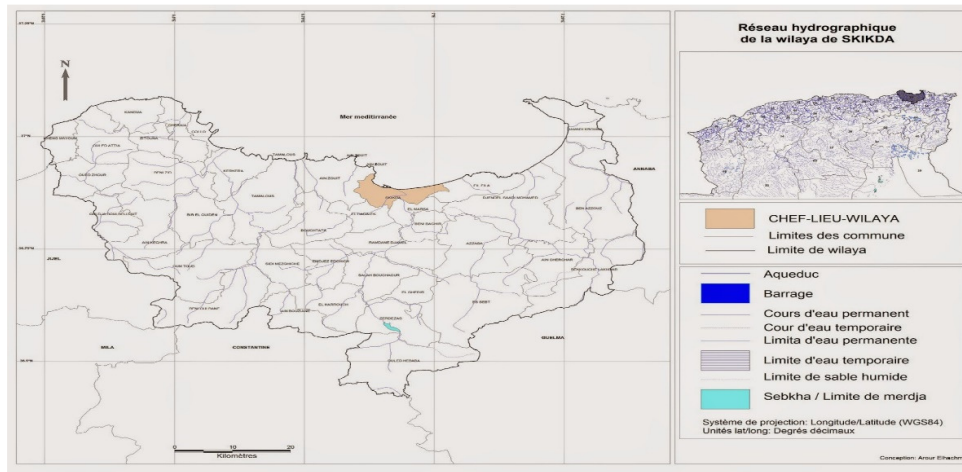


Figure 02. Carte de réseau hydrographique du secteur d'étude

1.6. Géologie et sol

L'étude géologique du sous-sol de cette région fait ressortir cinq types de structures lithologiques :

- Un soubassement primaire du pré-permien constituant le bourrelet liminaire ancien de la presqu'île de Collo (Abacha, 2009).
- Des sables ferrugineux (rouges) de l'ère secondaire (Ben M'hidi, Ain Righa...) une couverture grés-argileuse modérément plissée du Numidien de l'ère tertiaire (El Goufi, Sidi Driss et toute la chaîne numidique) (Joleaud, 1907).
- Des terrains éruptifs ou volcaniques récents du tertiaire et du quaternaire (Bougarouni, Filfila, Cap de Fer, Chetaïbi (Vila, 1977).
- Des terrains très récents de plaines alluviales du Saf-Saf, Zeramna, oued El Guebli, dans la dépression de Tamalous et oued El Kébir, dans la plaine de Guerbés.

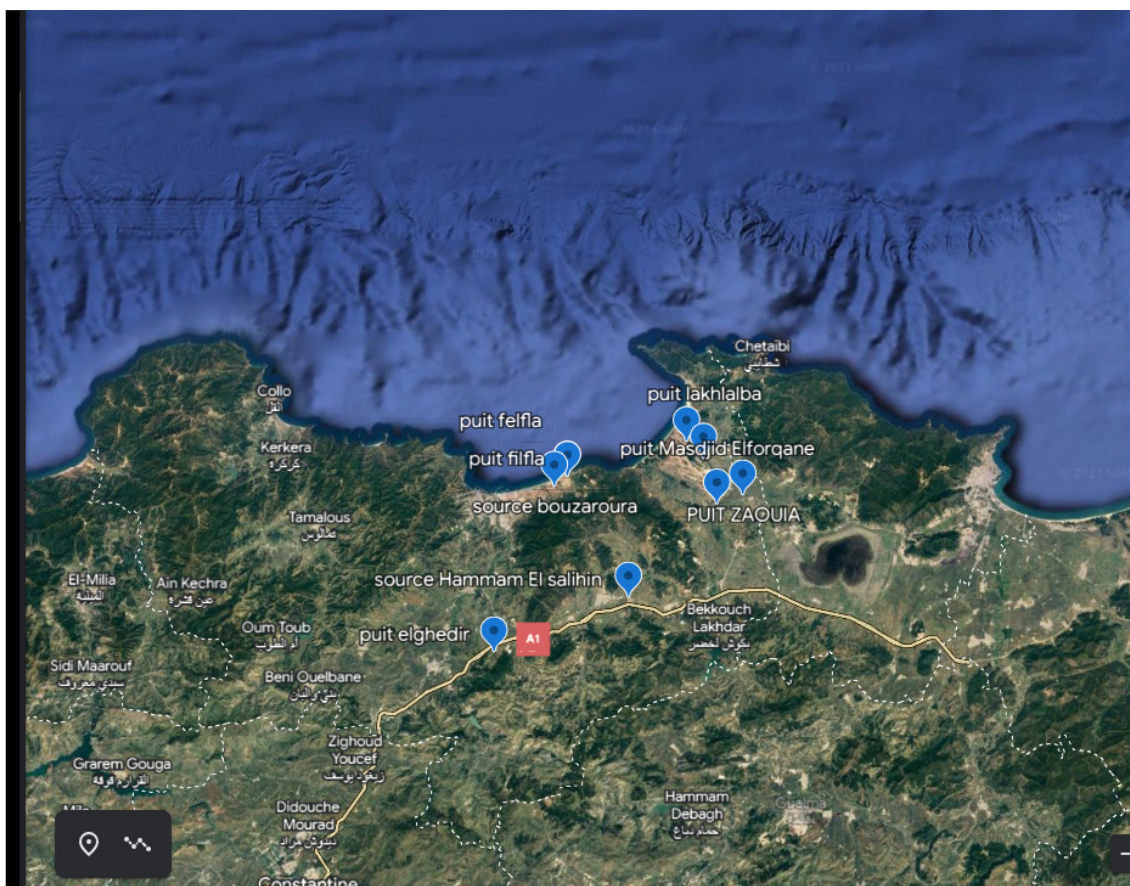
2. Présentation des sites d'étude et Méthodologie

2.1. Localisations des sites d'études

Dans ce travail nous avons choisi 8 stations pour réaliser nos prélèvements. Le Tableau 02 ainsi que la figure 03 montrent les localisations géographiques dans la Wilaya de Skikda des sites de prélèvements (sources ou puits) utilisés dans cette étude.

Tableau 02. Localisations des sources sites de prélèvement dans la Willaya de Skikda.

Stations	Source (puit)	Commune/secteur	Coordonnées géographiques
S1	Boufanaz	Filfila	36°535970 N/ 7°31587 E
S2	Masejid el Hasan el basri	Bouzaroura/ Filfila	36°531110 N/ 7°15951 E
S3	Ain chfa	Ben Azzouze	29°441692 N/ 9°90508 E
S4	Zaouia	Ben Azzouze	36°525143 N/ 7°18065 E
S5	Masjid el Forkan	Ben Azzouze	36°525143 N/ 7°18065 E
S6	Lekhlalba	Ben Azzouze	36°885258 N/ 7°03207 E
S7	Hammam el Salhin	Manzel El Abtale	36°720743 N/ 7°18049 E
S8	El Ghedir	village El Ghedir	36°668528 N/ 6°93618 E

**Figure 03.** Localisation des sites de prélèvements dans la willaya de Skikda (Image satellitaire, Google Earth, 2023).

2.2. Méthodologie d'échantillonnage

2.2.1. Choix des sites et techniques de prélèvement physico-chimique

Notre étude expérimentale consiste à effectuer des prélèvements de 8 échantillons en vue d'une analyse physico-chimique des sources située dans différentes régions de la wilaya de Skikda. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au sein du laboratoire de chimie dans l'entreprise ADE de ZERAMNA. Les échantillons d'eau sont prélevés dans des bouteilles en verre stérilisées puis fermer hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans la bouteille. Il faut identifier immédiatement sur l'étiquette le nom de la source d'eau ainsi que la date de prélèvement.

Durant cette étude, nous avons réalisé 2 prélèvements (p1, p2) qui correspondent à 2 dates différentes ;

- **P1 : le 25/04/2023**
- **P2 : le 25/05/2023**

Les flacons utilisés sont en verre de 250 ml (Figure 4), soumis à un lavage et une stérilisation préalable (stérilisés à l'autoclave). Les flacons sont rincés de nouveau avec de l'eau à analyser au moment du prélèvement puis remplis pour empêcher toute pénétration de l'air,

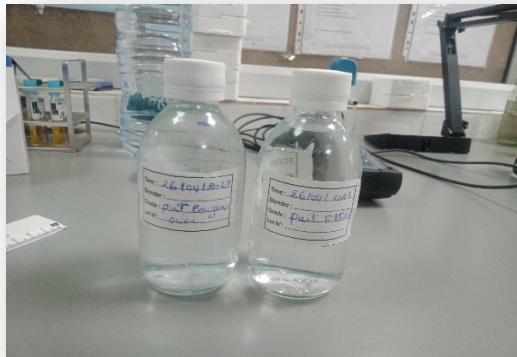


Figure 04. Matériels de prélèvement utilisés (photo originale, 2023).

2.2.2. Techniques de prélèvement bactériologique

Tous les prélèvements des échantillons pour les analyses bactériologiques ont été effectués entre 08 h et 11 h. Pour tous les prélèvements, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml propres stériles. Les flacons contenant les échantillons d'eau prélevée ont été marqués et étiquetés. Une fiche d'identification de l'échantillon est aussi remplie par les renseignements nécessaires pour chaque point de collecte (Larpen, 1997).

2.2.3. Transport et conservation des échantillons bactériologiques

Après prélèvement, les flacons contenant les échantillons d'eau, étiquetés avec une notice contenant toutes les informations nécessaires, seront transportés dans une glacière à 4 °C. Les glacières utilisées sont des caisses isothermes, compartimentées, équipées ; accumulateurs de froid permettant de conserver les échantillons au frais. Selon l'avis du 21 janvier 1960 relatif à la méthode d'analyse bactériologique des affluents, toutes les analyses ont été effectuées dans les meilleurs délais (Rodier et al., 2009).

2.3. Analyse au laboratoire

2.3.1. Analyse Physico-chimique

Le laboratoire physico-chimique contrôle la qualité de l'eau potable en faisant des analyses complètes et partielles.

a. Matériel et réactifs

➤ Réactifs

Nous avons utilisé des réactifs pré dosé : Chlorure LCK311, Fer LCK320, Nitrite LCK342, Ammonium LCK305,

Ces réactifs prés-dosés sont des tests en cuve utilisés pour une sécurité optimale. Ils sont simples a manipulés et idéal pour l'évaluation photométrique, ces derniers sont conditionnés dans des boîtiers emballés entièrement équipés. Reconnu officiellement conforme aux normes autorisées. L'étiquette de code à barres tient compte de la reconnaissance automatique dans le spectrophotomètre, ils sont respectueux de l'environnement car ils réduisent l'excès de l'utilisation des produits chimiques.

➤ Mode opératoire des réactifs prés-dosés

- Sortir les échantillons et les réactifs du réfrigérateur un certain temps avant de les utiliser pour qu'ils soient à température ;

- Eviter l'exposition des échantillons et des réactifs à la lumière directe du soleil ;
- Eviter le stockage des échantillons et des réactifs près d'un radiateur ;
- Suivre les étapes de dosage indiqué dans les boites ;
- Utiliser avant chaque manipulation un tube de réactif comme témoin ;
- Faire la lecture au spectrophotomètre

➤ Appareillage

Conductimètre, pH-mètre turbidimètre, dessiccateur, distillateur, agitateur magnétique, barreau magnétique, spectrophotomètre, bloc thermique

Les méthodes de dosage qui permettent la détermination de la qualité de l'ensemble des échantillons sont les suivants :

2.3.1.1. Partie électrochimique

a. Détermination du pH et la température

- Appuyer sur exit pour allumer le pH mètre
- Rincer l'électrode à l'eau distillée.
- Verser la solution étalon pH=07 dans un bécher.
- Toucher c - Plonger l'électrode dans la solution pH=10.
- Laisser stabilise - Enlever l'électrode en la rinçant à l'eau distillée.

Répéter l'opération de la même façon avec les autres solutions Étalon (figure 05).

b. Détermination de la conductivité

- Appuyer sur exit pour allumer le conductimètre
- Rincer l'électrode à l'eau distillée
- Plonger l'électrode dans un échantillon n°1.
- Laisser stabiliser un moment (la conductivité mesurée).
- Appuyer sur la touche (Sel) pour mesurée la salinité.
- Appuyer sur la touche (DTS) pour mesurée le taux des sels dissous (TSD) (figure 05).



Figure. 05. Équipement utilisé pour mesurée le PH et la conductivité (photo originale, 2023).

c. Détermination la turbidité

- Allumer le turbidimètre.
- Placer la solution tampon turbe 1 t ; 0.1 NTU.
- Laisser stabiliser 60 secondes.
- Placer l'échantillon.

2.3.1.2. Partie volumétrique**a. Détermination de la dureté**

- Ajouter 50 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4 ml de la solution NH₄OH afin d'augmenter le pH a 10.

- Ajouter une pince de l'indicateur.
- Vérifier de pH doit être 10-+0,1ajust en avec la solution de NaOH.
- Titrer avec l'EDTA jusque 'au violet au bleu vérifier le titrage par l'ajout d'une goutte supplémentaire d'EDTA pour changement coloration.

Expression des résultats

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

$$C1 (\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) = C2 \times V2 \times 1000 (\text{mg/l})$$

V2 : Volume de l'EDTA utilisé pour le Titrage

C2 : Concentration de l'EDTA (mol/L) (0,02N) ou (0,01M) **V1** : Volume de la prise d'essai (50 ml)

b. Détermination du chlorure

- 100 ml d'eau à traiter
- 1ml du réactif de chromate de potassium

Titrer par le nitrate d'argent (Ag NO_3^-) jusqu'au virage du jaune au brun rougeâtre et vérifier le titrage par l'ajout d'un goutte supplémentaire de nitrate d'argent pour changement de coloration (figure 6).



Figure 06. Représentatif de titrage de chlorure (photo original 2023).

c. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Mesure la somme des alcalis libres, des carbonates et des bicarbonates

Mode opératoire

- Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y'a pas eu de coloration ;
 - Ajouter 2 gouttes de solution de méthyle orange ;
- Titrer de nouveau avec l'acide jusqu'au virage jaune au jaune orangé. Expression des résultats (figure 07).

Expression des résultats

$$TA = TAC = V \times N \times 1000/v \text{ (mg mol/l)}$$

V : volume de titrage (Hcl).

N : normalité de Hcl (0,1 N).

v : volume de la prise d'essai.

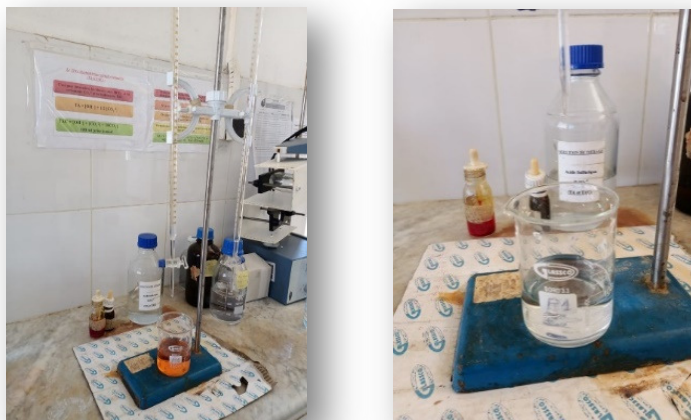


Figure 07. L'ensemble des étapes du titrage de titre alcalimétrique complet (TAC) (photo originale 2023).

d. Titre Alcalimétrique (TA)

Le titre alcalimétrique mesure la teneur en alcalis libres (OH⁻) et en carbonates (CO₃⁻)

Mode opératoire

- Prélever 100 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1à 2 gouttes de solution alcoolique dans le cas contraire le TA est nul ;
- Verser en suite l'acide en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution.

2.3.1.3. Partie spectrophotométrique

La méthode des réactifs prés dosés avec utilisation de la spectrophotométrie moléculaire UV-Visible. Appareil utilisé : Spectrophotomètre TL2300) (figure 08).



Figure 08. Spectrophotomètre TL2300

a. Détermination de Fer

Mode opératoire

- Pipette soigneusement 2.0ml d'échantillon
- Fermer la cuve d'échantillon et mélanger le contenu en la retourner plusieurs fois jusqu'à ce que le contenu lyophilisé soit complètement dissous.
- Après quelques minutes, retournez encore quelques fois
- Nettoyez soigneusement l'extérieur de la cuvette d'échantillon.
- Insérez la cuvette d'échantillon dans le porte-cuve et mesuré (figure 09).

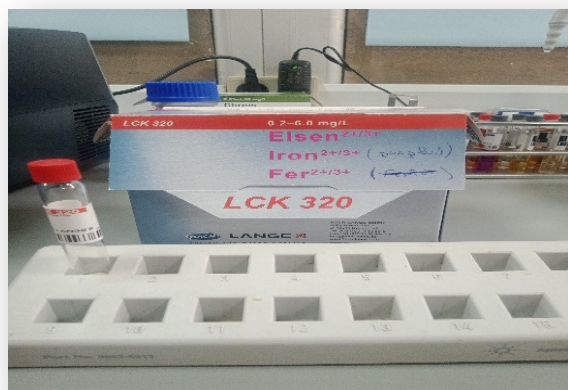


Figure 09. Kit du réactif spécifique au Fer (LCK320)

b. Détermination de l'ammonium

Mode opératoire

- Prendre 40ml d'eau à analyser, contenant jusqu'à 1mg/l NH₄⁺
- Ajouter 4ml du réactif I.
- Ajouter 4ml du réactif II est ajuster à 50 ml avec H₂O, distillée et attendre 1 h 30min
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de NH₄⁺.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre a la longueur d'onde de 655 nm (Figure 10).
Kit du réactif spécifique aux l'ammonium (LCK 305).

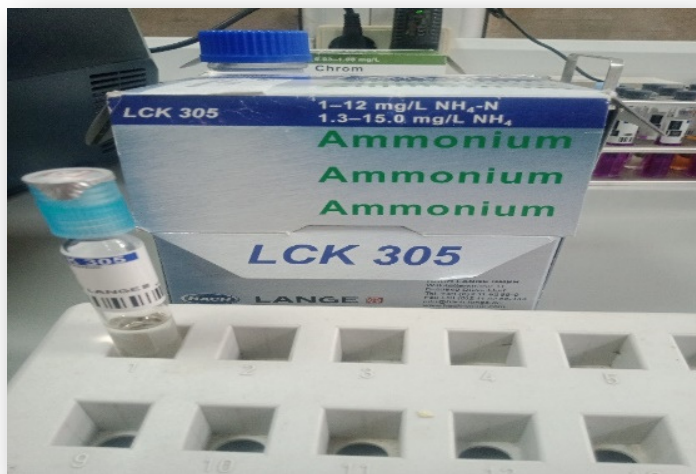


Figure 10. Kit du réactif spécifique aux l'ammonium (LCK 305)

c. Mesure des Nitrites (LCK341)

- Prélever un micro cap A (LCK 341A) et le placer dans la cuve
- Pipeter 0,5 ml de la solution B (LCK541B)
- Pipeter 0,5 ml d'échantillons
- Faire le mélange bien puis attendez 10 min
- Faire la mesure (figure 11).



Figure 11. Kit du réactif spécifique aux ions nitrite (LCK 341).

2.3.2. Analyse bactériologique

Analyse bactériologique Pour le dénombrement des coliformes, les streptocoques fécaux et les spores, la technique de filtration sur membrane a été utilisée (figure 12). Cette méthode consiste à faire passer un certain volume d'échantillon (dans notre étude 100ml d'eau analysée) à travers d'une membrane filtrante (par exemple une membrane Millipore ou Sertorius ou... de 47 mm de diamètre et dont la porosité moyenne est de 0,45 μ m à 0,22 μ m) sur laquelle sont retenus les microorganismes recherchés. Après filtration, la membrane est alors posée sur la surface d'un milieu gélosé spécifique du germe à rechercher, face portant les micro-organismes vers le haut. Après incubation, comme dans le cas de la numération en milieu gélosé, on compte les colonies formées à la surface du filtre (Cuq, 2007).

Le principe de la culture sur un milieu solide est que chaque bactérie donne naissance après incubation à une colonie repérable macroscopiquement. L'unité est exprimée en UFC/volume c'est-à-dire unité formant colonie par unité de volume.

Par contre la culture en milieu liquide consiste d'estimer la présence ou l'absence des microorganismes.

2.3.2.1. Recherche des coliformes fécaux

Les coliformes fécaux sont en fait des coliformes qui poussent à des températures plus élevées, soit à partir de 44,5 C°. Ces coliformes fécaux sont des bactéries que l'on retrouve dans la flore intestinale des animaux à sang chaud. La bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) fait partie des coliformes fécaux. Comme la présence de ces bactéries dans une source d'eau ne peut pas être considérée comme normale, elle peut donc représenter une menace ou l'indication d'une éventuelle dégradation de la qualité bactériologique de l'eau, due à la présence d'une contamination fécale.

Le mécanisme de transport de ces bactéries dans l'eau serait surtout le ruissellement des eaux de pluies sur le bassin versant, entraînant avec lui les microorganismes contenus dans la terre (Bouchard, 2008).

La raison du choix de ce groupe de bactéries comme indicateur de contamination de l'eau est due aux facteurs suivants :

- ✓ Elles se trouvent dans les excréments des animaux à sang chaud, y compris les humains ;
- ✓ Elles sont facilement détectables et quantifiables par des techniques simples et économiquement viables, sur n'importe quel type d'eau ;
- ✓ Sa concentration dans l'eau contaminée à une relation directe avec le degré de contamination fécale de cette dernière ;
- ✓ Elles sont plus résistantes aux désinfectants et aux agents tensioactifs que les bactéries pathogènes (**Fondation National de la Santé, 2013**).

Le dénombrement des coliformes s'effectue dans la gélose lactosée tergitol en utilisant la technique de filtration sur membrane sur des 8 échantillons prélevés.

2.3.2.2. Recherche des Streptocoques fécaux

Cette méthode consiste à détection de signal et le dénombrement des entérocoques intestinaux, ou encore streptocoques fécaux dans l'eau destinée à la consommation humaine. La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait par deux tests : - le test présomptif sur le milieu solide Slanetz. - le test confirmatif sur le milieu BEA. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 h à 48 h. La présence des streptocoques fécaux se manifeste par l'apparition des colonies rouge, marron et rose et éventuellement par la formation des colonies noirâtre dans les boîtes de pétri après le repiquage. Peuvent être limitées à leur centre ou à leur périphérie par une zone plus claire.



Figure 12. (Photos originales des étapes des analyses bactériologiques).

CHAPITRE III.
RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Notre objectif consiste à évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines brutes dans la wilaya de Constantine. A cours de cette partie, nous allons présenter nos principaux résultats obtenus tout en les comparants avec les normes algériennes et celles de l’OMS.

1. Paramètres physico-chimiques

Le dosage des paramètres physico-chimiques de toutes les sources a révélé les valeurs mentionnées dans le tableau ci-dessous (Tableau 03).

Tableau 03. Les analyses physico-chimiques des eaux des sites d’étude.

Paramètre physico chimique	Les prélèvements	S1 Puit de filfila	S2 Source de bouzaro uza	S3 Source Ain chfaa	S4 Puit El zaouia	S5 Puit de Masjid el forquane	S6 Puit de Lakhlalba	S7 source de Hammam salhin	S8 Source d’El Ghedir
pH	P1	8.44	7.44	7.30	7.20	7	6.90	6.81	6.93
	P2	8.40	7.40	7.31	7.21	7	6.93	6.80	6.90
Conductivité μS/cm	P1	602	1204	251	242	507	405	1312	877
	P2	602	1204	250	243	506	406	1311	876
Température °C	P1	21.7	21.8	21.5	18.7	19	21	19	17
	P2	21.7	21.8	21.5	18.6	19	20	19	17
Turbidité NTU	P1	0.290	0.454	1.94	3.90	1.61	1.75	1.90	1.50
	P2	0.287	0.444	1.90	3.90	1.60	1.70	1.89	1.45
Dureté Mg/l	P1	222	444	110	100	140	100	390	430
	P2	222	443	111	112	140	100	659	429
Tac Mg/l	P1	115	130	30	20	75	20	234	430
	P2	115	131	30	19	74	19	233	431
Ta Mg/l	P1	00	00	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	P2	00	00	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Chlorures Mg/l	P1	106.5	106.5	19.5	15.5	32.5	43.5	65.32	32.15
	P2	106.4	106.5	19.6	15.6	32.6	43.6	65.32	32.15
Calcium Mg/l	P1	75	135	44	40	100	50	60	90
	P2	72	132	46	38	98	51	55	88

Nitrite	P1	0.01	0.01	0.015	0.018	0.017	0.019	0.02	0.02
Mg/l	P2	0.02	0.02	0.014	0.016	0.017	0.018	0.02	0.02
NH4	P1	00	00	00	00	00	00	00	00
Mg/l	P2	00	00	00	00	00	00	00	00
Fer	P1	0.02	0.01	0.02	0.03	0.09	0.07	0.02	0.02
Mg/l	P2	0.02	0.01	0.01	0.02	0.08	0.06	0.01	0.01

1.1. PH

Le pH de l'eau peut influencer les caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques. L'eau acide peut mobiliser certains métaux du sol et des réseaux de tuyauterie, ce qui augmente leur biodisponibilité et change leur toxicité. Le changement de toxicité causé par une variation de pH est toutefois propre à chaque métal et à chaque organisme (CFPTEP, 2015).

Dans le cas de la région d'étude, les valeurs du pH enregistrées ne montrent pas de variations notables, elles varient entre 6,81 au niveau de la source de Hammam salhin et 8,44 au Puit de filfila (figure 13). La valeur du Ph des eaux de toutes les puits respectent les normes Algériennes ainsi que de l'OMS, qui fixent les valeurs vers les 9 et 9,5. Alors selon les résultats de ce paramètre, la qualité de l'eau au niveau de la région d'étude est excellente (figure 13).

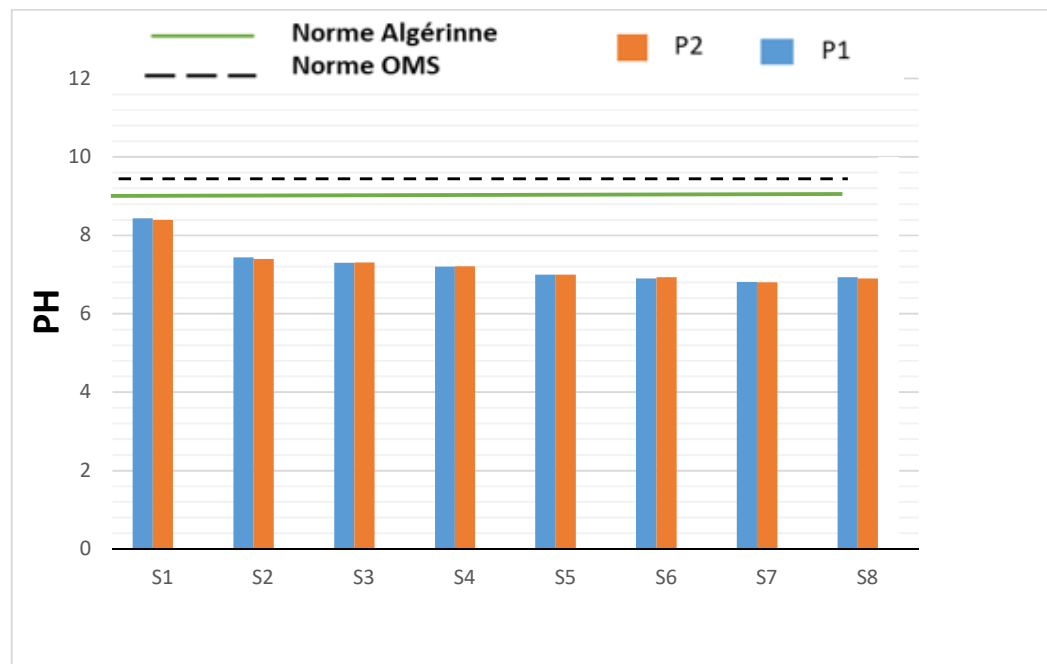


Figure13. La variation du pH des eaux étudiées.

1.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique (capacité de l'eau à permettre le passage d'un courant électrique). La conductivité électrique de l'eau est une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- ,) qui sont formées par la solution des sels minéraux dans l'eau. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD, 2006).

Les résultats obtenus montrent que la conductivité de l'eau utilisée pour consommation dans nos sites d'étude varie entre 242 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le Puit El zaouia et 1312 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la source de Hammam salhin. Ces résultats sont conformes aux normes et inférieurs à la valeur limite fixée par la norme Algérienne (moins de 2800) et OMS (moins de 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figure 14).

Cependant, il est important de noter que la conductivité électrique seule ne donne pas une indication complète de la qualité de l'eau et d'autres paramètres doivent être pris en compte pour évaluer sa potabilité et son utilisation appropriée.

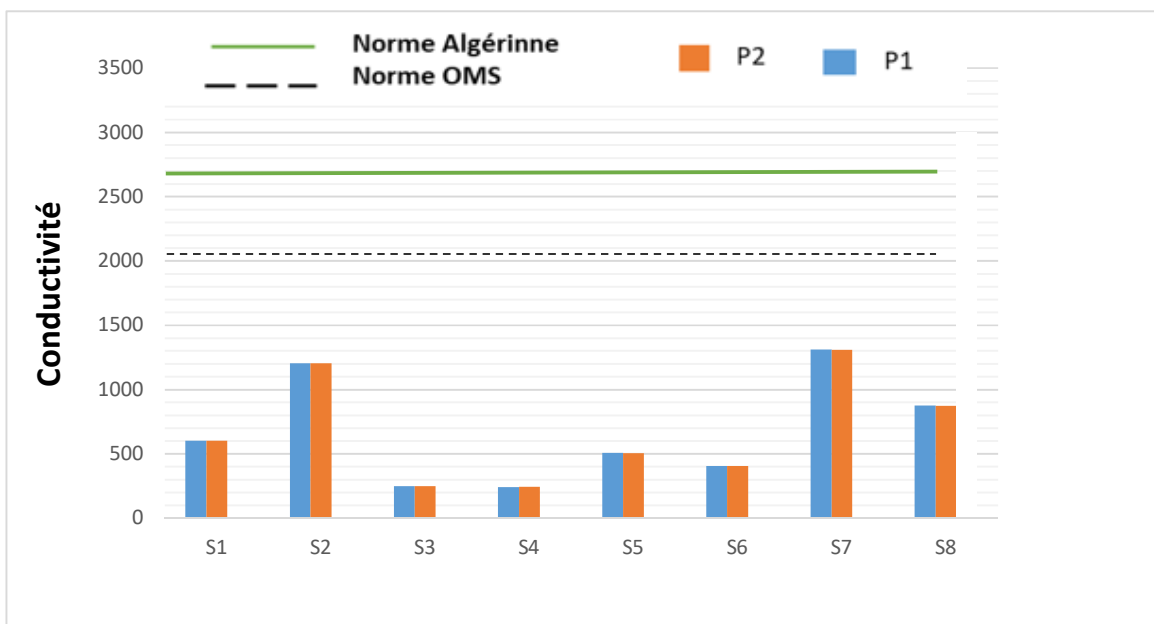


Figure 14. La variation de la conductivité électrique en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des eaux étudiées

1.3. Température

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée (Rodier, 1984).

D'après les résultats des températures de l'eau étudiée, nous constatons que la température minimale enregistrée, était de l'ordre de 17 °C pour le puit de El Ghedir, ainsi qu'une température de l'ordre 18.7 °C au puit de Zaouïa. Les autres sites : puit de Filfla et la source Bouzaroura ont connu des températures maximales de l'ordre de 21.8°C et 21.7 °C respectivement. Dans le cas de nos sites d'études les valeurs de température obtenues restent dans les normes (figure 15).

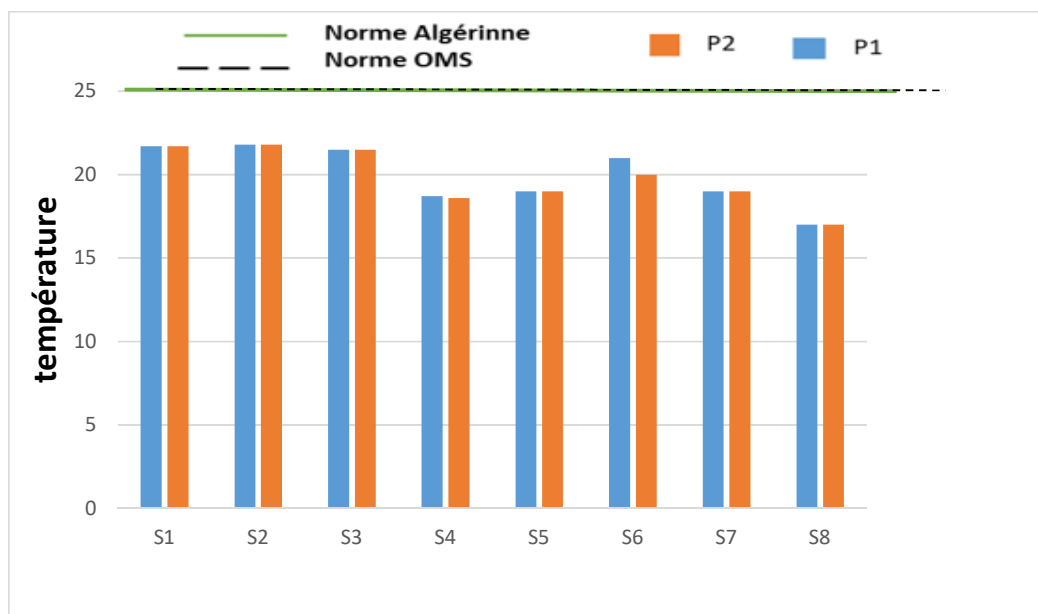


Figure 15. La variation de la température en °C des eaux étudiées

1.4. Turbidité

La turbidité de l'eau distribuée ne doit jamais dépasser 5 NTU pour tous les systèmes de distribution d'après les normes Algérienne et de l'OMS. Les valeurs de la turbidité enregistrées au cours de la présente étude sont marquées par un maximum de 3.90 NTU pour la station 4 durant le premier prélèvement et un minimum de 0.29 NTU pour la station 1 (figure 16).

Les valeurs obtenues restent dans la norme algérienne et de l’OMS qui fixe des valeurs de la turbidité inférieure 5 NTU. La turbidité de l’eau souterraine est généralement surtout inorganique et causée par des facteurs géologiques naturels (GRHMSM, 2011).

Nos faibles résultats de turbidité sont généralement considérés comme souhaitable, car elle indique une eau plus propre et moins polluée. Une eau faiblement turbide est souvent perçue comme plus esthétiquement agréable et peut être plus facile à traiter pour la rendre potable.

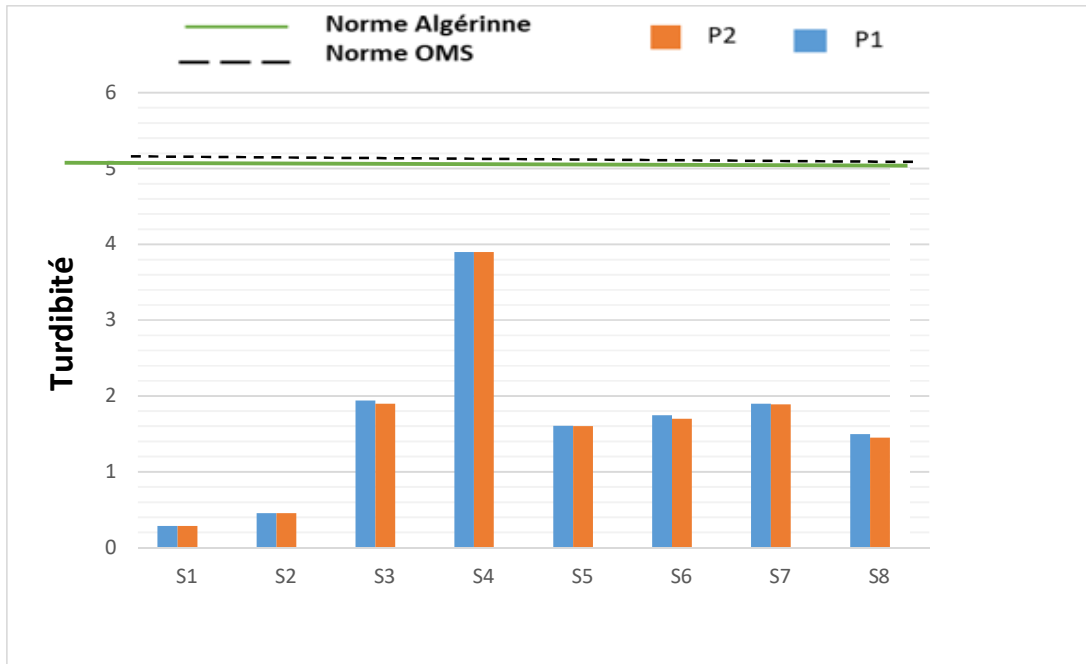


Figure 16. La variation de la turbidité en NTU des eaux étudiées.

1.5. Dureté

La dureté est principalement causée par la présence de calcium et de magnésium dans l’eau et elle est exprimée en mg/L de CaCO_3 . En général, la dureté carbonatée est définie par la concentration dans l’eau des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} qui sont associés aux anions de l’alcalinité (HCO_3^- et CO_3^{2-}). En général, l’eau qui présente une concentration de carbonate de calcium inférieure à 75 mg/L est considérée comme de l’eau douce ; entre 75 et 150 mg/L, on parle d’eau à dureté moyenne ; entre 150 et 300 mg/L, d’eau dure ; et à plus de 300 mg/L, d’eau à dureté élevée (CFPTEP, 2015).

Les teneurs en dureté montrent des variations s’observant selon le tableau 03 et la figure 17 avec une valeur minimale de 100 mg/l enregistrée à la source Zaouïa et Lakhlalba alors qu’une valeur maximale de 444 mg/l a été enregistrée à la source

Bouzaroura. La valeur limite est fixée à 500 mg/l par la réglementation en vigueur (figure 17).

Les valeurs de la dureté des eaux étudiées sont majoritairement inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 500 mg/l (Norme algérienne et OMS) pour l'eau potable. Nos faibles valeurs de dureté de l'eau sont dues à une concentration réduite de minéraux tels que le calcium et le magnésium.

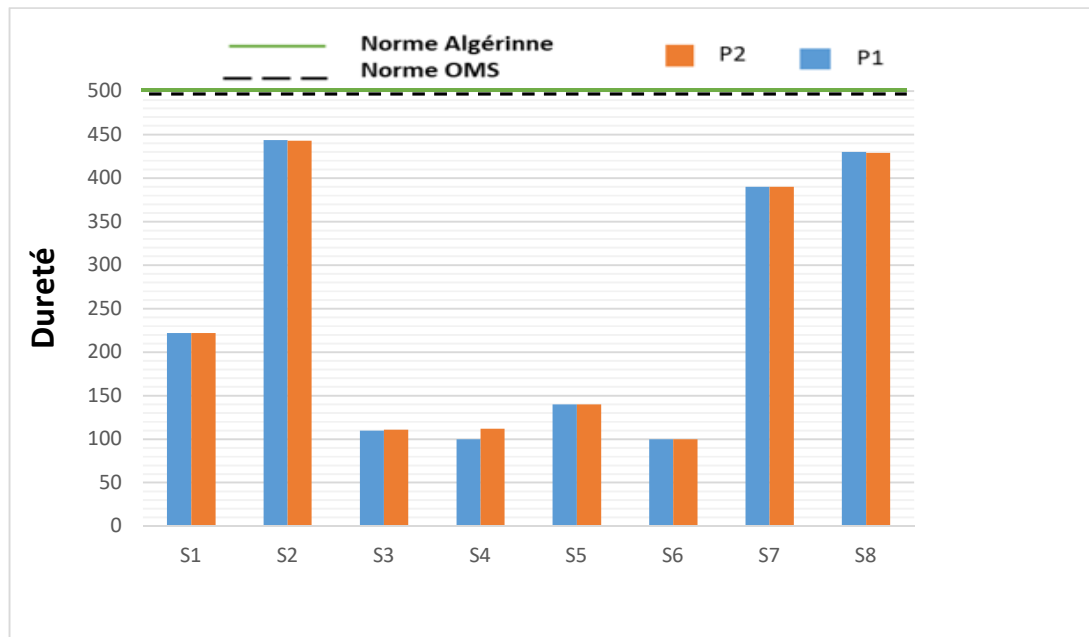


Figure 17. La variation de la dureté en mg/l des eaux étudiées.

1.6. TAC

Le TAC représente la concentration en ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes présents dans l'eau. Les résultats varient entre 19 mg/L et 430 mg/L. toutes les valeurs de toutes les stations dépassent la norme internationale de l'OMS (figure 18).

Nous constatons que l'eau de la wilaya de Skikda est très riche en bicarbonate. Ces teneurs confirment son origine bicarbonatée, les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. Cependant, un TAC élevé peut également avoir des effets indésirables, tels que le dépôt de calcaire, la formation de tartre ou une sensation de goût alcalin.

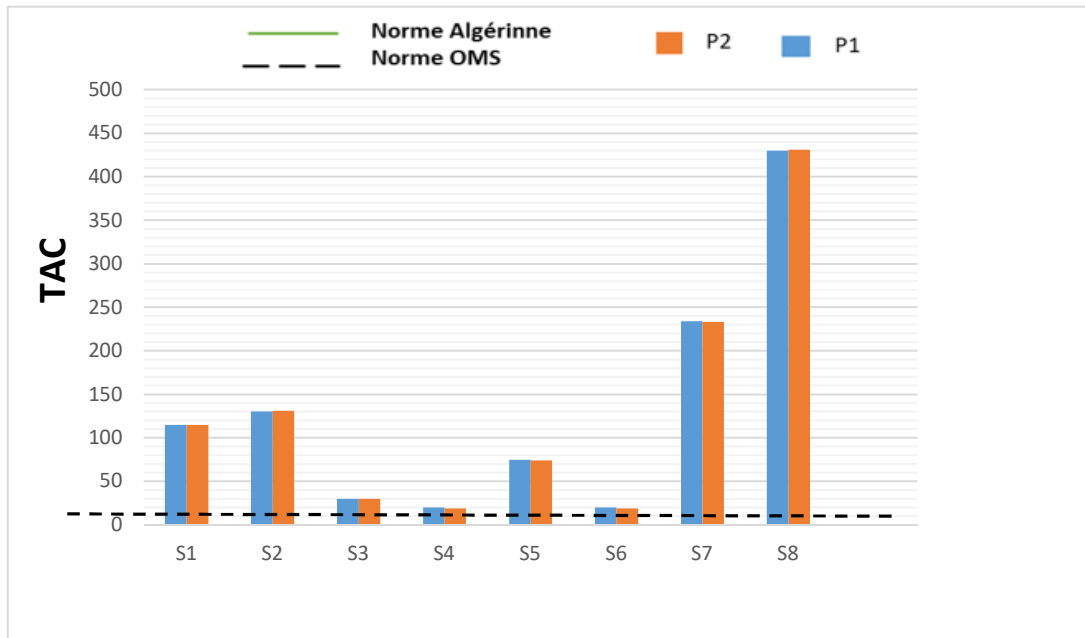


Figure 18. La variation du TAC en mg/L des eaux étudiées

1.7. TA

Le titre alcalimétrique permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau. La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale (Kouider-Belala, 2006), (figure 20. La variation du TA des eaux des eaux étudiées).

Nos résultats montrent la présence des traces qui ne dépasse pas les 0,5 mg/L de carbonates dans les eaux de la wilaya de Skikda (figure 19). Ces résultats obtenus, montrent que la concentration TA ont des teneurs acceptables et qui sont plus faible par rapport aux normes algériennes et de l'OMS (figure 19).

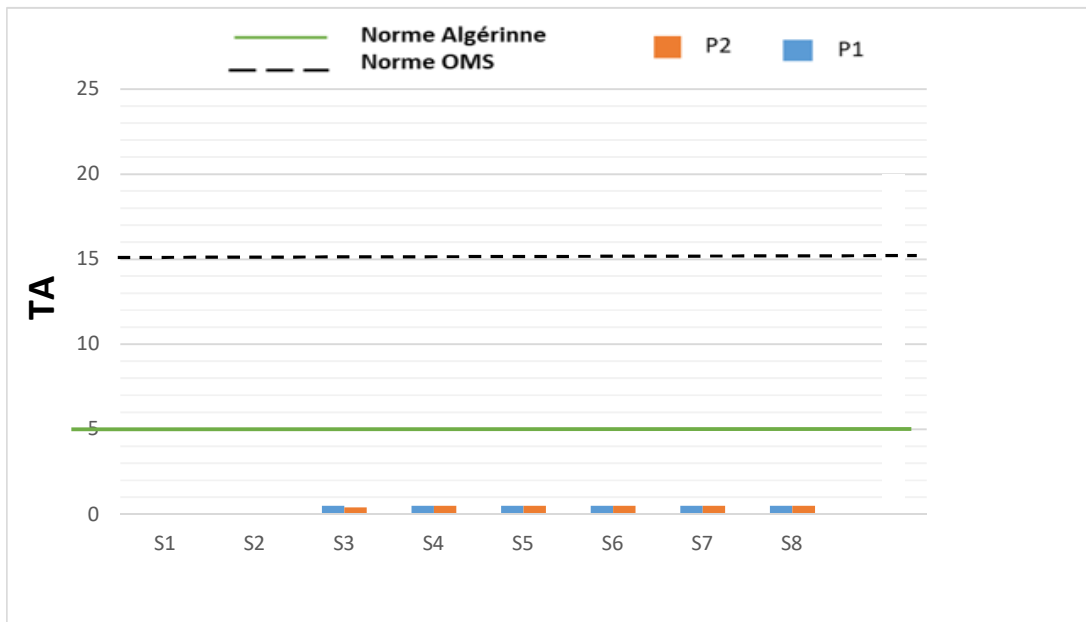


Figure 19. La variation du TA en mg/L des eaux des eaux étudiées.

1.8. Les chlorures

Fréquent dans la nature, sous forme de sel de sodium (Na Cl), de potassium (K Cl), et de calcium (CaCl₂). L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportions très variables. Indépendamment de la nature de la formation géologique traversée, la présence des chlorures peut être attribuée aux effluents des industries chimiques, à l'exploitation des puits de pétrole, des mines de potasse, aux drainages d'irrigation...etc. Le plus grand 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).

La variation du Cl⁻ enregistré au cours de la présente étude est marquée par un maximum de 106,5 mg /l pour les station 1 et 2 et un minimum de 15,5 mg/l pour la station 4 (figure 20). Comparées avec les grilles de la qualité des eaux de consommation (de l'OMS et norme algérienne qui sont 250 mg/L et 500 mg/L respectivement), les eaux des sources et puits correspondent aux eaux de bonne qualité 2 (figure 20).

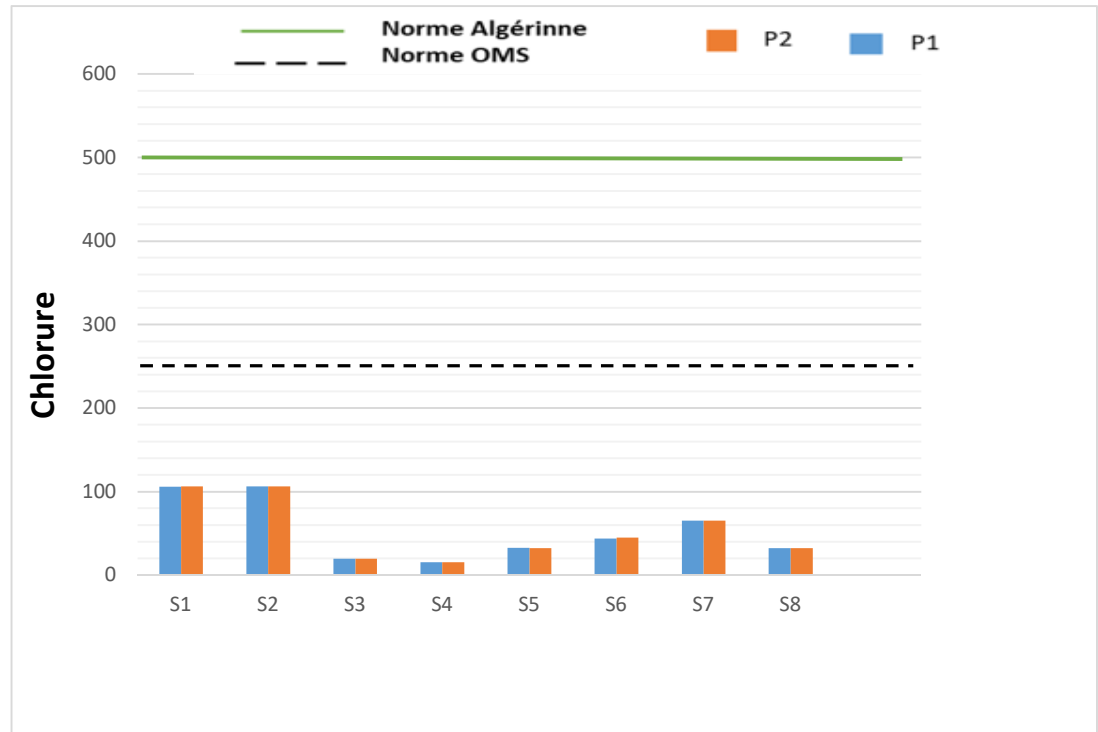


Figure 20. Les variations de Chlorure en mg/L des eaux étudiées.

1.9. Calcium

Elément chimique de numéro atomique 20 et de symbole Ca qui fait partie des métaux alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés (Rodier et *al.*, 2007). Il existe surtout à l'Etat hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc. (Rodier, 1976).

La variation spatiotemporelle du Ca^{+2} enregistré au cours de la présente étude est marquée par un maximum de 135mg /l pour la station 2 de Bouzaroura durant le premier prélèvement et un minimum de 38 mg/l pour la station 4 durant le deuxième prélèvement (figure 21).

Dans les stations étudiées, les résultats montrent que les valeurs de Ca^{+2} des eaux étudiées restent inférieures à la norme algérienne (200mg/L) et de l'OMS (270mg/l).

En termes d'eau potable, une faible teneur en calcium peut être bénéfique dans certains cas. Par exemple, une faible teneur en calcium peut réduire la formation de dépôts de tartre. Cependant, il est important de noter que le calcium est également important pour la santé humaine, et des carences en calcium peuvent avoir des implications pour la santé des os et des dents. Il est donc nécessaire de trouver un équilibre approprié en fonction des besoins individuels et des recommandations nutritionnelles.

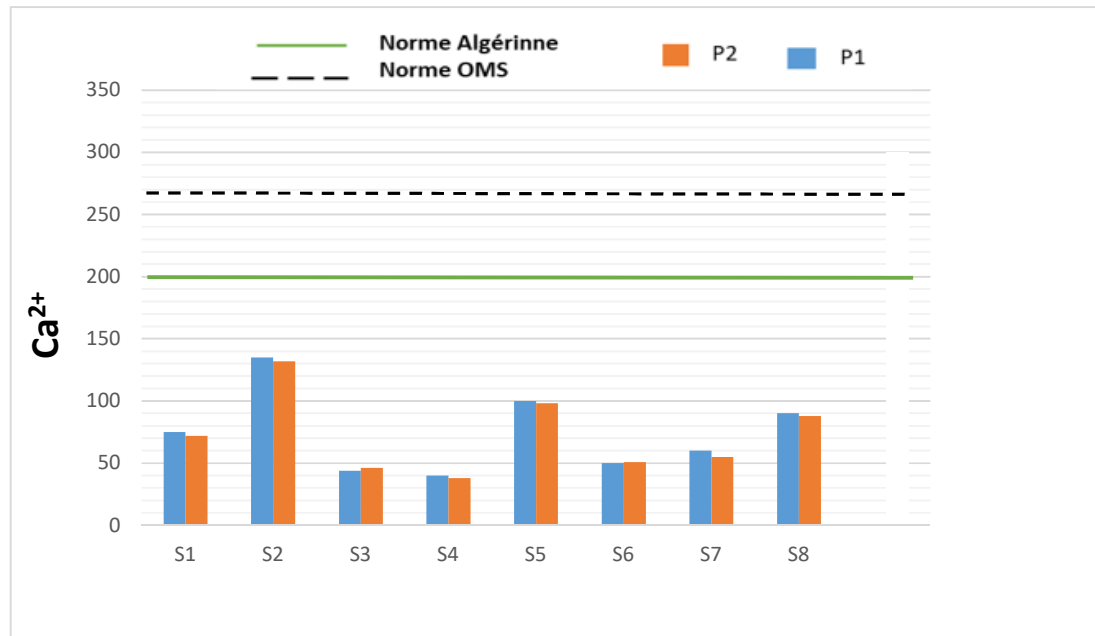


Figure 21. La variation de Ca^{++} en mg/L des eaux étudiées.

1.10. Les Nitrites

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Comme les nitrates les nitrites sont très répandus dans l'environnement les uns et les autres se retrouvent dans la plupart des produits alimentaires, dans l'atmosphère et dans une grande partie des eaux. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulféto-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (Bengoumi et *al.*, 2004). Le nitrite étant toxique pour l'organisme humain la présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau.

La toxicité liée au nitrite est très significative en raison de leur pouvoir oxydant (Maiga, 2005), Les nitrites sont les indicateurs de la pollution.

La variation du NO_2^- enregistré au cours de la présente étude sont comprises entre un minimum de 0.01 mg/l et un maximum de 0.02 mg /l pour toutes les stations (figure 22). Selon les normes algériennes et de l’OMS pour les nitrites, les eaux de toutes les stations d’études correspondent aux eaux de bonne qualité. Dans notre contexte de l'eau potable, une faible teneur en nitrites est généralement considérée comme souhaitable. Cela signifie que nos sources ne sont pas touchées par une éventuelle source de pollution, telles que la pollution agricole, les rejets industriels ou les systèmes de traitement des eaux usées.

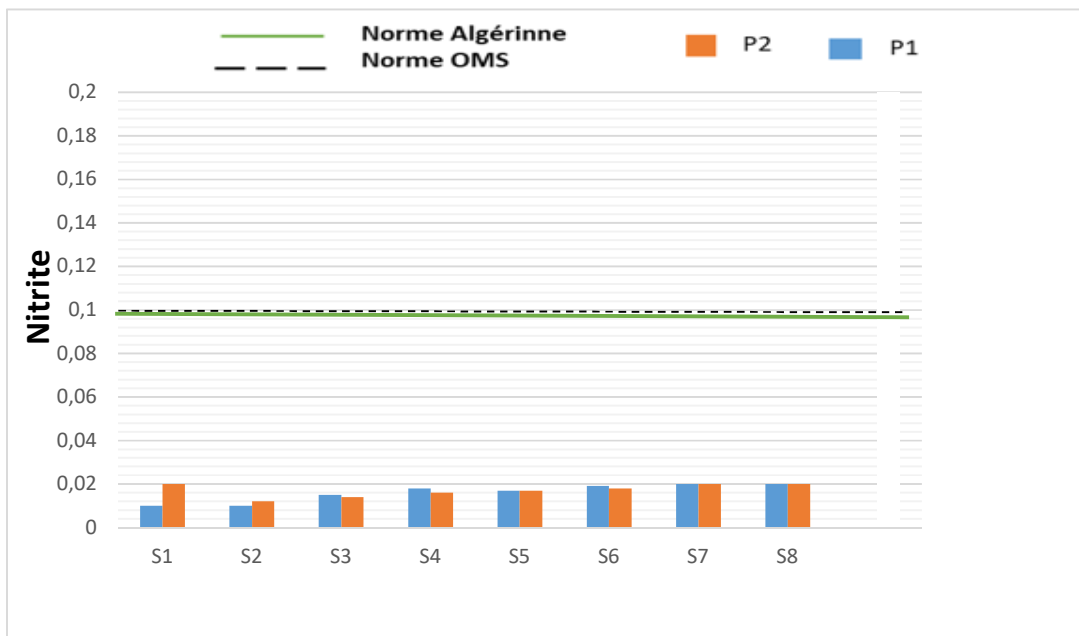


Figure 22. Les variations de Nitrite en mg/L des eaux étudiées.

1.11. Ammonium

Les cations ammonium et l’ammoniac coexistent dans l’eau selon l’équilibre qui dépend du ph et de la température. A 20C°, la forme prédominante dans l’eau potable et l’ion Ammonium a ph inférieure a 9.3, et l’ammoniac à ph 9.3 et plus (Baribeau, 2006).

Nos résultats montrent une absence totale de l’ammonium dans toutes les stations d’étude de la wilaya de Skikda (voir tableau 03).

Une teneur nulle d'ammonium dans nos eaux, peut être considérée comme positive dans le contexte de l'eau potable, car des niveaux élevés d'ammonium peuvent être préjudiciables à la santé humaine. Des concentrations élevées d'ammonium peuvent être toxiques et causer des problèmes de santé, en particulier lorsqu'ils réagissent avec d'autres composés pour former des substances nocives.

1.12. Le fer

Le fer est un élément chimique naturellement présent dans le sol. Il peut se dissoudre dans les eaux souterraines (l'eau potable). Il n'y a pas de norme pour la quantité maximale de fer permise dans l'eau potable.

Néanmoins, lorsque sa concentration dans l'eau dépasse 0,3mg/l, le fer peut :

- Modifier le goût et la couleur de l'eau
- Tacher les vêtements lavés et les appareils électroménagers (Gouvernement du QUEBEC, 2023).

La variation du Fe enregistré au cours de la présente étude sont comprises entre un minimum de 0.01 mg/l dans la Station S2 et un maximum de 0.09 mg /l pour la station S5 (figure 23). Ces valeurs ne dépassent pas la concentration de 0,3mg/l qui affecte quelques qualités de l'eau.

Dans notre contexte de l'eau potable, une faible teneur en fer est généralement souhaitable. Des concentrations élevées de fer dans l'eau potable peuvent avoir des effets indésirables tels que le goût métallique de l'eau, la décoloration, la formation de dépôts et la corrosion des canalisations. De plus, une exposition prolongée à des niveaux élevés de fer peut entraîner des problèmes de santé, notamment des troubles gastro-intestinaux.

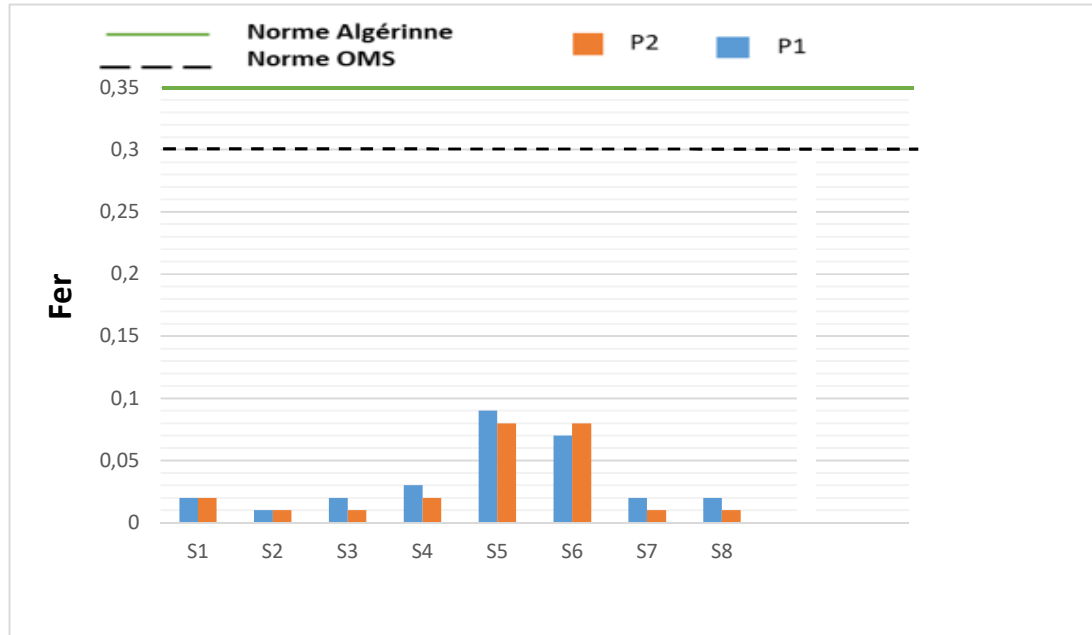


Figure 23. Les variations de Fer en mg/L des eaux étudiées.

2. Analyses microbiologique

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Notre étude est effectuée sur les germes suivant : les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux (Tableau 04) (figure 24).



Figure 24. Les photos des résultats des analyses bactériologiques

Tableau 04. Valeurs mesurées des différents paramètres bactériologiques des eaux étudiées.

Sources		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
		Puit de filfila	Source de bouzar-ouza	Source Ain chfaa	Puit El zaouia	Puit de Masjid el forquane	Puit de Lakhlalba	source de Hammam salhin	Source d'El Ghedir
Coliformes totaux (CT/100 ml)	P1	>100	48	18	32	0	>100	24	0
	P2	>100	48	17	30	0	>100	20	0
Coliformes fécaux = E. coli (UFC/100ml)	P1	0	0	0	0	0	0	+	0
	P2	0	0	0	0	0	0	+	0
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	P1	0	0	0	0	0	0	0	0
	P2	0	0	0	0	0	0	0	0

2.1. Coliformes totaux (C T)

Ce groupe hétérogène de coliforme appartient à la famille des entérobactéries et comprend plusieurs genres bactériens qui représentent la flore intestinale normale. Cependant, la plupart des espèces se retrouvent aussi naturellement dans le sol, végétation et aussi dans l'eau. De ce fait, cette analyse n'est pas considérée comme un indicateur de contamination fécale ou de risque sanitaire. La présence de coliformes totaux dans les eaux souterraines peut avoir plusieurs significations dont la croissance bactérienne et une déficience ou une absence de traitement (Williams et al., 2004),

Selon le tableau 04 et la figure25, le nombre de coliformes totaux dans les sites est de moyenne 20 UFC/100 ml.

La variation de coliformes totaux enregistré au cours de la présente étude sont comprises entre un minimum de 17 UFC/100 ml dans la station S3 (Source Ain chfaa) et un maximum qui dépasse les 100 UFC/100 ml pour les stations S1 de filfila et S6 de Lakhlalba.

Le nombre de coliformes totaux sont inacceptable. Ces valeurs sont élevées en comparaison avec les normes algériennes qui exigent que le nombre de coliformes

totaux soit inférieur à 10 UFC/100 ml dans les eaux destinées à la consommation humaines (JORA, 2011).

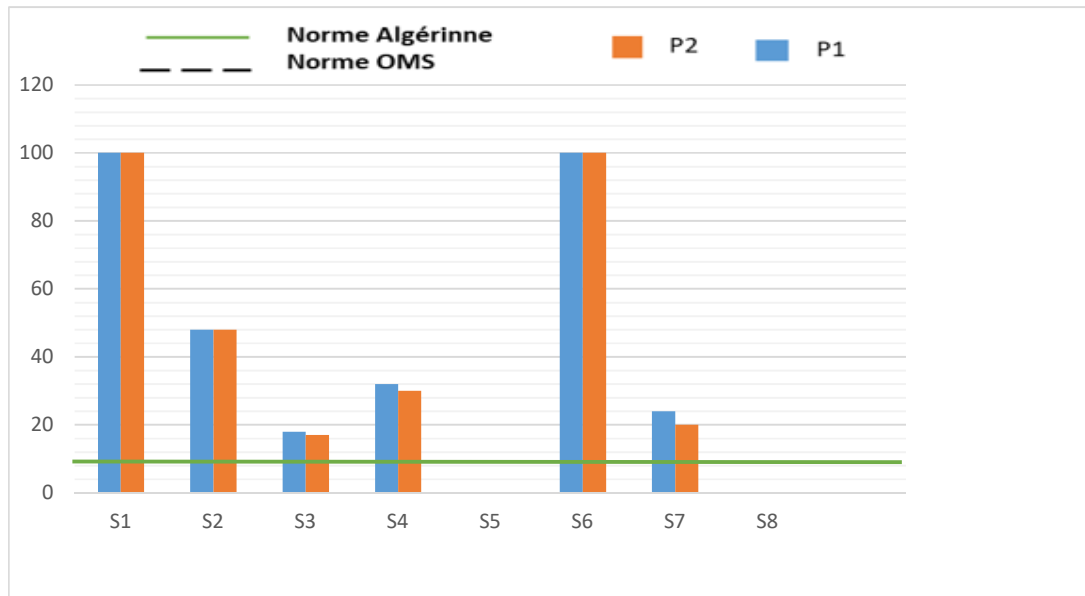


Figure 25. Variation du nombre de coliformes totaux (n germs /100ml) dans les eaux étudiées.

2.2. Coliformes fécaux (C.F)

La présence des coliformes fécaux thermo-tolérants, démontre l'existence d'une contamination fécale d'une eau. La présence d'*Escherichia coli*, indiquant ainsi une pollution fécale récente (OMS, 2004), Tout en sachant qu'*Escherichia coli*, est une espèce des Entérobactéries thermo tolérantes capable de dégrader le tryptophane en indole. Elle est considérée comme germe dominant de la flore intestinale des animaux sangs chauds et en particulier les humains, et représente 1 % de la biomasse microbienne (Ayed, 2016).

Comme indiqué dans le tableau (04) et la figure (26), seule la source Hammem El Salhin contient des coliformes fécaux. Le nombre des coliformes fécaux dans cette station dépasse les normes algériennes.

La présence de coliformes fécaux, notamment *E. coli*, dans l'eau indique une contamination fécale et suggère la présence potentielle de pathogènes d'origine fécale. Cela peut être préoccupant en termes de sécurité sanitaire, car *E. coli* est associé à des maladies gastro-intestinales et peut être un indicateur de la présence d'autres agents

pathogènes dangereux dans l'eau. Il est essentiel de traiter et de purifier l'eau avant de la considérer comme propre à la consommation.

En revanche, les autres stations d'études présentent une absence de coliformes fécaux. Cela signifie que l'eau est exempte de contamination fécale et suggère qu'elle est probablement sans danger pour la consommation humaine.

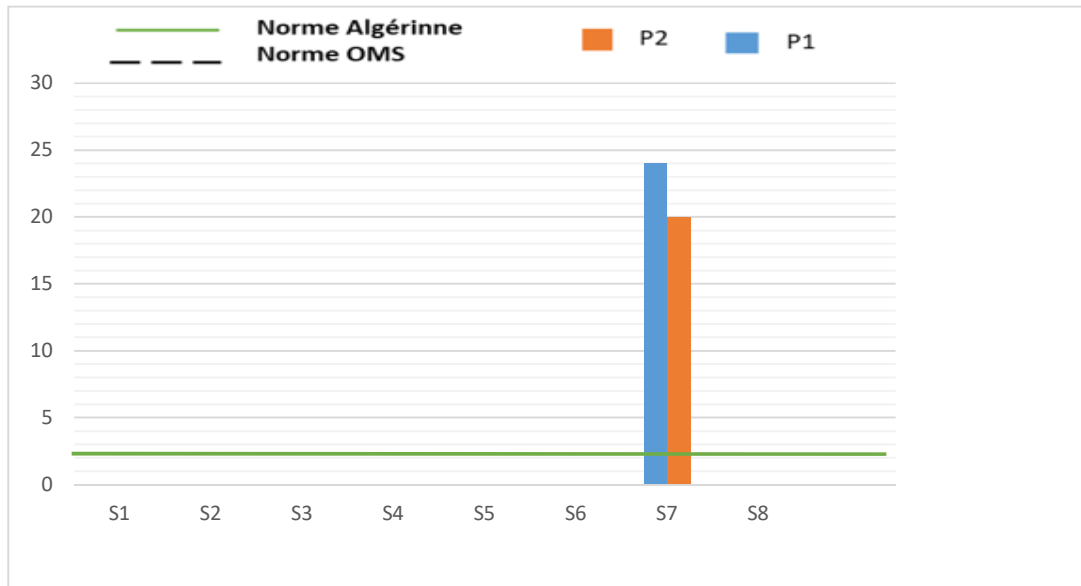


Figure 26. Variation du nombre de coliformes totaux (n germs /100ml) dans les eaux étudiées.

2.3. Streptocoques Fécaux (SF)

Les streptocoques fécaux sont des aérobies anaérobies facultatifs faisant partie des indicateurs de contamination fécale mais plus résistants dans le milieu extérieur que les coliformes. Ils sont éliminés dans les excréments des animaux dans les pâturages à la surface du sol, puis transportés à travers le sol dans les eaux des rivières, les lacs et les eaux souterraines (Hamed et *al.* 2012),

Nos résultats montrent que le nombre de streptocoques fécaux dans les sites des prélèvements est de nul (tableau 04). L'absence de streptocoques fécaux dans nos échantillons d'eau indique qu'elle ne contient pas de contamination d'origine fécale. Cela est généralement considéré comme un indicateur de bonne qualité de l'eau en termes de sécurité sanitaire.

CONCLUSION

CONCLUSION

Les eaux souterraines de la région d'étude ont été examinées pour évaluer leur qualité physicochimique et microbiologique. Cette évaluation s'est basée sur l'analyse des résultats physicochimiques et microbiologiques de 08 sources d'eau. Il est important de souligner que les seuls paramètres physicochimiques de l'eau ne suffisent pas à fournir une indication complète de sa qualité globale. Il est donc nécessaire de prendre en compte d'autres paramètres, tels que les paramètres microbiologiques, afin d'évaluer son aptitude à la consommation et à d'autres utilisations spécifiques.

L'étude révèle que la qualité physicochimique des eaux est satisfaisante selon les normes de l'OMS et les normes algériennes. Néanmoins, le taux de TAC dépasse ces normes, indiquant une teneur élevée en bicarbonate dans l'eau de la wilaya de Skikda. Cependant, cela n'affecte pas la potabilité de l'eau.

D'autre part, sur le plan microbiologique, les résultats obtenus à partir des différentes analyses effectuées sur l'eau indiquent l'absence presque totale des germes de contamination. Quelques coliformes fécaux au niveau d'une seule source (Hammam el Salhin) ont été trouvés ce qui témoigne d'un signe de pollution.

Selon les résultats d'analyses obtenues, nous pouvons donc conclure que l'eau de consommation des sources de Skikda étudiées sont de bonnes qualités microbiologiques et physicochimiques.

Face à cette situation, il est important de mettre en place un plan d'action pour la réduction voire la suppression des impacts négatifs de la pollution de l'eau, afin de préserver la qualité des eaux souterraines qui restent une source importante pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation dans notre région.

Enfin, nous suggérons une meilleure prise en charge de suivi de la qualité de l'eau potable dans le réseau de distribution qui est fréquemment soumis à de nombreuses contaminations (Fuites, problème de bio film, corrosion). Les mesures préventives comme la multiplication des fréquences des prélèvements d'échantillons pour contrôle chez les abonnés contribuent à minimiser les risques des maladies à transmission hydriques comme le choléra, les fièvres, typhoïde.....

REFERENCE
BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

Algéo (Alger Géophysique), 1997. Etude Géophysique Dans La Plaine De Guelma. Rapport Interne, 28 p.

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. Université Mentouri Constantine, p49

Amiour, A. 2005. Les zones préférentielles de la mondialisation en Algérie. Exemple de Skikda, Université Mentouri Constantine, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, 156 p.

Ayed, S. 2016. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harrouche Thèse de doctorat en Sciences. Université 20 Août, Skikda, p156.

B.E.G.A.S, 2000. Etude géotechnique d'urbanisations, Site de Azzaba - POS n°2 "Extension", Phases II et III : A.P.D. Bureau Etudes Géotechniques-Analyses Sols, Skikda, 120 p.

Benderradji, M. E. H ; 2000. Les milieux humides de l'extrême Nord-est algérien de Guerbès aux confins algéro-tunisiens : Ecogéographie et aménagement. Thèse Doctorat, Univ. Mentouri, Constantine, 215 p.

Benmaïd, A. 2013. La sécurité liée à l'eau : gestion des risques et arbitrages, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, études & documents, N° 100, 40p

Boegli. J-C. 2001. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G 1110.

Boeglin Jean-Claude, 2006. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.

Bouchard, M. 2008. Évolution temporelle et modélisation des coliformes dans une source d'eau potable, Mémoire de Master 2 en Sciences, Université de Laval, Québec, Canada.

Boumezbeur, A. 2001. Atlas des zones humides algériennes d'importance internationale. Ed. Direction générale des forêts (D.G.F.), Alger, 56 p

Bouziani, M. 2000. L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p

Bremond, R. Vuichard, R.1973. Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la Protection de la Nature et de l'Environnement, OSPEPE, Paris. France

Cahier de chloration, 1996. Chloration en milieu rural dans les pays en voie de développement Actes de la réunion organisée par le PS-Eau Juin 1996 (réédition 2005), p5-7-8-10-12.

Cardot, C. 1999. Génie de l'environnement : les traitements de l'eau. Paris, P : 9.

Ceptep, 2015. Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada : <https://www.canada.ca/content/dam/hcsc/documents/services/publications/healthy-living/guidelines-canadiandrinking-water-quality-guideline-technical-document-ph-fra.pdf>. Consulté le 19/03/2018

Cuq, J.L. 2007. Microbiologie Alimentaire control microbiologique des aliments, Edition Sciences et Techniques du Languedoc, Université de Montpellier 2, Département de Sciences et Technologie des Industries Alimentaires, Montpellier, France.

Debabza, M. 2005. Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba Evaluation de la résistance aux antibiotiques des microorganismes pathogènes, Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie

Degemont, 1989. Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, , P : 5, 24,25.

- Degemont, 1998.** Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, P : 5, 24,25.
- Djabri, L. 1996.** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, Algérie, 176 p
- Djemmal, S. 2009.** Les Ressources en Eau et L'environnement, l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux Souterraines dans la partie sud-est de Sétif Cas du Guidjal, Université de Constantine, Algérie.
- Faurie, C., Medori, P., Ferra, C. 2003.** Ecologie : Approche scientifique et pratique, 5èmeEdition, Lavoisier doc et tec, Paris, 312p.
- Grhmsm, 2011.** https://www.gov.mb.ca/waterstewardship/odw/publicinfo/factsheets/fr/factsheet_drinking_water_program_fr.pdf Consulté le 25/05/2018
- Guessoum, D.1., Zaid, A. 2014.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-
- Hamed, M., et al, 2012.** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-Torba, Thèse d'Ingénieur d'état en Biologie, Université des Sciences et Technologies Béchar, Béchar, Algérie.
- Hceflcd, 2006.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira ; CR Dar Chafaai ; Cercle d'El BRouge, Province de Settat, Maroc.
- Henaut, A. 2011.** Pollution de l'air et de l'eau, Les dossiers de science et politiques publiques université Pierre et Marie Curie, Paris, P02.
- Henrie, L. 2012.** L'eau Potable, Édition réimprimée, 190 p
- Houillier, P., Blanchard, A., Pailard, M. 2004.** Métabolisme du potassium, Elsevier SAS. 1 : 138-157

JERRI (région de MEKNES –MAROC), Larhyss Journal, N°12, Janvier2013, PP :25-36

Jora, 2010. Décret exécutif n° 11-125, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers : Bir -Mourad Raïs, Alger, Algérie, p25.

Jora, 2011. Décret exécutif n° 11-125, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers : Bir -Mourad Raïs, Alger, Algérie, p25.

Kemp, J.S., Paterson, E., Gammack, S.M., Cresser, M.S., Killham, K. 1992. Leaching of genetically modified *Pseudomonas fluorescens* through organic soils: influence of temperature, soil pH and roots, *Bio and Fert of Doils*, vol. 1 (3): pp 218-224

Kouider-Belala, Z. 2006. Etude et traitement de l'eau du barrage Djof El Torba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables, Mémoire de Magister en Eau et Environnement, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie.

Larpent, J. 1997. Microbiologie alimentaire Technique de laboratoire. Ed. Technique et Documentation-Lavoisier, Paris, 1073p

Maiga, A. 2005. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bamako, Bamako, Mali.

Maiga, A. 2005. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université de Bamako, Bamako, Mali.

Marsily, J.L. 1995. Pathogens in live stock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution, vol. 2.pp1-15, WDSLEY.

Ministère de la Santé, 2006. L'arsenic dans l'eau potable, Canada :

https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/hlvs/alt_formats/pacrb-dgapcr/pdf/iyh-vsv/environ/arsenic-fra.pdf Consulté le 03/04/2018

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.

Myrand, D. 2008. Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.

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

O.N.M, 2012. Office National de la Météorologie. Unité du Port de Skikda. Office National de la Météorologie. Unité du Port de Skikda.

O.M.S, 1994. Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2ème édition, p 202

O.M.S, 2003. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. Switzerland.

O.M.S, 2004. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. Switzerland.

Ramande, F. 1984. Eléments d'écologie-écologie fondamentale. Ed Mac GrawHill. Paris, 397p

Rimini, B. 2010. La problématique de l'eau en Algérie, Larhyss Journal, N° 08, PP : 27-46.

Rodier, J. 1976. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaire, eaux de mer, 8eme édition, édition Dunod, Paris, France.

Rodier, J, 1984. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer, 7ème édition. Ed. Dunod, Paris, France.

Rodier, J.,2005. L'analyse de l'eau, Eaux résiduaires, Eaux de mer. 8ème édition. Dunod. Paris, p .1383 ,1479.

Rodier. J, Bazin .C, Broutin. J. P, Chambon. P, 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., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq. J.C, Leroy. P, Houssin.et al. 2009. L'analyse de l'eau, 9ème Ed. Dunod., Paris, France.

Roubault, M. 1934. La Kabylie de Collo. Etude géologique. Ed. Bulletin Serv. Carte géol. Algérie, Descriptions régionales, Alger, n° 10, 272 p.

Touati, F. et al, 2004. Cadastre littoral de la wilaya de Skikda, 161 p

Trainer, J. 1991. Projet pilote de développement forestier du massif de Collo/Algérie - Instruction d'aménagement du massif de Collo. Deutsche forest service (D.F.S.) GmbH, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (DGTZ) GmbH, Feldkirchen, Collo. 75 p

Williams, M. et al, 2004. Phylogenetic diversity of aqueous microorganisms separated after the advanced tertiary of tap water. Vol 36, p184–189

Zanat, D. 2009. Analyse de la qualité bactériologique des eaux du littoral Nord-est algérien à travers un bio- indicateur la moule *Perne perne*, Mémoire de Magistère, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie.