

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE 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 des eaux souterraines à Skikda
(La région de Collo)**

Présenté Par : - Ayachi Amani
- Bachagha Anis
- Lounis Manel
- Tayeb Halais Khaoula

Membre de Jury:

Mme. Hadjouja.N (MCB)	Président	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda
Mme. Zaoui.L (MCA)	Promoteur	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda
Mme. Fekrache.F (MCA)	Examineur	Univ. du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Avant tout, Nous remercions Allah tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à notre encadreur Mme. ZAOUI L pour avoir accepté de nous encadrer. Pour la confiance, le suivie, l'aide, le soutien et les conseils qu'elle nous a accordé tout au long de notre projet de fin d'étude.

Nous tenons également à remercier, Mme. HADJODJA N D'avoir accepté de présider le jury.

Nous remercions également Mme. FEKRACHE F. D'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions s'adressent également au chef de laboratoire d'IAP Sonatrach-Skikda, Mr. BOUDELLIOUA S et toute l'équipe de laboratoire qui nous ont beaucoup aidé au cours des expériences.

Nous tenons à remercier tous les enseignants du département SNV, université 20 Aout 1995, Skikda.

Enfin, Nos remerciements les plus sincères sont surtout adressés à nos parents, nos familles et chers amis ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.



Dédicace

Tout d'abord je remercie ALLAH qui m'a donnée la force, le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail :

A ma chère mère la plus belle chose de ma vie qui a tout sacrifié pour moi.

A mon cher père qui travaillé dur pour moi, pour mes études et pour mon bonheur.

A mes chers sœurs AMIRA et NADA, je leur souhaite la réussite.

A mes amis qui sont toujours à mes côtés.

AMANI





Dédicace

On a commencé par plus d'une main, vécu plus d'un souci et traversé de nombreuses difficultés. Nous voilà aujourd'hui! Merci à Dieu le Miséricordieux Tout-Puissant, sans son aide et sa bienveillance, rien de tout cela n'aurait pu être réalisable. Nous avons surmonté l'insomnie des nuits et la fatigue des jours et la conclusion de notre voyage se trouve entre les pages de cet humble travail que je dédie

À celui qui a été couronné par Dieu avec révérence et dignité, à mon appui, à celui qui porte mes préoccupations sans se plaindre, à mon cher père.

À mon ange dans la vie, à celle qui m'a donné tout l'amour du monde et m'a entouré de miséricorde et de douceur, à celle dont le sourire guérit toutes les douleurs, à celle qui prie pour mon succès, à celle qui porte mes obsessions, à ma bien-aimée mère.

Aux cœurs purs et aux âmes innocentes, à mes chers frères et sœurs (Sana, Yousra, Islam, Raouf).

Aux compagnons de route, à ceux qui rendent mes moments heureux et à ceux qui ont partagé avec moi et vécu avec moi des sentiments de toute sorte, à mes merveilleux amis (B Seif, L Mohsen, F Anis).

À mes collègues et partenaires respectueuses avec lesquelles j'ai réalisé ce mémoire.

À tous ceux qui m'ont aidé, sans exception, même avec un mot.

Anis





Dédicace

Avec l'aide et la protection d'ALLAH et, D'un cœur plein d'amour et de fierté, Je dédie ce modeste travail

À mon très chère père mon exemple dans ma vie qui m'a nourri d'amour, enveloppé de confort, pour son soutien moral et matériel durant toutes les étapes de ma vie.

À mon adorable maman pour son amour, sa tendresse, à toi qui ne m'as jamais fait manquer de rien, à toi qui as toujours été là pour moi

Je les remercie de m'avoir toujours laissé la liberté de mes choix, de m'avoir fait Confiance et de m'avoir soutenu car sans eux je n'aurais jamais pu faire, ce travail est un fruit de leur sacrifices et efforts

*À mon seul frère **Abd Rahim** et mes sœurs **Lamis, Sirin***

À tous ma famille sans exception et sur tous mes tante

Ibtissem et Assia

*À ma chère amie et binôme : **Khaoula** qui a partagé avec moi, les bons et les durs moments.*

*A tous mes chères amies: **Amira, Djouhaina , Hanna, Nessrine, Noussaiba et Imane***

Manel





Dédicace

Avec l'aide de dieu le tout puissant est enfin achevé notre travail

Je dédie ce travail:

À ma très chère maman, ma lumière de ma vie celle qui m'a donné la vie, la source de l'amour et le symbole de tendresse, qui s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite, et mon père que dieu lui fasse miséricorde.

*À mes frères : **Amel, Loubna, Fares, Oussama et surtout Hamza***

À toute ma famille

*À mon cher fiancé « **Wail** » .*

*À chère amie et binôme « **MANEL** »*

*À tous mes amies et surtout : **Amira, Djouhaina , Hanna, Nessrine, Noussaiba et Imane***

À tous ceux qui ont semés le bonheur dans mon chemin.

À tous les ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science.

Et à tous ceux qui utilisent la science pour

Le bien et la prospérité de l'humanité

Khawla



Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Résumé	

Sommaire

Introduction1
--------------	--------

Chapitre 1 : généralités sur les eaux

1. Définition de l'eau	.....2
2. Cycle d'eau	..... 3
2.1. Cycle de l'eau naturelle	..... 3
2.2. Cycle de l'eau potable	..... 4
3. Les sources naturelles de l'eau	..... 4
3.1. Les eaux de pluie	..... 4
3.2. Les eaux de mer	..... 4
3.3. Les eaux de surface	..... 4
3.4. Les eaux souterraines	..... 4
3.4.1. Les nappes	..... 4
3.4.2. Les différents types de nappes	..... 5
3.4.3. La plus grande nappe phréatique du monde	..... 5
4. Prélèvement des eaux souterraines	..... 5
4.1. Eau de source	..... 5
4.2. Eau de puits	..... 5
5. Transmission des polluants dans les eaux souterraines	..... 6
III. Qualités des eaux	..... 6
1. Qualité organoleptique	.....6
2. Qualité physico-chimique	..... 6
2.1. Propriétés physiques	..... 6
2.1.1. Température (T)	..... 6
2.1.2. Potentiel hydrogène (pH)	..... 7
2.1.3. La conductivité électrique (CE)	..... 7
2.1.4. Salinité	..... 7

2.1.5. Le total des solides dissous (TDS)	7
2.1.6. Turbidité	7
2.1.7. Méthodes et analyses des matières en suspension (MES)	7
2.2. Les propriétés chimiques	7
2.2.2. Calcium (Ca ²⁺)	8
2.2.3. Magnésium (Mg ²⁺).....	8
2.2.4. Chlorures(Cl ⁻)	8
2.2.5. L'alcalinité	8
2.2.6. Sodium (Na ⁺)	8
2.2.7. Potassium (K ⁺).....	8
2.2.8. Sulfate (SO ₄ ²⁻)	8
2.2.9. La demande biologique en oxygène (DBO ₅)	9
2.2.10. La demande chimique en oxygène (DCO)	9
2.3. Les paramètres de pollutions	9
2.3.2. Ammonium (NH ₄ ⁺).....	9
2.3.3. Phosphate (PO ₄ ³⁻)	9
3. Qualité microbiologique	9
3.1. Coliformes totaux	10
3.2. Coliformes fécaux	10
3.3. Streptocoques fécaux.....	10

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

I.Description de la d'étude	11
1.Présentation de la région d'étude	11
2.La situation géographique de la région d'étude.....	11
3.Etude climatique de la région d'étude	12
II.Matériels et méthodes	12
1.L'échantillonnage	12
1.1. Le Choix de sites de prélèvement.....	12
1.2. Critère de choix des sites.....	14
1.3. Méthodes de prélèvement.....	14
1.4. Transport des échantillons.....	14
2.Analyse physico-chimiques.....	15
2.1. Les paramètres physiques.....	15
2.2. Les paramètres chimiques	18
2.3. Les paramètres de pollution	23
3.Analyses bactériologique	25

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

1. Paramètres organoleptiques (couleur, odeur, gout).....	27
2.Paramètres physiques	27
3.Paramètres chimiques.....	32
4.Paramètres de pollution	38
5.Les paramètres bactériologiques	40
6.Représentation graphique des résultats d'analyses	41
6.1. Classification des eaux souterraines selon PIPER.....	42
6.2. Le diagramme de Schoëller-Berkaloff	43
6.3. L'aptitude des eaux à l'irrigation	43
6.3.1. Diagramme de Wilcox	44
6.3.2. Diagramme de Riverside	44
Conclusion.....	46
Références bibliographiques.....	48

Liste des tableaux

Tableau.1 : Données climatiques de Collo	.....12
Tableau 2 : Les résultats des paramètres avec les valeurs limites (Journal officiel de larépublique algérien)	.....Annexe 1

Liste de figures

N°Fig.	Nom du Figure	Page
01	La répartition de l'eau sur terre	02
02	le cycle naturel de l'eau	03
03	Schéma de migration de polluant dans les formations géologiques	06
04	Localisation géographique de la région d'étude	11
05	Localisation géographique des sites de prélèvement de Collo	13
06	Travail du train (Photos prises lors du prélèvement d'eau de puits	13
07	PH-mètre	15
08	conductivité-mètre	16
09	Photomètre662 et passeur 730	17
10	verre fritté vide	17
11	Balance électronique.	17
12	Les résultats de THT et THCa2+	19
13	Détermination de chlorure	20
14	la mesure de la DBO	23
15	spectrophotomètre	25
16	Rampe de filtration	25
17	Histogramme représentatif des variations de température	27
18	Histogramme représentatif des variations de pH.	28
19	Histogramme représentatif des variations de conductivité	29
20	Histogramme représentatif des variations de salinité	29
21	Histogramme représentatif des variations de TDS	30
22	Histogramme représentatif des variations de turbidité	31
23	Histogramme représentatif des variations de MES	31
24	Histogramme représentatif des résultats de mesure la durezza totale	32
25	Histogramme représentatif des résultats de mesure la durezza calcique Ca2+	33
26	Histogramme représentatif des résultats de mesure de Mg2+	33
27	Histogramme représentatif des variations de Chlorure	34
28	Histogramme représentatif des résultats de mesure de TA et TAC	35

29	Histogramme représentatif des variations de DBO5	35
30	Histogramme représentatif des variations de DCO	36
31	Histogramme représentatif des variations de sodium	36
32	Histogramme représentatif des variations de potassium	37
33	Histogramme représentatif des variations de sulfate	38
34	Histogramme représentatif des variations de Nitrite	39
35	Histogramme représentatif des variations d'Ammonium	39
36	Histogramme représentatif des résultats de mesure de Phosphate	40
37	Histogramme représentatif les nombre des bactéries	41
38	Classification des eaux des puits selon PIPER	42
39	Classification des eaux de la zone d'étude selon Schoeller Berkaloff	43
40	Diagramme de Wilcox des eaux de la zone d'étude	44
41	Diagramme de Riverside des eaux des puits étudiés	45

Liste des abréviations :

ADE : Algérienne des eaux

BaCl₂ : Chlorure de baryum

BaSO₄ : Sulfate de bayrum

C° : Degré Celsius

Ca⁺⁺ : Calcium

CaCO₃ : Carbonate de calcium

CE : Conductivité électrique

CO₃²⁻ : ion carbonate

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

EDTA : Acide éthylène diamine tétra-acétique

°F : Degrés français

HCO₃⁻ : Bicarbonate

H₂SO₄ : Acide sulfurique

K⁺ : Potassium

MES : Matières en suspension

mg/L : milligrammes par litre

μS/cm : Micro-Siémens par centimètre

Mg⁺⁺ : Magnésium

mm: Millimètre

Na⁺ : Sodium

NaCl : Chlorure de Sodium

NaOH : hydroxyde de sodium

NH₄⁺ : Ammonium

NO₂⁻ : nitrite

NPK : Azote, phosphore et potassium

NTU : Unité de Turbidité Néphélobimétrie

OH⁻ : Ion hydroxyde

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONEDD : Observatoire national de l'environnement et du développement durable

PH : Potentiel d'hydrogène

PO₄³⁻ : Phosphate

SO²⁻₄ : Ions sulfates

T : Température

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TDS : Taux en sel dissous

THT : le titre hydrométrique total

Résumé

Résumé :

Les eaux souterraines sont généralement considérées comme une ressource précieuse et potable. Pour d'abord déterminer la qualité de ces eaux, cela nécessite de réaliser plusieurs analyses physiques, chimiques et bactériologique.

Dans ce cadre, L'objectif de ce travail est de déterminer les caractéristiques des eaux souterraines dans la région de Collo.

Au cours de ce travail, les données des analyses physiques, chimiques et bactériologiques des eaux souterraines collectées à partir de plusieurs puits dans la région de Collo ont été utilisées. La précision de ces données a été vérifiée, puis plusieurs paramètres caractérisant les eaux souterraines ont été mesurés, tels que l'alcalinité, la conductivité électrique et le niveau de salinité, ainsi les différents anions et cations et les germes bactériologiques.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que les eaux souterraines dans la région de Collo présentent des caractéristiques diverses et variables, et que les concentrations d'éléments et de minéraux varient d'un puits à l'autre. Il convient de mentionner que les concentrations de nitrites respectent généralement les normes définies pour les eaux potables en Algérie.

Cette étude a révélé que les coliformes fécaux ont été détectés dans seulement deux puits, et des niveaux élevés de potassium ont également été observés dans deux puits. Cela souligne la nécessité d'accorder une attention particulière à la qualité microbiologique et chimique de l'eau dans ces puits.

Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff montrent que la majorité de la qualité des eaux est caractérisée par un faciès chloruré et sulfaté calcique.

Le diagramme de Riverside et Wilcox permettent de classer ces eaux comme acceptables pour l'utilisation à l'irrigation.

Mots clés : Eau souterraine, qualité, Collo, normes, paramètres, irrigation.

Abstract:

Groundwater is generally considered a valuable and potable resource. To assess water quality, several physical, chemical and bacteriological analyses need to be conducted on these waters.

Within this framework. The objective of this work is to determine the characteristics of groundwater in the Collo region.

In this study, data from physical, chemical and bacteriological analyses of groundwater collected from multiple wells in the Collo region were used. The accuracy of this data was verified, and several parameters characterizing groundwater were calculated, such as alkalinity, electrical conductivity, and salinity level thus, the different anions, cations, and bacterial germs.

Based on the obtained results, it can be concluded that groundwater in the Collo region exhibits diverse and variable characteristics. The concentrations of elements and minerals vary from one well to another. It should be noted that the nitrite concentrations generally comply with the defined standards for drinking water in Algeria.

This study revealed that fecal coliforms have been detected in only two wells, and high levels of potassium have also been observed in tow wells. This underscores the need to pay special attention to the microbiological and chemical quality of water in these wells.

The chemical analysis representations of the water on the Piper and Schoeller-Berkaloff diagrams indicate that the majority of water quality is characterized by a calcium sulfate chloride facies.

The Riverside and Wilcox diagrams enable the classification of these waters and deem them acceptable for irrigation use.

Keywords: Groundwater, quality, Collo, standards, parameter, Irrigation.

تلخيص:

تُعد المياه الجوفية موردًا قيمًا وعمومًا وصالحة للشرب. لتحديد نوعية المياه أولاً، يتطلب الأمر إجراء عدد من التحاليل الفيزيائية والكيميائية والجرثومية على هذه المياه.

وفي هذا السياق يهدف هذا العمل إلى تحديد خصائص المياه الجوفية في منطقة القل.

خلال هذا العمل، تم استخدام بيانات التحليل الفيزيائي والكيميائي والجرثومي للمياه الجوفية التي تم جمعها من عدة آبار في منطقة القل. تم التحقق من دقة هذه البيانات، وبعد ذلك تم حساب العديد من المعلمات التي تميز المياه الجوفية، مثل القلوية، والناقلية الكهربائية، ومستوى الملوحة وكذلك الأنيونات والكاتيونات المختلفة والميكروبات البكتيرية.

وبناءً على النتائج التي تم الحصول عليها، يمكن استنتاج أن المياه الجوفية في منطقة القل تحمل خصائص متنوعة ومتغيرة، وأن تركيزات العناصر والمعادن تختلف من بئر إلى أخرى. ومن الجدير بالذكر أن تركيزات النتريت تلبى عمومًا المعايير المحددة لمياه الشرب في الجزائر.

كشفت الدراسة أن القلونيات البُرازية تم رصدها في اثنين فقط من الآبار، وتم أيضًا رصد مستويات عالية من البوتاسيوم في بئرين. وهذا يؤكد أهمية إيلاء اهتمام خاص لجودة المياه من الناحية البيولوجية والكيميائية في هذه الآبار.

توضح تمثيلات التحاليل الكيميائية للمياه على مخططيPiper وSchoeller-Berkaloff أن غالبية نوعية المياه تتميز بوجه كلوريدي وكبريتاتي كلسي.

يسمح مخططًا Riverside وWilcox بتصنيف هذه المياه واعتبارها مقبولة للاستخدام في الري.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، نوعية، القل، معايير، معلمات، الري.

Introduction

Introduction

L'eau est un élément vital. C'est un pourcentage très important dans la concentration de tous les êtres vivants. Le corps humain adulte est composé à 60% d'eau et il est nécessaire de consommer au moins 1,5 litre d'eau par jour (**Diop, 2006**).

En général la pollution de l'eau est due aux activités humaines. Il y a deux sortes de sources de pollution, les sources localisée et les non-localisée. En ce qui concerne les sources localisées les polluants sont déversés dans un lieu précis des eaux de surface grâce aux canalisations ou aux égouts. En ce qui concerne les sources non localisées on ne peut pas remonter jusqu'à un lieu précis de déversement des polluants. On peut donner quelques exemples de sources localisée: les usines, les installations de traitement d'eaux d'égout, les mines souterraines, puits de pétrole, les pétroliers et l'agriculture (**Mokdadi et al., 2015**).

Ainsi que des exemples de sources non localisée: les dépôts d'acide de l'air, le trafic, les polluants diffusés par les fleuves et ceux provenant des eaux souterraines

Les eaux souterraines en Algérie sont contaminées depuis la surface et irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau salée et la submersion des couches inférieures. Certaines régions d'Algérie ne sont pas en mesure de fournir une eau potable adéquate et des installations d'assainissement, ce qui met en danger la qualité et la quantité de l'eau (**Remini, 2010**)

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux souterraines de la région de Collo. Ce mémoire s'articule sur deux parties

Partie théorique qui comporte un chapitre :

Il parle de tout ce qui concerne l'eau en général et les eaux souterraines en particulier.

Partie pratique qui comporte deux chapitres :

Le deuxième chapitre comportera en détail les matériels et méthodes utilisés dans notre étude.

Le troisième chapitre présentera les résultats et la discussion des analyses effectuées des eaux souterraine.

Nous terminons ce travail par une conclusion.

**Chapitre 1 :
Généralités sur
les eaux**

II. Généralité sur les eaux

1. Définition de l'eau

L'eau est le principale composant de la matière vivante, Incolore, inodore, sans saveur, de pH neutre, elle existe en état liquide, gazeux et solide .Composée de H₂O, découverte par Lavoisier et Meusnier en 1783 (Adjelene, 2018).

Environ 97% de l'eau sur Terre se trouve dans les océans (Figure 01). Les 3% restants d'eau douce ne sont pas entièrement disponibles non plus. Approximativement 68,3% de cette eau douce est sous forme solide, principalement dans les glaciers, tandis que seulement 31,4% est présente sous forme liquide dans les eaux souterraines, les lacs d'eau douce, les rivières et dans les organismes vivants, entre autres. De plus, une petite partie de ces 31,4% se trouve sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère (Assouline & Assouline, 2007).

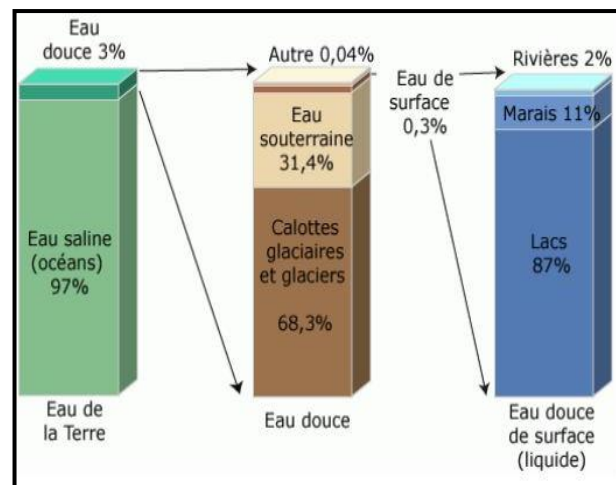


Figure 01: La répartition de l'eau sur terre (Vasco, 2017)

2. Cycle d'eau

2.1. Cycle de l'eau naturelle

Sous l'effet de la chaleur solaire, l'eau s'évapore des océans et des continents, circule dans l'atmosphère pendant environ huit jours, puis retombe en pluie. Sur terre, l'évaporation et la transpiration des plantes renvoient l'eau dans l'atmosphère après la pluie ou l'infiltration dans le sol (figure 02) (Berger & Servat, 2006).

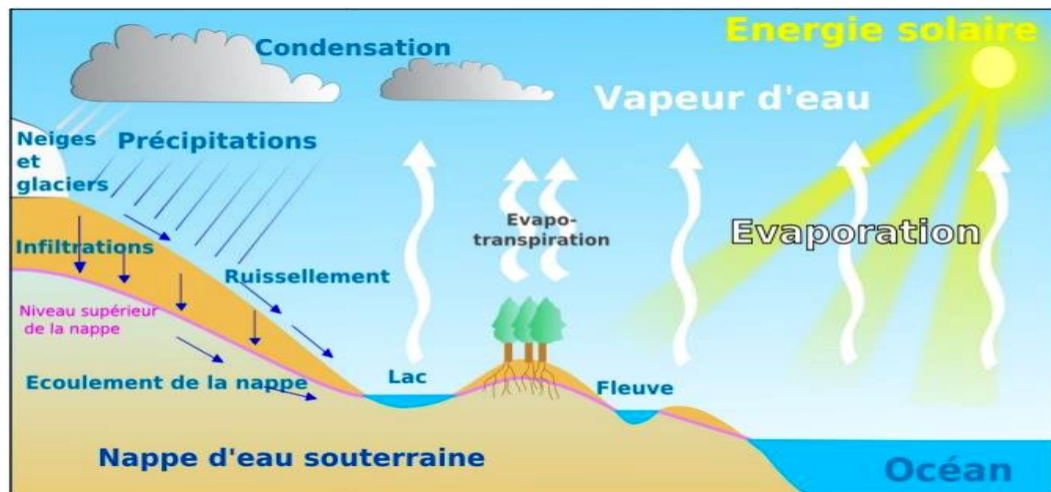


Figure 02 : le cycle naturel de l'eau (Sari, 2014)

2.1.1. Évaporation : L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide se transforme en gaz ou en vapeur. Sous l'effet de la chaleur solaire, cette métamorphose s'opère, constituant ainsi le moyen initial par lequel l'eau pénètre dans l'atmosphère (Pierluigi, 2011).

2.1.2. Condensation : La condensation représente la transition de la vapeur d'eau en eau liquide. Ce processus est d'une importance capitale, car il contribue à la formation des majestueux nuages présents dans le ciel. Les molécules d'eau se rassemblent, formant des nuages qui s'élèvent dans les hauteurs atmosphériques (Ayad, 2017).

2.1.3. Précipitations : Les précipitations correspondent à la libération de l'eau contenue dans les nuages sous forme de pluie, de neige ou de grêle. C'est par ce moyen privilégié que l'eau, issue de l'atmosphère, retourne à la terre, alimentant ainsi le cycle de la vie (Bonnet et al., 1970).

2.1.4. Infiltration : L'eau, qu'elle se présente sous forme de pluie ou de neige, s'infiltre dans le sol et les roches. Une partie de cette eau d'infiltration est absorbée par la végétation, lui permettant de s'épanouir avant d'être en suite libérée dans l'atmosphère par le biais de la transpiration végétale. L'autre partie de cette eau s'accumule dans les profondeurs du sol, formant des nappes souterraines (Bonnet et al., 1970).

2.2. Cycle de l'eau potable

L'eau brute est prélevée dans des sources comme les rivières ou les nappes phréatiques, puis traitée dans des stations d'épuration pour devenir potable. Ce cycle comprend la collecte, le transport, le traitement, la distribution et la collecte des eaux usées (Koul & Bassou, 2003).

3. Les sources naturelles de l'eau

Les sources d'eau : pluie, mer, surface, souterraines. La propriété reflète l'interaction entre l'eau et l'environnement (Ayad, 2017).

3.1. Les eaux de pluie

Les eaux de pluie sont de bonne qualité, douces et exemptes de sels dissous. Cependant, dans les régions industrielles, elles peuvent être polluées par des poussières atmosphériques. En raison de la distribution des pluies et des difficultés de collecte, peu de municipalités utilisent cette source d'eau (Desjardins, 1997 ; OFEFP, 2003).

3.2. Les eaux de mer

Les eaux de mer sont utilisées en dernier recours en raison de leur salinité élevée (33 000 à 37 000 mg/L) et de leur coût élevé de traitement. On les appelle aussi "eaux saumâtres" (Boeglin, 2009).

3.3. Les eaux de surface :

Les eaux de surface proviennent de nappes souterraines ou de ruissellements (fleuves, rivières, barrages, etc.). Elles sont en mouvement et nécessitent un traitement pour être consommées. L'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions doivent être évitées pour leur utilisation (Degremont, 2005 ; Molinie, 2009).

3.4. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines se trouvent sous le sol, dans les fractures rocheuses ou les pores des matériaux granulaires. Contrairement aux eaux de surface, elles circulent en profondeur dans les formations géologiques. La nappe phréatique est le niveau auquel les roches ou les sédiments sont saturés. L'eau présente au-dessus de cette nappe, dans la zone non saturée, n'est généralement pas utilisée et n'est pas considérée comme une eau souterraine (Myrand, 2008).

3.4.1. Les nappes

Le terme "nappe" ou "aquifère" fait référence à une couche de sol contenant de l'eau, qui constitue une réserve d'eau souterraine utilisable (Kettab, 1992 ; Arjen, 2010).

Les nappes d'eau souterraine diffèrent des lacs et des cours d'eau souterrains. Elles sont formées par l'infiltration de l'eau de pluie dans les pores ou les fissures des roches, saturant ainsi ces dernières et créant ainsi les nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012).

3.4.2. Les différents types de nappes

La porosité et la structure du sol jouent un rôle essentiel dans la formation et la circulation des nappes souterraines, comme indiqué par l'organisation mondiale de la santé (OMS, 2000).

a. Nappe libre : L'alimentation de la nappe provient principalement de l'infiltration des eaux de ruissellement, sans qu'il y ait de pression exercée sur cette nappe en raison d'une couche imperméable supérieure. Cette particularité est observée dans la région, comme l'a indiqué (Arjen, 2010).

b. Nappe captive : La nappe est isolée de la surface du sol par une couche imperméable, ce qui signifie qu'elle n'est pas directement alimentée par le sol. Elle se trouve à des profondeurs importantes, ce qui la rend moins sensible à la contamination, comme le mentionnent (Degremont, 2005 & Cardot, 1999).

3.4.3. La plus grande nappe phréatique du monde

La nappe de l'Albien, essentiellement située dans le Sahara algérien, est la plus vaste réserve mondiale d'eau douce. Elle renferme plus de 50 000 milliards de mètres cubes d'eau douce, soit l'équivalent de 50 000 fois le volume du barrage de Béni Haroun à l'est du pays, qui approvisionne six wilayas voisines en eau (Hamid, 2021).

4. Prélèvement des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont généralement prélevées à partir de puits, de sources, de drains ou des tunnels d'infiltration (Bouziani, 2000).

4.1. Eau de source

L'eau de source est une eau souterraine naturelle qui convient à la consommation humaine et qui est exempte de micro-organismes nuisibles, tout en étant protégée contre les pollutions d'origine humaine. Contrairement à l'eau minérale naturelle, sa composition n'est pas toujours stable et peut varier avec le temps. Les eaux de source doivent respecter les mêmes critères de sécurité que l'eau du robinet. Les sources sont des points d'émergence des eaux souterraines et sont majoritairement plus fréquentes dans les régions montagneuses (Bouziani, 2000).

4.2. Eau de puits

Un puits peut être défini comme une opération de dragage vertical qui extrait l'eau d'un aquifère souterrain. Les puits sont souvent plus ou moins peu profonds (moins de 100 m). Les puits précédemment creusés à la main, à la pioche ou à la pelle, notamment dans la roche consolidée (gypse, grès, surfaces granitiques altérées), ne sont pratiquement plus utilisés (Lallemand et al., 1999).

L'eau peut être amenée au niveau du sol très facilement avec un récipient (par exemple un seau) ou plus facilement avec une pompe manuelle ou motorisée (Collin, 2004).

5. Transmission des polluants dans les eaux souterraines

Le schéma général de contamination des eaux souterraines est le même, qu'il s'agisse d'une contamination diffuse de type agricole ou d'une contamination accidentelle. Autrement dit, le point de départ est le chemin de la surface du sol à travers la zone non saturée jusqu'à la nappe phréatique. Le panache horizontal de contaminants se propage progressivement comme le montre la (Figure 03) (Yatabary, 1994).

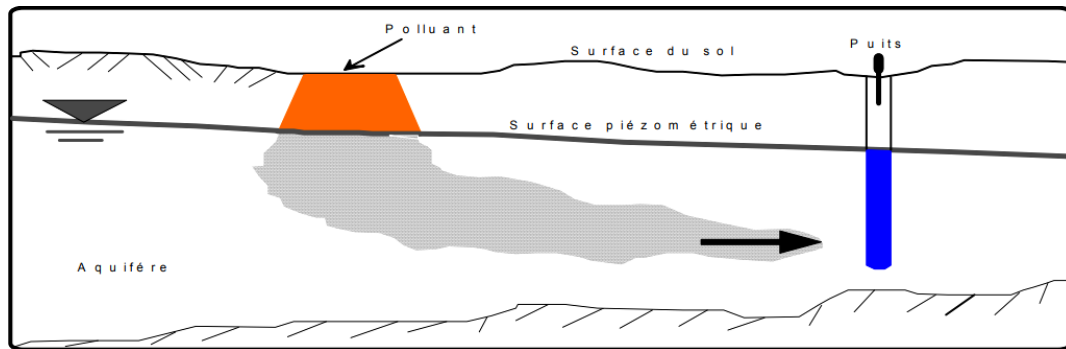


Figure 03 : Schéma de migration de polluant dans les formations géologiques
(Yamoun & Ayachi, 2019)

III. Qualités des eaux

1. Qualité organoleptique

Ce sont le goût, la couleur, l'odeur et la transparence de l'eau. Ils n'ont pas d'importance pour la santé, mais du fait de leur décomposition, ils peuvent être un signe avant-coureur de contamination ou indiquer un dysfonctionnement des équipements de traitement ou de distribution (Lounnas, 2009).

2. Qualité physico-chimique

2.1. Propriétés physiques

2.1.1. Température (T)

La température est essentielle pour la solubilité des sels et des gaz, le pH, l'origine de l'eau et les courants marins. L'influence de l'air sur la température des eaux de surface est plus forte en cas de source peu profonde (Rodier, 1997).

2.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH mesure la concentration d'ions d'hydrogène (H⁺) dans l'eau, avec une valeur inférieure à 7 pour une solution acide et supérieure à 7 pour une solution basique. Bien qu'il n'ait pas de signification hygiénique, le pH est important pour évaluer l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous (**Abdesselem, 1999**).

2.1.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique permet d'avoir une idée concise de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée, traduit soit des pH peu ordinaires, soit avec une salinité élevée (**Kouidri, 2006**).

2.1.4. Salinité

La concentration ionique mesure la quantité de sels dissous dans l'eau. Les composés ioniques cristallins sont des structures régulières composées de cations et d'anions. Chaque cristal ionique est électriquement neutre et possède une formule statistique indiquant la proportion des ions présents (**Gaujous, 1995**).

2.1.5. Le total des solides dissous (TDS)

La TDS (Total Dissolve Solide) ou minéralisation totale représente la masse totale des minéraux dissous (anions et cations) ainsi que de la silice non dissoute dans l'eau, exprimée en milligrammes par litre (mg/l) (**Guiraud & Galzy, 1980**).

2.1.6. Turbidité

On la définit comme l'inverse de la limpidité ou de la transparence. Une eau turbide est donc plus ou moins (**Rodier, 2009**).

2.1.7. Méthodes et analyses des matières en suspension (MES)

Les particules non solubles ni colloïdales présentes dans l'eau ont un impact préjudiciable sur la vie aquatique en réduisant la transmission de la lumière et en diminuant la concentration d'oxygène dissous (**Hakmi, 2006**).

2.2. Les propriétés chimiques

2.2.1 La dureté

La dureté de l'eau est mesurée en fonction de la concentration totale des cations métalliques qu'elle contient, notamment le calcium, le magnésium, l'aluminium, le fer, le strontium, et d'autres. Le calcium et le magnésium sont généralement les cations les plus abondants. Par conséquent, la concentration de calcium dans l'eau peut être utilisée comme indicateur de sa dureté (**Guilbert, 2000**).

2.2.2. Calcium (Ca^{2+})

C'est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature, particulièrement dans le calcaire, sous forme de carbonates. Il existe principalement sous forme de bicarbonate, avec des quantités mineures sous forme de sulfate, de chlorure, etc (Rodier et al., 2005).

2.2.3. Magnésium (Mg^{2+})

Avec l'ion calcium, il représente un composant essentiel de la dureté de l'eau et est l'un des éléments les plus répandus dans la nature (Rodier et al., 2009).

2.2.4. Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont couramment présents dans la nature sous forme de sels tels que NaCl, KCl et CaCl_2 (SEVESC, 2013).

L'ion chlorure est hautement mobile et ne se lie pas facilement avec d'autres éléments chimiques. Il utilise comme un bon indicateur de la pollution (Chaker & Slimani, 2014).

2.2.5. L'alcalinité

L'alcalinité de l'eau est due à des bases, sels acides faibles (HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^-) présents naturellement (Saidi, 2014).

2.2.6. Sodium (Na^+)

La concentration de cet élément dans l'eau varie d'une région à l'autre. Il peut être d'origine naturelle (comme la mer ou les zones salées), humaine (provenant des urines avec une quantité de 10 à 15 g de NaCl par jour) ou industrielle (liée à la potasse ou à l'industrie pétrolière). Les eaux riches en sodium deviennent saumâtres, ont un goût désagréable et ne sont pas potables (Ayad, 2017).

2.2.7. Potassium (K^+)

Le potassium est étroitement lié au sodium et rarement analysé séparément dans l'eau. Présent sous forme de sels, il joue un rôle essentiel dans l'équilibre électrolytique et la teneur en eau des cellules. Sa concentration habituelle dans les eaux naturelles est de 5 à 10 mg (Ayad, 2017).

2.2.8. Sulfate (SO_4^{2-})

Les sulfates sont principalement dérivés des argiles, des marnes et parfois des matières fécales et des détergents. Ceux-ci sont présents en fortes concentrations dans l'eau potable, essentiellement sous forme de sulfate de calcium. Les sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux et donnent à l'eau un goût amer (Degemont, 2005).

2.2.9. La demande biologique en oxygène (DBO⁵)

Est la quantité d'oxygène qu'il est fourni, à un échantillon d'eau, pour minéraliser la matière organique par voie biologique (oxydation bactérienne). Elle représente la matière organique biodégradable. La dure d'incubations est de 5 jours à une température de 20°C (**Emmanuel, 2004**).

2.2.10. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO mesure la quantité d'oxygène consommée par les substances présentes dans l'eau et susceptibles d'être oxydées dans des conditions spécifiques. Elle fournit une estimation des substances oxydables présentes dans l'eau, qu'elles soient d'origine organique ou minérale. La valeur de la DCO dépend des caractéristiques des substances présentes, de leurs proportions respectives et de leur capacité à être oxydées (**Tardat-Henry, 1992**).

2.3. Les paramètres de pollutions :

2.3.1. Nitrite (NO₂⁻)

Étant un signe très fort de la pollution pour des concentrations limites de 0.1 mg/l, la présence de nitrites dans les eaux justifie une analyse chimique et bactériologique détaillée (**Kouidri, 2006**).

2.3.2. Ammonium (NH₄⁺)

Une concentration d'ammonium supérieure à 0,05 mg/l est considérée comme suspecte de pollution récente d'origine industrielle ou humaine. La concentration maximale autorisée est de 0,5 mg/l (**Kouidri, 2006**).

2.3.3. Phosphate (PO₄³⁻)

En général, le phosphate est responsable de la promotion de l'eutrophisation des lacs et des rivières. Lorsqu'ils dépassent les normes, ils sont considérés comme un signe de contamination fécale et sont responsables de la croissance bactérienne, du goût et de la couleur (**Rodier, 2005**).

3. Qualité microbiologique

Le paramètre clé pour évaluer la qualité de l'eau est la présence d'organismes indicateurs de pollution fécale tels que les germes totaux et les coliformes. Ces organismes, qui habitent normalement les intestins humains et animaux, représentent un potentiel risque épidémiologique. Dans ce contexte, le contrôle bactériologique se concentre sur la mesure des germes indicateurs de contamination fécale. Trois indicateurs clés sont pris en compte : les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. D'autres indicateurs non spécifiques, tels que les germes totaux et les clostridium sulfitoréducteurs, sont également

utilisés en complément (**Bouziani, 2000**).

3.1. Coliformes totaux

Coliformes sont des bâtonnets, anaérobies facultatifs, gram (-) non sporulants. Ils sont capables de croître en présence de sels biliaires et fermentent le lactose en produisant de l'acide et du gaz en 48 heures à des températures de 35 à 37° C (**PNUE/OMS, 1977**).

3.2. Coliformes fécaux

Ce sont des bâtonnets Gram (-), aérobies et facultativement anaérobies ; non sporulants, capables de fermenter le lactose avec production de l'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Ceux qui produisent de l'indole dans l'eau peptone contenant du tryptophane à 44°C, sont souvent désignés sous le nom d'*Escherichia Coli* bien que le groupe comporte plusieurs souches différentes. (**PNUE/OMS, 1977 ; Rodier et al., 1996**).

3.3. Streptocoques fécaux

Ces bactéries appartiennent à la famille de Streptococcaceae, au genre *Streptococcus*. Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales, gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent le mieux à 37°C et ils possèdent le caractère homo-fermentaire avec production de l'acide lactique sans gaz (**Edmond et al., 1995; Madani et al., 1999**).

**Chapitre 2 :
Matériel et
Méthodes**

I. Description de la région d'étude

1. Présentation de la région d'étude

La ville de Collo, située à 70 km à l'ouest de la capitale de la wilaya de Skikda, est limitée au nord et à l'est par la mer Méditerranée, constituant ses frontières septentrionales, au sud par la commune de Kerkera, et à l'ouest par la commune de Cheraïa. Pendant la période coloniale, la population de la commune de Collo aurait été équivalente à celle de Cirta (actuellement Constantine). Elle jouait un rôle significatif dans l'est de l'Algérie en tant que partie intégrante du département de Constantine. La commune était également le chef-lieu d'un arrondissement qui regroupait 19 communes, dont les plus importantes étaient Tamalous, Bessombourg et Chéraïa (Agaguenia, 2010).

2. La situation géographique de la région d'étude

La région de Collo fait partie de la Petite Kabylie, un vaste ensemble côtier formant l'Atlas tellien entre Cap Cavallo et Philippeville .

Collo située à 60 km de Skikda, 108 km de Constantine et 460 km d'Alger, Collo bénéficie d'un climat méditerranéen en raison de sa position entre 6° et 7° de longitude et entre 36° et 37° de latitude (Agaguenia, 2010).



Figure 04 : Localisation géographique de la région d'étude (Google Maps, 2023)

3. Etude climatique de la région d'étude

Ce régime méditerranéen est caractérisé par deux saisons distinctes :

- Un hiver très humide, au cours duquel les vents dominants du mistral deviennent plus intenses et peuvent constituer une menace réelle, souvent accompagnée d'une humidité très élevée. Gouvernement.
- Été chaud et sec, il n'est pas rare qu'une sécheresse dure au-delà de la période estivale. Cette caractéristique pourrait mettre en péril certaines activités économiques, notamment l'agriculture (Agaguenia, 2010).

Tableau 1. Données climatiques de Collo

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	10 °C (50) °F	9.9 °C (49.9) °F	12.2 °C (53.9) °F	14.6 °C (58.3) °F	18 °C (64.4) °F	22.4 °C (72.2) °F	25.6 °C (78.1) °F	25.9 °C (78.7) °F	22.9 °C (73.3) °F	19.7 °C (67.5) °F	14.5 °C (58) °F	11.3 °C (52.3) °F
Min. Temperature °C (°F)	6.6 °C (43.9) °F	6.3 °C (43.3) °F	8.1 °C (46.6) °F	10.4 °C (50.8) °F	13.8 °C (56.8) °F	17.9 °C (64.2) °F	20.9 °C (69.6) °F	21.5 °C (70.8) °F	19.4 °C (66.9) °F	16.2 °C (61.2) °F	11.2 °C (52.2) °F	8 °C (46.4) °F
Max. Temperature °C (°F)	13.7 °C (56.6) °F	13.8 °C (56.9) °F	16.5 °C (61.8) °F	19 °C (66.1) °F	22.3 °C (72.2) °F	26.9 °C (80.4) °F	30.6 °C (87) °F	30.9 °C (87.7) °F	27.1 °C (80.8) °F	23.9 °C (75) °F	18.1 °C (64.6) °F	14.8 °C (58.7) °F
Precipitation / Rainfall mm (in)	112 (4)	99 (3)	82 (3)	73 (2)	51 (2)	14 (0)	3 (0)	12 (0)	52 (2)	82 (3)	122 (4)	119 (4)
Humidity(%)	80%	78%	78%	78%	76%	69%	64%	65%	71%	75%	77%	79%
Rainy days (d)	10	9	8	8	5	2	1	2	6	8	11	10
avg. Sun hours (hours)	6.2	6.8	8.0	9.2	10.5	11.9	12.3	11.3	9.5	8.2	6.8	6.2

Data: 1991 - 2021 Min. Température °C (°F), Max. Temperature °C (°F), Precipitation / Rainfall mm (in), Humidity, Rainy days. Data: 1999 - 2019: avg. Sun hour.

II. Matériels et méthodes

1. L'échantillonnage

1.1. Le Choix de sites de prélèvement

Les points d'eau de prélèvement ont été choisis de manière à avoir une image de l'ensemble de la qualité de l'eau souterrain de la région de Collo, pendant toute la durée de notre étude en février 2023, les échantillons d'eau des puits prélevés sont localisés dans les trois communes (Figure 5) : Collo (P1 et P2), Beni zid (P3 et P4), Cheraïa (P5).

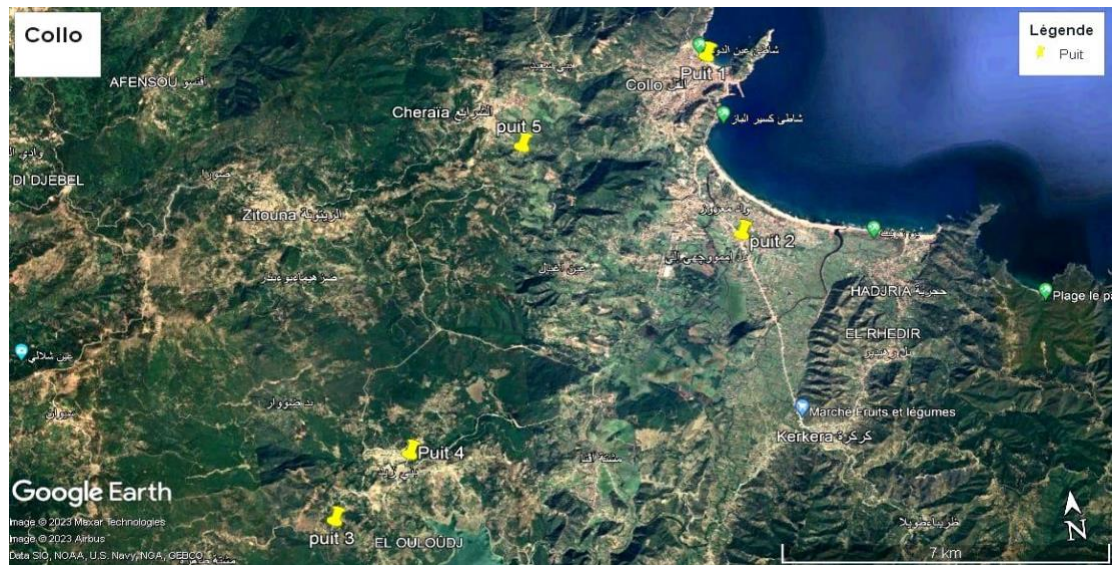


Figure 05 : Localisation géographique des sites de prélèvement de Collo (Google Earth, 2023)



Figure 06: Travail du terrain (Photos prises lors du prélèvement d'eau de puits)

1.2. Critère de choix des sites

Les sites de prélèvement ont été choisis en fonction des critères suivants :

- Le niveau d'humidité du sol (nappe souterraine ou eau de surface).
- La représentativité des sites par rapport à l'ensemble de la zone.
- L'accessibilité relativement facile de ces sites.

1.3. Méthodes de prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon nécessite une grande précaution et doit respecter les conditions suivantes :

- Les échantillons doivent être homogènes et représentatifs.
- S'il s'agit d'une analyse bactériologique, les échantillons doivent être recueillis, conservés et expédiés dans des flacons stérilisés appropriés.
- Le volume prélevé doit être suffisant pour permettre une analyse précise.
- Toutes les informations pertinentes sur les échantillons doivent être indiquées et les flacons doivent être correctement étiquetés pour éviter les erreurs **(Rodier et al., 2009)**.

Nous avons utilisé des bouteilles en verre de 500 ml munies d'une ficelle. Lors du prélèvement, la bouteille est ouverte et insérée à une profondeur de 30 cm dans le puits, en veillant à ne pas contaminer l'échantillon. Ensuite, la bouteille est retirée remplie d'eau. La ficelle est rompue et le flacon est scellé dans des conditions d'asepsie appropriées en vue de l'analyse. Avant utilisation, les flacons sont soigneusement lavés et rincés à l'eau distillée. Les flacons sont ensuite stérilisés **(Larpent, 1997)**.

1.4. Transport des échantillons

Toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible pour éviter les modifications du contenu bactérien initial de l'eau en bouteille. Les échantillons doivent être transportés dans une chambre froide et conservés à une température de 4 à 6 °C. Même dans ces conditions, l'analyse bactériologique doit commencer dans les huit heures suivant le prélèvement. Dans les cas exceptionnels où l'analyse est différée, les échantillons doivent être conservés à 4 °C **(Rodier et al., 2009)**.

2. Analyse physico-chimiques

Les analyses suivantes ont été réalisées selon le protocole de laboratoires des :

- Institut National du Pétrole (IAP) Sonatrach-Skikda.
- Laboratoire d'observatoire national de l'environnement et du développement durable (ONEDD) Skikda.

2.1. Les paramètres physiques

2.1.1. Température (T°)

La température des échantillons a été mesurée sur site à l'aide d'un multiparamètre portable ou un thermomètre. Nous avons prélevé un volume d'eau ensuite nous avons plongé immédiatement le thermomètre, après une immersion de 10 minutes, nous avons fait la lecture sur l'appareil.

2.1.2. Le pH

Principe

Détermination potentiométrique de la concentration des ions H⁺ libre dans l'eau. Il exprime si l'eau est à la réaction acide ou alcaline (**Taghezout, 2015**).

Mode opératoire

- Tarer le pH-mètre avec des solutions tampons de (4,7 et 9).
- Rincer l'électrode et immerger dans l'échantillon.
- Effectuer la lecture du pH.



Figure 07 : PH-mètre

2.1.3. La Conductivité électrique (CE), Salinité, TDS.

Le principe

La conductivité est liée au courant électrique passant par l'échantillon d'eau, elle dépend de la concentration d'ionique, sa détermination donne une idée des substances dissoutes en solution.

Mode opératoire

- Rincer les électrodes avec l'eau distillée, les plonger dans l'échantillon à mesurer et agiter.
- Lancer la mesure avec le bouton approprié, lire le résultat (en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou $\text{M}\Omega/\text{cm}$).

Salinité : La salinité d'eau correspond à la somme des cations et des anions présents.

TDS : C'est la concentration des solides totaux dissous, c'est le synonyme de charge totale dissoute ou la minéralisation.

*Avec conductivité-mètre nous pouvons également mesurer le rapport de salinité et le TDS exprimée en mg/l.



Figure 08 : conductivité-mètre

2.1.4. Turbidité

La turbidité résulte de la présence des teneurs des matières en suspension dans l'eau et qui la troublent.

Mode opératoire

- Placer au moins 100 ml d'eau pure (Milli-Q) dans le bécher spécial
- Placer les échantillons à mesurer sur le rack.
- Remplir la table « Silo » avec la méthode « Turbidité avec passeur ».
- En fin d'analyse, le rapport et les résultats sont sauvegardés dans le PC.

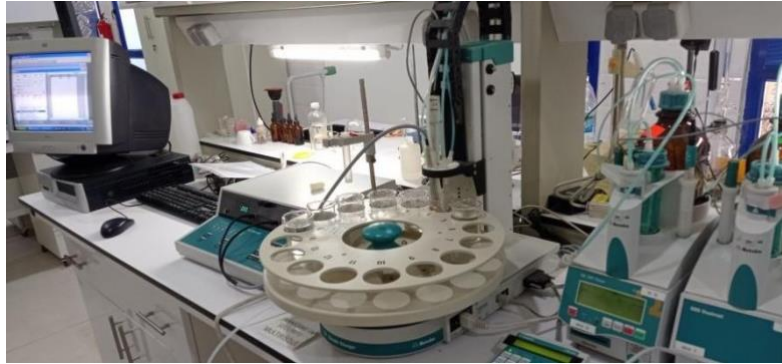


Figure 09 :Photomètre662 et passeur 730

2.1.5. Les matières en suspension (MES)

Principe

Le résidu obtenu par filtration de l'échantillon d'eau est pesé, après passage à l'étuve jusqu'au poids constant.

Mode opératoire

- Prendre 200 ml de l'échantillon.
- Peser un verre fritté vide (a).
- Filtrer l'échantillon dans le verre fritté sous aspiration.
- Après filtration le mettre dans un four à 100 °C.
- Après 2 h de séchage, le mettre dans un dessiccateur pour le refroidissement.
- Après séchage, peser le verre fritté plein (b).

$$\text{MES} = (a-b) \cdot 106/V \text{ en mg/l.}$$



Figure 10 : verre fritté vide



Figure 11 : Balance électronique

2. 2. Les paramètres chimiques

2.2.1. La dureté totale de l'eau

Principe

Titration directe Ca/Mg avec EDTA et indicateur urochrome noir T. Rouge en présence $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, bleu après complexation. Solution tampon pH 10.

Mode opératoire

- Prendre une prise d'échantillon de 50 ml.
- Ajouter quelques gouttes de solution tampon.
- Ajouter une pincée de Noir eriochrome T.
- La solution doit devenir rouge, titrer avec EDTA jusqu'au virage bleu-vert

(Figure 12)

Calcul : $TH_T = \frac{N.V}{PE} .5000$ (°français)

$$TH^{\circ f} = V_{\text{titre}} \times 10$$

2.2. 2. La dureté calcique (THCa^{2+})

Principe

EDTA utilisé pour titrer Ca^{2+} et Mg^{2+} . À pH 12-13, EDTA se lie d'abord au Ca^{2+} , détecté avec murexide (Rose à Violet). Mg^{2+} précipite.

Mode opératoire

- Prendre une prise d'échantillon de 50 ml.
- Ajouter 10 ml de la solution tampon (pH = 12).
- Ajouter deux gouttes de la solution de murexide.
- Titrer avec EDTA jusqu'au virage du rose au violet (figure 12).

Calculs : $TH_{Ca} = \frac{N.V}{PE} .5000$ (En ° français)

La dureté en milliéquivalent dans 1 litre :

$$TH_{Ca} (Eg) = 20. \frac{N.V}{PE}$$

N : Normalité de la solution de l'EDTA.

V : Volume versé de l'EDTA.

20 : Équivalent gramme du calcium.

PE : Prise d'échantillon (ml).



Figure 12 : les résultats de THT et THCa^{2+}

2.2.3. Magnésium (THMg^{2+})

Principe

Dureté de l'eau liée à la concentration des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} . Dureté totale = dureté calcique (Ca^{2+}) + dureté magnésienne (Mg^{2+}).

$$\text{CMg (mg/l)} = C (\text{Ca} + \text{Mg}) - \text{CCa}$$

CMg (mg/l) : teneur en magnésium (mg/l).

C (Ca+Mg) : teneur globale en calcium et en magnésium.

CCa : teneur en calcium.

2.2.4. Chlorures (Cl^-)

Principe :

Le pH de l'échantillon doit être ajusté à 8,3, le titrage sera fait à l'aide d'une solution de nitrate d'argent en présence de l'indicateur chromate de potassium jusqu'au virage rouge brique.

Mode opératoire

- Prendre une PE de 50 ml, ajuster le pH à 8,3 avec une solution de H_2SO_4 (1+19) et une solution de NaOH à (10 g/l).

- Ajouter quelques gouttes de l'indicateur K_2CrO_4 et titrer jusqu'au virage rouge brique (figure 13)

$$\text{Calculs : } [Cl^-]_{g/l} = \frac{T.V}{PE}$$

T : Titre de la solution du nitrate d'argent.

V : Volume versé de la solution nitrate d'argent.

PE : Volume de la prise d'échantillon.



Figure 13 : Détermination de chlorure (Cl-)

2.2.5. L'alcalinité

Principe

L'alcalinité de l'eau est sa réactivité envers les ions H^+ , due aux ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , et OH^- .

Deux types d'alcalinité sont considérés :

- le TAC, qui mesure l'alcalinité totale à pH 4,5, et le TA, qui mesure l'alcalinité due aux ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} .
- L'alcalinité composite est nulle si le pH est inférieur ou égal à 8,3.

Mode opératoire

Titre alcalimétrique simple (TA)

- 100 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 02 gouttes de phénolphtaléine.
- Titrer avec $NaOH$
- TA = 00 si le pH 8,3.

Titre alcalimétrique complet (TAC)

- Ajouter deux gouttes de méthyle orange.
- Titrer l'échantillon avec du H₂SO₄ (V représente le volume titré)

Calculs : $TAC = \frac{V.N}{PE} .5000$ (En ° français)

N : Normalité de l'acide sulfurique.

V : Volume de l'acide sulfurique versé.

PE : Prise d'échantillon (ml).

5000 : exprimé en ° français.

TAC °f = V x 10

2.2.6. Sodium (Na⁺)**Principe**

Photométrie de flamme mesure concentration sodium par intensité lumineuse des atomes revenant à leur état initial.

Mode opératoire

Nous avons dissocié 2,54 g de NaCl dans l'eau distillée et complété à un litre. Cette solution a une concentration de 1000 mg/l de sodium que nous avons conservé par dilution, puis nous avons préparé une solution de 10 mg/l que nous avons fait passer au photomètre à flamme trois fois, et ça doit afficher « 10 ».

À la fin, nous avons fait passer l'échantillon dans le spectrophotomètre à flamme. Si la concentration en sodium dépasse 10 mg/l, nous procédons à la dilution de l'échantillon.

2.2.7. Potassium (K⁺)**Principe**

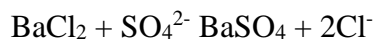
La photométrie de flamme évalue la concentration de potassium en se basant sur l'intensité lumineuse proportionnelle aux atomes retrouvant leur état initial.

Mode opératoire

Nous avons effectué une dissociation du 1,907 g de KCl dans un litre d'eau distillée. Cette solution a ainsi une concentration égale à 1000 mg/l de potassium. Ensuite, nous avons préparé une solution de 10 mg/l. puis nous avons passé au photomètre à flamme la solution de 10 mg/l trois fois, et ça doit afficher « 10 », à la fin, nous avons passé notre échantillon au spectrophotomètre à flamme. Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/l donc nous procédons à la dilution de l'échantillon.

2.2.8. Sulfate (SO₄²⁻)**Principe**

Les ions sulfates de l'eau analysée réagissent avec le baryum du sulfate pour former un précipité de sulfate de baryum.

**Mode opératoire :**

- Nous avons prélevé 100 ml d'eau à analyser (échantillon).
- Ajouter 05 ml de la solution stabilisante
- Ajouter 02 ml de chlorures de baryum.
- Agiter pendant 01 min, ensuite nous avons passé la solution au spectrophotomètre.

2.2.9. La demande chimique en oxygène(DCO)**Principe :**

Les substances oxydables réagissent avec le bichromate de potassium et de l'acide sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué à l'aide de sulfate de mercure. La couleur verte de l'ion Cr³⁺ sera déterminée par photométrie.

Mode opératoire :

- Prendre un tube de la gamme indiqué LCK 014 et bien agiter.
- Déposer 2 ml de l'échantillon dans le tube avec pipette graduée et agiter bien le tube.
- Chauffer le tube en 145 °C pendant 02 heures dans un Thermostat.
- Après les 02 heures, secouez énergiquement, laisser refroidir.
- Nettoyez le tube puis l'insérer dans l'emplacement approprié du spectrophotomètre.
- La valeur de la concentration de la DCO s'affiche sur l'écran de spectrophotomètre.

2.2.10. La demande biologique en oxygène(DBO⁵)

Principe

La DBO⁵ est mesurée par respirométrie à pression pour suivre la demande biochimique en oxygène lors de l'oxydation de la matière organique.

Mode opératoire

- Rincer la bouteille d'incubation avec l'échantillon.
- Introduire 400 ml d'échantillon dans la bouteille.
- Ajouter deux gouttes de la solution tampon et introduire le barreau magnétique dans la bouteille.
- Mettre quelques pastilles de KOH dans le bouchon en plastique.
- Placer la bouteille dans son compartiment et visser la tête et régler le zéro sur la réglette.
- Après cinq jours d'incubation à 20 °C, lire directement sur la réglette la valeur de la DBO₅(en mg/d'O₂).



Figure 14 : la mesure de la DBO₅

2.3. Les paramètres de pollution

2.3.1. Nitrite (NO₂⁻)

Principe

La méthode de spectrophotométrie d'absorption moléculaire mesure les nitrites par réaction avec le sulfanilamide en milieu acide, formant un complexe coloré avec le α -Naphthyle éthylène diamine dihydrochloride. La quantification se fait à 540 nm, exprimée en mg/L de NO₂⁻.

Mode opératoire

- Prélever un échantillon d'eau à analyser d'un volume de 40 ml.
- Ajouter 01 ml des réactifs colorés nécessaires.
- Compléter le volume jusqu'à 50 ml en utilisant de l'eau distillée.
- Laisser reposer pendant une durée de 20 minutes.

2.3.2. Ammonium (NH₄⁺)**Principe**

La méthode de dosage de l'ammonium utilise le bleu d'indophénol en milieu alcalin avec nitroprussiate comme catalyseur. Réaction des ions ammonium avec chlore et phénol, formant le bleu d'indophénol. Mesure par spectrophotométrie à 655 nm, exprimée en mg/L de NH₄⁺ (Rodier, 2005).

Mode opératoire :

- Prélevez un échantillon d'eau à analyser d'un volume de 40 ml.
- Ajoutez 04 ml des réactifs colorés appropriés.
- Ajoutez également 04 ml de dichloroisocyanurate.
- Complétez le volume jusqu'à 50 ml en utilisant de l'eau distillée.
- Laissez reposer pendant 60 minutes.

2.3.3. Phosphate (PO₄³⁻)**Principe**

Après complexation avec molybdate d'ammonium et tartrate d'ammonium, réduction des doubles antimoine et potassium en complexes bleus par acide ascorbique. Maxima d'absorption à 700 nm et 880.

Mode opératoire

- Prélever de 40 ml d'eau à analyser (échantillon).
- Ajouter 01 ml d'acide ascorbique
- 2 ml du réactif mélange.
- Attendre pendant 10 min, après nous avons obtenu une coloration bleue qui indique la présence des PO₄³⁻
- effectuer la mesure des PO₄³⁻ à l'aide d'un spectrophotomètre.



Figure 15 : spectrophotomètre

3. Analyses bactériologique

Les analyses bactériologique sont été réalisés selon le mode opératoire de laboratoire de ADE. Après réception des échantillons, les analyses sont réalisées immédiatement pour la recherche et le comptage des germes mentionnés.

3.1. Coliformes totaux

Le décompte des coliformes totaux est réalisé en utilisant la méthode de filtration membranaire. Un échantillon d'eau de 100 ml est filtré à travers une membrane qui capture les micro-organismes. Ensuite, la membrane est placée sur un milieu TTC tergitol.



Figure 16 : Rampe de filtration

Lecture : Après une incubation à 37 °C pendant 24 heures, des colonies se développent à la surface de la membrane.

Test confirmatif :

Pour confirmer la présence de coliformes totaux, les colonies qui se sont développées à la surface de la membrane sont transférées dans un autre milieu liquide appelé VBL. Ensuite les tubes de VBL sont placés en incubation à une température de 37°C pendantes 24 heures.

En cas de présence positive de coliformes totaux, on observe la formation de gaz dans la cloche de Durham et un changement de couleur vers le jaune.

3.2. Escherichia Coli

Escherichia Coli est un membre du groupe des coliformes totaux et est le seul que l'on trouve principalement dans les matières fécales humaines et animales. Sa présence dans l'eau indique la présence de matières fécales. Cette bactérie est capable de fermenter le lactose à 44 °C.

Technique :

Le dénombrement des coliformes totaux se fait de la même manière que celui des coliformes fécaux, à la différence près que dans ce cas, l'incubation se fait à une température de 44 °C pendant 24 heures.

1^{re} lecture : après 24 heures d'incubation, on observe la présence de colonies jaunes. Pour effectuer le test confirmatif, les colonies sont repiquées sur un milieu liquide de Schubert contenant une cloche de Durham, puis incubées à 44°C durant 24 heures.

2^e lecture : l'observation d'un anneau rouge sur la surface du milieu accompagné d'une production de gaz dans la cloche de Durham indique la présence d'Escherichia coli dans l'eau.

3.3. Streptocoques fécaux

- Filtrer 100 ml d'échantillon à travers une membrane de 0,5 µm de diamètre.
- Placer la membrane sur le milieu Slanetz et Bartley dans une boîte de Petri.
- Support nutritif Slanetz et Bartley favorisant la croissance sélective des streptocoques fécaux grâce à des inhibiteurs.
- Incubation à 37 °C pendant 24 heures des boîtes.

Lecture : après un laps de 24 heures, on procède au décompte des colonies de couleur rouge- violet.

Test confirmatif :

La membrane est transférée de la boîte contenant le milieu Slanetz à la boîte de Petri contenant le milieu BEA (Bile Esculine Agar). Ensuite, l'incubation est effectuée à 37°C pendant quelques heures, et la présence d'un halo noir est observée.

Chapitre 3 : Résultats et Discussion

Résultats et discussion

1. Paramètres organoleptiques (couleur, odeur, gout)

Après examen, cinq échantillons sont incolores. De plus, selon notre évaluation subjective, ces cinq échantillons d'eau étaient inodores et insipides. La qualité organoleptique favorable des eaux testées est principalement due à l'absence de matière organique colorée et à la nature des substances dissoutes (Rouina & Zahzah, 2021).

2. Paramètres physiques

2.1. Température

Selon notre étude, les résultats indiquent que le degré de température présente des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 15,36°C avec un minimum de 14°C observé au puits P1 et un maximum de 15,9 °C observé aux puits P4 et P5 (Figure 17), Toutes les valeurs correspondent à la norme Algérienne de 25 °C.

Le climat local affecte la température des eaux souterraines. Les régions froides ont des eaux souterraines à basse température, tandis que les régions chaudes ont des eaux souterraines à haute température. Dans certains cas, comme dans les rivières et les lacs, il y a une interaction entre les eaux souterraines et les eaux de surface, entraînant un équilibre thermique et des températures modérées des eaux souterraine (Sophocleous, 2002 & Ferguson & Gleeson, 2012).

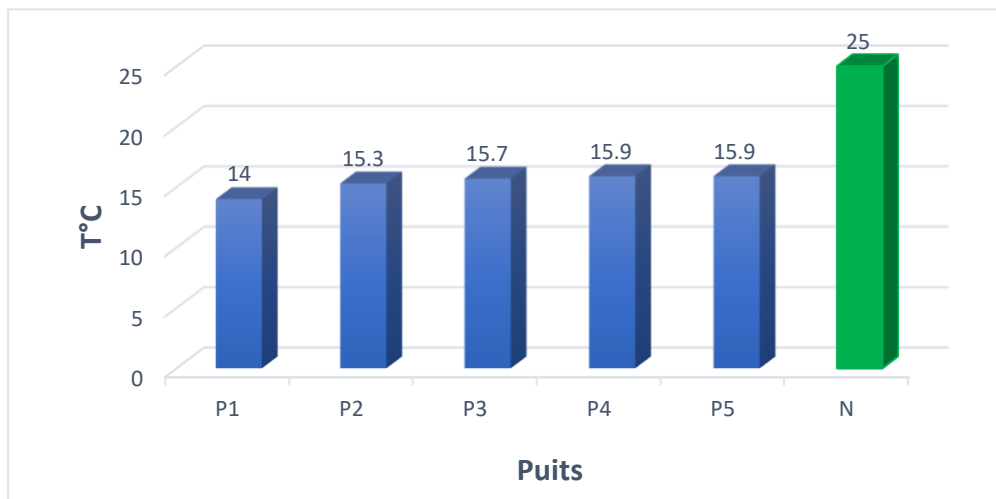


Figure 17 : Histogramme représentatif des variations de température

2.2. Le Ph

Selon notre étude, les résultats de PH présente des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 6,92 avec un minimum de 6,71 au puits P3 à un maximum de 7.06 au puits P2 (Figure 18). Ces valeurs se situent dans la plage définie par les normes Algériennes (6,5- 8,5). Par conséquent, en ce qui concerne ce paramètre, l'eau analysée est de bonne qualité. Les grandes fluctuations de pH sont principalement dues à l'arrangement géologique du sol à travers lequel l'eau s'écoule. Ces eaux semblent être d'origine naturelle et proviennent probablement d'aquifères carbonatés (Nouayt et al., 2015).

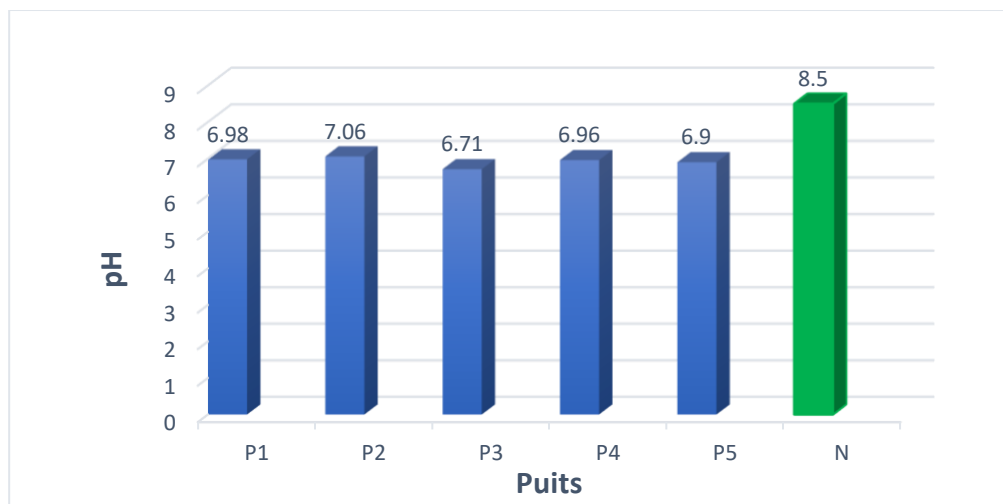


Figure 18 : Histogramme représentatif des variations de pH

2.3. La Conductivité électrique (CE)

Selon notre étude, les résultats de conductivité présentent des variations importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 742,08 $\mu\text{s}/\text{cm}$, avec un minimum de 189,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au puits P3, à un maximum de 1027 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au puits P4 (Figure 19) Toutes les valeurs sont inférieures à la norme Algérienne (2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

La conductivité électrique de l'eau reflète sa teneur en minéraux. Plus l'eau contient de minéraux dissous, plus sa conductivité est élevée (Lokman et al., 2017).

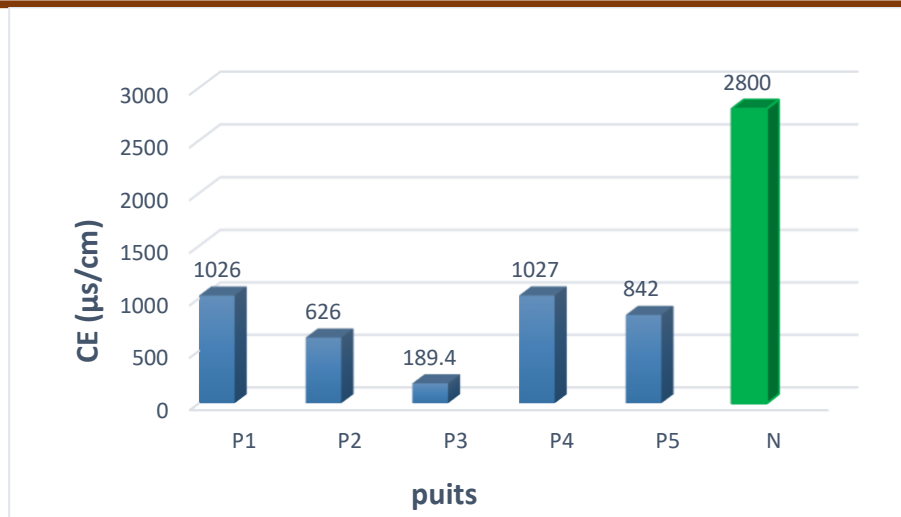


Figure 19 : Histogramme représentatif des variations de conductivité

2.4. La Salinité

Selon notre étude, les résultats de salinité dans tous les puits présentent une faible variation. On enregistre une moyenne de 0,16 mg/l, avec un minimum de 0 mg/l aux puits P2 et P3, à un maximum de 0,3 mg/l aux puits P1 et P4 (Figure 20), ce qui est cohérent avec la norme algérienne (1 mg/l).

L'évaluation de la salinité est essentielle dans les études en eaux profondes car elle reflète la quantité de sels minéraux dissous dans l'eau (**Amiot & Chaussepied, 1983**).

La teneur en sel correspond à la proportion de sels dissous, à savoir chlorure de sodium (NaCl), Chlorure de magnésium (MgCl₂). L'augmentation de la salinité reflète une augmentation du sodium (Na⁺), du magnésium (Mg²⁺), du chlorure (Cl⁻), etc. après dissociation saline (**Figarella & Le, 2002 & Rodier., 2005**).

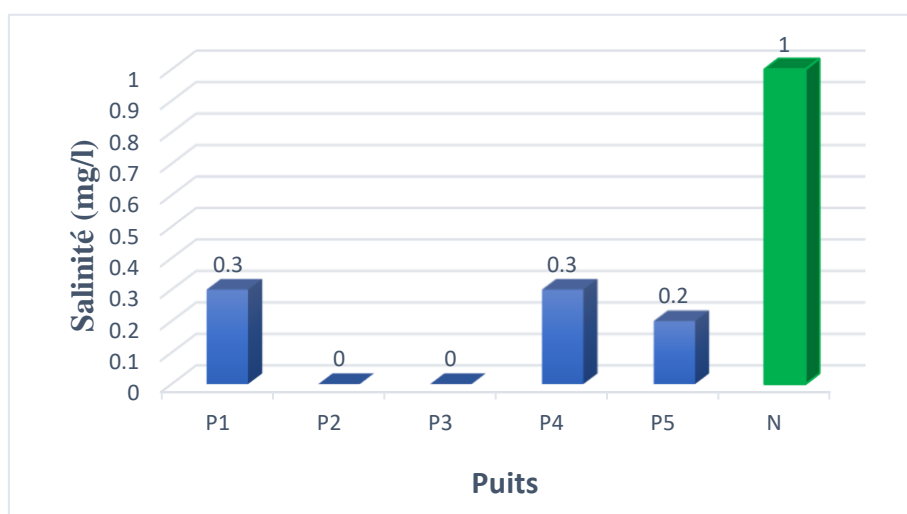


Figure 20: Histogramme représentatif des variations de salinité

2.5. Les sels dissous totaux (TDS)

Selon notre étude, les résultats de la concentration de TDS présentent des variations importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 726,8 mg/l, avec un minimum de 178 mg/l au puits P3, à un maximum de 1019 mg/l au P1 (Figure 21). Selon les normes Algériennes (1000 mg/l), les résultats de TDS considérée comme normale dans tous les puits sauf les puits P1 et P4.

En général, les valeurs TDS dans les eaux souterraines reflètent de faibles concentrations de sels et de minéraux dissous. Le TDS est fortement associé au sodium, au calcium, aux chlorures et aux sulfates, qui sont des contributeurs majeurs à la salinité des eaux souterraines. (Gouaïdia et al., 2017).

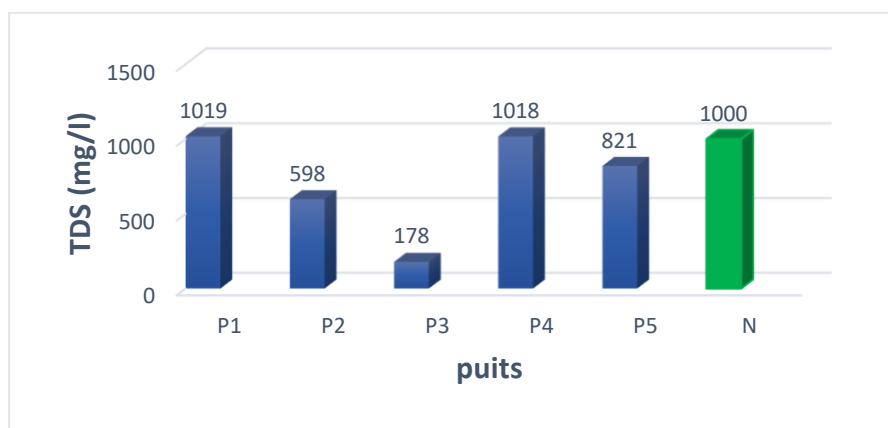


Figure 21: Histogramme représentatif des variations de

2.6. La Turbidité

Selon notre étude, On a observé que les eaux étudiées sont claires, ce qui est attribuable à l'infiltration de l'eau dans le sol. Les résultats de turbidité présente des variations peu importantes d'un puits à l'autre, avec un minimum de 0 NTU aux puits P1 et P4, à un maximum de 0,019 NTU au P3 (Figure 22). Toutes les valeurs sont inférieures à la norme Algérienne (5 NTU).

La turbidité dans l'eau est causée par la présence de particules en suspension ou de substances dissoutes telles que des minéraux (comme le sable, l'argile ou le limon), des matières organiques (matière organique en décomposition ou végétation en décomposition, plancton en suspension) ou d'autres substances microscopiques qui bloquent le passage de la lumière. Par l'eau (Rodier et al., 2009).

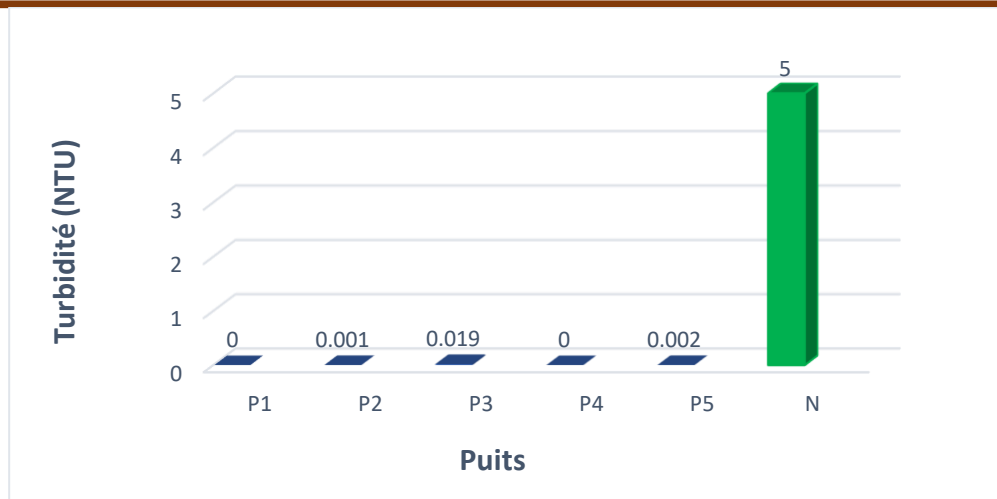


Figure 22: Histogramme représentatif des variations de turbidité

2.7. Matières en suspension

Selon notre étude, les résultats de la matières en suspension est beaucoup plus faible, on enregistre une moyenne de 4,6 mg/l, avec un minimum de 1 mg/l au puits P4, à un maximum de 9 mg/l au puits P3 (Figure 23), en raison de la part des précipitations provenant des eaux usées et des rivières, qui jouent un rôle important dans l'accumulation des matières en suspension dans la colonne d'eau (Zaoui, 2017).

La norme pour les eaux douces et naturelles se situe entre 25 et 70 mg/l lorsque le pH varie entre 6,5 et 8,5 (Décret qualité des eaux n° 11-125).

La composition des matières en suspension (MES) varie considérablement en fonction des émissions, de la topographie traversée par l'eau, des précipitations, etc (Rodier et al., 2009).

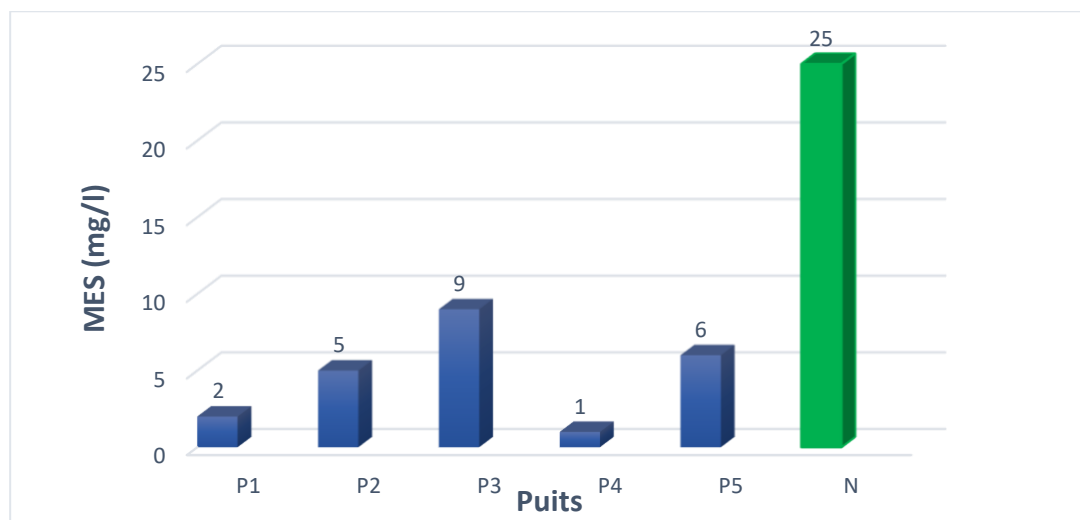


Figure 23 : Histogramme représentatif des variations de MES

3. Paramètres chimiques

3.1. Dureté totale

Selon notre étude, les résultats de la dureté totale présentent des variations importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 124 mg/l, avec un minimum de 10 mg/l au puits P3, à un maximum de 170 mg/l au puits P1 (Figure 24). Toutes les valeurs sont inférieures à la norme Algérienne (500 mg/l).

Les produits chimiques tels que la chaux, les engrais NPK et l'urée, ainsi que les ions naturellement présents dans les minéraux, peuvent contribuer à la dureté élevée de l'eau (Mehounou, 2016).

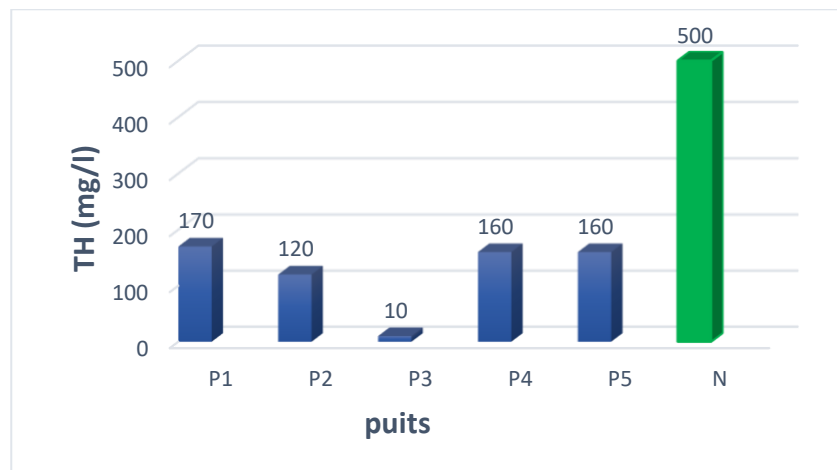


Figure 24 : Histogramme représentatif des résultats de mesure la dureté totale

3.2. Dureté calcique Ca^{2+}

Selon notre étude, les résultats de calcium présente des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 33,6 mg/l, avec un minimum de 4 mg/l au puits P3, à un maximum de 48 mg/l au puits P4 (Figure 25). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (200 mg/l).

Sa présence dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 , soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4) (Berne & Jean, 1991).

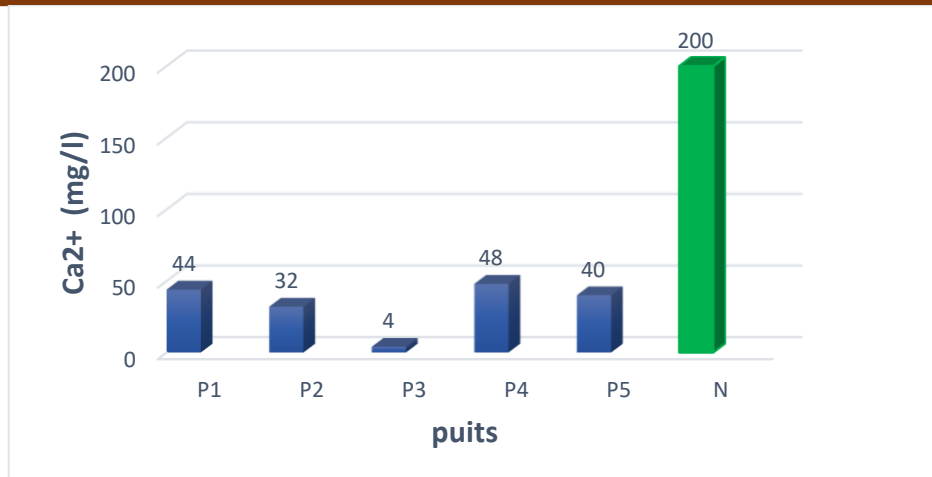


Figure 25: Histogramme représentatif des résultats de mesure la dureté calcique Ca²⁺

3.3. Dureté magnésienne Mg²⁺

Selon notre étude, les résultats de magnésium présentent des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 9,6 mg/l, avec un minimum de 0 mg/l au puits P3, à un maximum de 14,4 mg/l au P1 et P5 (Figure 26). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (50 mg/l).

Ces concentrations sont dues à la nature du sol. Le calcium et le magnésium se forment par hydrolyse des minéraux présents dans le sol (Matini et al., 2009).

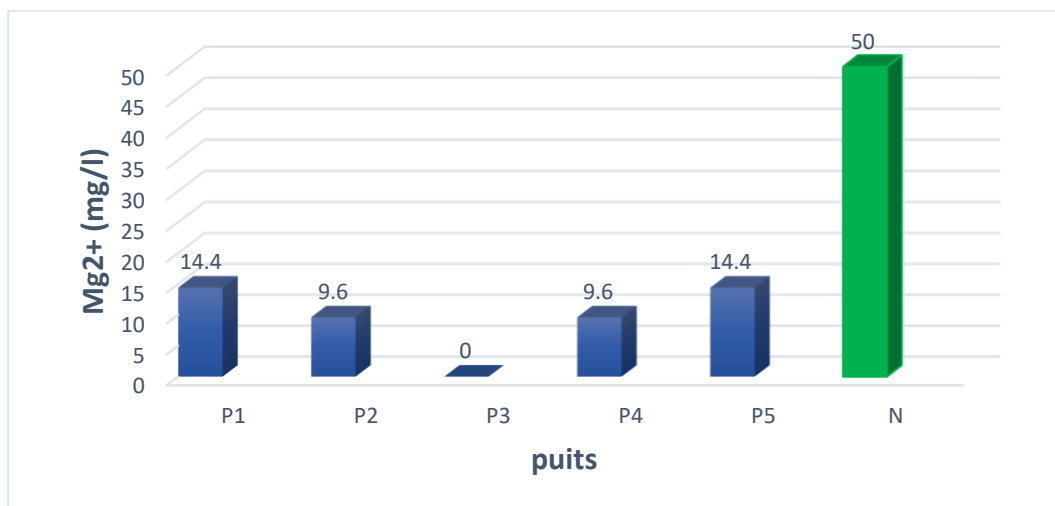


Figure 26: Histogramme représentatif des résultats de mesure de Mg²⁺

3.4. Les Chlorures (Cl⁻)

Selon notre étude, les résultats de chlorures varient de manière significative, on enregistre une moyenne de 65,32 mg/l, avec un minimum de 28,4 mg/l au puits P3, à un maximum de 99,4 mg/l au puits P4 (Figure 27). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (250 mg/l). Par conséquent, l'eau analysée est considérée de bonne qualité.

Les concentrations de chlorures dans l'eau peuvent varier considérablement et sont naturellement présentes dans toutes les sources d'eau (Nouayti et al., 2016).

La nature du sol dans lequel l'eau circule peut également affecter la concentration de chlorures dans l'eau (Belghiti et al., 2013).

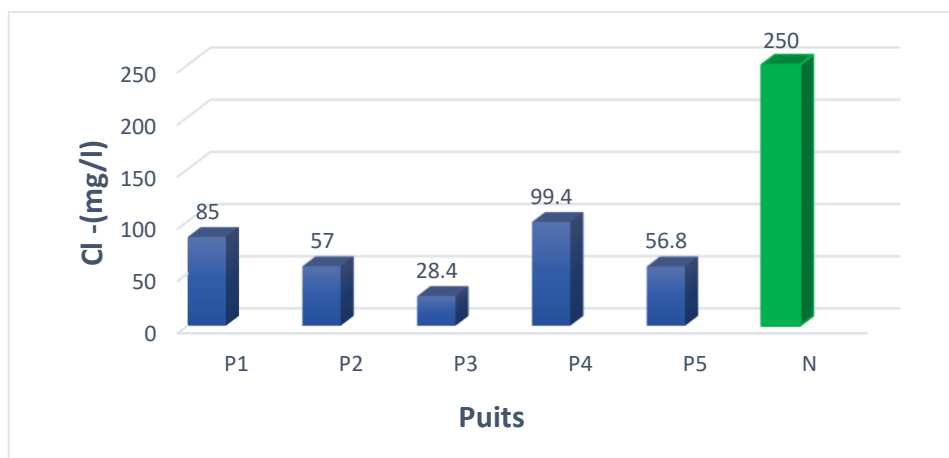


Figure 27: Histogramme représentatif des variations de Chlorure

3.5. Alcalinité (TA TAC)

Selon notre étude, les résultats de TA égal à zéro et les résultats de TAC présente des variations importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 56,24 mg/l, avec un minimum de 1mg/l au puits P3, à un maximum de 74 mg/l au P5 (Figure 28). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (500 mg/l).

La quantité de sédiments dans l'eau et la présence de bases libres est de carbonates dans l'eau (Henada & Hemaïdia, 2019).

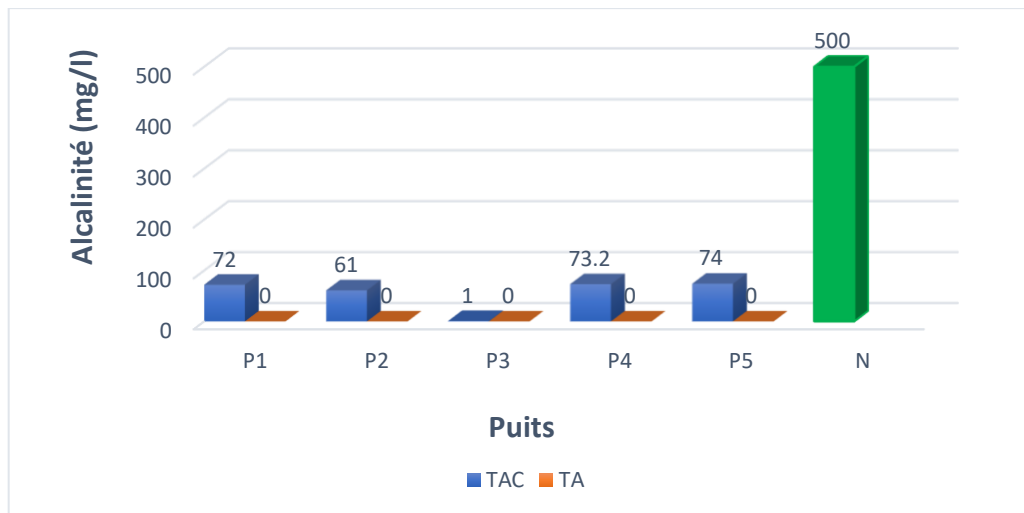


Figure 28 : Histogramme représentatif des résultats de mesure de TA et TAC

3.6. La demande biochimique en oxygène (DBO⁵)

Selon notre étude, les résultats de DBO⁵ présente des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 0,98 mg/l, avec un minimum de 0 mg/l au puits P1 et un maximum de 1,8 mg/l au puits P4 (Figure 29). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (<3 mg/l). Par conséquent, ces résultats permettent de classer la qualité de l'eau de ces puits comme étant de bonne qualité.

Il est clair que ces eaux ne contiennent aucun déchet brut, ce qui signifie qu'aucune matière organique significative n'est présente (Khemici, 2014).

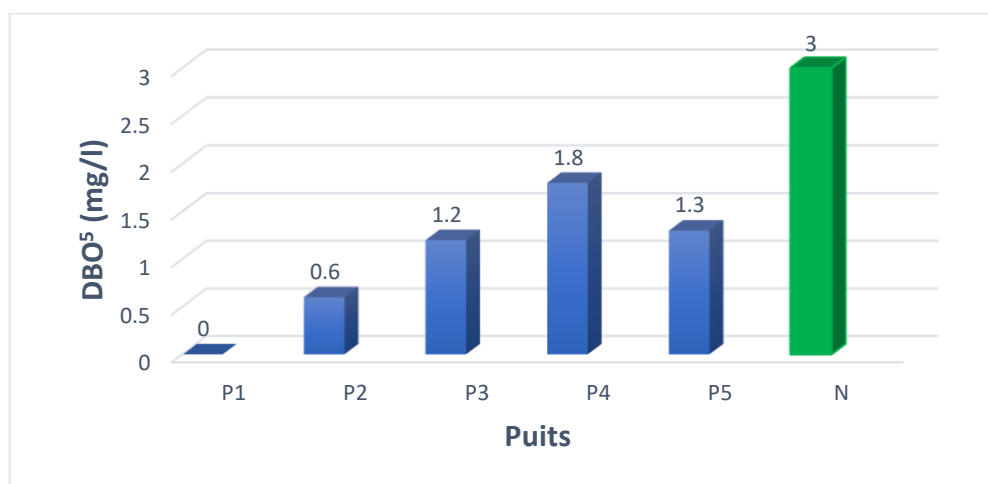


Figure 29: Histogramme représentatif des variations de DBO⁵

3.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

Selon notre étude, les résultats de DCO présentent des variations importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 11,6 mg/l, avec un minimum de 8 mg/l au puits P4, à un maximum de 17,5 mg/l au P3 (Figure 30). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne ($120 > N > 130$ mg/l).

Les valeurs minimales de DCO mesurées dans notre zone d'étude s'expliquent par la faible présence de matière organique (Masson, 1988).

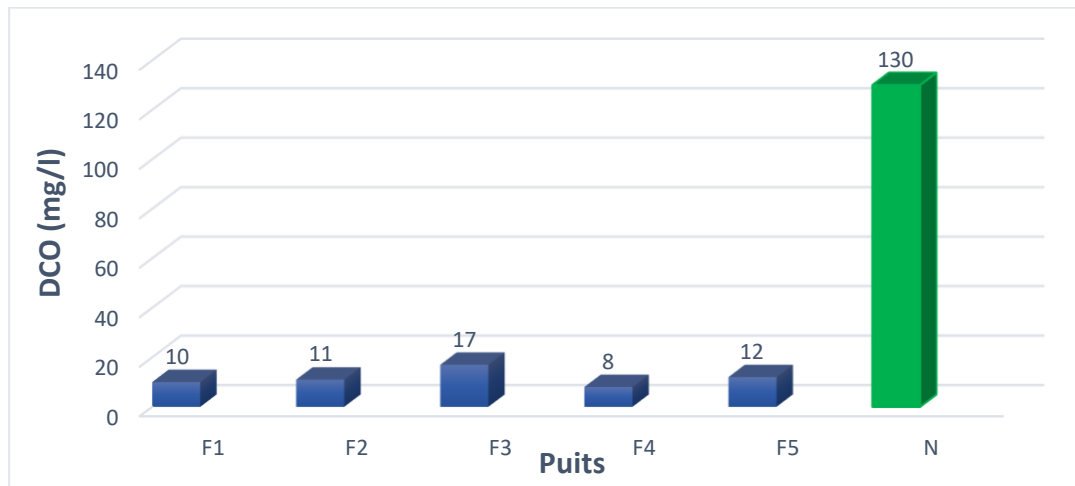


Figure 30: Histogramme représentatif des variations de DCO

3.8. Sodium (Na⁺)

Selon notre étude, les résultats de sodium présentent des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 21,8 mg/l, avec un minimum de 11 mg/l au puits P2, à un maximum de 29 mg/l au puits P3 (Figure 31). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (150 mg/l).

Le sodium trouve dans la majorité des eaux souterraines et de surface (Potelon & Zysman, 1998). Des valeurs élevées en sodium peuvent avoir une origine d'ordre géologique ou être dues à une contamination. Des teneurs qui dépassent 200 mg/l provoquent des modifications perceptibles du goût (Samake, 2002).

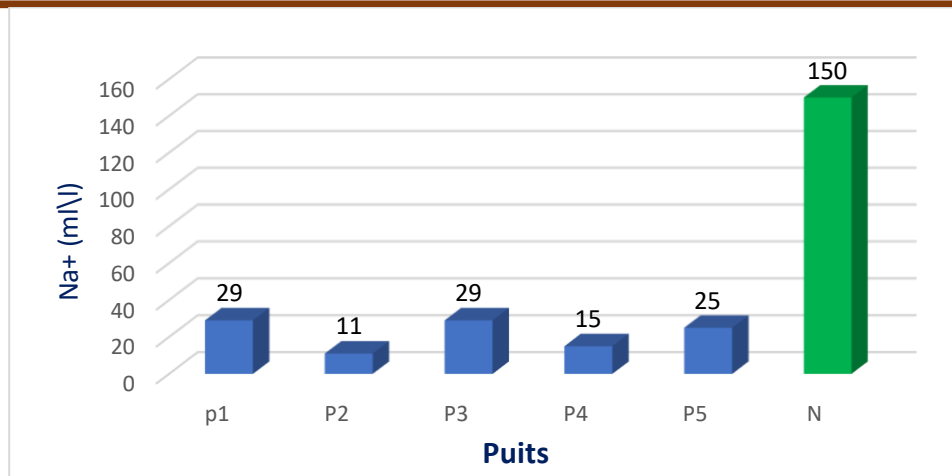


Figure 30: Histogramme représentatif des variations de sodium

3.9. Potassium (k^+)

Selon notre étude, les résultats de potassium présentent des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 10 mg/l, avec un minimum de 1 mg/l au puits P1, à un maximum de 18 mg/l au puits P2 (Figure 32). Les puits P1, P4 et P5 sont conformes à la norme Algériennes (12 mg/l) et les puits P2 et P3 ne sont pas conformes à la norme Algériennes (12 mg/l). Le potassium résulte de l'altération des certaines argiles et de la dissolution des engrais chimiques. La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 12 mg/l. À de telles valeurs, le potassium ne présente pas de risques pour la santé des individus, il est issu naturellement des roches métamorphiques et des argiles (**Rodier, 1996**)

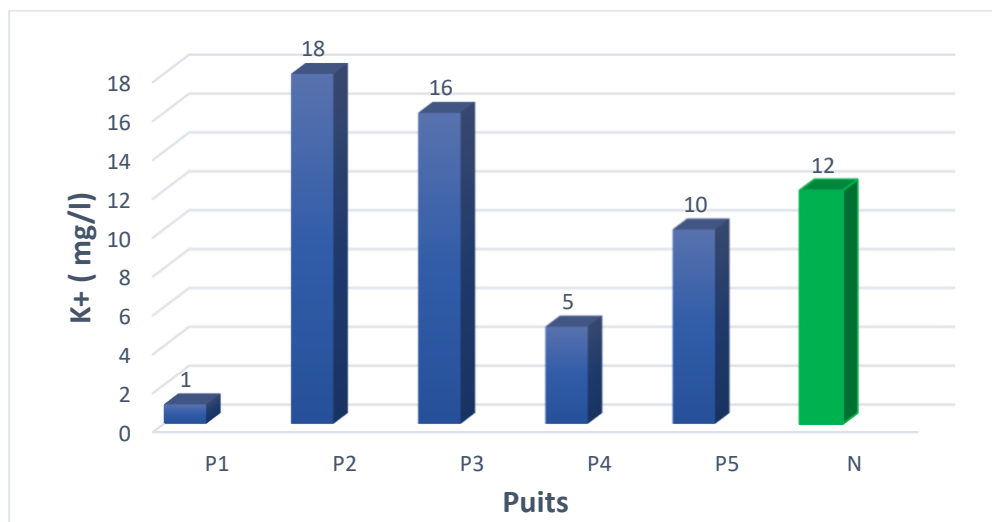


Figure 32 : Histogramme représentatif des variations de potassium

3.10. Sulfate (SO_4^{2-})

Selon notre étude, les résultats de sulfate présentent des variations importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 57,47 mg/l, avec un minimum de 17,2 mg/l au puits P3, à un maximum de 63,61 mg/l au P4 (Figure 33). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (250 mg/L).

Ces résultats seraient dus à la géologie de la zone d'étude à faible teneur en gypse ainsi qu'au raccourcissement du temps de contact eau-roche (**Ramade, 1998**).

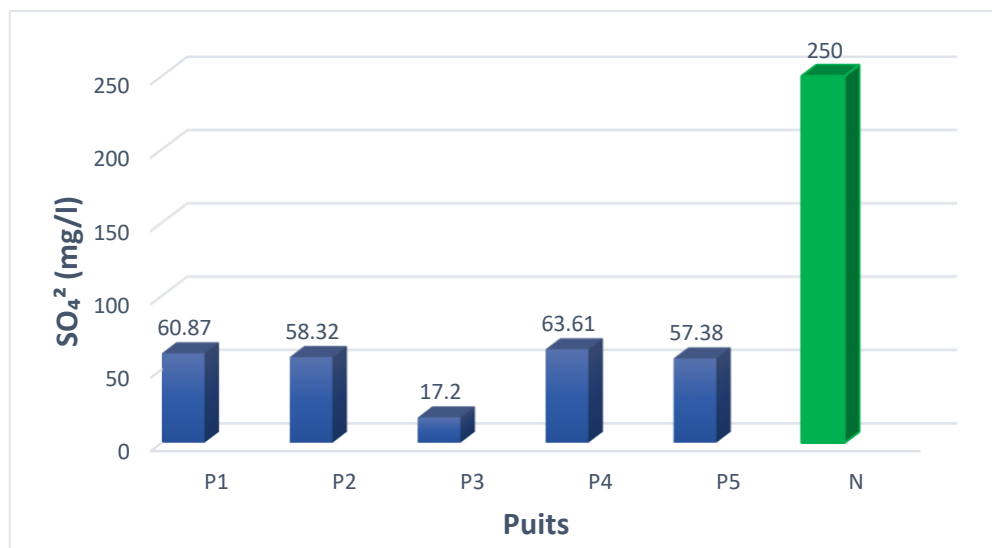


Figure 33 : Histogramme représentatif des variations de sulfate

4. Paramètres de pollution

4.1. Les nitrites (NO_2^-)

Selon notre étude, les résultats de nitrite présente des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 0,003 mg/l, avec un minimum de 0,001 mg/l au puits P1, à un maximum de 0,009 mg/l au P3 (Figure 34). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (0, 2 mg/L).

Les nitrites sont considérés comme transitoires et ne persistent que lorsque l'environnement n'est pas suffisamment oxydé. Leur présence indique un niveau critique de pollution organique (**Nisbet, 1970**).

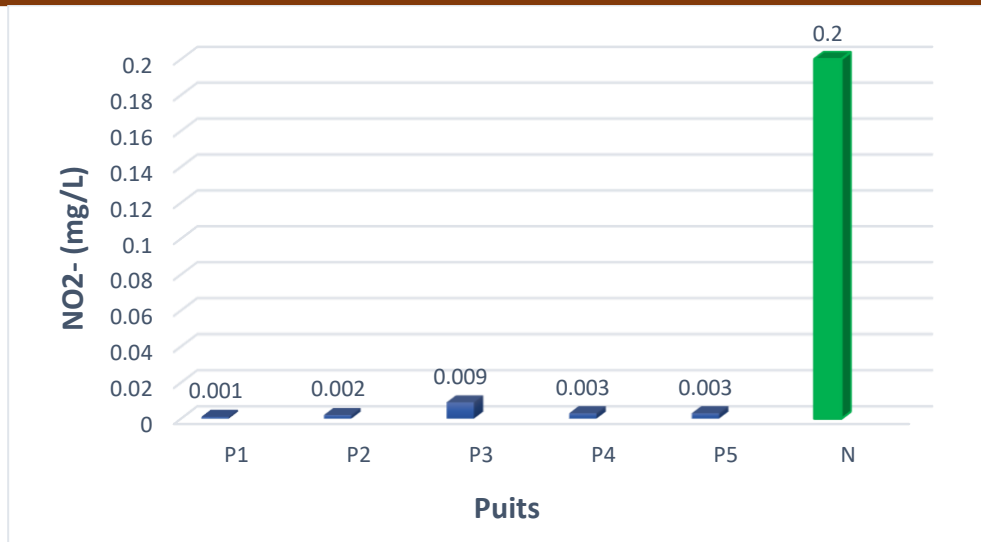


Figure 34 : Histogramme représentatif des variations de Nitrite

4.2. Ammonium (NH₄⁺)

Selon notre étude, les résultats d'ammonium (Figure 35) est beaucoup plus faible dans tous les puits. Tousces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (0, 5 mg/L).

L'ammoniac est naturellement présent dans les eaux naturelles en faible quantité, généralement inférieure à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal. Son occurrence au-dessus de ce seuil est un bon indicateur de la pollution par les eaux usées urbaines des cours d'eau (**Gaujous, 1995**).

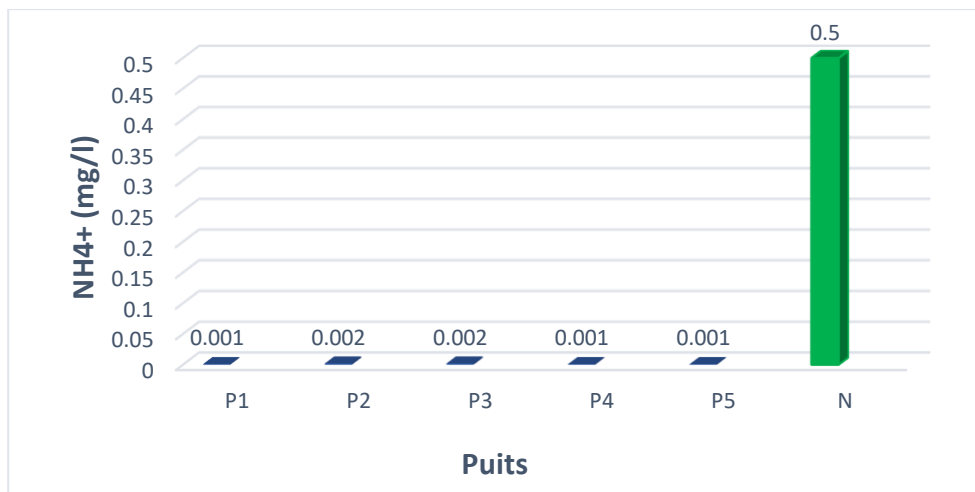


Figure 35: Histogramme représentatif des variations d'Ammonium

4.3. Phosphate (PO_4^{3-})

Selon notre étude, les résultats de phosphate présente des variations peu importantes d'un puits à l'autre, on enregistre une moyenne de 0,007 mg/l, avec un minimum de 0,005 mg/l au puits P4, à un maximum de 0,01 mg/l au puits P5 (Figure 36). Tous ces résultats rapportés sont en dessous de la norme Algérienne (0.1 mg/L).

Le phosphate provient principalement des activités agricoles, domestiques et industrielles (Morabbi & Souabni, 2013).

De faibles niveaux de phosphates et d'azote élémentaire (nitrites, ammoniacque) dus à la meilleure qualité de ces sources, à un moindre lessivage des produits dans le sol et à une moindre décomposition des engrais organiques, naturels ou synthétiques. (Aouissi & Houhamdi, 2010 ; Behalil et al., 2011).

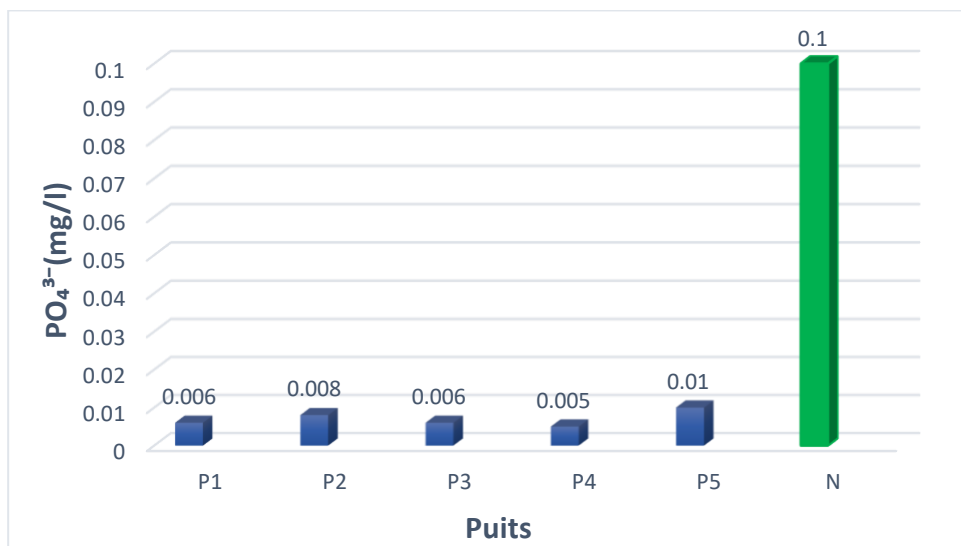


Figure 36: Histogramme représentatif des résultats de mesure de Phosphate

5. Les paramètres bactériologiques

Nous avons effectué pendant notre travail un dénombrement et une recherche systématique des germes indicateurs de pollution qui sont coliforme totaux, coliforme fécaux et Streptocoques fécaux.

Selon le graphique (Figure 37), les analyses bactériologiques montrent des résultats plus ou moins différents entre les différents points de prélèvement.

Il est à noter que les puits P1, P2 et P4 sont de bonne qualité sanitaire car exempts de germes révélateurs de contamination fécale.

Les puits P3, P5 présentent une teneur hors norme pour les coliformes totaux et Streptocoques fécaux.

Selon notre étude, Nous observons que la valeur maximale des coliformes totaux est de 75 CT/100

ml dans le puits P3, tandis que la valeur minimale dans le puits P5 de 42 CT/100 ml.

Les coliformes totaux sont d'origine animale et humaine et leur présence dans l'eau indique une contamination fécale récente (**Chevalier, 2003**).

Les résultats d'estimation des Streptocoques fécaux sont illustrés sur la (Figure 37) ces derniers montrent que les valeurs les plus grand ont été enregistré dans le puits P3 de 20 SF/100ml, la valeur la plus moins est au niveau du le puits P5 de 2 SF/100ml.

Streptocoques fécaux dans les eaux souterraines indiquent une contamination fécale récente car ces bactéries sont très sensibles aux modifications des milieux récepteurs (**Rodier et Al, 2009**).

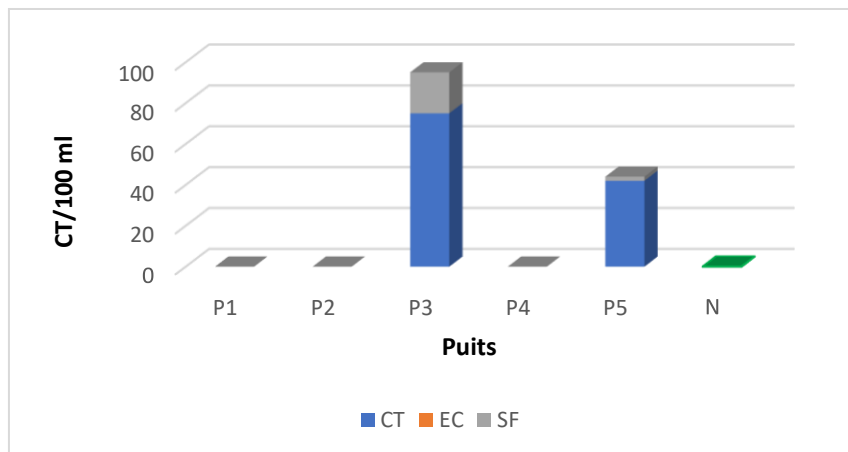


Figure 37: Histogramme représentatif les nombre des bactéries

6. Représentation graphique des résultats d'analyses

La présentation graphique des résultats analytiques est un outil précieux pour une identification plus précise des phases chimiques et pour les aspects qualitatifs des eaux de surface dans la zone d'étude. Les diagrammes Piper, Riverside, Wilcox et Scholler-Barcaloff ont été utilisés pour atteindre cet objectif. Ces figures ont été créées à l'aide de logiciels Diagramme conçu par Ronald Simler (**Zaoui, 2017**).

6.1. Classification des eaux souterraines selon PIPER

Le Diagramme PIPER est particulièrement utiles pour étudier l'évolution des phases aqueuses avec une minéralisation croissante, ou pour comparer des groupes d'échantillons entre eux pour montrer les types prédominants de cations et d'anions. Ce chiffre est constitué d'un losange et de deux triangles équilatéraux divisés par 100, et correspond à la quantité de réaction des ions par rapport à la somme des ions de même signe (**Pourcq, 2008**).

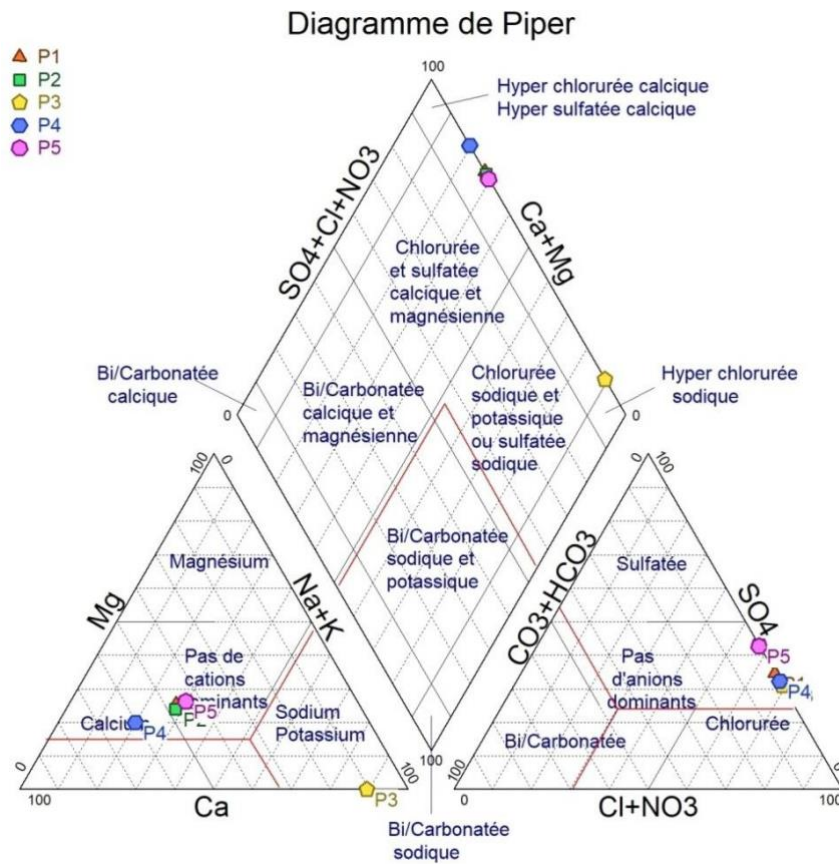


Figure 38:Classification des eaux des puits selon PIPER

Sur le diagramme de Piper (Figure 38), il est indiqué que les eaux analysées présentent dans les quatre puits qui sont P1, P2, P4 et P5 avec un faciès chloruré et sulfaté calcique, tandis qu'un puits P3 présente un faciès chloruré sodique et potassique.

6.2. Le diagramme de Schoëller-Berkaloff

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff peut être utilisé pour représenter les phases chimiques de certains échantillons d'eau. Chaque échantillon est représenté par une ligne pointillée. La concentration de chaque élément chimique est représentée par une ligne verticale logarithmique. Une ligne pointillée est créée en reliant tous les points représentant différents éléments chimiques (Pourcq, 2008).

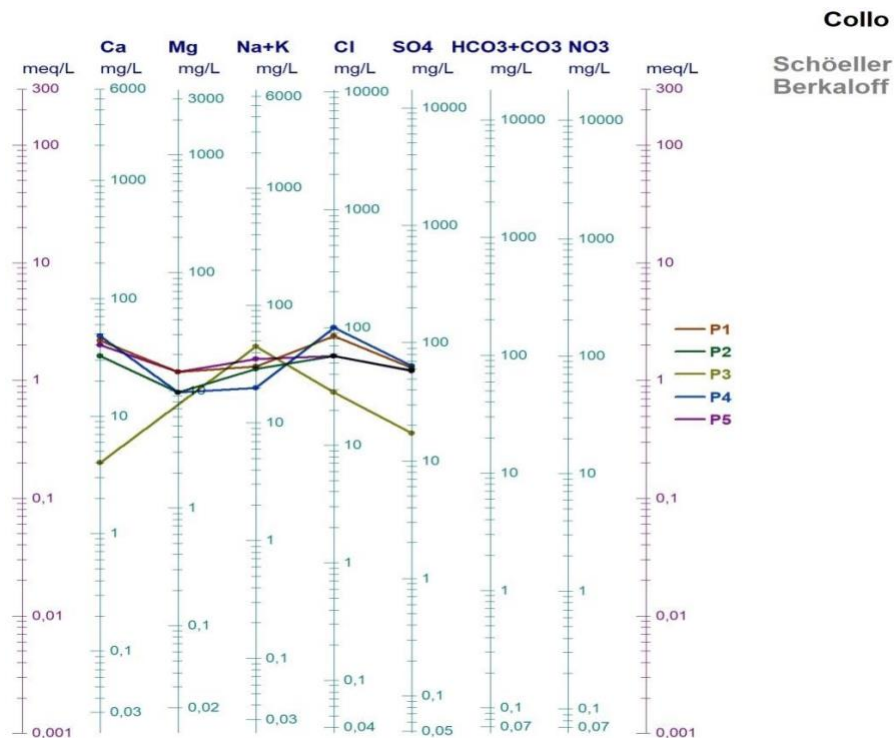


Figure 39: Classification des eaux de la zone d'étude selon Schoeller Berkaloff

L'analyse du diagramme de Schoeller Berkaloff (Figure 39) nous permet de conclure que les eaux de la nappe présentaient des profils identiques, à l'exception des points d'eau P3 dont la concentration en calcium et sulfate est moins remarquable par rapport aux sodium-potassium.

6.3. L'aptitude des eaux à l'irrigation

La productivité des cultures dépend principalement de la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation, et sa qualité dépend principalement de la présence de sels dissous et de leurs concentrations (Fetter, 1994 ; Deshpande & Aher, 2012).

L'eau d'irrigation doit répondre à certaines normes de qualité afin de minimiser le risque de salinisation des sols. Pour souligner que l'eau des cinq puits est adaptée à l'irrigation urbaine, il est indispensable de classer cette dernière à l'aide des diagrammes de Riverside et de Wilcox.

6.3.1. Diagramme de Wilcox

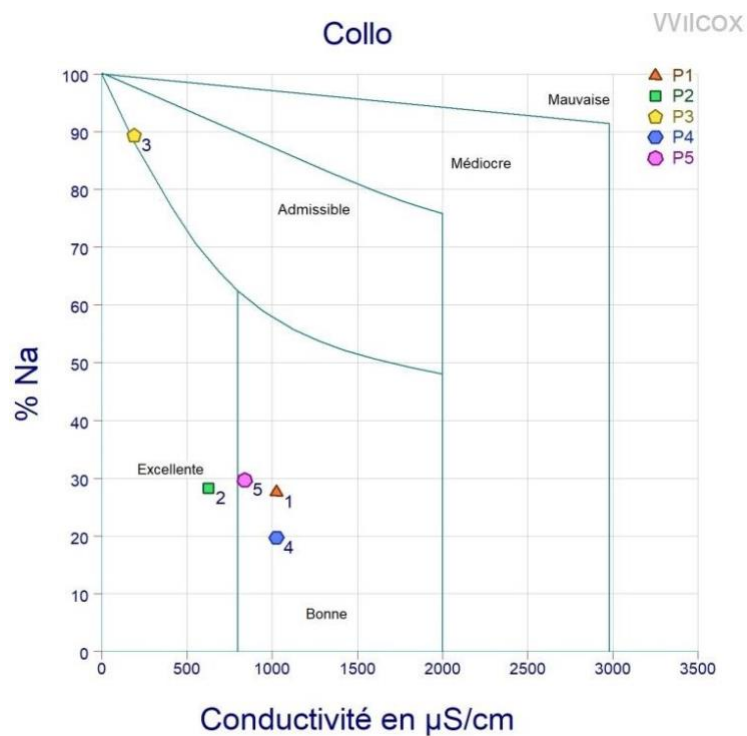


Figure 40 : Diagramme de Wilcox des eaux de la zone d'étude

La classification du diagramme de Wilcox (Figure 40) a indiqué que les eaux du puits P2 étaient classées comme excellentes, tandis que les eaux des puits P1, P4 et P5 étaient classées comme bonnes, et les eaux du puits P3 étaient classées comme admissibles. En général, cela signifie que tous les puits d'eau étudiés dans la région sont appropriés à l'irrigation (Abdelaty et al., 2022).

6.3.2. Diagramme de Riverside

Le diagramme de Riverside qui est établi en fonction de la conductivité électrique (CE) et du rapport d'absorption du sodium (SAR: Sodium Absorption Ration) tient compte de l'équilibre entre ces deux variables dont l'une influe sur l'autre. Le risque de sodicité due au SAR est atténué en présence d'une salinité élevée (Richards, 1954).

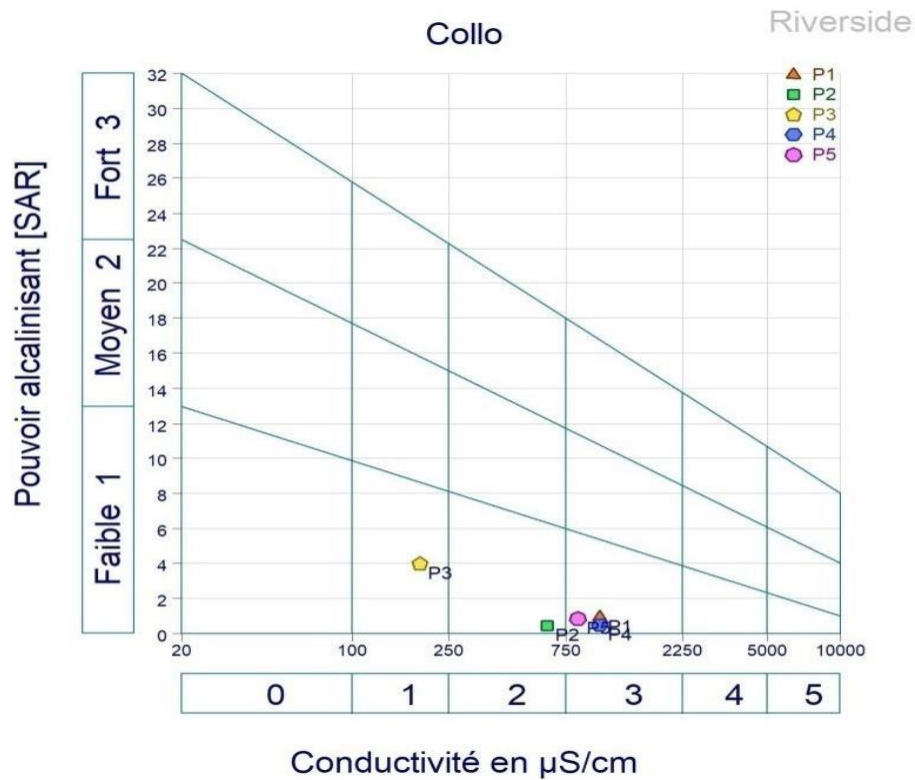


Figure 41:Diagramme de Riverside des eaux des puits étudiés

Selon le diagramme de Riverside (Figure 41), quatre puits P1, P2, P4 et P5 sont de qualité moyenne à médiocre (classes C3-S1 et C2-S1). Ils doivent être utilisés avec précaution dans les sols mal drainés, uniquement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels. Le drainage est nécessaire.

Un puits P3 est de bonne qualité (classe C1-S1) pour l'irrigation, mais il doit être utilisé avec précaution avec des plantes sensibles (**Richards, 1954**)

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Nous avons réalisé une évaluation des caractéristiques physico-chimiques et bactériologique des eaux souterraines dans la région de Collo. Après avoir effectué diverses analyses dans les laboratoires de l'IAP de Filfila, de l'ONEDD et de l'ADE situés dans la wilaya de Skikda, nous avons obtenu des résultats permettant de caractériser l'eau sur plusieurs aspects.

En ce qui concerne les éléments physico-chimiques, le pH de l'eau dans les différents puits est conforme aux normes nationales et internationales de potabilité, ce qui signifie qu'il est neutre et considéré comme adéquat. De plus, l'eau se caractérise par une faible concentration en minéraux, ce qui entraîne une faible conductivité électrique respectant les normes en vigueur. Par conséquent, l'eau est considérée comme propre à la consommation et conforme aux normes nationales et internationales. En général, la turbidité de l'eau est inférieure aux normes et ne présente généralement aucun risque pour la santé.

Les concentrations de chlorures, de dureté totale et du taux d'alcalinité complète (TAC) se situent dans les limites acceptables selon les normes algériennes, ce qui indique que les sources souterraines de la région de Collo sont gérées de manière adéquate et que la qualité des eaux souterraines est préservée.

En ce qui concerne la pollution organique, il n'y a pas de pollution ammoniacale ni de pollution nitrique dans tous les puits. Cependant, des traces de demande chimique en oxygène (DCO) et de demande biologique en oxygène (DBO⁵) ont été détectées dans certains échantillons d'eau souterraine de la région de Collo.

Il est important de noter que ces traces se situent dans les limites acceptables selon les normes en vigueur, ce qui confirme le respect des normes algériennes en matière de qualité de l'eau de consommation.

Le potassium pourrait être le seul paramètre dont les taux sont relativement élevés dans deux puits (P2 et P3) et ne respectent pas les normes. Les variations temporelles de la qualité physico-chimiques des eaux souterraines d'un puits à l'autre dans la région de Collo peuvent s'expliquer par les différences géologiques et hydrogéologiques.

En effet, la composition des sols varie d'un endroit à un autre, ce qui peut influencer la qualité de l'eau qui y circule. De plus, la profondeur des nappes phréatiques peut également jouer un rôle dans ses variations, car elle peut affecter la composition chimique de l'eau. Ainsi, ces facteurs

Conclusion

géologiques et hydrogéologiques spécifiques à chaque puits contribuent aux différences observées dans la qualité des eaux souterraines dans la région de Collo.

Cependant, nos analyses bactériologique sont révéler la présence de coliformes fécaux dans les puits P3 et P5, indiquant une possible contamination fécale de l'eau. Cette découverte soulève des inquiétudes quant à la salubrité et la potabilité de l'eau, ainsi que des risques pour la santé humaine en cas de consommation.

Il est crucial de souligner que la détection de ces bactéries dépasse les normes microbiologiques en vigueur, soulignant ainsi la nécessité d'améliorer les mesures de gestion et de traitement de l'eau pour garantir une qualité microbiologique adéquate dans la région de Collo. Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff montrent que la majorité des eaux étudiées sont caractérisées par un faciès chloruré et sulfaté calcique.

En ce qui concerne l'irrigation, des diagrammes de (Wilcox et Riverside) ont été réalisés à l'aide d'un logiciel de diagrammes pour déterminer la capacité des eaux à être utilisées pour l'irrigation. Les résultats obtenus ont montré que la totalité des eaux analysées étaient acceptables pour une utilisation en irrigation.

En perspective, des actions correctives immédiates doivent être prises pour identifier la source de la contamination bactériologique, assainir l'eau et prévenir de futures contaminations. Une surveillance continue de la qualité microbiologique de l'eau est essentielle pour assurer la sécurité et la santé des consommateurs.

En conclusion, bien que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine dans la région de Collo semblent satisfaisantes, la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale soulève des préoccupations quant à la qualité microbiologique de l'eau. Des mesures appropriées doivent être mises en œuvre pour améliorer la gestion de l'eau et garantir une qualité microbiologique conforme aux normes de santé publique. C'est essentiel pour assurer la sécurité et la santé des consommateurs.

En conclusion, bien que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine dans la région de Collo semblent satisfaisantes, la présence de bactéries indicatrices de contamination fécale soulève des préoccupations quant à la qualité microbiologique de l'eau. Des mesures appropriées doivent être mises en œuvre pour améliorer la gestion de l'eau et garantir une qualité microbiologique conforme aux normes de santé publique.

**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- **Abdelaty, E. F., Abd-El-Hady, A. M., & Abouzahw, S. (2022).** Classification Approaches to Assess Groundwater Quality (Wadi El-Natron, Egypt). *Egyptian Journal of Soil Science*, 62(3), 267-291p.
- **Abdesselem, F. (1999).** Suive De La Qualité Microbiologique Et Physicochimique De Trois Serres Alimentant De La Région De Tlemcen, Mémoire d'ingénieur institut de biologie, université de Tlemcen, 2-18p.
- **Adjelene, M., & Boudrebaa, K. (2018).** Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux d'alimentation de quelques réservoirs de la ville de Bejaia cas du réservoir Egzib et réservoir central. Bejaia-Algérie. Mémoire de master, Faculté de SNV de l'université A.mira Bejaia, 73p.
- **Agaguenia, S. (2010).** Principes d'aménagement pour un développement local durable d'un territoire montagneux du littoral. Cas de la commune de Collo (nord-est algérien) (Doctoral dissertation, Annaba), 92-95p
- **Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG). (2012).** Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex 4,5p.
- **Aminot, A., & Chaussepied, M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu Marin, 45-63p.
- **Aouissi, A., & Houhamdi, M. (2010).** Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed (Wilaya de Guelma, Nord-est Algérien). Mémoire de master. Université 08 Mai 1945, Guelma, 85p.
- **Arjen V.D.W. (2010).** Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines : Souterraines aux forages manuels, Un manuel d'instruction pour les équipes de forage manuel sur l'hydrogéologie appliquée, l'équipement et le développement des forages, Fondation PRACTICA, Oosteind, 10p.
- **Assouline, J., & Assouline S. (2007) :** Géopolitique de l'eau. Nature et enjeu. Edition Studyrama, 140 p.
- **Ayad, W. (2017).** Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el Harrouch (wilaya de Skikda). Thèse de Doctorat université d'Annaba, 3-19 p.
- **Behalil M., Hamlaoui B., Laraisia H., (2011).** Qualité bactériologique et physico-chimique des eaux des sources de la région de Guelma. Mémoire de master. Université 08 Mai 1945, Guelma. 93p.
- **Belghiti, M. L., & Chahlaoui, A., & Bengoumi, D., & El Moustaine, R. (2013).** Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). *LARHYSS Journal*, 14, 31p.
- **Berger, P. L., & Servat, E. (2006).** 100 réponses sur l'eau. Tournon, 8-9p.
- **Berne F, Jean C., 1991).** Traitement des eaux, Édition TECHNIP, Paris, 306 p.
- **Boeglin J.C. (2009).** Propriétés des eaux naturelles, Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1, 110p.
- **Bonnet, M., Delaroziere, M., Bouillin, O., & Jussrand, Cl. (1970).** Calcul automatique des bilans d'eau mensuels et annuels par les méthodes de thornthwaite et de turc, BRGM, PARIS , p21.
- **Bouziani, M. (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p.
- **Cardot, C. (1999).** Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologique : Cours et problèmes résolus, Ellipes Edition Marketing, paris, cedex 15, 25-28p .

Références bibliographiques

- **Chaker, H. K., & Cardot, C. (1999).** Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologique : Cours et problèmes résolus, Ellipes Edition Marketing, paris, cedex 15, 25-28p.
- **Chaker, H.K., & Slimani, A. (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'abreuvements des ruminants dans la zone semi-aride d'Oum El Bouaghi : Nord-est de l'Algérie, Institut des sciences agronomiques, université d'El Tarf, Algérie, 10p
- **Chevalier ,P. (2003).** Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 4p.
- **Chevalier, P. (2002).** Entérocoques et streptocoques fécaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 5p.
- **Collin, J. (2004).** Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, paris, 27-49p.
- **Collo climate:** Average Temperature, weather by month, Collo water temperature - Climate-Data.org
- **Degremont, G. (2005).** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. Tec et doc, 3-38p.
- Desjardins, R. (1997). Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2^{ème} édition, Québec, Canada, 46-112p.
- **Diop, C. (2006).** Etude de la qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnées en sachet et vendues sur la voie publique dans la région de Dakar, mémoire de diplôme d'études approfondies de productions animales, université cheikh anta diop de Dakar. 40p.
- **Emmanuel, J. (2004).**-La production et le traitement des eaux destinées à la préparation de denrées alimentaire. Agence de l'eau Seine-Normandie, Direction des Bocages Normands ,09p.
- **Edmond M.B., Ober J.F., Weinbaum, D.L., Pfaller M. A., Hwang T., Sanford M.D., Wenzel R.P., (1995).** Vancomycin-resistant Enterococcus faecium bacteremia: risk factors for infection, Clin Infect Dis, Vol 20, N°5, 1126-1133p.
- **Ferguson, G., & Gleeson, T. (2012).** Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. Nature Climate Change, 2(5), 342-345p.
- **Fetter C.W., 1994:** "Applied hydrology". 3rd Ed: Prentice Hall, Inc. New Jersey, 420 – 425p.
- **FiGarellaj Leyral, G. (2002).** Analyse des eaux : Aspect réglementaires et techniques. Ed Scérén CRDP d'Aquitaine, paris, 36p.
- **Gaujous, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire. 2^{ème} édition, Tec & Doc Lavoisier, Paris, France, 220 p.
- **Gouaidia, L., & Laouar, M. S., & Défaflia, N., & Zenati, N. (2017).** Origine de la minéralisation des eaux souterraines d'un aquifère dans une zone semi-aride, cas de la nappe de la merdja, nord-est algérien. Int. J. Environ. Water, 6, 108P.
- **Guilbert, L. (2000).** Chimie Dans La Buanderie, Projets d'Intégration des Sciences et des Technologies en Enseignement au Secondaire, 21p.
- **Guiraud, J ., & Galzy, P. (1980).** Analyse microbiologique dans l'industrie alimentaire, Les éditions de l'usine nouvelle. Paris, 533
- **Hakmi, A. (2006).** Traitement de l'eau de source Bousfer Oran, Mémoire de licence traitement des eaux, Université des Sciences et de la Technologie, Oran, 48 p
- **Hamid, B. (2021).** Les zones frontalières Sud Algériennes entre la vulnérabilité et la dynamique régionale, vision géographique. P25

Références bibliographiques

- **Henada, S., & Hemaïdia, N. (2019).** Etude de la qualité physico-chimique des eaux industrielles du complexe sidérurgique d'El-Hadjar-Annaba, Mémoire de Master
- **Kettab, A. (1992).** Traitement des eaux, Les eaux potables, Edition: Office des Publications Universitaires, Alger, 111-123p.
- **Khemici, Y. (2014).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'une eau usée épurée par un lit de plantes ; mémoire master professionnel, 33 p
- **Kouidri, B. Z. (2006).** - Etude et traitement de l'eau du barrage Djorf-El Torba de la wilaya de Bechar par filtration sur sables. Mémoire de magister, université de Chlef, 15 p
- **Koul, N., & Bassou, E. (2003).** Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de l'agglomération de Ouargla, 84 p.
- **Lallemand-Barrès, A., & Roux, J. C. (1999).** Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine: guide méthodologique et réglementaire n°33. Edition BRGM, 19 p.
- **Larpent J. P., (1997).** Microbiologie alimentaire: Technique de laboratoire. Ed. Technique et documentation-Lavoisier, Paris, 1073 p.
- **Loukman, B., & Nakolendousse, S., & Nour, A. M., & Nguinambaye, M. M. (2017).** Caractérisation hydrochimique de la nappe de Yao et ses environs: relations entre eaux de surface (lac-Fitri) et eaux souterraines. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11(3), 1341p.
- **Lounnas, A. (2009).** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda, Mémoire de magister, Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales, Université du 20 Août 1955 Skikda, 15 p.
- **Madani T. A. A., Kabani A., Orr P., Nicolle L., (1999).** Enterococcal bacteremia in a tertiary care centre in Winnipeg, Canadian Journal of Infectious Diseases, Vol 10, 57-63p.
- **Mason J P (1988).** Suivi de la qualité des eaux superficielles l'expérience française In Congrès La qualità delle aquesuperficiali Criteri per un ametodologiaomogenea divalutazione AttidelConvegno interazione Provinica Autonoma di Trento Rever Del Garda Palazzo dei Congressi 110 p.
- **Matini, L., & Moutou, J. M., & Kongo-Mantono, M. S. (2009).** Evaluation hydro- chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie, 5(1), 90 p.
- **Mehounou, J. P., Josse, R. G., Dossou-Yovo, P., Senou, S. F., & Toklo, R. M. (2016).** Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué. *Journal of Applied Biosciences*, 103, 9847 p.
- **Mokdadi, H., & Messai., & Ahmed, N. (2015).** « Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des quelques zones humides de la wilaya d'El- Oued. Mémoire de Master. UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL- OUED.
- **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.
- **Morabbi, A., & Souabni, O. (2013).** Caractérisation la qualité des ressources en eau dans le sous bassin Ksob (Région d'Essaouira, Maroc). Mémoire de licence. Université cadi ayyad, 27-28 p.
- **Myrand, D. (2008).** Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, 04p.

Références bibliographiques

- **Nisbet, M., & Verneaux, J. (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes ; discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses chimiques. *Ann. de Limnologie*. Tome 6,161-190p.
- **Nouayti, N., & Khattach, D., & Hilali, M. (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc [Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. *J. Mater. Environ. Sci*, 6(4), 1068-1081p.
- **Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP). (2003).** Utilisation judicieuse de l'eau de pluie : Possibilités et limites, Conseils et critères, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Berne, 14p.
- **OMS. (2000).** Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2ème édition, 1050 p.
- **OMS/PNUE. (1977).** Recommandations pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Programme à long terme de surveillance continue et de recherche en matière de pollution de la mer Méditerranée (M ED/POL phase II).
 - **Pierluigi, C., Pascalle, & S., & Anneliez, H., & Christoff, A. (2011).** L'évapotranspiration de référence et son application en agro météorologie, 176 p.
- **Pourcq, K. D. (2008).** Elements for a methodology to interpret hydrochemichal data. 40-43, 49-50 p.
- **Potelon J. & Zysmank K. (1998).** Le guide des analyses d'eau potables. Ed. La lettre du cadre territoriale, paris France. 120p.
- **Ramade, F. (1998).** Dictionnaire encyclopédique de l'eau. Édition : science international. Paris, 487 p.
- **Remini, B. (2010).** La problématique de l'eau en Algérie, *Larhyss Journal*, N° 08, 27-46 p.
- **Richards L.A., (1954).** "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, *Agric Handbook 60*": US Department of Agriculture, Washington DC.
- **Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2009).** L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, 78, 1368, 1579 p.
- **Rodier J., (1996).** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers.8ème édition: Dunod. Paris. France, 1383 p.
- **Rodier J., (2005).** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8eme édition: Dunod, Paris, p.1479.
- **Rodier, J. (1997).** L'analyse De L'eau (Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires Et Eaux De Mer), 8ème Edition, Dunod, Paris, 66 p.
- **Rodier, J. (2005).** L'analyse de l'eau, Eaux naturelle, eau résiduaires et eaux de mer. 8eme edition Dunod, Paris ,1381 p.
- **Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J. P., Chambon, P., Champsaur, H., Rodi, L. (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- **Rouaiguia, M., & Cheriet, M. (2010).** Qualité microbiologique de l'eau d'Oued Messida. Mémoire de Master. Université 8 mai 1945 Guelma. 78, 120p.
- **Rouina M & Zahzah A. (2021).** Qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau des sources et celle distribuée dans la région de Biskra, Mémoire de Master Université Mohamed Khider de Biskra, 43 p.

Références bibliographiques

- **Saidi, S. (2014).** La qualité des eaux du sous bassin versant de l'oued aissi. Mémoire ingénieure. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 169 p.
- **Samake H. (2002).** Thèse de doctorat analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000-2001 faculté de médecine.58p.
- **Sari, H. (2014).** Contribution à l'étude de la qualité chimique et bactériologique de l'eau de la source « ATTAR». Mémoire magister.Université ABOU-BEKR BELKAID, Tlemcen, p92.
- **Service de l'Eau (SEVESC). (2013).** Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud, 11p.
- **Slimani, A. (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'abreuvements des ruminants dans la zone semi aride d'Oum El Bouaghi : Nord-est de l'Algérie, Institut des sciences agronomiques, université d'El Tarf, Algérie, 10p.
- **Sophocleous, M. (2002).** Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal, 10(1), 52-67p.
- **Taghezout, F. (2015).** « Impact Environnemental Des Rejets D'eau Le Long Du Littoral Occidental Algérien ». Mémoire de Magister Université d'Oran.
- **Tardat-Henry, M. (1992).** Chimie Des Eaux.2ème Ed : Griffon d'Argile. Québec, 536p
- **Vasco, R. (2017).** La répartition de l'eau sur terre, nos ressources sont limitées évitons de les gaspiller.
- **Yamoun, N. H., & Ayachi, I.F. (2019).** Contribution à l'étude et à l'évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de sources de la Wilaya de Constantine.Université des Frères Mentouri Constantine, 34 p.
- **Yatabary N. T. D, (1994)** .Audit d'environnement dans le complexe de production d'eau potable de Bamako (Mali), 354p.
- **Zaoui L, (2017).** Evaluation de la pollution des sols et des eaux de la plaine de Bounamoussa et essais de dépollution, Thèse de Doctorat Université Badji Mokhtar. Annaba, 61,128p.

Références Annexe :

- **Aib A et Yakhlef K. (2014).** Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et phytoplantonique des eaux du Lac Tonga (Nord-est Algérien). Mémoire en Microbiologie de l'environnement. Université 8 mai 1945 Guelma. 30p.
- **Richards L.A., (1954).** "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Agric Handbook 60": US Department of Agriculture, Washington DC.

**Les
annexes**

Annexe 1

Tableau 2. Les résultats des paramètres avec les valeurs limites (Journal officiel de la république algérien).

		P1	P2	P3	P4	P5	Unité	Norme
Paramètres organoleptiques	Couleur	/	/	/	/	/	/	/
	Odeur	/	/	/	/	/	/	/
	Gout	/	/	/	/	/	/	/
Paramètres physiques	T	14	15.30	15.7	15.9	15.9	°C	25
	pH	6.98	7.06	6.71	6.96	6.9	/	6,5-8,5
	Conductivité	1026	626	189.4	1027	842	μS/cm	2800
	Salinité	0.3	0	0	0.3	0.2	mg/ l	1
	TDS	1019	598	178	1018	821	mg/ l	1000
	Turbidité	0.0	0.001	0.019	0.0	0.002	NTU	5
	MES	2	5	9	1	6	mg/ l	25>N>70
Paramètres chimiques	Dureté Total	170	120	10	160	160	mg/ l	500
	Mg ²⁺	14,4	9,6	0	9,6	14,4	mg/ l	50
	THCa ²⁺	44	32	4	48	40	mg/ l	200
	Chlorures	85	57	28,8	99,4	56,8	mg/ l	250
	TA	0	0	0	0	0	mg/ l	0
	TAC	0.6	0.5	0.1	0.6	0.6	mg/ l	500
	DBO5	0	0,6	1,2	1,8	1,3	mg/ l	<3
	DCO	9	10	17 5	8	11	mg/ l	120>N >130
	Potassium	1	13	16	18	11	mg/ l	12
	Sodium	29	11	9	29	15	mg/ l	150
	Sulfate	60,8	58,3	17,2	63,6	57, 3	mg/ l	250
Paramètres de pollution	Nitrites	0001	0,002	0,00 9	0,003	0,003	mg/ l	0,2
	Ammonium	0,001	0,002	0,00 2	0,001	0,001	mg/ l	0,5
	Phosphate	0,006	0,008	0,006	0,0 05	0,01	mg/ l	0,1

Paramètres bactériologique	Coliforme totaux	0	0	75	0	42	SF/100ml	0
	E. Coli	0	0	0	0	0	SF/100ml	0
	Streptocoque sfécaux	0	0	20	0	2	SF/100ml	0

Annexe 2

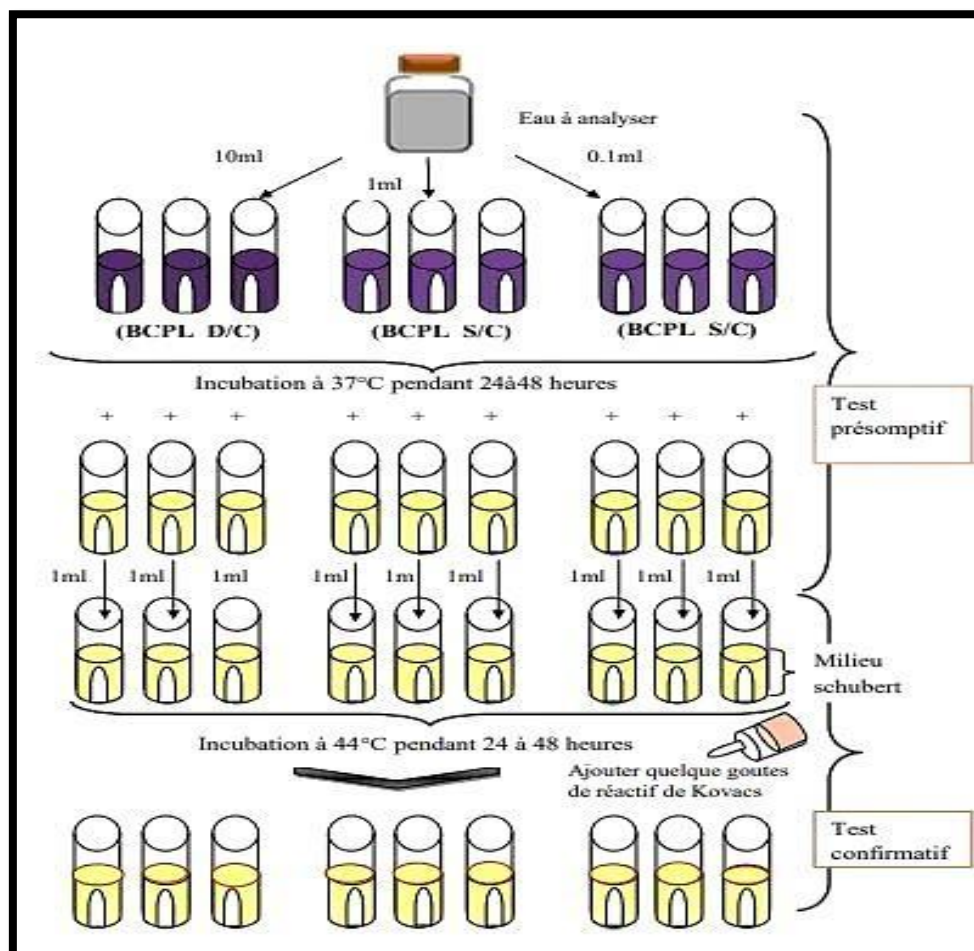


Figure 42 : Protocole de recherche et dénombrement des coliformes totaux, fécaux et E.coli (Aib *et al.*, 2014).

Annexe 3

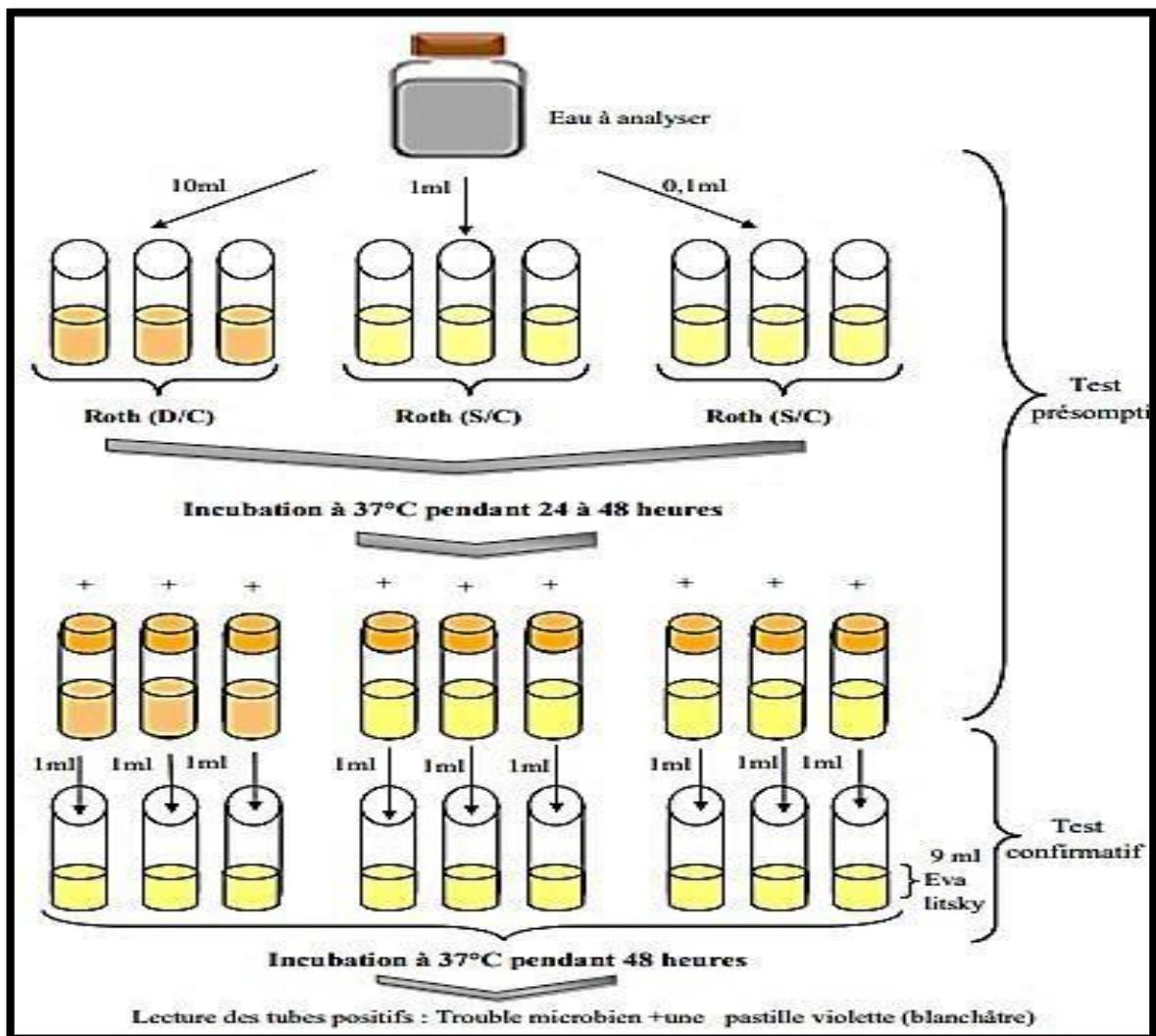


Figure 43 : Protocole de recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (Aib *et al.*, 2014).

Annexe 4

Les classes de diagramme de Riverside

Quatre classes de risque alcalin ont été définies en relation avec le risque salin.

S1 risque faible \longrightarrow SAR \leq 10

S2 risque moyen \longrightarrow 10 \leq SAR \leq 18

S3 risque élevé \longrightarrow 18 \leq SAR \leq 26

S4 risque très élevé \longrightarrow SAR $>$ 26

En tenant compte de la salinité globale des eaux, la conductivité électrique définie toujours quatre classes :

C1 risque faible \longrightarrow CE \leq 250 μ S/cm

C2 risque moyen \longrightarrow 250 μ S/cm $<$ CE \leq 750 μ S/cm

C3 risque élevé \longrightarrow 750 μ S/cm $<$ CE \leq 2250 μ S/cm

C4 risque très élevé \longrightarrow CE $>$ 2250 μ S/cm

La combinaison de ces deux paramètres, permet d'avoir la classification suivante :

Classe C1-S1 : Bonne qualité pour l'irrigation. Précautions avec les plantes sensibles.

Classes C1-S2, C2-S1 : Qualité moyenne à bonne. A utiliser avec précaution dans les sols mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).

Classes C2-S2, C1-S3, C3-S1 : Qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec dose de lessivage et/ou apport de gypse.

Classes C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1 : Qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec dose de lessivage et/ou apport de gypse.

Classes C2-S4, C4-S2, C3-S3 : Qualité mauvaise. A n'utiliser avec beaucoup de précaution que dans les sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes. Risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables.

Classes C3-S4, C4-S3 : Qualité très mauvaise. A n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles. Classe C4-S4 ; Déconseillée pour l'irrigation (**Richards, 1954**).