

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie de l'environnement.

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLÔME DE MASTER

FILIÈRE : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement.

Par

➤ **BENNOUR Nesrine**

Intitulé

*Analyse de la Qualité Physico-Chimique et
Bactériologique des Eaux de Puits de la Région
de Ras El Oued*

Soutenu le : 23/06/2024

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Établissement</i>
<i>M. Messis Abd El Aziz</i>	<i>Pr</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Ayeche Riad</i>	<i>Pr</i>	<i>Encadrant</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Boureghdad Azzedine</i>	<i>ING</i>	<i>Co-Encadreur</i>	<i>DRE-BBA</i>
<i>M. Rokbane Abd Elmadjid</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

DÉDICACES

Je dédie ce travail à :

Le plus grand amour dans mon cœur, à la prunelle de mes yeux, le meilleur guide dans ma vie et qui n'a jamais cessé de m'encourager. Le meilleur père. Paix à son âme, j'aurais tant que tu sois encore là à mes côtés afin de partager cette joie, malheureusement le destin en a décidé autrement.

A la plus chère à mon cœur, Merci de tout cœur ma mère, que dieu vous accorde santé et longue vie.

A ma sœur **chems** et ses petites **Maria** et **Jouri**

Mes frères : **Lotfi, Tarek, Ibrahim, Anes**

Mon grand-père : **Laamri**

Mes oncles : **Yazid, Saad, Saïd**

Ma tante **Nadjet** et ses enfants **Chaima, Kaouther** et **Ahmed**

A mes chères cousines

Mes chers amis **Chaima** et **Nadjet**

Toute la famille **Bennour**

Enfin, à tous ceux que j'aime et qui m'aiment

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je remercie Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Ayeche Riad, professeur à l'Université de Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A, pour avoir dirigé ce travail, pour son aide tout au long de ces années de travail commun. Merci pour ces conseils, orientations et ses encouragements qui m'ont permis de progresser, et d'élargir mon champ de vision du travail de recherche.

Une très grande reconnaissance va au professeur Messis Abd El Aziz de l'université de Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A, pour l'honneur qu'il nous fait de présider le jury de cette mémoire et pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à notre travail.

Je remercie chaleureusement le Docteur Rokbane Abd Elmadjid de l'université de Bordj Bou Arreridj pour avoir bien voulu examiner ce travail et d'apporter ces conseils congruentes

Sans oublier de remercier tout le personnel de la Direction des ressources en eau de Bordj Bou Arreridj surtout l'ingénieur Bouraghded Azzedine qui nous ont donné toutes les informations

Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Résumé :

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages, notamment pour la consommation alimentaire et l'hygiène, nécessitant ainsi une qualité physico-chimique et microbiologique irréprochable. Dans le cadre de l'évaluation de la qualité des eaux de puits destinées à la consommation humaine ou à l'irrigation, dans la région de Ras El Oued, située à l'est de l'Algérie, un contrôle physico-chimique et bactériologique a été mené sur plusieurs échantillons d'eau prélevés de 15 puits de la localité. Les analyses physico-chimiques ont révélé que les variations des concentrations des différents éléments chimiques sont influencées par plusieurs facteurs tels que les précipitations, la nature du substrat géologique et les activités anthropiques. Par exemple, la conductivité de l'eau, la dureté, les niveaux de calcium, de magnésium et de chlorures dépendent largement de ces facteurs, affectant ainsi la qualité de l'eau. Globalement, la majorité des paramètres analysés respectent les normes établies, à l'exception de la turbidité qui dépasse les limites acceptables dans plusieurs échantillons, et des niveaux de magnésium qui sont trop élevés dans certains puits. Cependant, les résultats des analyses microbiologiques ont mis en évidence une contamination fécale des eaux de la région, marquée par des concentrations élevées de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux. Cette contamination constitue une menace sérieuse pour la santé publique, en particulier pour les résidents qui utilisent cette eau pour la consommation domestique et pour l'irrigation.

Mots clés : Eau, Puits, Qualité, Physico-chimique, Bactériologique, Ras El Oued

Abstract :

Water is a precious and essential natural resource for multiple uses, in particular for food consumption and hygiene, thus requiring an irreproachable physico-chemical and microbiological quality. As part of the assessment of the quality of well water intended for human consumption or irrigation, in the Ras El Oued region, located in eastern Algeria, a physico-chemical and bacteriological control was carried out on several water samples taken from 15 wells in the locality. Physico-chemical analyses have revealed that the variations in the concentrations of the different chemical elements are influenced by several factors such as precipitation, the nature of the geological substrate and anthropogenic activities. For example, water conductivity, hardness, calcium, magnesium and chloride levels largely depend on these factors, thus affecting water quality. Overall, the majority of the parameters analyzed comply with the established standards, except turbidity which exceeds acceptable limits in several samples, and magnesium levels which are too high in some wells. However, the results of microbiological analyses have highlighted a fecal contamination of the region's waters, marked by high concentrations of fecal coliforms and fecal streptococci. This contamination poses a serious threat to public health, particularly for residents who use this water for domestic consumption and irrigation.

Key words: Water, wells, Quality, Physico-chemical, Bacteriological, Ras El Oued

ملخص:

تعتبر المياه موردا طبيعيا ثمينا وأساسيا للاستخدامات المتعددة، لا سيما لاستهلاك الأغذية والنظافة، مما يتطلب جودة فيزيوكيميائية وميكروبيولوجية لا يمكن تعويضها. كجزء من تقييم جودة مياه الآبار المخصصة للاستهلاك البشري أو الري، في منطقة رأس الوادي الواقعة في شرق الجزائر، تم إجراء مراقبة فيزيوكيميائية وبكتريولوجية على عدة عينات مياه مأخوذة من 15 بئرا في المنطقة. كشفت التحليلات الفيزيائية والكيميائية أن الاختلافات في تركيزات العناصر الكيميائية المختلفة تتأثر بعدة عوامل مثل الترسيب، طبيعة الركيزة الجيولوجية والأنشطة البشرية. على سبيل المثال، تعتمد على الناقلية الأيونية، الصلابة، الكالسيوم، المغنيسيوم والكلوريد إلى حد كبير على هذه العوامل، مما يؤثر على جودة المياه. بشكل عام، تتوافق غالبية العينات التي تم تحليلها مع المعايير المعمول بها، باستثناء التعكر الذي يتجاوز الحدود المقبولة في العديد من العينات، وكذلك مستويات المغنيسيوم المرتفعة جدا في بعض الآبار. ومع ذلك، فقد أبرزت نتائج التحليلات الميكروبيولوجية تلوثا سببه مياه الصرف الصحي بالمنطقة، حيث يتميز بتركيزات عالية من القولونيات البرازية والمكورات العقدية البرازية. يشكل هذا التلوث تهديدا خطيرا للصحة العامة، لا سيما للمقيمين الذين يستخدمون هذه المياه لاستهلاك المنزلي والري.

كلمات البحث: الماء ، البئر ، الجودة، الفيزيو- كيميائية ، البكتريولوجية ، رأس الوادي

Table des matières

Introduction Générale	1
Chapitre I : généralité sur l'eau et pollution des nappes souterraines	
I. Généralité sur l'eau	3
I.1. Définition de l'eau	3
I.2. Cycle de l'eau	3
I.3. Réparation de l'eau sur la terre	4
I.4. Ressources hydriques	5
I.4.1. Les sources naturelles de l'eau	5
I.4.1.1. Les eaux de pluie	5
I.4.1.2. Les eaux de mer	5
I.4.1.3. Les eaux de surface	5
I.4.1.4. Les eaux souterraines	6
1.5. Notions élémentaires sur les puits d'eau	6
I.5.1. Différent types de puits	6
I.5.2. Surveillance de la qualité de l'eau de puits	7
1.5.3. Critères et normes de la qualité des eaux de puits	7
1.5.3.1. Critères organoleptique	7
a) Couleur	7
b) Odeur	7
c) Goût	8
d) Turbidité	8
1.5.3.2. Critères microbiologique	8
a) Bactéries indicatrices de contamination fécale	8
➤ <i>Les coliformes</i>	8
▪ <i>Les coliformes totaux</i>	9
▪ <i>Les Coliformes fécaux</i>	9

➤ <i>Les bactéries d'origine fécale (E. coli)</i>	9
➤ <i>Streptocoques fécaux</i>	10
➤ <i>Salmonelles</i>	10
1.5.3.3. Critères physico-chimique	10
a) Les paramètres physiques	10
➤ Température	10
➤ Le potentiel d'hydrogène (pH)	11
➤ La conductivité électrique	11
b) les paramètres chimiques indispensables	11
➤ La dureté	11
- le calcium	12
- le magnésium	12
➤ L'alcalinité	12
- Titre alcalimétrique simple (TA)	12
- Titre alcalimétrique complet (TAC)	12
➤ Les chlorures	12
➤ Les sulfates	12
➤ L'aluminium	13
➤ Sodium	13
➤ Potassium	13
1.5.3.4. Les paramètres Chimiques indésirables	13
➤ L'ammonium (Azote ammoniacal)	13
➤ les nitrates	14
➤ les nitrites	14
➤ les métaux lourds	14
I.6. Eau, Pollution et maladies	14
I.6.1. Généralité sur la pollution de l'eau	14
I.6.2. Origines de la pollution	14
I.6.2.1. Pollution Domestique	14
I.6.2.2. Pollution Industrielle	14
I.6.2.3. Pollution agricole	15
I.6.2.4. Pollution naturelle	15
I.6.3. Pollution des eaux souterraines	15
I.6.4. Les eaux et les maladies	15
I.6.4.1. Maladies à transmission hydrique (M. T. H)	16

Chapitre II : géologie structurale et les nappes du nord de l'Algérie	17
II.1. Introduction à la Géologie Structurale du Nord de l'Algérie	17
II.1.2. Structures Géologiques Principales	17
II.1.2.1. Chaînes Telliennes et Atlas	17
➤ Les chaînes telliennes	17
➤ L'Atlas tellien	17
II.1.2.2. Fossés et Bassins	17
II.1.2.3. Failles et Plis	17
II.2. Les nappes	17
II.2.1. les types des nappes	17
II.2.1.1. Nappes Phréatiques	17
II.2.1.2. Nappes alluviales	18
II.2.1.3. Nappe karstique	18
II.2.1.4. Nappes captives	18
II.2.2. Recharge et Dynamique des nappes	18
II.2.3. Gestion et Problèmes	18
II.3. L'hydrogéologie	19
II.3.1. Nappe tellienne	19
II.3.2. Les aquifères	20
II.3.2.1. Aquifère à nappe libre	20
II.3.2.2. Aquifère à nappe captive	20
II.4. Les formations géologiques dans la région	20
a) Calcaires et dolomies du Turonien	20
b) Emscherien inférieur	21
c) Maëstrichtien	21
d) Miocène	21
e) Quaternaire	21
II.5. Localisation géographique du bassin	21

Chapitre III : résultats et discussions	23
III.1. Matériels et méthodes	23
III.I.1. Présentation de la zone d'étude	23
III.1.2. Les caractéristiques géologiques et hydrogéologie de la zone d'étude	24
III.1.2.1. La vulnérabilité de la nappe	24
III.1.2.2. La méthode GOD pour évaluer la vulnérabilité	24
III.I.3. La procédure de prélèvement	26
III.I.3.1. Matériel et technique de prélèvement	27
III.I.3.2. Techniques et dates de prélèvement	28
III.I.3.2.1. Physico chimique	28
III.I.3.2.2. Bactériologique	28
III.I.4. Transport et conservation	29
III.2. Analyses physico chimiques et bactériologiques	29
III. Résultats et discussions	30
III.1. Physico-chimique	30
➤ Le pH	30
➤ La conductivité	31
➤ La turbidité	32
➤ La dureté totale	33
➤ La dureté calcique et magnésium	33
➤ Les chlorures	36
➤ Les Bicarbonates	37
➤ Les nitrites et les nitrates	38
III.2. Analyse Bactériologique	40
Conclusion	41
Références bibliographiques	44
Annexe	

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Classification des eaux d'après leur pH.	11
Tableau I.2	Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité	11
Tableau I.3	Principales maladies d'origine bactériennes	16
Tableau III.1	Tableau présentatif des caractéristiques des puits étudiés	27
Tableau III.2	Méthodes analytiques de détermination des paramètres Physico-Chimiques et Bactériologiques des eaux	29
Tableau III.3	Résultats des analyses bactériologiques des puits	41

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Schéma de Cycle de l'eau	4
Figure I.2	Schéma de Répartition eau salée/eau douce sur Terre.	4
Figure I.3	Qualité de l'eau selon la turbidité	8
Figure II.1	Carte géologique de la nappe tellienne	19
Figure II.2	le sous bassin du k'sob dans le bassin versant "Hodna".	22
Figure III.1	Carte de position des points étudiée	23
Figure III.2	Méthode GOD	25
Figure III.3	Résultats d'analyses de pH des puits	30
Figure III.4	Résultats d'analyses de Conductivité des puits	31
Figure III.5	Résultats d'analyses de turbidité des puits	32
Figure III.6	Résultats d'analyses de la Dureté totale des puits	33
Figure III.7	Classification physicochimique des sédiments	34
Figure III.8	Coupe géologique schématique transversale explicative de la zone d'étude.	34
Figure III.9	Résultats d'analyses de la Dureté calcique des puits	35
Figure III.10	Résultats d'analyses de la dureté de magnésium des puits	36
Figure III.11	Résultats d'analyses de chlorure des puits	37
Figure III.12	Résultats d'analyses de Bicarbonate des puits	38
Figure III.13	Résultats d'analyses de nitrite des puits	39
Figure III.14	Résultats d'analyses de Nitrate des puits	39

Liste des abréviations

H₂O	L'eau
°C	Degré Celsius
NTU	Unité de Turbidité Néphélométrie
Mg/L	Milligramme par litre.
µS/cm	Micro-siémens par centimètre.
NPP	Nombre Plus Probable
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
N-O S-E	Nord-Ouest-Sud –Est
AFNOR	Association Française de Normalisation
APHA	American Public Heath Association
JORA	Journal Officiel de la République Algérienne
TAC	Titre alcalimétrique complet
TH	Titre hydrotimétrique
TH_{Ca}	Titre hydrotimétrique calcique
TH_{Mg}	Titre hydrotimétrique magnésium
UFC	Unité Formant Colonie

INTRODUCTION

Introduction Générale

L'eau est une ressource naturelle majeure et un bien national précieux, une composante majeure des écosystèmes. Les principales sources d'eau peuvent être les rivières, les lacs, les glaciers, les eaux de pluie, les eaux souterraines, etc. Outre les besoins en eau potable, l'eau joue un rôle vital dans tous les secteurs de l'économie tels que l'agriculture, l'élevage, la foresterie, les activités industrielles, l'hydroélectricité, la pêche et d'autres activités créatives. (Dahraoui *et al*, 2022)

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Dans de nombreuses régions, les puits sont des sources d'eau essentielles pour l'irrigation, fournissant une solution fiable pour répondre à la demande croissante en eau des exploitations agricoles. Cependant, l'utilisation intensive des puits à des fins agricoles peut entraîner des problèmes de qualité de l'eau, mettant en danger la durabilité à long terme de cette ressource vitale. (Bhourri *et al*, 2015). L'irrigation agricole est également associée à des risques de pollution, résultant de l'utilisation de fertilisants, de pesticides et d'autres intrants agricoles qui peuvent contaminer les eaux souterraines via le drainage et le lessivage du sol. Ces contaminants peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine, l'environnement et la durabilité à long terme des ressources en eau. (Edkins, 2006)

Vue cette importance majeure, notre étude vise à évaluer la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau des puits dans la région de Ras el Oued, en particulier près de la ferme de Ben Haroun.

Donc, Les résultats de cette étude peuvent fournir des informations précieuses sur la sécurité de l'eau potable, ainsi que sur les possibles impacts environnementaux associés à son utilisation. En examinant les niveaux de contaminants microbiologiques et les propriétés physico-chimiques de l'eau. D'où, nous peuvent mieux comprendre les risques potentiels pour la santé et identifier les mesures nécessaires pour protéger la population locale et l'écosystème environnant.

Cette étude est structurée en trois chapitres :

➤ **Le premier chapitre** : Est consacrée pour l'étude bibliographique qui est composée de trois parties : La première partie offre une vue d'ensemble sur l'eau de manière générale. Elle aborde différents aspects tels que sa composition, son importance pour la vie et ses diverses

utilisations. La deuxième partie met en lumière la surveillance de la qualité de l'eau des puits. Elle souligne l'importance de contrôler régulièrement la qualité de l'eau potable afin de garantir la santé publique et de prévenir les risques liés à la contamination. Enfin, la troisième partie expose les multiples risques associés à une mauvaise qualité de l'eau. Parmi ces risques figurent la contamination par des agents pathogènes, les produits chimiques nocifs, ainsi que les dangers pour l'environnement et la santé humaine.

➤ **Le deuxième chapitre :** décrit les différentes géologies structurales et les nappes du nord de l'Algérie, est essentiellement consacré à la présentation des caractéristiques générales de la région d'étude et des types de nappes qui caractérisent cette région. Dans ce chapitre, nous allons explorer en détail les formations géologiques et les structures tectoniques présentes dans le nord de l'Algérie. Cette région est connue pour sa diversité géologique qui reflète une histoire géologique complexe et variée.

➤ **Le troisième chapitre :** La partie matérielle et méthodes, il est principalement dédié à deux aspects fondamentaux :

- la description des caractéristiques générales de la région d'étude et l'exposé de la démarche méthodologique adoptée pour analyser la qualité des différents échantillons d'eau. Cette section permet ainsi de situer le contexte géographique et environnemental de l'étude, tout en détaillant les procédures et les instruments utilisés pour mener à bien les analyses.
- Par la suite, la présentation et la discussion des résultats obtenus au cours de notre étude pratique viennent enrichir l'ensemble. Cette partie constitue le cœur de l'étude, où les données recueillies sont présentées, interprétées et confrontées à des références existantes. Elle permet ainsi de tirer des conclusions pertinentes et d'identifier d'éventuelles implications pour la gestion de la ressource en eau et la protection de l'environnement.

Enfin, une conclusion finale synthétise les principaux enseignements tirés de l'étude, met en évidence les découvertes significatives et propose éventuellement des pistes pour de futures recherches ou des actions à entreprendre. Cette dernière étape offre une opportunité de récapituler les contributions de l'étude à la compréhension du sujet traité et de souligner son importance pour la communauté scientifique et les décideurs.

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉS SUR L'EAU ET
POLLUTION DES NAPPES
SOUTERRAINES

I. Généralité sur l'eau :

I.1. Définition de l'eau :

L'eau est l'élément essentiel à la vie, il représente un pourcentage très important dans la constitution de tous les êtres vivants, la molécule d'eau est l'association d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène sous le symbole H₂O.

L'eau en tant que liquide est considérée comme un solvant universel, il se congèle à 0°C, il peut devenir vapeur à 100°C qui est sa température d'ébullition, mais ces principales caractéristiques sont qu'il est inodore incolore et sans goût. (Gerard, 1999)

I.2. Cycle de l'eau :

La connaissance de l'origine de l'eau, de son cycle de sa dynamique dans la nature et sa répartition dans l'espace et dans le temps est une donnée fondamentale. L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère. (Ayad, 2017)

L'eau s'évapore constamment au-dessus des océans, des lacs et des forêts, elle est condensée sous forme de nuages et ensuite transportée dans le ciel par vents. Dans le ciel, les nuages se condensent sous forme de vapeur d'eau autour des particules de poussières, puis tombent en précipitations sous forme de pluie ou de neige, sous l'action de phénomènes météorologiques complexes où interviennent surtout les vents et les différences de températures. (Ayad, 2017)

L'eau qui ruisselle pénètre dans le sol où elle s'infiltré et va remplir les nappes souterraines. Elle traverse des couches de plus en plus profondes du sol et va abandonner dans son cheminement la quasi-totalité des impuretés dont elle s'était chargée. (Bouziani, 2000)

Les eaux souterraines circulent elles aussi, une partie se jetant directement dans la mer et le reste venant alimenter les rivières à leur source ou par le biais d'un affluent.

Enfin, l'eau peut revenir directement à sa phase liquide dans l'atmosphère par la transpiration des végétaux qui éliminent ainsi une partie de l'eau contenue dans le sol et conservent une partie de l'eau de pluie dans leur feuillage. (Valverde, 2008)



Figure I.1 : Cycle de l'eau [1]

I.3. Répartition de l'eau sur la terre

L'eau est la matière la plus abondante sur Terre. La surface terrestre est formée par des continents et des océans dans des proportions de 29% et 71%. La répartition globale de l'eau est la suivante : [2]

- Océans : 97,2 %
- Calottes polaires et glaciers : 2,15 %
- Continents : 0,6%.

L'eau salée compte pour 97,5 % du volume d'eau présent sur notre planète.

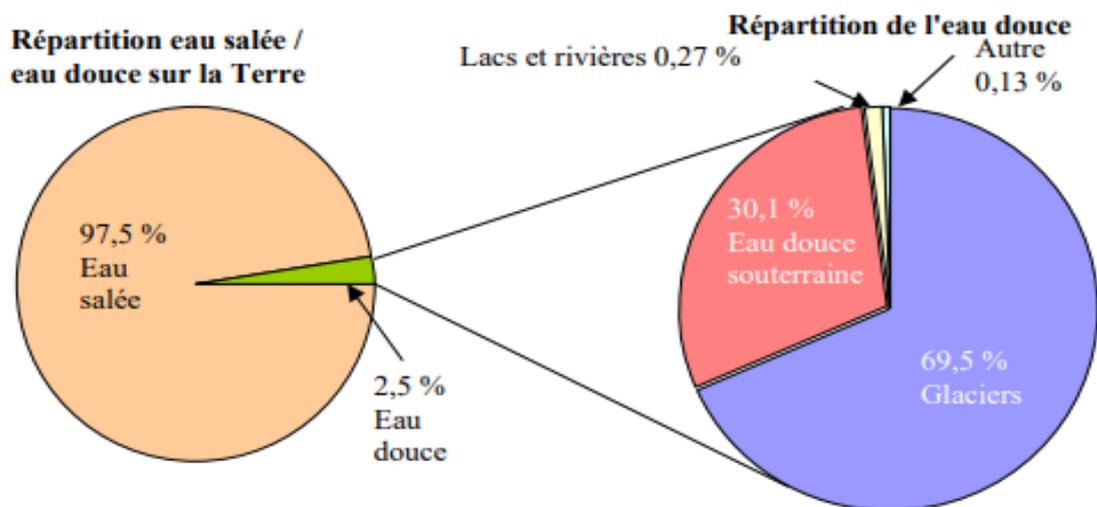


Figure I.2 : Répartition eau salée/eau douce sur Terre [3]

D'autre part les 2,5% d'eau douce se répartie comme suit [4] :

69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente,

30,1 % sous forme d'eau souterraine,

0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières,

0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.).

I.4. Ressources hydriques :

I.4.1. Les sources naturelles de l'eau :

On trouve quatre sources principales d'eaux brutes sont :

I.4.1.1. Les eaux de pluie :

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles sont très douces par la présence d'oxygène et d'azote et l'absence des sels dissous, comme les sels de magnésium et de calcium. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être souillées par des poussières atmosphériques utilisent cette source d'eau. (Desjardins, 1997 ; OFEFP, 2003)

I.4.1.2. Les eaux de mer :

Sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Ces eaux sont caractérisées par une grande salinité (varie de 33000 à 37000 mg.L⁻¹), elles sont dénommées aussi eaux saumâtres. Ce qui rend l'utilisation de ces eaux difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement. (Boeglin, 2009)

I.4.1.3. Les eaux de surface :

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

En plus, ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques. (Molinie, 2009)

I.4.1.4. Les eaux souterraines :

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain. (Myrand, 2008)

Selon les roches magasins et selon la nature du réservoir, on distingue plusieurs types de nappes. (Mebarki, 1982).

- ✓ Nappes phréatiques
- ✓ Nappes alluviales
- ✓ Nappe karstique
- ✓ Nappes captives

1.5. Notions élémentaires sur les puits d'eau

Les puits sont des structures creusées dans le sol pour accéder à l'eau souterraine. Ils sont principalement utilisés pour obtenir de l'eau pour la consommation humaine, l'irrigation agricole, l'approvisionnement en eau des animaux, et d'autres besoins domestiques, commerciaux et industriels. (Collin, 2004 ; Emand *et al.*, 1999)

1.5.1. Différent types de puits :

Il existe plusieurs types de puits, chacun ayant ses propres caractéristiques et méthodes de construction. Voici quelques-uns des principaux types de puits :

- **Puits creusé à la main :** Ce type de puits est traditionnellement creusé à la main à l'aide d'outils tels que des pelles, des pioches et des seaux. Ils sont souvent utilisés dans les régions où les ressources en eau sont peu profondes. (Bouziani, 2000)
- **Puits foré :** Les puits forés sont créés à l'aide de foreuses mécaniques, ce qui permet de creuser plus profondément et plus rapidement que les puits creusés à la main. Ils peuvent être équipés de revêtements en béton ou en acier pour stabiliser les parois du puits. (Bouziani, 2000)

- **Puits artésien** : Un puits artésien est un type de puits dans lequel l'eau jaillit naturellement à la surface en raison de la pression exercée par une nappe aquifère confinée entre des couches de roche imperméable. Ces puits peuvent produire un débit d'eau considérable sans nécessiter de pompage. (Renald, 2003)
- **Puits de surface** : Les puits de surface recueillent l'eau de pluie qui s'écoule à la surface du sol vers une réserve souterraine. Ils sont souvent utilisés dans les régions où l'eau de pluie est abondante et où les nappes phréatiques sont peu profondes. (Barrette, 2006)

1.5.2 Surveillance de la qualité de l'eau de puits :

La qualité de l'eau de puit est évaluée à partir des critères de qualité. En effet, l'utilisation d'une eau médiocre pour la production d'eau potable peut accroître les risques pour le consommateur si cette eau contient des produits nuisibles pour la santé. L'eau est considérée souvent comme un symbole de pureté, Elle est progressivement devenue le produit alimentaire le plus surveillé, et est soumise aux normes de qualité les plus sévères (Defranceschi, 1996 ; Douard, Lebental, 2013).

La surveillance de la qualité de l'eau des puits correspond à la conduite des analyses, de tests et d'observation de certains paramètres. L'objectif principale de ce suivi de la qualité de l'eau est de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité, irrigation.....etc. C'est un moyen de protéger la santé publique (Muriel, 2010).

1.5.3. Critères et normes de la qualité des eaux de puits :

1.5.3.1. Critères organoleptique :

a) Couleur :

La couleur de l'eau est due, généralement, à la présence de substances colorées provenant essentiellement de la décomposition des matières végétales, des algues, des substances minérales (en particulier le fer et le manganèse) et des rejets industriels (teintures). Une coloration de l'eau est indésirable, car elle suscite toujours un doute sur sa potabilité. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. (Degrémont, 1989)

b) Odeur :

Toute eau destinée à la consommation doit être inodore. Par conséquent, toute présence d'odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. (Rodier, 2009)

c) Goût :

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère. (Rodier, 2005). [5]

d) Turbidité :

La turbidité a pour origine la présence de matières en suspension qui donne un aspect trouble à l'eau. Autrement dit, c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée par la présence des matières en suspension fines comme les argiles, les limons, les grains de silice et les micro-organismes. Pour la sécurité du consommateur, l'eau destinée à la consommation doit présenter une turbidité inférieure à 5 NTU (Unité de Turbidité Néphélométrie). (Rodier, 2009)



Figure I.3 : Qualité de l'eau selon la turbidité (Bitton, 1972)

1.5.3.2. Critères microbiologique :**a) Bactéries indicatrices de contamination fécale :****➤ Les coliformes :**

Les bactéries coliformes thermo tolérants proviennent des intestins et des excréments des humains et des animaux. La recherche de ces germes dont *Escherichia coli* est spécifique de la recherche des germes tests des contaminations fécales récentes ils ont les mêmes propriétés que les coliformes, à la température de 44°C. (Kravits, 2000)

- **Les coliformes totaux :**

Les coliformes totaux constituent un groupe de bactéries que l'on retrouve fréquemment dans l'environnement, par exemple dans le sol, la végétation ou l'eau, ainsi que dans les intestins des mammifères, dont les êtres humains. *Les coliformes totaux* n'entraînent en général aucune maladie, mais leur présence indique qu'une source d'approvisionnement en eau peut être contaminée par des micro-organismes plus nuisibles. [6]

Les coliformes totaux sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes. Ce groupe bactérien est utilisé comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau parce qu'il contient notamment des bactéries d'origine fécale, comme l'*Escherichia coli* (*E. coli*). [7]

- **Les Coliformes fécaux :**

Les coliformes fécaux ou coliformes thermo tolérants correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C. (Edberg et al, 2000)

Les coliformes thermo-tolérants proviennent des intestins et des excréments des humains et des animaux à sang chaud. La présence de ces bactéries dites pathogènes est très risquée pour la santé des humains et des animaux. La bactérie *E-coli* (*Escherichia coli*) appartient à cette catégorie de coliformes. L'absorption d'une eau infectée de *coliformes fécaux* peut entraîner des maladies très graves et, dans certains cas, peut causer la mort. (Atamenia et Ziaya, 2020)

➤ **Les bactéries d'origine fécale (E. coli) :**

Escherichia coli (*E. coli*) est l'espèce type du genre *Escherichia* des entérobactéries. Appelée communément "*colibacille*" c.-à-d. "bacille à côlon". *E. coli* est un habitant de l'intestin et les selles des animaux et des reptiles à sang chaud. (Tenailon, 2010)

Cette espèce qui a fait l'objet d'un très grand nombre d'études constitue le modèle des bacilles à Gram- aérobies. La plupart des *E. coli* se multiplient rapidement (18 à 24 h) sur les milieux habituels. Les colonies ont en moyenne 2 mm de diamètre. (Boubrit et Boussad, 2007)

Escherichia coli est sans doute le plus spécifique de tous les germes de contamination fécale. Le terme « *Escherichia coli* présumé » correspond à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C et ont des caractères biochimiques Propres à cette espèce. (Bourgeois, 1996)

L'origine fécale de *E. coli* est incontestable et sa nature omniprésente peu probable, ce qui valide son rôle précis d'organisme indicateur de contamination tant dans les eaux naturelles que traitées. (Brasilia, 2013).

➤ **Streptocoques fécaux :**

Sous la dénomination générale de «*Streptocoques fécaux*», il faut entendre l'ensemble des streptocoques possédant une substance antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield. (Rodier, 2005)

Sont des bactéries sphériques groupées en paires ou en chaîne, Gram positif, catalase négatif et anaérobies facultatives. Ce groupe est divisé en deux sous-groupes : *Enterococcus* et *streptococcus*. (Berrouane. et Khoumeri, 2018)

Ils sont peu utilisés comme indicateur de l'efficacité du traitement car ils sont simplement plus résistant au désinfectant que les coliformes et les autres entérobactéries pathogènes. (Bengarimia, 2016)

➤ **Salmonelles :**

Les Salmonelles appartiennent à la famille des Entérobacteriaceae, bacille à Gram négatif, anaérobie facultatif, habituellement mobiles grâce à une ciliature péritriche, mais des mutants immobiles peuvent exister. (Bourgeois.et Mescle, 1996)

Les sérotypes adaptés à l'homme sont : *Salmonella. Typhi* et Sérotypes *S. paratyphi A* et *S. Sendai*, responsables de la fièvre typhoïde humaine. Les Salmonelles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pouvoir pathogène varient énormément. (Rodier, 2009)

1.5.3.3. Critères physico-chimique :

a) Les paramètres physiques :

➤ **Température :**

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres. (Philippo et al.,1981)

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gazes, et dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C. (Rodier, 1996)

➤ **Le potentiel d'hydrogène (pH) :**

Ce paramètre est en relation avec la concentration en ions hydrogène H^+ dans l'eau (Rejseck, 2002). Plus simplement, il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Les eaux naturelles sont des solutions ionisées, elle peut être acides, basiques ou neutres, leur pH est liée à la nature des terrains traversés et varie généralement entre 7.2 - 7.6. (Geujons, 1995)

Tableau I.1 : Classification des eaux d'après leur pH (Khrida, 1997)

pH < 5	Présence d'acides minéraux ou organiques dans l'eau naturelle
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte

➤ **La conductivité électrique :**

La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. Elle dépend de la concentration en ions et de la charge en nutriments. Elle permet donc d'estimer globalement la teneur en matières totales dissoutes dans l'eau. (Verma, 2010)

Tableau I.2 : Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité (Samake, 2002).

Conductivité en $\mu S/cm$	Minéralisation
Cond < 100	Eau de minéralisation très faible
100 ≤ Cond ≤ 200	Eau de minéralisation faible
200 ≤ Cond ≤ 400	Eau de minéralisation peu accentuée
400 ≤ Cond ≤ 600	Eau de minéralisation moyenne
600 ≤ Cond ≤ 1000	Eau de minéralisation importante
Cond ≥ 1000	Eau de minéralisation excessive

b) les paramètres chimiques indispensables :**➤ La dureté**

La dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) correspond à la somme des concentrations en cations Ca^{2+} et Mg^{2+} à l'exception des alcalins (Ledler, 1986).

- le calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Est un composant majeur de la dureté totale de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure etc. Les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/L, les eaux qui dépassent les 500 mg/L, présente de sérieux inconvénient pour les usages domestique et pour l'alimentation des chaudières. (Khelili et Lazali, 2015)

- le magnésium

Le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium. Le Magnésium peut avoir deux gains : Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique, la dissolution du MgSO_4 des terrains gypseux. (Sahraoui, 2015)

➤ L'alcalinité :**- Titre alcalimétrique simple (TA) :**

Permet de connaître la teneur en hydroxyde, la moitié de la teneur en carbonate, un tiers environ du phosphate présent et la teneur en bicarbonate, son dosage est réalisé par un acide fort en présence d'un indicateur coloré. (Chouafa et al., 2022)

- Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le titre alcalimétrique complet mesure la teneur de l'eau en alcalin libre et en carbonate caustique. Le TAC est un indicateur de pouvoir tampon de l'eau face aux substances acides. Il existe une relation entre le pH et le TAC, en pratique pour une eau dont le pH est inférieur à 8,3, le TAC correspond à la concentration des ions bicarbonates HCO_3^- . (Chouafa et al., 2022)

➤ Les chlorures :

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

➤ **Les sulfates :**

Le sulfate qui se dissout dans l'eau provient de certains minéraux en particulier du gypse, où apparaît à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux. La limite supérieure admise dans l'eau potable est 250 mg/l. (Kemmer, 1984)

➤ **L'aluminium :**

L'aluminium est présent dans les eaux naturelles sous forme de micropoussières, de 0 particules d'argiles insolubles en suspension, de sels soluble et insolubles. (Rosin *et al.*, 1990)

Sa présence dans l'eau potable provient essentiellement de l'utilisation des sels comme l'alune ou le chlorure de poly aluminium en guise de coagulant dans les stations de traitement de l'eau potable pour éliminer les composés organiques, les micro-organismes et les particules. (Hasani, 2015)

➤ **Sodium :**

En raison de sa solubilité, le sodium est un élément fréquemment du pH de l'eau. Les ions (CO_3^-) ne sont présents en concentration mesurable que dans les eaux dont le pH est supérieur à 8 ; tandis que les ions (HCO_3^-) constituent la forme la plus abondante sous laquelle on trouve le carbone minéral. (Nedjimi, 2006 ; Rieu, 1981). D'autre part la présence des HCO_3^- est liée à la nature lithologique des terrains traversés. (Taha Houcine, 2002 ; Kirda, 1997)

➤ **Potassium :**

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), ainsi que les argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques. (Bouabdallah, 2015)

1.5.3.4. Les paramètres Chimiques indésirables :

➤ **l'ammonium (Azote ammoniacal) :**

Dans l'eau, L'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes ; l'ion ammonium (NH_4^+) et la seconde non dissociée communément appelée ammoniacque (NH_3). (Gaujour, 1995)

En ce qui concerne la toxicité de l'ammoniacque, il est reconnu que ce n'est pas la forme ammoniacque ionisée qui est toxique, mais celle non ionisée dont la proportion dépend du pH et de la température. (Rodier, 1996).

➤ **les phosphates (Ortho phosphates) :**

L'ion ortho phosphate (PO_4^{3-}) est la forme la plus abondante des phosphates dans l'eau, sa présence dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle : décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux ou due aussi au rejet industriels, engrais (pesticides...etc.) et domestiques (poly-phosphate des détergents). (Nardi, 2009). En

l'absence d'apport d'oxygène, les phosphates n'existent qu'à l'état de traces dans les eaux naturelles, leur introduction dans les eaux de surface (rivières, lacs) se fait par les eaux usées dont l'épuration est souvent insuffisante. (Berrahal, 2018)

➤ **les nitrates :**

Les nitrates représente le stade finale de l'oxydation de l'azote, elles proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites. De ce fait les nitrates constituent la forme de l'azote au degré d'oxydation le plus élevée. (Akil et al., 2014)

➤ **les nitrites :**

Le nitrite provient d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, d'une nitrification incomplète ou de la réduction du nitrate sous l'influence de la nitrification. L'eau contenant du nitrite est considérée comme suspecte car elle est souvent associée à une détérioration de la qualité microbienne. (Rodier, 1976)

➤ **les métaux lourds**

Certains éléments sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel mais sont apportés par les divers rejets. La dose dangereuse est difficile à fixer car la toxicité de ces éléments est surtout d'origine cumulative. Les principaux d'entre eux sont : argent, cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ...etc. (Ransom, 1998)

I.6. Eau, Pollution et maladies :

I.6.1. Généralité sur la pollution de l'eau :

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

I.6.2. Origines de la pollution :

Selon l'origine des substances polluantes, on a quatre catégories de pollution à distinguer (Gaujous, 1995).

I.6.2.1. Pollution Domestique :

Pollution d'origine domestique sont généralement les rejets des eaux usées domestiques, les dépôts d'ordures ménagères et les matières fécales qui contribuent à la pollution du milieu récepteur. (Roques, 1979)

I.6.2.2. Pollution Industrielle :

Le développement industriel a apporté pour l'Homme de grands progrès dans tous les domaines, mais depuis quelques années, on se rend compte de plus en plus qu'un développement industriel non maîtrisé présente les aspects négatifs, ils produisent en particuliers plusieurs formes de pollution qui peuvent menacer la santé des populations et perturber l'équilibre naturelle. (Dgrement, 1989)

I.6.2.3. Pollution agricole :

Pollution d'origine agricole est causée principalement par l'utilisation irrationnelle et intensive des engrais chimiques et pesticides qui contribuent à la dégradation de la qualité d'eau. (Roques, 1979)

I.6.2.4. Pollution naturelle :

Certains phénomènes naturels sont à l'origine de la pollution des eaux telles qu'une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, un contact avec des filons géologiques et les pluies acides. (Gaujous, 1995)

I.6.3. Pollution des eaux souterraines :

La plupart des contaminations des eaux souterraines est due à l'activité humaine. La contamination humaine des eaux souterraines peut être liée à l'évacuation des déchets d'une manière directe (systèmes privés d'évacuation d'eaux d'égout, élimination des déchets solides, eau usagée municipale, retenue d'eau usagée, propagation du cambouis dans la terre, formation de saumure dû à certaines industries de pétrole, élimination des eaux usées, les déchets radioactifs) ou de manière indirecte (accidents, certaines activités agricoles, exploitation, routes dégivrées, pluies acides, mauvais entretien des puits, sel de route). [8]

I.6.4. Les eaux et les maladies :

L'eau peut aussi être une source de maladies du fait de sa contamination par les déchets ménagers, industriels, agricoles, et divers déchets organiques. (OMS, 2003)

- ✓ A court terme lorsque les sources de pollution sont urbaines, il s'agit du déversement incontrôlé de teinture, des eaux domestiques Il peut arriver que ces eaux soient évacuées vers des puisards qui sont en communication directe avec la nappe.
- ✓ A moyen terme lorsque les sources de pollution sont industrielles Il peut s'agir des industries polluantes par leurs déchets

- ✓ A long terme avec le développement agricole, les produits utilisés dans le but d'améliorer les rendements agricoles. On peut citer : les engrais, les pesticides.... etc. (Craaq, 2003)
- La mauvaise gestion des eaux souterraines polluées peut causer un multiple nombre de maladie. (Bekkouche et al, 2014)

I.6.4.1. Maladies à transmission hydrique (M. T. H) :

Les maladies à transmission hydrique (MTH), continuent à faire des ravages. Ces pathologies sont désormais considérées comme un problème de santé publique. Une eau polluée pourrait être à l'origine de graves maladies.

Parmi les infections à transmission hydrique que l'on retrouve en Algérie, on peut citer : la fièvre typhoïde, le choléra, les hépatites infectieuses, les dysenteries, etc. Il est clair que les changements climatiques ainsi que le mode de gestion de l'eau sont en étroite relation avec l'ampleur des maladies à transmission hydrique. (Ganin et Chouvin, 2003)

Tableau I.3 : Principales maladies d'origine bactériennes.

Maladies	Manifestation	Contamination	Références
Choléra	<ul style="list-style-type: none"> - Diarrhée - vomissement - déshydratation - anurie - crampes musculaires 	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales.	Villaginès, 2003
Fièvre typhoïde et paratyphoïde	<ul style="list-style-type: none"> - Fièvre, céphalées - Diarrhées - Douleurs abdominales - Hémorragies intestinales - Collapsus cardiovasculaire - Atteintes hépatiques respiratoires et neurologiques. 	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales.	Villaginès, 2003
Hépatite Infectieuse	<ul style="list-style-type: none"> - fièvre - sensation de malaise - perte d'appétit ; - diarrhée - urines foncées. 	Voie digestive	OMS, 2008

CHAPITRE II :
GÉOLOGIE STRUCTURALE ET
LES NAPPES DU NORD DE
L'ALGÉRIE

II.1. Introduction à la Géologie Structurale du Nord de l'Algérie

Le nord de l'Algérie, également connu sous le nom de Tell, est une région géologiquement complexe caractérisée par une variété de formations géologiques et de structures tectoniques. Cette région se situe le long de la marge sud de la Méditerranée et fait partie de la chaîne alpine, résultant de la collision entre la plaque africaine et la plaque eurasiennne. (Durand Delga, 1969)

II.1.2. Structures Géologiques Principales

II.1.2.1. Chaînes Telliennes et Atlas :

- Les chaînes telliennes, situées le long de la côte méditerranéenne, sont composées principalement de roches sédimentaires, y compris des calcaires, des marls et des grès. [9]
- L'Atlas tellien, se prolonge vers l'intérieur des terres et comprend des montagnes telles que les monts de Kabylie et l'Atlas blidéen. [9]

II.1.2.2. Fossés et Bassins :

Les fossés et bassins sont des dépressions créées par des mouvements tectoniques. Le bassin de Chef et le fossé de Tizi Ouzou sont des exemples notables. Ces structures sont souvent associées à des failles actives qui influencent la sismicité de la région. (Savornin. 1920)

II.1.2.3. Failles et Plis :

- Le réseau de failles du nord de l'Algérie comprend des failles normales, des failles inverses et des failles de décrochement. (Tchalenko, 1970)
- Les plis sont également omniprésents, formant des anticlinaux et des synclinaux qui contrôlent l'orientation des nappes et des ressources en eau souterraines. (Tchalenko, 1970)

II.2. les nappes

II.2.1. les types des nappes

II.2.1.1. Nappes Phréatiques

Ces nappes sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte. Il n'y a pas de toit du réservoir et la pluie peut les alimenter par toute la surface. Certaines nappes libres sont constituées par des plateaux calcaires où les vides sont surtout des fissures élargies

par la dissolution, parfois jusqu'à la taille de gouffres et de cavernes. Ils peuvent donner lieu à de grosses sources (Bouguetit et Benhamida, 2015).

Une nappe phréatique affleure parfois à la surface du sol sous la forme de source ou bien peut être captée au moyen de puits. (Arjen, 2010)

II.2.1.2. Nappes alluviales :

Elle contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse. (OFEFP, 2003)

II.2.1.3. Nappe karstique :

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduits les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains. (Mourey et Vernoux, 2000)

II.2.1.4. Nappes captives :

Elles sont constituées à peu près des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens. (Bouguetit et Benhamida, 2015)

II.2.2. Recharge et Dynamique des nappes :

- La recharge des nappes dépend des précipitations, de la géomorphologie et des caractéristiques des sols.
- La dynamique des nappes est influencée par la porosité et la perméabilité des formations géologiques. Les failles peuvent agir comme des barrières ou des conduits pour l'écoulement des eaux souterraines. . (Savornin. 1920)

II.2.3. Gestion et Problèmes :

La gestion des nappes phréatiques est essentielle pour prévenir la surexploitation et la pollution. Le pompage excessif peut entraîner l'abaissement des niveaux d'eau et la salinisation

des aquifères côtiers. La contamination par les activités agricoles et industrielles représente également une menace pour la qualité de l'eau souterraine. (EEC-EDIL1996)

II.3. L'hydrogéologie

II.3.1. Nappe tellienne :

La nappe tellienne est une formation géologique importante en Algérie, elle se trouve principalement dans la région du Tell qui s'étend le long de la côte méditerranéenne (figure II.1). Cette nappe est composée principalement de roches sédimentaires, incluant des calcaires, des marnes, des schistes, et parfois des flyschs. (Vila, 1980)

Les nappes telliennes jouent un rôle crucial dans la recharge des aquifères. Les calcaires et les marnes fracturés peuvent constituer des réservoirs d'eau souterraine importants. La région du Tell est connue pour ses ressources en eau, avec des nappes phréatiques alimentées par les précipitations abondantes de la région. (Vila, 1980)

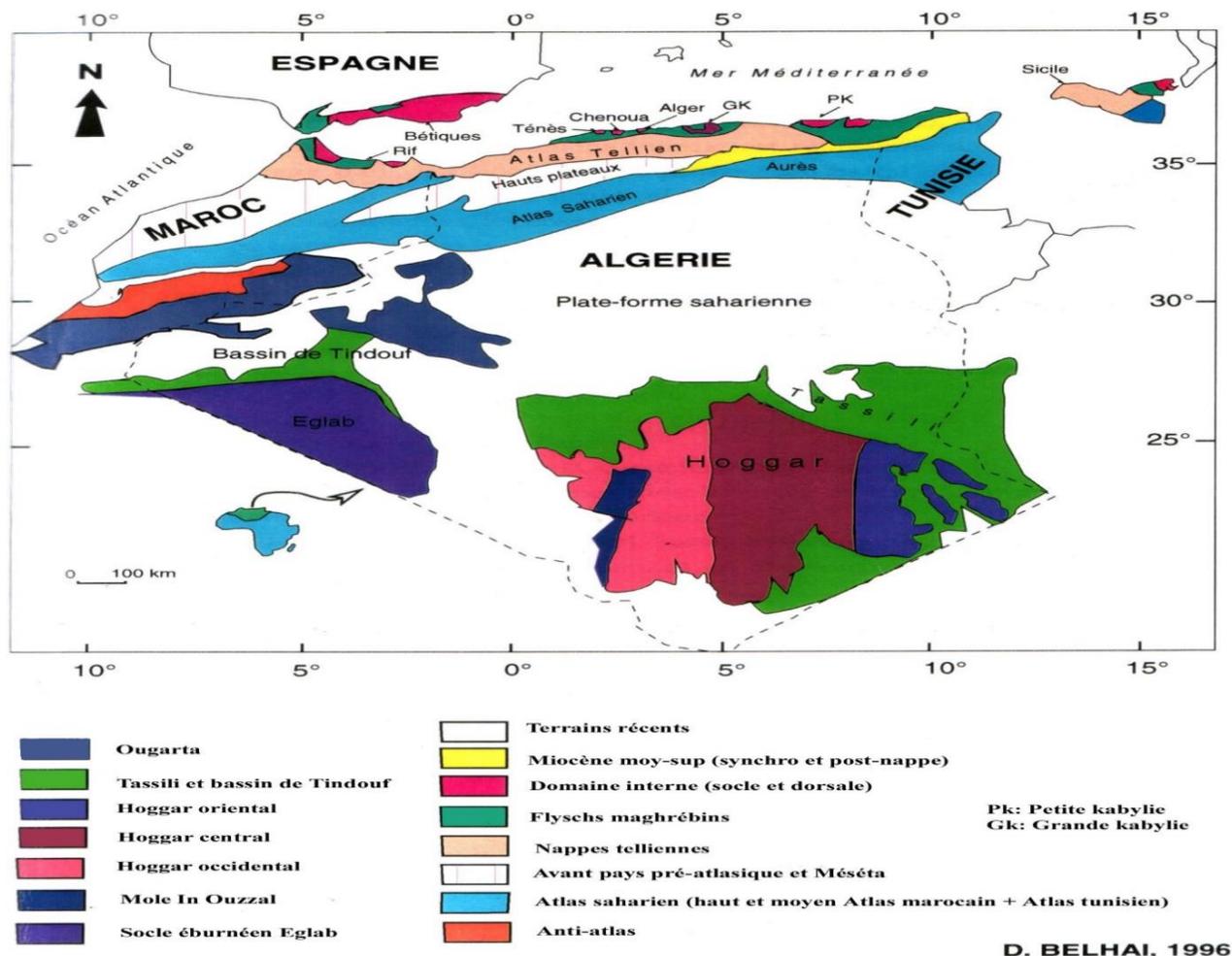


Figure II.1 : Carte géologique de la nappe tellienne

II.3.2. Les aquifères :

Un aquifère est un réservoir d'eau souterrain (Figure 1.3), suffisamment poreux et suffisamment perméable pour être considéré comme une réserve exploitable par l'homme. Il contient une nappe d'eaux douces. (BARRE,1998)

II.3.2.1. Aquifère à nappe libre :

Un aquifère à nappe libre est une nappe souterraine dont la surface supérieure est à pression atmosphérique : c'est la surface piézométrique. Le niveau de l'eau dans un forage indique la surface piézométrique ou surface à pression atmosphérique. Nappe dont la surface piézométrique est à la pression atmosphérique (surface libre). (B.R.G.M,1982)

II.3.2.2. Aquifère à nappe captive :

La nappe captive est une nappe ou partie d'une nappe soumise en tous points à une pression supérieure à la pression atmosphérique, et dont la surface piézométrique est supérieure à la cote du toit de l'aquifère, à couverture moins perméable, qui la contient. Selon les conditions morphologiques et géologiques, une nappe peut être libre (système aquifère « libre »), captive (système aquifère « captif »), être libre puis devenir captive ou inversement être captive puis devenir localement libre par dénoyage de l'aquifère. (BARRE,1998)

II.4. Les formations géologiques dans la région :

Du point de vue structural, la partie Sud du périmètre d'étude, est une structure très favorable à constituer un aquifère important des eaux souterraines.

Cette avantage est accompli par des formations lithologiques perméables de type fissuré et interstitielle qui sont mentionnées comme suite : (Boureghdad, 2018)

a) *Calcaires et dolomies du Turonien :*

Les calcaires et dolomies du Turonien sont des formations géologiques notables qui se sont déposées pendant le Turonien, En Algérie, les formations calcaires et dolomitiques du Turonien sont présentes dans diverses régions, y compris le bassin du Hodna, ils Constituent un bon aquifère, Très fissuré, et localisent proche de la charnière de la chaine de Dj. Maadid, (Ouled Brahem et Ras El Oued pour la Daïra de Ras El Oued)

Ces formations constituant l'aquifère la plus exploitée par des nombreux forages et sources, et naissent une protection orientée.

b) Emscherien inférieur :

L'Emscherien inférieur est une subdivision stratigraphique spécifique de l'ère géologique du Dévonien, elle est composée de roches sédimentaires telles que des calcaires, des schistes et parfois des dolomies. Les calcaires peuvent contenir de nombreux fossiles marins, ce qui est caractéristique des environnements de récifs.

Ne constitue qu'un aquifère médiocre étant donné que les bancs de calcaires sont très peu épais.

c) Maëstrichtien :

Constituent un bon aquifère exploité par des forages de 30 L/s, Les eaux souterraines de ces formations sont drainées par un réseau des failles parallèles N-O S-E, l'origine des sources comme Rabta, Ouled Hamdan, Charchar et Chania.

d) Miocène :

Les formations du Miocène sont variées, comprenant des sédiments marins comme les calcaires et les marnes, ainsi que des sédiments continentaux tels que les grès, les argiles et les conglomérats. Des formations transgressives, moyennement perméables, peu exploitées et de faible épaisseur entre 10 m et 60 m, surmontent les Marnes de Crétacé inférieur.

e) Quaternaire :

Les dépôts quaternaires incluent une grande variété de sédiments, notamment des tills glaciaires, des sables, des graviers, des loëss, et des dépôts lacustres et marins. Des Alluvions peu épaisses couvrent des surfaces très restreintes et des lits d'Oueds, avec une épaisseur variable entre 10 m et 30 à 50 m, exploités par des petits forages et puits privés.

II.5. Localisation géographique du bassin :

En nord Algérie on compte 21 grands bassins versant selon la carte des grands bassins versants et le bassin de Hodna est l'une de ses bassins. Parmi les sous Bassins lesquels compose le grand bassin Hodna on trouve le sous bassin versant d'Oued El k'sob qui situe aux confins Nord de grand bassin de Hodna (figure II.2) sur une superficie de 1456 km². (Kieken, 1974-1975)

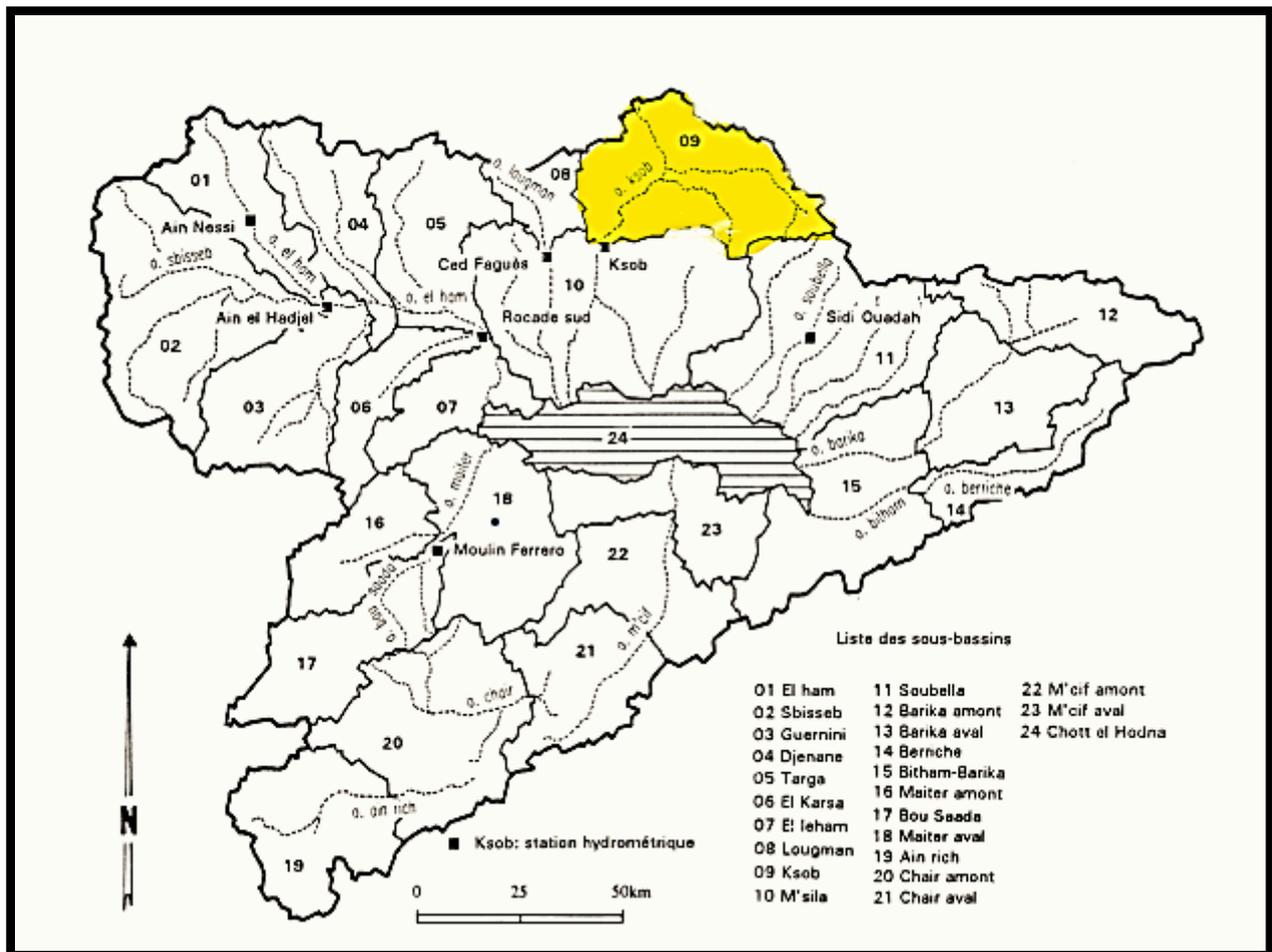


Figure II.2 : le sous bassin du k'sob dans le bassin versant "Hodna" [10]

En conclusion, la géologie structurale et les nappes phréatiques du nord de l'Algérie ont une importance économique et environnementale considérable. Elles fournissent de l'eau potable, soutiennent l'agriculture et l'industrie, et influencent la planification urbaine et le développement des infrastructures. En conclusion, la compréhension de la géologie structurale et des nappes phréatiques est essentielle pour la gestion durable des ressources en eau et le développement économique du nord de l'Algérie. Nous devons continuer à investir dans la recherche et la surveillance géologique pour assurer un avenir prospère et durable pour notre région.

CHAPITRE III :
RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. Matériels et méthodes

III.1.1. Présentation de la zone d'étude

Notre étude a été réalisée dans la wilaya de Bordj Bou-Argeridj, plus précisément dans la daïra de Ras El Oued, à proximité de la ferme Ben Haroun, sur une distance de 4 km allant du premier au dernier point (figure III.1).

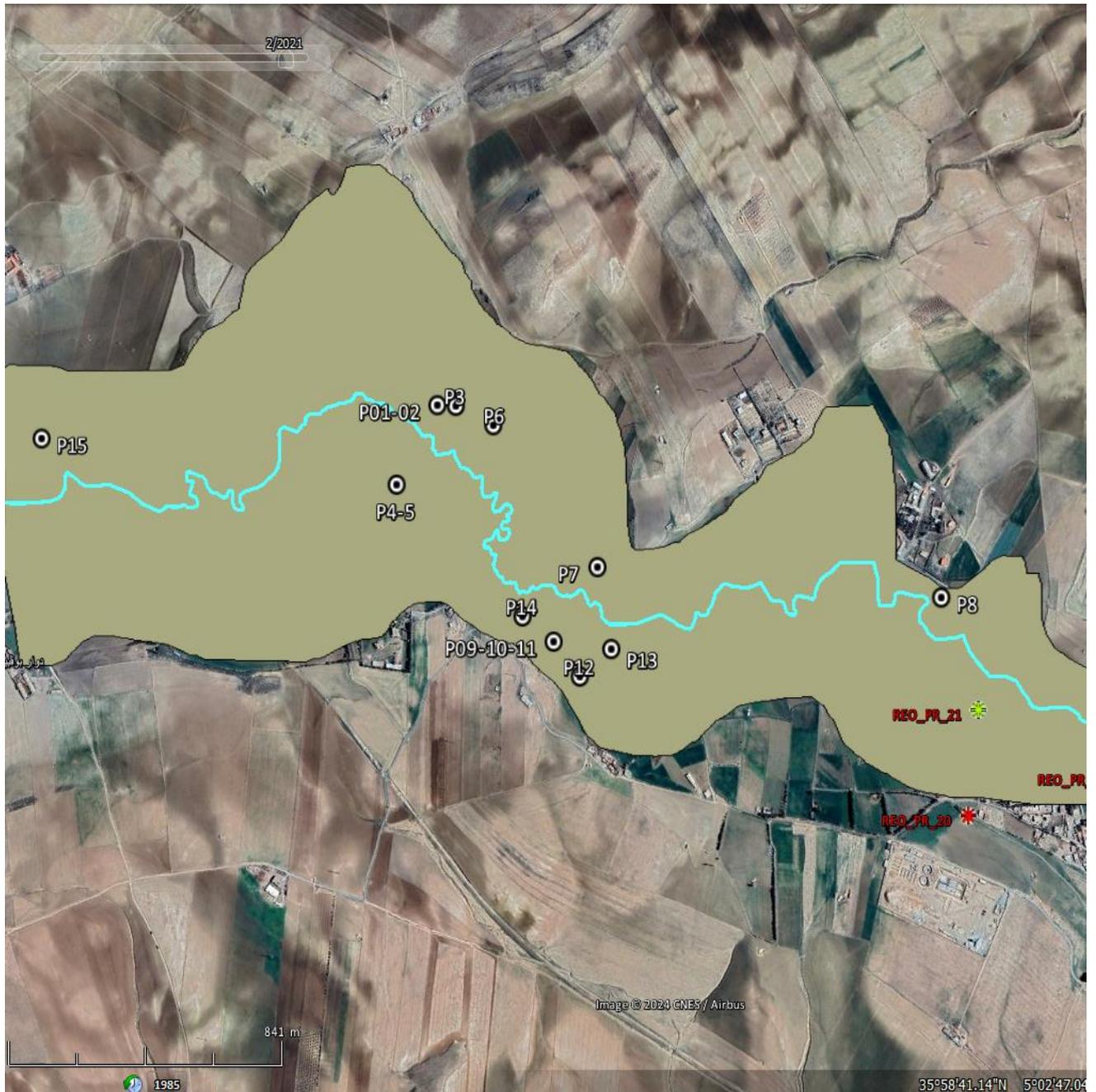


Figure III.1 : Carte de position des points étudiée

III.1.2. Les caractéristiques géologiques et hydrogéologie de la zone d'étude :

La nappe alluviale, qui se forme par l'accumulation de sédiments transportés par les cours d'eau, constitue une ressource en eau précieuse. Ce type de nappe est généralement associé à des aquifères à nappe libre, où la surface de l'eau souterraine est en contact direct avec l'atmosphère à travers les pores du sol.

Les aquifères à nappe libre sont particulièrement sensibles aux variations climatiques et aux activités humaines, en raison de leur faible profondeur et de la perméabilité élevée des matériaux alluviaux. Cette caractéristique rend également ces aquifères extrêmement vulnérables à la pollution.

En effet, les contaminants peuvent facilement pénétrer et se propager dans la nappe, compromettant ainsi la qualité de l'eau. Les sources potentielles de pollution incluent les produits chimiques agricoles, les rejets industriels et les eaux usées domestiques, qui peuvent tous rapidement atteindre et contaminer ces aquifères. Par conséquent, la protection et la gestion durable des nappes alluviales sont cruciales pour préserver cette ressource vitale.

III.1.2.1. La vulnérabilité de la nappe

La vulnérabilité de la nappe à la pollution est un enjeu majeur pour la préservation des ressources en eau souterraine. Une meilleure compréhension de ce phénomène permet de mettre en place des mesures de protection et de gestion adaptées afin de prévenir la dégradation de la qualité de l'eau.

En utilisant des méthodes telles que la méthode GOD, il est possible d'identifier les zones les plus sensibles et de prioriser les actions de préservation de la qualité des eaux souterraines.

III.1.2.2. La méthode GOD pour évaluer la vulnérabilité

La méthode GOD est un outil essentiel pour évaluer la vulnérabilité à la pollution des aquifères. Elle se base sur le calcul de l'Indice GOD, permettant ainsi de déterminer le niveau de risque de contamination de la nappe phréatique.

Donc, l'indice de classification de la vulnérabilité à la pollution selon la méthode GOD (Groundwater occurrence, Overall aquifer class, Depth to groundwater) est un outil utile pour évaluer le risque de contamination des eaux souterraines dans une région donnée.

La méthode GOD calcule l'indice de vulnérabilité (IG) en multipliant ces trois paramètres :

$$IG = G \times O \times D$$

- G (Groundwater occurrence) : La présence des eaux souterraines dans la zone d'étude.
- O (Overall aquifer class) : La classe globale de l'aquifère dans cette zone.
- D (Depth to groundwater) : La profondeur à laquelle se trouve la nappe phréatique.

Les valeurs que nous avons trouvées pour ces paramètres sont :

- G = 1.0
- O = 0.7
- D = 0.8

Dans notre cas :

$$IG = 1.0 \times 0.7 \times 0.8 = 0.56$$

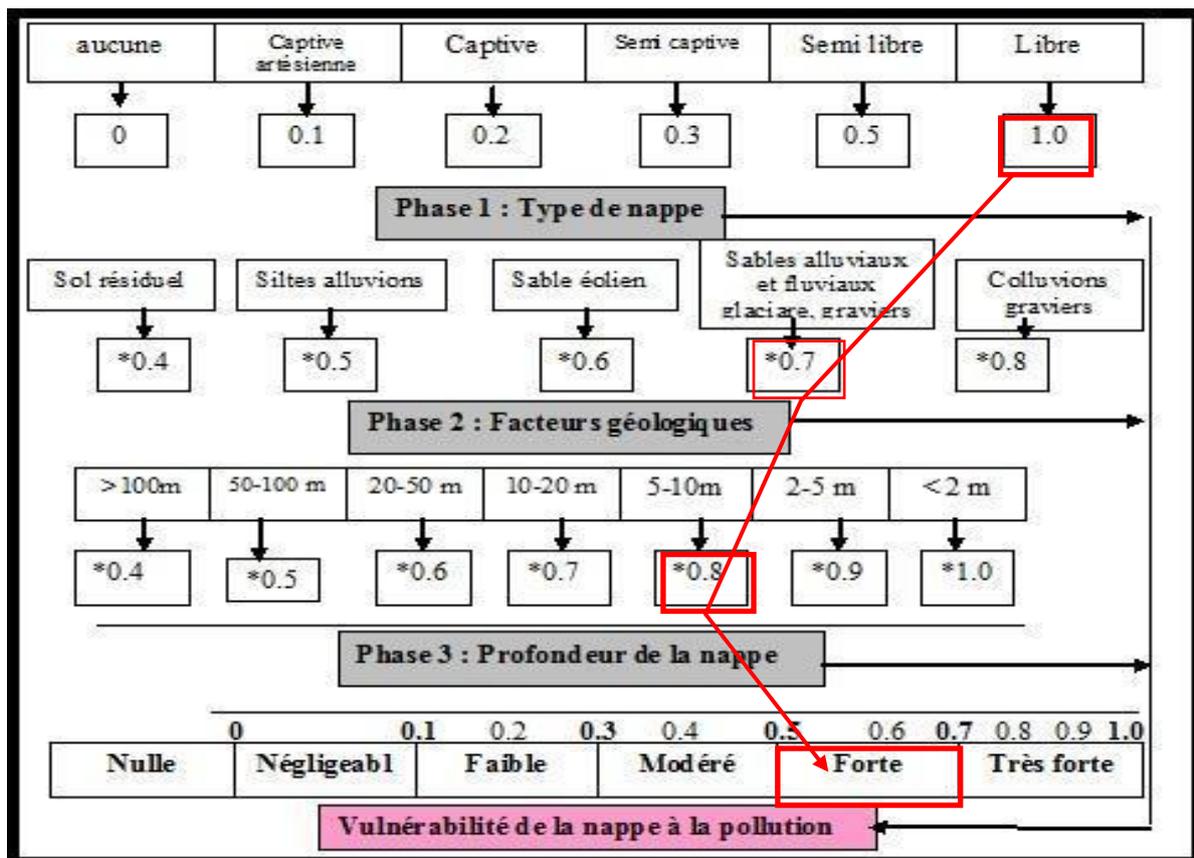


Figure III.2 : Méthode GOD

Selon la figure III.2, la classification de l'indice de vulnérabilité GOD est comme suit :

0 à 0.1 : Vulnérabilité très faible

0.1 à 0.3 : Vulnérabilité faible

0.3 à 0.5 : Vulnérabilité moyenne

0.5 à 0.7 : Vulnérabilité forte

0.7 à 1.0 : Vulnérabilité très forte

Pour évaluer la vulnérabilité des aquifères à la pollution, nous avons calculé l'indice GOD, qui nous permet de déterminer le niveau de risque de contamination de la nappe phréatique.

Dans notre cas, nous avons trouvé un IG de 0,56, indiquant que notre zone d'étude se situe dans la catégorie de « vulnérabilité forte ». Cela signifie qu'il existe un risque significatif de pollution.

III.1.3. La procédure de prélèvement :

Le prélèvement des eaux des puits pour analyse est une étape cruciale dans l'évaluation de la qualité de l'eau souterraine. Cette procédure permet de recueillir des données précises sur divers paramètres physico-chimiques et microbiologiques, indispensables pour identifier les niveaux de pollution et les tendances saisonnières ou annuelles.

Pour déterminer des moyennes fiables, les prélèvements doivent être effectués régulièrement et sur une période suffisamment longue. L'emplacement des puits joue également un rôle clé dans l'interprétation des résultats, car les caractéristiques géologiques et hydrologiques varient d'un site à l'autre.

En intégrant les données de plusieurs points de prélèvement situés dans la zone d'étude (tableau III.1), il est possible d'obtenir une vision globale et représentative de la qualité de l'eau dans une région donnée, ce qui est essentiel pour la gestion durable des ressources en eau.

Tableau III.1 : Tableau présentatif des caractéristiques des puits étudiés

	Les coordonnées		Profondeur (m)	Niveau statique (m)	La date et l'heure de prélèvement N°1	La date et l'heure de prélèvement N°2
	x	y				
P1	5°01'54"E	35°58'56"N	9 m	3,73	09 /03/2024 à 10 :16	16 /04/2024 à 11 :49
P2	5°01'54"E	35°58'56"N	9 m	4,20	09 /03/2024 à 10 :18	16 /04/2024 à 11 :51
P3	5°01'55"E	35°58'54"N	10 m	2,90	09 /03/2024 à 10 :26	16 /04/2024 à 11 :55
P4	5°01'44"E	35°58'55"N	12 m	2,80	09 /03/2024 à 10 :37	16 /04/2024 à 12 :02
P5	5°01'44"E	35°58'56"N	10 m	2,73	09 /03/2024 à 10 :40	16 /04/2024 à 12 :04
P6	5°01'56"E	35°58'50"N	8 m	4,70	09 /03/2024 à 10 :51	16 /04/2024 à 12 :13
P7	5°01'51"E	35°58'35"N	9 m	2,67	09 /03/2024 à 11 :00	16 /04/2024 à 12 :21
P8	5°02'13"E	35°58'06"N	11 m	2,80	09 /03/2024 à 11 :18	16 /04/2024 à 12 :30
P09	5°01'41"E	35°58'34"N	10 m	2,70	09 /03/2024 à 13 :07	16 /04/2024 à 13 :03
P10	5°01'41"E	35°58'35"N	10 m	2,60	09 /03/2024 à 13 :09	16 /04/2024 à 13 :09
P11	5°01'41"E	35°58'34"N	12 m	3,10	09 /03/2024 à 13 :11	16 /04/2024 à 13 :11
P12	5°01'38"E	35°58'32"N	14 m	5,40	09 /03/2024 à 13 :16	16 /04/2024 à 13 :15
P13	5°01'39"E	35°58'32"N	8 m	2,45	09 /03/2024 à 13 :18	16 /04/2024 à 13 :17
P14	5°01'41"E	35°58'38"N	11 m	4,20	09 /03/2024 à 13 :27	16 /04/2024 à 13 :23
P15	5°01'22"E	35°59'27"N	12 m	3,84	09 /03/2024 à 14 :01	16 /04/2024 à 13 :35

III.1.4. Matériel et technique de prélèvement

Le prélèvement des eaux des puits pour analyse requiert l'utilisation de divers équipements spécialisés afin d'assurer la précision et la fiabilité des échantillons collectés.

- Un fil robuste et un seau sont utilisés pour puiser l'eau à différentes profondeurs du puits.

- Les échantillons sont ensuite transférés dans des bouteilles lavées et numérotées pour une identification et une traçabilité adéquates.
- Un thermomètre est employé sur place pour mesurer la température de l'eau, un paramètre crucial pour certaines analyses chimiques et biologiques.
- Pour les tests nécessitant une stérilité stricte, des flacons en verre stérilisé sont utilisés afin de prévenir toute contamination externe.
- Enfin, une glacière permet de transporter les échantillons en maintenant une température contrôlée, essentielle pour préserver l'intégrité des paramètres analytiques jusqu'à leur arrivée au laboratoire.

L'ensemble de ce matériel garantit que les échantillons d'eau collectés reflètent fidèlement les conditions du puits au moment du prélèvement, permettant des analyses précises et fiables.

III.1.5. Techniques et dates de prélèvement :

III.1.5.1. Physico-chimique :

L'échantillonnage a été réalisé le 9 mars 2024 et le 16 avril 2024 sur 15 puits, avec deux prélèvements effectués par puits. Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un fil et d'un petit seau, en abaissant ce dernier à une profondeur d'environ 0,5 mètre. Les échantillons d'eau destinés à l'analyse physico-chimique ont été recueillis dans des bouteilles en plastique de 1,5 litre, préalablement rincées deux à trois fois avec l'eau à analyser au moment du prélèvement.

Les bouteilles ont été remplies jusqu'au bord pour éviter l'apparition de bulles d'air, puis fermées rapidement et étiquetées avec le nom du puits ainsi que la date et l'heure du prélèvement. Nous avons également mesuré et relevé certaines données sur le terrain, présentées dans le tableau III.1.

III.1.5.2. Bactériologique :

L'échantillonnage a été réalisé le 13 mai 2024 dans les meilleures conditions de stérilité. Pour faciliter les prélèvements et éviter toute contamination, des flacons en verre propres et stérilisés à l'autoclave à 120°C pendant 15 minutes ont été utilisés. Au moment de l'échantillonnage, le bouchon du flacon a été retiré avec une main sous une flamme bleue d'un briquet. Les flacons ont ensuite été remplis en laissant un petit vide d'air pour permettre un mélange correct en les secouant.

Enfin, les flacons ont été rapidement fermés pour éviter toute contamination, puis étiquetés avec la date, l'heure et le nom du puits.

III.1.6. Transport et conservation :

Après l'étiquetage des flacons, ils ont été transmis sans retardement au laboratoire, où l'analyse a été effectuée dans un délai très court, inférieur à 3 heures. Il est impératif que l'analyse soit réalisée dans un délai ne dépassant pas les 24 heures, comme le recommande [Guiraud \(1980\)](#). La température de l'eau a été maintenue constante pendant le transport grâce à une boîte isotherme équipée d'éléments réfrigérants.

III.2. Analyses physico chimiques et bactériologiques :

Tableau III.2 : Méthodes analytiques de détermination des paramètres Physico-Chimiques et Bactériologiques des eaux. ([APHA, 2005](#) ; [AFNOR, 1994](#))

Paramètre		Méthode	Norme
Turbidité	(NTU)	Néphélométrique	SM 2130B
pH		Électrochimique	SM 4500-H + B
Conductivité	(μ S/cm)	Conductimétrique	SM 2510B
Dureté totale	(mg/L)	Titrimétrique	NFT 90-003
Dureté calcique	(mg/L)	Titrimétrique	NFT 90-016
Alcalinité totale	(mg/L)	Potentiométrique	ISO 9963-I
Alcalinité composite	(mg/L)	Potentiométrique	ISO 9963-I
Chlorure	(mg/L)	Argentimétrique	NFT 90-014
Nitrite	(mg/L)	Spectrométrie	NFT 90-013
Nitrate	(mg/L)	Spectrophotométrique	NFT 90-045
Germes totaux	UFC/mL	Dénombrement	NF T90-402
Coliformes fécaux	UFC/mL	Dénombrement	NF T90-414
Streptocoques	UFC/mL	Dénombrement	NF T90-411
Salmonelles	UFC/mL	Dénombrement	NF EN ISO 6579-1

Comme le montre le tableau III.2, les méthodes analytiques employées pour la mesure des paramètres physico-chimiques et bactériologiques mises sont essentiellement celles décrites dans les normes AFNOR et APHA. Les mesures du pH, de la conductivité et de la turbidité sont faites à l'aide d'un pH-mètre WTW instruments, d'un conductimètre Inolab modèle 7110 et d'un turbidimètre Livibond modèle TB300.

III.3. Résultats et discussions :

III.3.1. Physico chimique

➤ **Le pH :**

Le pH est l'un des paramètres les plus importants pour l'évaluation de la qualité de l'eau. La figure III.2 illustre les variations du pH observées au cours de notre étude. Selon cette figure, la majorité des échantillons analysés présentent un pH neutre, compris entre 7,23 et 7,93, à l'exception des puits P9 et P14, qui affichent des pH légèrement alcalins de 8,19 et 8,01 respectivement. Conformément aux normes de l'OMS pour l'eau potable, qui recommandent un pH compris entre 6,5 et 8,5, tous les échantillons de notre étude sont conformes et peuvent être consommés sans risque pour la santé humaine.

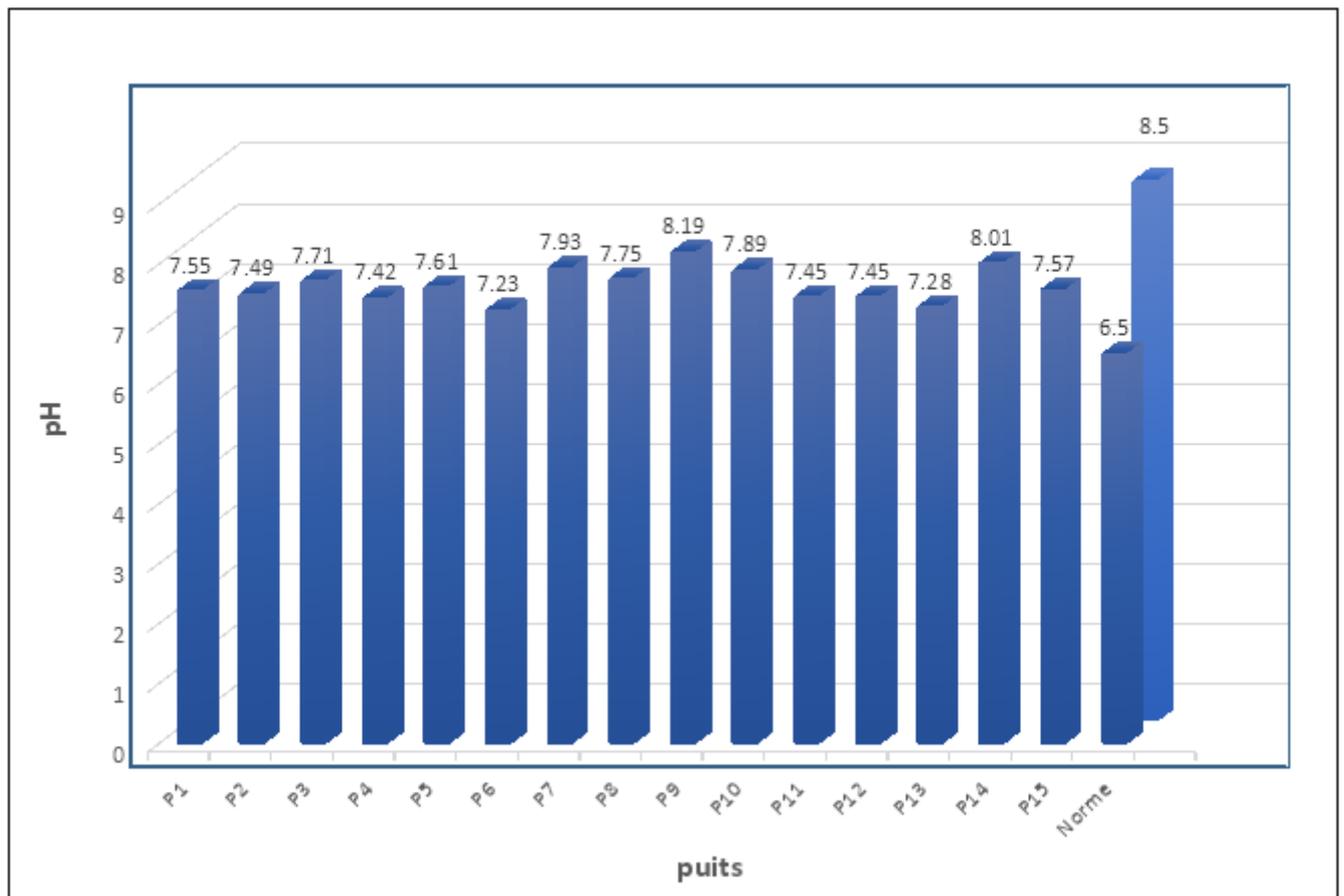


Figure III.3 : Résultats d'analyses de pH des puits

➤ **La conductivité :**

La figure III.3, qui présente les valeurs de la conductivité des différents puits analysés, montre que la conductivité varie entre 1170 et 2390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour tous les puits analysés. Il est à noter que les valeurs de la conductivité de l'eau des échantillons respectent la norme Algérienne, qui fixe la limite à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

D'autre part, on remarque que les puits P9, P10 et P11 sont situés très proches les uns des autres, mais des différences significatives ont été observées dans leurs valeurs de conductivité.

Dans les puits P9 et P10, la valeur de conductivité est très élevée par rapport au puits P11.

Cette différence pourrait être due à la présence d'une plante de roseaux à l'intérieur du puits P11., qui joue le rôle d'un facteur de diminution de la conductivité par l'absorption des sels minéraux, ce qui pourrait expliquer la diminution de sa valeur.

Il est important de prendre en compte ces variations de conductivité lors de l'analyse des données hydrogéologiques afin de mieux comprendre l'impact de facteurs environnementaux locaux sur les propriétés de l'eau souterraine.

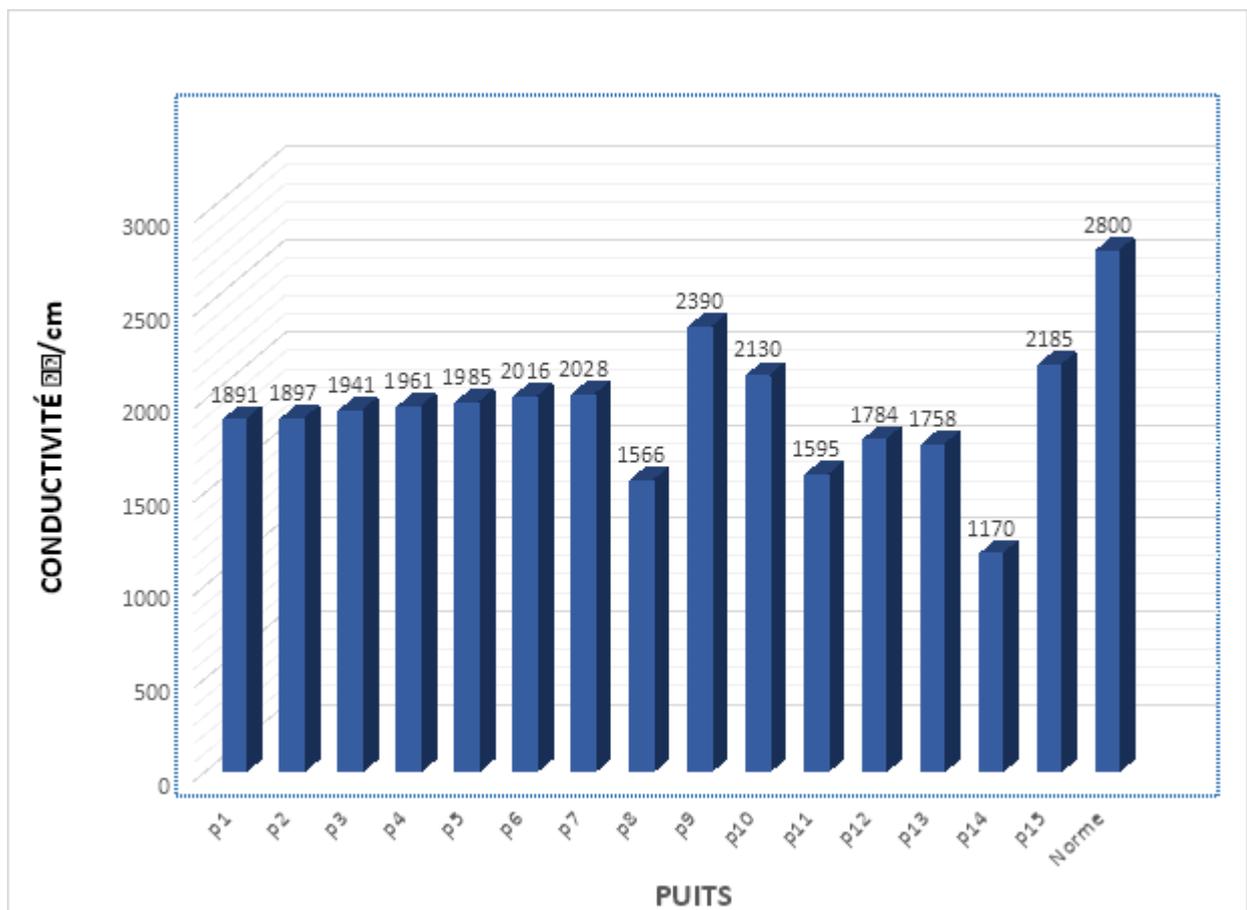


Figure III.4 : Résultats d'analyses de Conductivité des puits

➤ **La turbidité :**

Généralement la turbidité de l'eau est causée par la présence de matières en suspension ou de substances en solution telles que les minéraux (sable, argile, limon), les matières organiques (matières mortes ou végétaux en décomposition, plancton en suspension) et d'autres particules microscopiques qui empêchent le passage de la lumière dans l'eau (Rodier *et al.*, 2005 ; Hade, 2007). Les normes algériennes (JORA, 2011) recommandent une valeur limite de turbidité de 5 NTU. Dans notre étude, les valeurs mesurées avec le turbidimètre varient entre 2,93 NTU et 37,32 NTU. Nous remarquons que la majorité des échantillons présentent une turbidité élevée, dépassant les normes recommandées, à l'exception de quelques puits comme P09 et P13, dont les valeurs sont inférieures à la norme.

D'autre part, dans les puits P3, P8, P10 et P13, les valeurs de turbidité sont légèrement plus élevées que celles des autres puits. Cela peut être dû à l'utilisation des pompes dans les puits voisins, qui pourraient augmenter la turbidité. Il est également possible que des forages à proximité influencent la turbidité des puits en question, contribuant ainsi à ces variations.

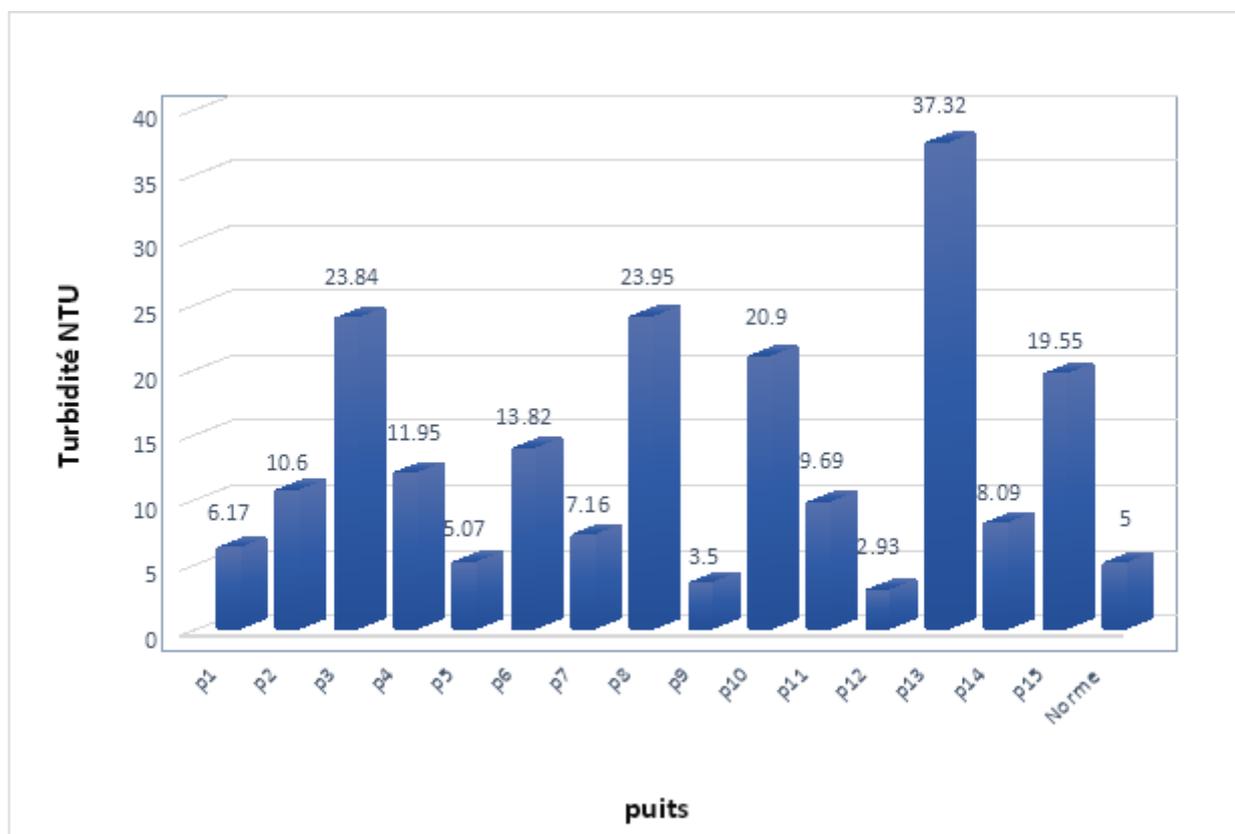


Figure III.5 : Résultats d'analyses de turbidité des puits

➤ **La dureté totale :**

La figure III.5 représente la dureté totale des 15 puits étudiés, avec des concentrations de TH variant entre 15,58 et 20,98. Ces valeurs indiquent que tous les échantillons correspondent à des eaux moyennement dures. Ce paramètre présente une grande variation, probablement liée à la nature lithologique de la formation aquifère (Ghazali et Zaid, 2013). Selon les caractéristiques géologiques de la zone d'étude, cette dureté peut être attribuée aux types de terrains, principalement calcaires ou gypseux, qui peuvent entraîner des niveaux de dureté élevés (Rodier *et al.*, 2005 ; Figarella et Leyral, 2002).

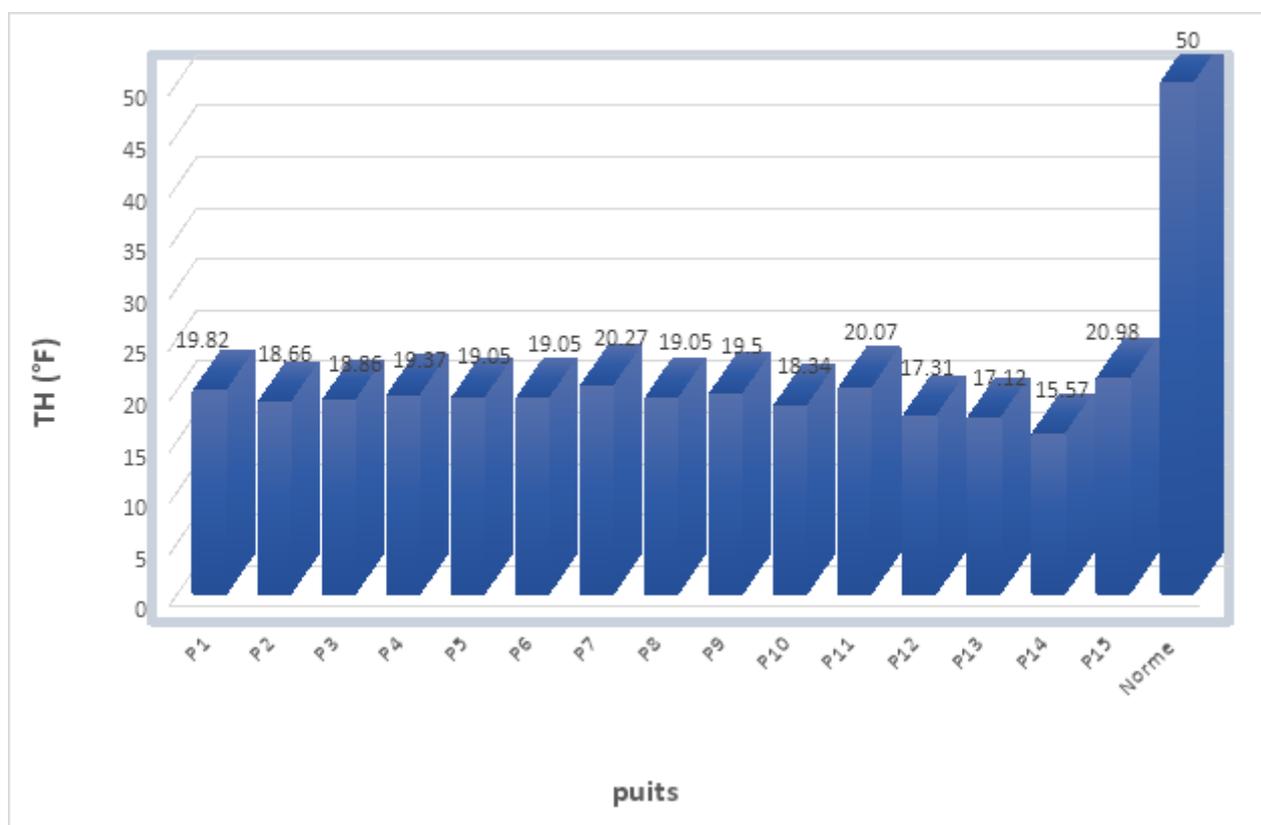


Figure III.6 : Résultats d'analyses de la Dureté totale des puits

➤ **La dureté calcique et magnésium :**

Il ressort de la figure III.6 que les valeurs des teneurs en calcium dans tous les puits effectué dans notre étude sont conformes à la norme algérienne, limitée à 50 °f. Nous pouvons classer ces eaux comme des eaux calciques en raison de leurs teneurs élevées en calcium. Ces valeurs dépendent essentiellement de la nature des terrains traversés (Queneau et Hubert, 2009).

Le processus d'altération des structures géologiques plus anciennes (Calcaire de Maëstrichtien) a conduit au transfert des particules fines de ces formations et déposées sous forme des couches sédimentaires exploitées par ces puits.

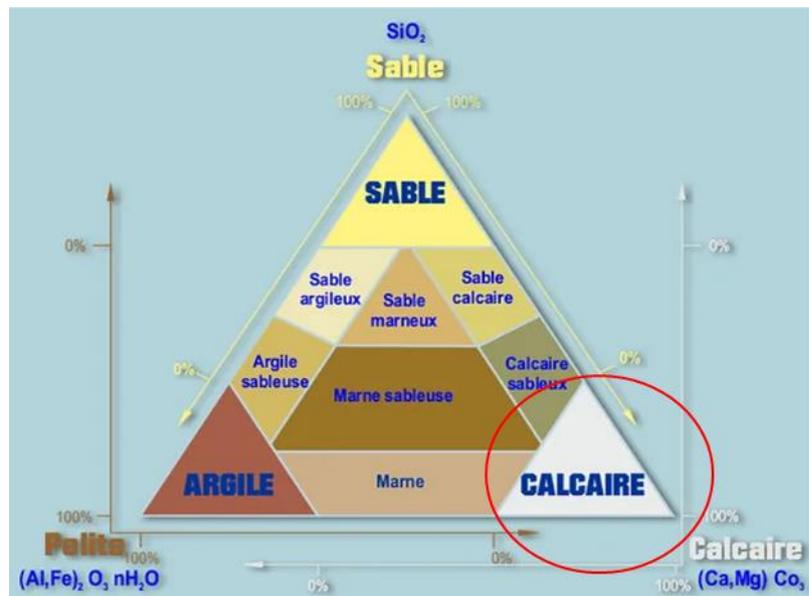


Figure III.7 : Classification physicochimique des sédiments [10]

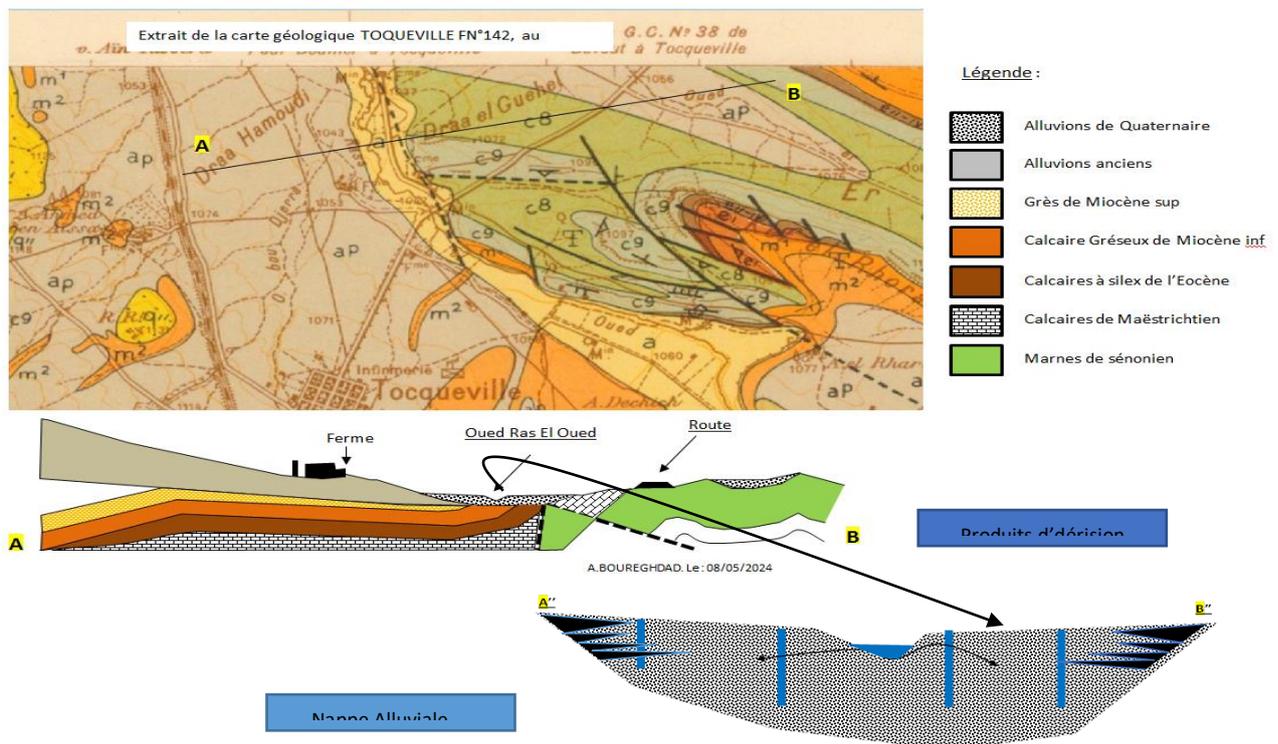


Figure III.8 : Coupe géologique schématique transversale explicative dans la zone d'étude. (DRE, BBA)

Parmi les signes qui montrent la validité de cette hypothèse, ce que ce paramètre apparaît dans des puits proches des rives de la vallée d'oued. Figure :

Il est peu probable que cet élément soit transféré directement vers les puits, car ces puits sont de faible profondeur et n'atteignent pas le niveau des couches mères. La pollution peut aussi dans certaines mesures, augmenter la dureté de l'eau. C'est le cas dans certaines régions où le chlorure de calcium est utilisé massivement pour faire fondre la neige.

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature et peut donner un goût désagréable à l'eau (Rodier *et al.*, 2009). Selon les normes algériennes de l'eau potable, la teneur en magnésium est limitée à 150 mg/L, ce qui correspond à 28,32 °f (JORA, 2011). Dans notre étude, les valeurs enregistrées dans la figure III.6 la majorité des puits respectent cette norme, à l'exception des puits P7 et P9, qui la dépassent avec des valeurs respectives de 35,8 et 29,26 mg/L.

Selon Nouayti *et al.* (2015), la présence de magnésium est souvent liée au contact des eaux avec des roches calcaires et dolomitiques. Par ailleurs, selon les études de Tazi *et al.*, (2001), les concentrations élevées d'ions Mg^{2+} peuvent également résulter de la contamination des eaux par des rejets industriels.

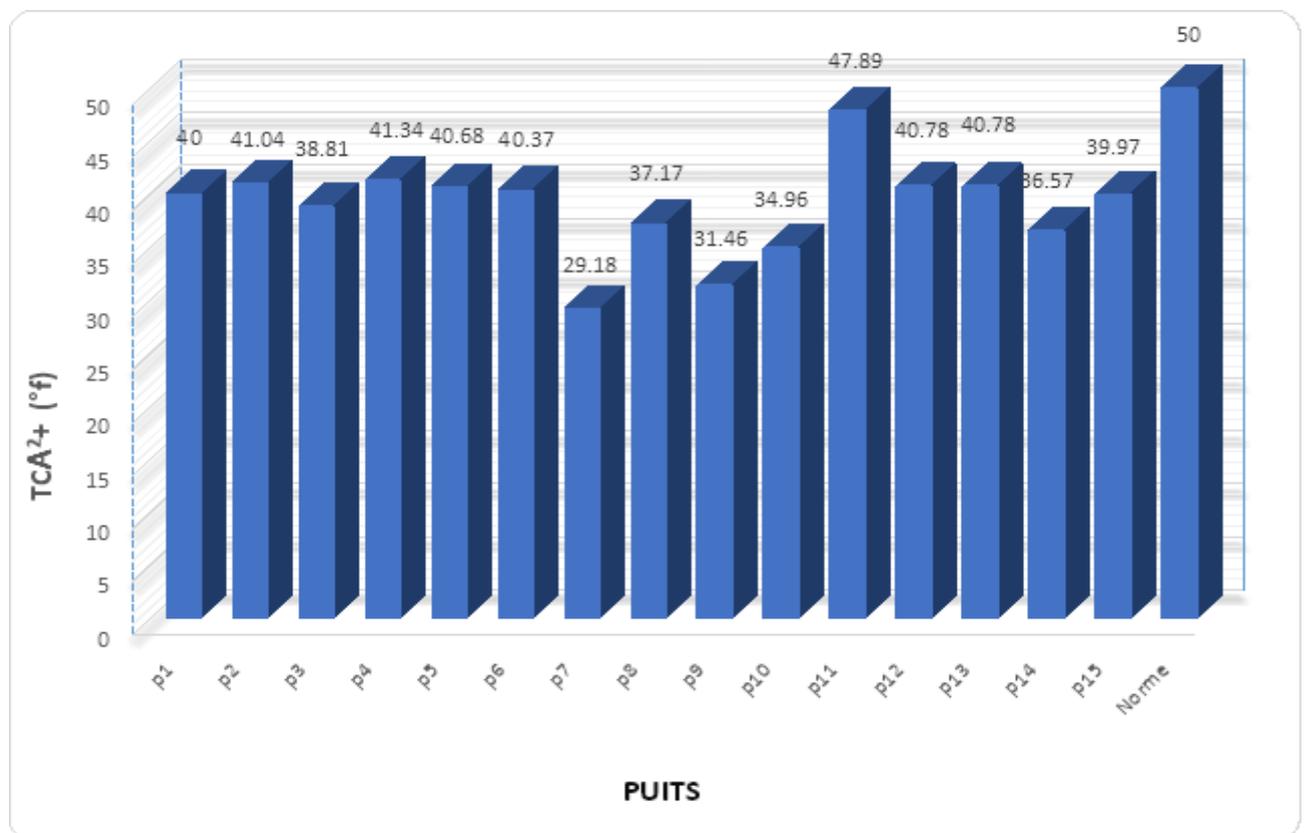


Figure III.9 : Résultats d'analyses de la Dureté calcique des puits

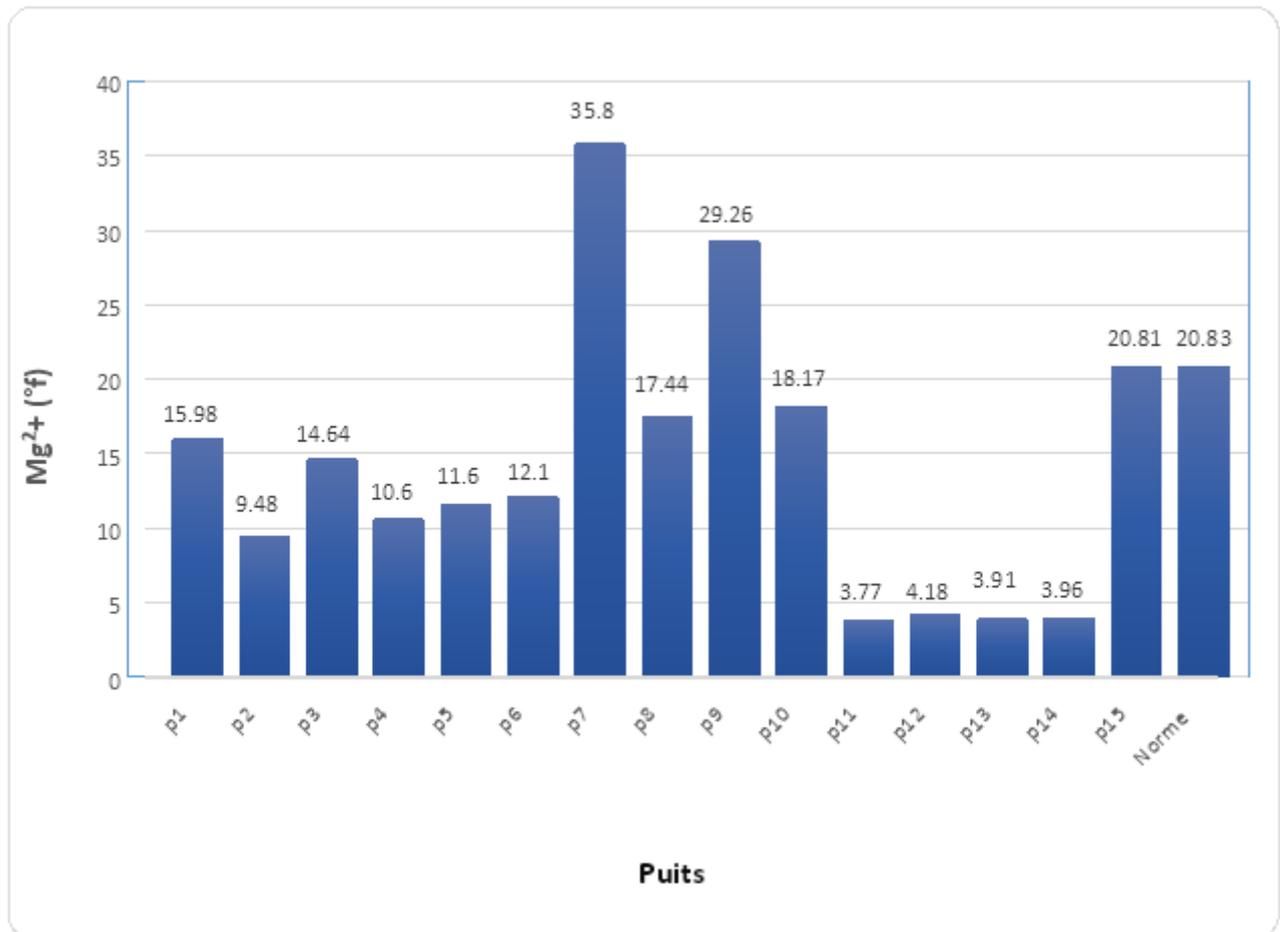


Figure III.10 : Résultats d'analyses de la dureté de magnésium des puits

➤ **Les chlorures :**

La figure III.8 présente les résultats de la détermination du taux de chlorures dans l'eau des puits analysés. Ces valeurs sont considérées normales, car elles respectent les normes algériennes de l'eau potable, fixées à 500 mg/L pour cet élément (JORA, 2011). Toutefois, Andrews et al. 2009 ont indiqué que les ions chlorures, à une concentration supérieure à 250 mg/L, peuvent altérer la saveur de l'eau, ce qui peut entraîner une dégradation de sa qualité. L'existence d'une teneur élevée de chlorure dans les puits 09 et 10, est expliquée par le jette des déchets divers dans ces puits.

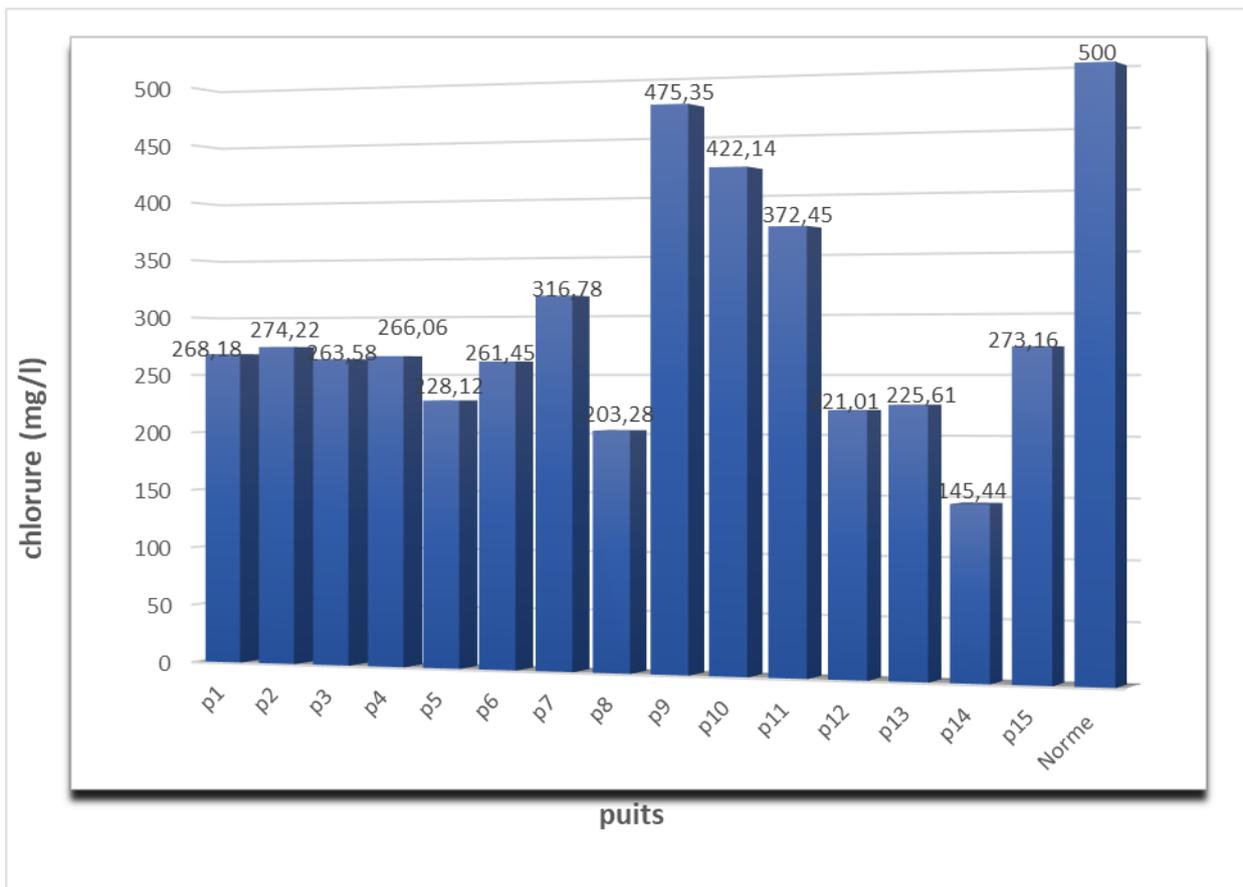


Figure III.11 : Résultats d'analyses de chlorure des puits

➤ **Les Bicarbonates :**

L'analyse des bicarbonates présentée dans la figure III.9 montre des valeurs comprises entre 1,72 et 5,17 °f. Il est clair que les valeurs de ces puits ne dépassent pas la norme algérienne, indiquant que les teneurs en bicarbonates (HCO_3^-) et le TAC (Titre Alcalimétrique Complet) sont acceptables. Par ailleurs, des résultats de TA (Titre Alcalimétrique) nuls ont été obtenus pour tous les puits étudiés, ce qui est généralement observé pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3.

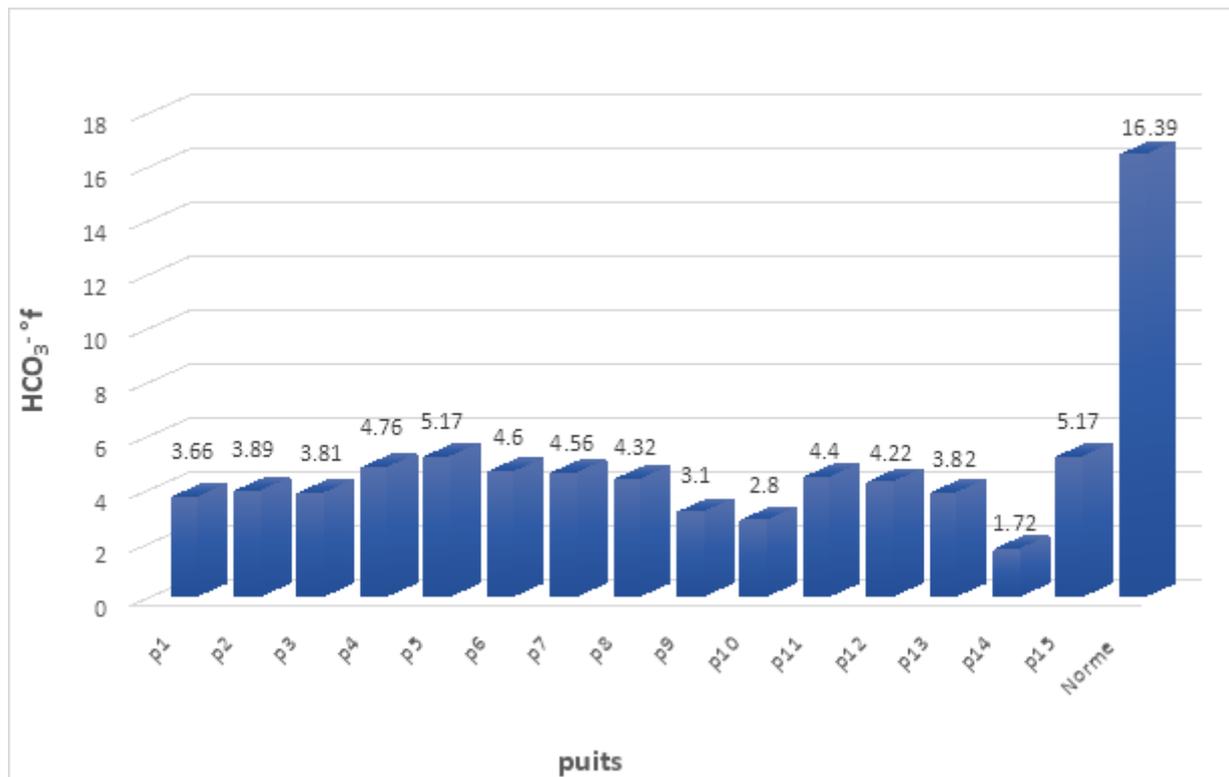


Figure III.12: Résultats d'analyses de Bicarbonate des puits

➤ **Les nitrites et les nitrates :**

La figure III.10 présente les teneurs en nitrites dans notre zone d'étude. On observe que la teneur en nitrites varie entre 0,003 et 0,01 mg/L. Selon les normes algériennes, fixées à 0,10 mg/L, ces valeurs sont conformes (JORA, 2014). Une teneur en azote nitreux supérieure à cette valeur peut indiquer un apport d'eaux riches en matières organiques en décomposition (Rodier *et al.*, 2009).

Le taux de nitrate obtenu, représenté dans la figure III.11, est inférieur à la norme prescrite. La réglementation algérienne recommande une valeur limite de 50 mg/L (NO₃⁻) pour les eaux destinées à la consommation humaine. Dans notre cas, les valeurs trouvées se situent entre 7,66 et 29,95 mg/L.

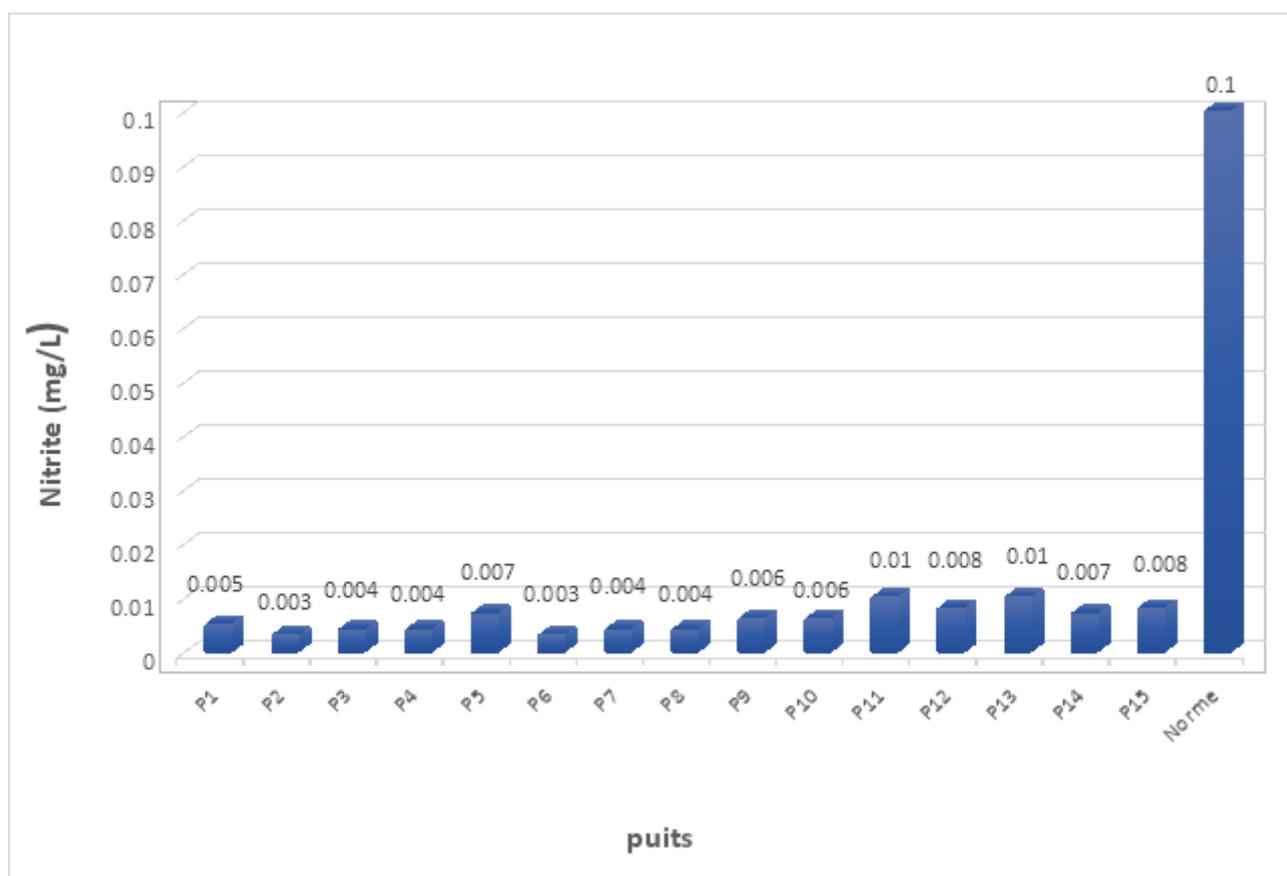


Figure III.13 : Résultats d’analyses de nitrite des puits

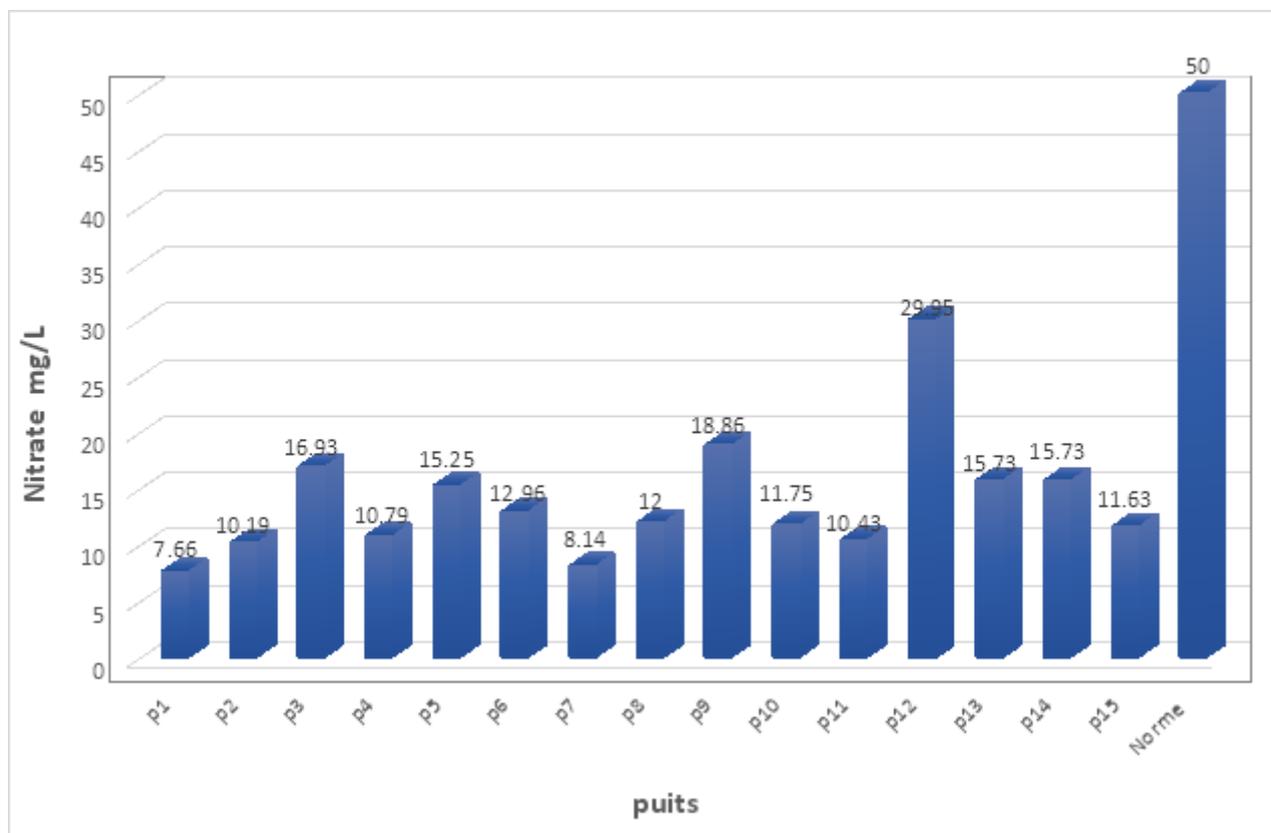


Figure III.14: Résultats d’analyses de Nitrate des puits

III.3.2. Analyse Bactériologique :

Pour compenser le manque de réactifs chimiques nécessaires à l'analyse bactériologique complète des 15 puits de la région de Ras El Oued, une sélection de puits a été faite pour effectuer ces analyses. Les puits choisis pour cette étude sont P1, P4, P7, P8, P9 et P15. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.2.

Les analyses bactériologiques des puits P1, P4, P7, P8, P9 et P15 de la région de Ras El Oued révèlent une contamination importante par des *coliformes totaux* et des *coliformes fécaux*. La majorité des échantillons montrent des valeurs supérieures à 1400 UFC/100mL, ce qui dépasse largement les seuils acceptables pour une eau destinée à la consommation humaine. Seuls les puits P1, P9 et P15 présentent des niveaux de *coliformes fécaux* relativement inférieurs, bien que toujours préoccupants (1100 UFC/100mL pour P1 et 300 UFC/100mL pour P9 et P15).

Cette contamination récente par des matières fécales dans notre zone d'étude semble être causée par les nombreux animaux d'élevage à proximité.

Tableau III.3 : Résultats des analyses bactériologiques des puits

	P01	P04	P07	P08	P09	P15	Norme OMS
<i>CT (UFC/100mL)</i>	>1400	>1400	>1400	>1400	>1400	>1400	10
<i>CF (UFC/100mL)</i>	1100	>1400	>1400	>1400	300	300	00
<i>Streptocoque fécaux (UFC/100mL)</i>	54	160	>240	>240	54	22	00
<i>Streptocoque fécaux groupe D (UFC/100mL)</i>	22	35	>240	5	28	12	00
<i>E. Coli</i>	P	P	P	P	P	P	00
<i>Salmonelles</i>	P	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	00

Les résultats pour *les streptocoques fécaux* confirment également une contamination significative, surtout dans les puits P7 et P8 (supérieures à 240 UFC/100mL), et dans une moindre mesure dans les puits P4 et P15 (160 UFC/100mL et 22 UFC/100mL respectivement).

La présence de *streptocoques fécaux du groupe D* dans tous les puits, particulièrement élevée dans le puits P7, indique une contamination par des déjections animales, typiques de *Streptococcus bovis*. La présence *d'E. Coli* dans tous les puits analysés indique une contamination fécale généralisée, cela signifie qu'elle a récemment été contaminée par des matières fécales qui constituent un risque majeur pour la santé publique en raison du potentiel de transmission de maladies d'origine hydrique.

Enfin, La détection de *Salmonelles* uniquement dans le puits P1 ajoute une dimension supplémentaire de risque, la contamination liée au contact direct avec un animaux suggérant une source de contamination spécifique qui doit être investiguée et traitée. Cette contamination indique une pollution fécale significative, qui représente un grave danger pour la santé publique, notamment en raison des risques de maladies d'origine hydrique. Il est crucial de mettre en œuvre des mesures correctives immédiates, telles que la désinfection de l'eau et l'amélioration des infrastructures de gestion des eaux usées, pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau dans cette région. Il est également recommandé de surveiller régulièrement la qualité de l'eau pour prévenir de futures contaminations.

CONCLUSION

Conclusion

Cette étude a été menée dans le but de déterminer la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau de quelques puits de la zone de Ras El Oued et d'évaluer la vulnérabilité des aquifères à la pollution. Pour ce faire, nous avons calculé l'indice GOD, qui permet de déterminer le niveau de risque de contamination de la nappe phréatique.

Dans notre cas, nous avons trouvé un indice GOD (IG) de 0,56, ce qui indique que notre zone d'étude se situe dans la catégorie de « vulnérabilité forte ». Cela signifie qu'il existe un risque significatif de pollution.

Au cours de cette étude, plusieurs aspects significatifs de la qualité physico-chimique de l'eau ont été révélés, conformément aux normes algériennes et internationales. Voici quelques points clés:

- La majorité des échantillons présentent un pH neutre (7,23 à 7,93), sauf les puits P9 et P14 avec des pH légèrement alcalins (8,19 et 8,01). Tous les échantillons respectent les normes de l'OMS pour l'eau potable (6,5 à 8,5), indiquant une eau sans risque pour la consommation humaine.
- La conductivité des échantillons varie entre 1170 et 2390 $\mu\text{S}/\text{cm}$, reflétant la présence d'ions mobiles tels que le calcium, le sodium et les chlorures. Cette variation est due à la nature et à la concentration des ions présents dans l'eau.
- Les valeurs de turbidité varient entre 2,93 NTU et 37,32 NTU, la plupart des échantillons dépassant la norme algérienne de 5 NTU. Seuls les puits P09 et P13 respectent cette norme, indiquant une turbidité relativement faible.
- Les concentrations de dureté totale (TH) varient entre 15,58 et 20,98, classifiant les eaux comme moyennement dures. Cette dureté est attribuée à la nature lithologique de la formation aquifère, notamment la présence de terrains calcaires ou gypseux.
- Les teneurs en calcium sont conformes aux normes algériennes, et ces eaux peuvent être classées comme calciques, dépendant principalement des terrains traversés.
- La majorité des puits respectent la norme algérienne de 20.83 $^{\circ}\text{f}$ pour le magnésium, sauf les puits P7 et P9 qui dépassent cette limite avec des valeurs de 35,8 et 29,26 $^{\circ}\text{f}$ respectivement. La présence de magnésium est souvent liée à des roches calcaires et dolomitiques ou à une contamination industrielle.

- Les teneurs en chlorures respectent les normes algériennes (500 mg/L), mais des concentrations supérieures à 250 mg/L peuvent altérer la saveur de l'eau.
- Les valeurs de bicarbonates varient entre 1,72 et 5,17 °f, toutes conformes aux normes, indiquant des teneurs acceptables en bicarbonates et un Titre Alcalimétrique Complet (TAC) dans les limites.
- Les teneurs en nitrites sont très faibles (0,003 à 0,01 mg/L) et respectent largement la norme algérienne de 0,10 mg/L, suggérant une absence de contamination organique notable.
- Les taux de nitrates sont bien en dessous de la limite réglementaire de 50 mg/L, avec des valeurs comprises entre 7,66 et 29,95 mg/L, indiquant une absence de pollution par les nitrates.

Du point de vue microbiologique, les résultats que nous avons obtenus dans les six points d'eau sélectionnée révèlent une contamination importante par des *coliformes totaux* et des *coliformes fécaux*. La majorité des échantillons montrent des valeurs supérieures à 1400 UFC/100mL, dépassant largement les seuils acceptables pour une eau destinée à la consommation humaine. Seuls les puits P1, P9 et P15 présentent des niveaux de coliformes fécaux relativement inférieurs, bien que toujours préoccupants (1100 UFC/100mL pour P1 et 300 UFC/100mL pour P9 et P15). Les résultats pour les *streptocoques fécaux* confirment également une contamination significative, surtout dans les puits P7 et P8 (supérieures à 240 UFC/100mL), et dans une moindre mesure dans les puits P4 et P15 (160 UFC/100mL et 22 UFC/100mL respectivement). La présence d'E. Coli dans tous les puits analysés indique une contamination fécale généralisée, ce qui constitue un risque majeur pour la santé publique en raison du potentiel de transmission de maladies d'origine hydrique. La détection de *Salmonelles* uniquement dans le puits P1 ajoute une dimension supplémentaire de risque, suggérant une source de contamination spécifique qui doit être investiguée et traitée. Enfin, la présence de *streptocoques fécaux du groupe D* dans tous les puits, particulièrement élevée dans le puits P7, indique une contamination par des déjections animales, typiques de *Streptococcus bovis*.

En conclusion, l'eau des puits de la zone de Ras El oued présente globalement une bonne qualité, respectant la plupart des normes de potabilité. Cependant, des préoccupations subsistent concernant la turbidité élevée dans plusieurs puits et des concentrations de magnésium dépassant les limites dans certains échantillons, ce qui nécessite un suivi et des mesures correctives pour assurer une qualité optimale de l'eau pour la consommation humaine. D'autre part, les puits concernés par notre étude bactériologiques se montrent menacés par la pollution engendrée par le développement urbain et agricole, notamment, les eaux usées des agglomérations avoisinantes qui ne disposent pas de système d'assainissement, des ordures ménagères, du réseau routier et des activités agricoles.

Recommandation :

En recommandation, et pour améliorer la qualité des eaux de puits et nous proposons les solutions suivantes :

- ✓ Respecter une distance minimum de quinze mètres entre puits et latrines.
- ✓ Mettre en place un système d'évacuation correcte des eaux usées.
- ✓ Le traitement sur place ou le stockage des rejets et déchets industriels (unités industrielles de production, stations de lavage et de carburant, élevage, raffinerie...).
- ✓ Eviter les infiltrations des rejets domestiques et industriels vers les aquifères et faire recours à des transferts par canalisations vers les stations d'épuration,
- ✓ Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants et des pesticides afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines

RÉFÉRENCES

A

Ayad Wissem, (2017) : Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-Harrouch (willaya de Skikda), Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle LMD en Microbiologie, Université Badji Mokhtar – Annaba, P4-7-9

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, P10

Archibald., (2000) : The présence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water system- a cause for concern? Water quality Research journal of Canada, 35(1) : 122.

Akil A., Hassan T., Fatima E. H., Lahcen B., Abderrahim L. (2014) : Etude de la qualité physicochimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou.2014.

APHA (American Public Health Association) 2005, American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), Standard methods for the examination of water and wastewater, twenty-first ed, 2005, Washington, D.C.

AFNOR. (1994). Recueil des normes françaises, Qualité de l'eau. Edition Afnor.

ANIREF (26/09/2013). Agence Nationale D'intermédiation Et De Régulation Foncière 08

Andi., 2013. Agence Nationale De Développement De L'investissement, Monographie De La Wilaya De Bordj Bou Arreridj : 6-11

Andrews B.F., Campbell D.R., Thomas P., (2009). Effects of hypertonic magnesiumsulphate enemas on newborn and young lambs, Lancet 2, PP: 64-79.

B

Bhourikhila S., Douh B., Mguidiche A. et Boujelben A. (2015) : Synthèse des principaux indicateurs de performance des systèmes d'irrigation. Mémoire de master. Pp 267-268.

Boulahia A. (2016). L'eau d'irrigation en Algérie. Mémoire de master. p 1-2.

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

Boeglin J.C. (2009). Propriétés des eaux naturelles, Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1, 110p

BOUGUETIT et BENHAMIDA, (2015). Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du Continental Intercalaire), Mémoire d'obtention de Master Académique en Sciences et Technique, Université KASDI MERBAH OUARGLA. P 50.

Atamenia.N, Ziaya.W. (2020) : « Traitement et analyses des eaux du barrage de Hammam Debagh ».Mémoire de master.Université 08 Mai 1945 Guelma

Bourgeois C.M., Mescle J.F., (1996) : Microbiologie alimentaire : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Edition Lavoisier .P: 5- 6.

Brasilia, 2013. Manuel Pratique d'Analyse de l'Eau. 4ème édition P : 12

Berrouane N. et Khoumeri M., (2018). Impact des rejets de STEP de la ville de Tizi Ouzou sur qualité biologique des eaux de consommation : cas des forages de Boukhalfa. Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme de master en science agronomiques, spécialité Eau et environnement. UMMTO.

Bengarimia. B., (2016). Contribution à l'étude et l'évaluation physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la région d'Oued Es-Saoura cas de BéniAbbès, Ougarta et Zeghamra. Thèse doctorat ; Université d'Oran 2

Berrahal Y., (2018) : évaluation de la matière organique dans les eaux de surface des barrages de l'ouest d'Algérie et évaluation des trihalométhanes et le plomb dans le réseau d'eau potable. Thèse doctorat en science de la matière. Université de Sidi Bel Abbès, 2018.

Bekkouche .W,Bey O ., H. (2014). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux destinée a l'irrigation: cas de la commune de taghzout- el – Oued . Mém. Ing . Biochimie appliqué . Univ. D'EL-OUED .p7-8.

B.R.G.M. (1982) : Atlas hydrogéologique de l'Aisne.

BARRE F. (1998) - L'eau en Somme. L'envol en Pays de Somme.Amiens, juin 1998, p. 20-25.

Boureghdad A, 2018, Stabilité des parois de forges d'eau dans le territoire de la wilaya de Bordj Bou Arreridj Mémoire fin d'étude Master, université de Sétif.

Bitton, G., Y. Henis et N. Lahav (1972) : Effect of several clay minerals and humic acid on the survival of Klebsiella aerogenes exposed to ultraviolet irradiation. Applied Microbiology, 23: 870-874.

C

CEAQE., (2000) : Recherche de dénombrement des coliformes fécaux ; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale Gouvernement du Québec, P 24

Craaq. (2003). Guide de production des annuelles en caissettes 313 11- Peterson, H.G. Water quality and Micro-irrigation for Horticulture, Agriculture et Agroalimentaire Canada http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_e.htm 4p

Chouafa Nesrine, Munjovo Gilberto Mário. (2022). Analyse de la qualité de l'eau potable distribuée à Guelma, Mémoire du projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master, Génie Chimique, université de 8 mai 1945 Guelma, Faculté des sciences et de technologie, P09.

D

Dahraoui Noureddine -Doudou Nasreddine -Keddar Hocine, (2022) : Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines et superficielles destinée à la consommation humaine, présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master académique, Génie chimique, Université Echahid Hamma Lakdhar- ELoued p01.

Degbey C, Makoutode M, Fayomi B, Brouwer C, (2010) : La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, J Int Santé Trav, Vol 1, PP : 15- 22.

Desjardins R., (1997). Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition, Québec, Canada, PP : 46-112.

Degremont G., (2005). Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc, PP: 3- 38

Defranceschi M., (1996). L'eau dans tous ses états, Edition Ellipses, P 61.

Douard P., Lebental B. (2013). Plomb et qualité de l'eau potable : Analyse et évaluation de l'efficacité des actions engagées pour respecter la future limite de qualité de 10µg/l de plomb dans l'eau du robinet et propositions d'actions, conseil général de l'environnement et du développement durable, 73p.

DEGREMONT. (1989). Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, tome I. 2503p

Djamila BOUABDALLAH. (2015). Analyses physico-chimiques de l'eau potable au niveau de la wilaya de Djelfa (Ville de Ain Oussera), Mémoire présenté en vu de l'obtention du diplôme de Master académique, Chimie Organique, Université Ziane Achour de Djelfa, Faculté des sciences et de technologie, p10.

DEGREMONT G., (1989) : Memento technique de l'eau. Tome 1. 9ème Edition, Cinquantenaire, Paris, 592 p

DURAND-DELGA M., 1969 : Mise au point sur la structure du N-E de la Berberie. Bull. Serv. Map. Geol., Algérie, vol. 39, pp.89-131

Direction Des Ressources En Eau BBA, 2023 : _étude de schéma directeur d'assainissement de la wilaya de Bordj Bou Arreridj

E

Edberg SC., EW Rice., RJ Karlin., MJ Allen., (2000) : Escherichia coli : The best biological drinking water indicator for public health protection. Journal of applied Microbiology, 64: 3079-3083.

Edkins R. (2006). Irrigation Efficiency Gaps – Review and Stock Take. Report No L05264/2, Aqualinc Research Limited, 265p.

Enginiring Environnement Consult, EEC-EDIL1996, Etude d'impact sur l'environnement du complexe cimentier de Ras el Oued réalisé par, Alger au profite de l'entreprise régionale ds ciments de l'Est, Constantine, page22.

F

Fakih lanjri A, Brigui J, El Cadi A, Khaddor M, Salmoune F, (2014) : Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger, Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 5, N° S1, PP : 2230- 2235.

Figarella J., Leyral G., (2002). Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 p.

G

Gerard. G., (1999) : L'eau: Milieu naturel et maîtrise, Édition INRA : Volume 1, P 204

Geujons. (1995) in Haoussa, N. (2013). Etude de la qualité des eaux eau d'oued Biskra Eau de Droh. Mémoire de master 2.Hydraulique urbaine, Université Mohamed Khider –Biskra : Faculté des sciences et de technologie, 25 p.

Gaujous, D. (1995). La pollution des milieux aquatique. Aide-mémoire. Edition technique et Documentation Lavoisier, P 220.

Gaujous D. (1995). La pollution des milieux aquatiques, Aide-mémoire. 2eme Ed. Tech et Doc. Lavoisier, Paris. 49 P.

Ganin B. et Chouvin C., (2003) : Cours d'eau et indices biologique : pollution, méthode. 2ème édition, EDUCAGRI, paris, 220 p

Guiraud J. et Galzy P. (1980). L'analyse microbiologique dans les industries alimentaires. 533p

Ghazali D.1., Zaid A., (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-JERRI (région de MEKNES –MAROC), Larhyss Journal, N° 12, Janvier 2013, PP : 25-36.

H

Hasani I., (2015) : Investigation des mécanismes de toxicité de l'aluminium sur les propriétés fonctionnelles et structurales de l'appareil photosynthétique. Thèse doctorat.

Hamadi Fahima.2017. Contribution à l'inventaire des adventices inféodées à la céréaliculture dans la région de Ras El Oued -Bordj Bou Arreridj- En vue de l'obtention du Diplôme de Master Domaine Des Sciences de la Nature et de la Vie Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A p 4.5.

Hade A., (2007). Nos lacs : Les connaitre pour mieux les protéger, Edition Fides, Bibliothèque national du Québec, Canada, 27p.

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.

J

John P, Donald A, (2010) : Microbiologie, 3ème Édition, 1216 p

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA)., (2011). Décret exécutif n° 11- 125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers : Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP : 7-25

K

Kassim C, (2005). Etude de la qualité Physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako .Thèse doctorat. Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie BAMAKO. P69.

Kravits. J, NYAPHISI. M, MANDEL. R, PETERSEN E. (2000). Examen bactériologique quantitatif des réservoir d'eau à usage domestique. Edition OMS.

Khrida, G., Rhaiem, A et Bouattour, A. (1997). Effet de la qualité des eaux sur l'expression du potentiel biotique du Moustique dans la région de Ben Arous (sud Tunis).

Khellili R., Lazali D. (2015). Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla).

KEMMER F. (1984). Manuelle de l'eau .Edition : Lavoisier technique et documentation. P: 95- 96-112

KIRDA.C, (1997) : Assessment of irrigation water quality

Kieken . M (1974-1975) : Etude géologique du Hodna, du Titteri et de la partie occidentale des Bibans. Serv. Géol. de l'Algérie. Bull n°45 Nouvelle série Tome I-II.

L

Ledler, 1986. In Haoussa, N. (2013). Etude de la qualité des eaux des mélanges eau d'oued Biskra – Eau de Droh. Mémoire de master 2.Hydraulique urbaine, Université Mohamed Khider –Biskra : Faculté des sciences et de technologie, 25 p

LEBBIHI Raouia, DERKI Haïfa, (2018) : Etude de quelques paramètres physicochimiques et microbiologiques des eaux potables dans la région d'El-OUED, En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en science biologiques, Biochimie appliqué, Université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued : Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie, p01.

Labres et Mouffok F., (2008). Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratique des eaux. Institut Pasteur d'Algérie. 53p

M

Molinie L., (2009). Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées, Agro Paris Tech, Montpellier, Cedex 4, 7p.

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

MEBARKI A, (1982). Le bassin du kebir, ressources en eaux et aménagement en Algérie, thèse doctorat 3ème cycle, université de Nancy II, p303.

Mourey V., Vernoux J.F., (2000). Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile-de-France, Annales des mines, PP : 32-40.

Muriel H., (2010). Suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée : Elaborer et mettre en œuvre un plan des sécurités sanitaire des eaux, Direction des affaires sanitaires et sociales de la nouvelle Calédonie, Santé et environnement, NOUMEA cedex, P 02.

Mme Mechai Née Debabza Manel (2005). Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba. Université Badji-Mokhtar- Annaba. Thèse de Magister.

Mohamed Ben Ali Rim (2014). Evaluation de la pollution des eaux issue de la zone industrielle de Skikda. Thèse de magister en Ecologie et Environnement.

N

NEDJIMIS, (2006) : Contribution à l'étude piézométrique et hydro chimique du Synclinal du Djelfa. Thèse, Ing, Agro. Université de Djelfa. p32

Nardi F., (2009) : Excès de phosphore et de matières organique naturelle dans les eaux de retenues : diagnostic et remèdes. Thèse de doctorat, 2009, Université d'Angres.

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

O

OMS, (2005) : Célébration de la décennie internationale d'action : L'eau source de vie Journal mondial de l'eau 2005, Guide de sensibilisation, Genève, Suisse ,2005-2015, p34.

Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEP) (2003). L'eau souterraine, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, 31p

Olivier Tenailon, David Skurnik, Bertrand Picard and Erick Denamur.Mars (2010). The population genetics of commensal Escherichia coli ; Vol 8 ; P:207

OMS. (2003) : Directives de qualité pour l'eau de boisson. Volume 1, 3ème Edition, Genève, 110 p.

OMS., (2008) : Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson. 2eme Edition, Volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 1150 p

OMS. 2017. Organisation Mondiale de la santé, Directives de qualité pour l'eau de boisson.Quatrième édition p 227-399

P

Philippo P, Pommery J, Thomas P. (1981). Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportement des espèces métalliques au contact des matières humiques, J.fr.Hydrobiol.

Q

Queneau P., Et Hubert J., (2009). Place des eaux minérales dans l'alimentation, Rapport de l'académie national de médecine, Société française de l'hydrologie et climatologie médicale, France, PP : 175-220

R

Roux M, (1987) : Office International De L'eau : L'analyse Biologique De L'eau. TEC&DOC. Paris. 229p

RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. et BRUNET R. (2009). L'analyse de l'eau. 9eme édition, Ed. Dunod, Paris. 1526p

Rodier J., (2005) : L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8eme édition : Dunod, Paris)

Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau, 9 ème édition, p.1579 édition, Ed. Dunod

Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7ème édition.

Rejsek F. (2002). Analyse des eaux ; Aspects réglementaires et technique.360p

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

Rosin C., Morlot M., Lukaszka R., Trepagne P., Hartemam P., (1990) : Impact des ultrasons dans le dosage de l'aluminium en absorption atomique chemistry. New York. Marcel Dekker 217-226.

RODIER, J. (1996). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer.6 eme édition : Dunod, Paris. 557-570p et 968-1079p.

RODIER .J, (1976). L'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; éditiondunod, 8 eme édition ; pages (945 à1075),

Ransom B., Shea K. F., Burkett P. J., Bennett R. H. et Baerwald R. (1998). Comparison of pelagic and nepheloid layer marine snow: implications for carbon cycling, Marine Geology 150.

ROQUES H., (1979) : Fondements théoriques du traitement chimiques des eaux. Volume 1, Tec & Doc, 984 p.

RIEU.M, (1981) : Sodium absorption ration et estimation du pouvoir alcalinisant des eaux. Mission ORSTOM, vol XVIII n°2, pp 123-128.

S

Souhila Boubrit et Nafaa Boussad. (2007). Détermination "in vitro " du pouvoir antibactérien des huiles essentielles d'eucalyptus, myrte, clous de girofle et sarriette, et leur application à la conservation de la viande fraiche type hachée. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou - Ingéniorat d'état en biologie

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. P58.

Sahraoui N. (2015). Etude de la cohérence entre la vulnérabilité à la pollution de la qualité des eaux souterraines plaine Khemis Miliana. Mémoire de Master en Eau et Bioclimatique. Université Khemis Miliana.

Savornin. J (1920) : Etude géologique de la région du Hodna et du plateau Setifien. Thèse Sc. Lyon et Bulletin du service cartographique. Algérie. 2 Ser. Strat. n°7.

T

TAHA HOUCINE.D, (2002) : Evolution de la qualité des eaux Salinité, Azote et Métaux lourds sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de Doctorat

Tazi O., Fahde A., El Younoussi S., (2001). Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca (Maroc), Sécheresse, PP : 129-134.

V

Verma ASD, (2010). Assessment of Water quality and Pollution Status of Kalpi (Morar) River, Gwalior, Madhya Pradesh: with special reference to Conservation and Management plan. Asian Journal of Experimental Biological Sciences 1: 10.

Valverde A.L., (2008). Comprendre le cycle de l'eau, bulletin de l'OMM, Vol 57, N°3, 55p

VILAGINES R., (2003) : Eau, Environnement et Santé Publique. Introduction à l'hydrologie. 2ème édition, TEC & DOC, Paris, 198 p

Vila J.M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie trientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de Doctorat, Université P. et M. Curie-Paris.

- [1] : <https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/le-cycle-de-l-eau-dans-la-nature>
- [2] : www.hydroquebec.com
- [3] : https://shs.hal.science/halshs-00134979/file/JM_note-synthese-eau-2007.pdf
- [4] <https://www.semanticscholar.org/paper/Les-ressources-en-eau-sur-Terre->
- [5] : [LE JURY, Devant, SAÏD, Président Pr NEMMICHE, MOHAMMED, Encadreur Pr BENKHELIFA, et al. Les ressources en eau à Mostaganem, état actuel et contraintes de distribution.](#)
- [6] : <file:///C:/Users/Seven/Downloads/Coliformf.pdf>
- [7] : [file:///C:/Users/Seven/Downloads/procedes-reconnus-destines-traitementd-l-eau-potable\(1\).pd](file:///C:/Users/Seven/Downloads/procedes-reconnus-destines-traitementd-l-eau-potable(1).pd)
- [8] : <https://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/pollution-sources.htm>
- [9] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Atlas_tellien
- [10] : <https://www.mineralogie.club/musee-mineralogie-passion>

ANNEXE

Les courbes d'étalonnages

a. Nitrate :

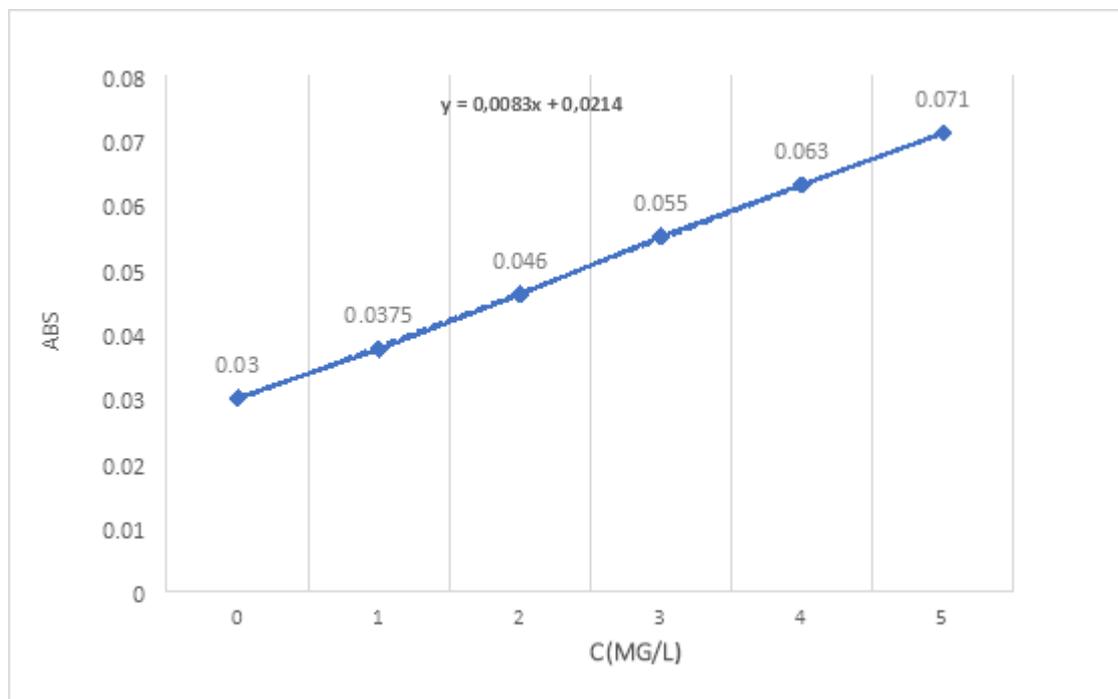


Figure I.1 : la courbe d'étalonnage des nitrates

b. Nitrite :

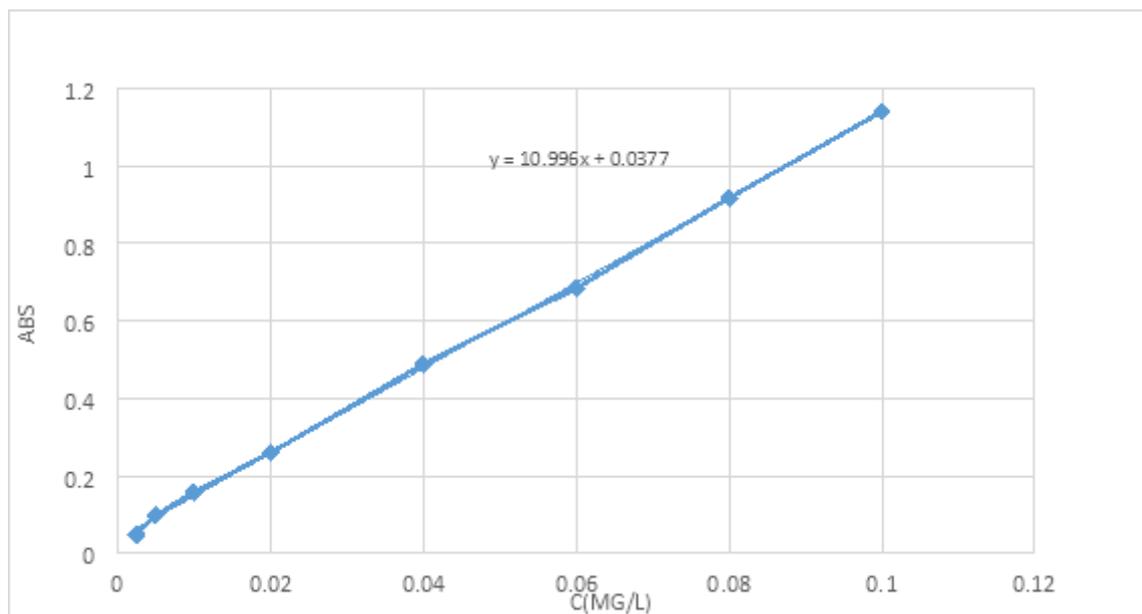


Figure I.1 : la courbe d'étalonnage des nitrites

Tableau 01 :

Tableau Mac Grady « méthode NPP » milieu de culture « ROTH »

1 X 50 ml	5 X 10 ml	5 X 1 ml	Nombre caractéristique	Limites de confiance	
				Inférieure	Supérieure
0	0	0	<1		
0	0	1	1	<0,5	4
0	0	2	2	<0,5	6
0	1	0	1	<0,5	4
0	1	1	2	<0,5	6
0	1	2	3	<0,5	8
0	2	0	2	<0,5	6
0	2	1	3	<0,5	8
0	2	2	4	<0,5	11
0	3	0	3	<0,5	8
0	3	1	5	<0,5	13
0	4	0	5	<0,5	13
1	0	0	1	<0,5	4
1	0	1	3	<0,5	8
1	0	2	4	<0,5	11
1	0	3	6	<0,5	15
1	1	0	3	<0,5	8
1	1	1	5	<0,5	13
1	1	2	7	1	17
1	1	3	9	2	21
1	2	0	5	<0,5	13
1	2	1	7	1	17
1	2	2	10	3	23
1	2	3	12	3	28
1	3	0	8	2	19
1	3	1	11	3	26
1	3	2	14	4	34
1	3	3	18	5	53
1	3	4	21	6	66
1	4	0	13	4	31
1	4	1	17	5	47
1	4	2	22	7	59
1	4	3	28	9	85
1	4	4	35	12	100
1	4	5	43	15	120
1	5	0	24	8	75
1	5	1	35	12	100
1	5	2	54	18	140
1	5	3	92	27	220
1	5	4	160	39	450
1	5	5	>240		

Tableau 02 ;

Tableau Mac Grady « méthode NPP » milieu de culture « BCPL »

Deux tubes par dilution		Trois tubes par dilution					
Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP	Nombre caractéristique	NPP
000	0,0	000	0,0	201	1,4	302	6,5
001	0,5	001	0,3	202	2,0	310	4,5
010	0,5	010	0,3	210	1,5	311	7,5
011	0,9	011	0,6	211	2,0	312	11,5
020	0,9	020	0,6	212	3,0	313	16,0
100	0,6	100	0,4	220	2,0	320	9,5
101	1,2	101	0,7	221	3,0	321	15,0
110	1,3	102	1,1	222	3,5	322	20,0
111	2,0	110	0,7	223	4,0	323	30,0
120	2,0	111	1,1	230	3,0	330	25,0
121	3,0	120	1,1	231	3,5	331	45,0
200	2,5	121	1,5	232	4,0	332	110,0
201	5,0	130	1,6	300	2,5	333	140,0
210	6,0	200	0,9	301	4,0		
211	13,0						
212	20,0						
220	25,0						
221	70,0						
222	110,0						

