



REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ AMAR THELIDJI-LAGHOVAT
FACULTÉ DES SCIENCES



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master LMD

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Option : Parasitologie

THEME

**Analyse Physico-Chimiques Des Eaux Souterraines
De La Nappe Du Barrémien De La Région de Milok,
Kourdene et Kef el Melh (Nord-Ouest de Laghouat)
étude Hydrogéochimique.**

Présenté par :
GACEMI Chikha
KHELIFI Barkahom

Soutenu publiquement le jeudi 1 Juin 2023.

Devant le jury :

ALLAL Farida : Maitre de conférences -A-

CHAIBI Rachid : Professeur

ABDESSLAM Amira : Maitre-assistant -A-

BENTAHAR Fatiha Maitre-assistant -A-

HENNICHE Mohammed : chef de service ADE

Présidente

Examineur

Examinatrice

Encadrant

Co – encadreur

Année Universitaire : 2022/2023

Résumé :

Pour évaluer l'hydrogéochimie des eaux souterraines de la nappe du barrémien dans la région de Laghouat, et déterminer leur aptitude à différentes utilisations dans divers domaines, nous avons collecté et analysé six échantillons d'eau souterraine provenant de différentes régions au cours du mois de mars 2023, et aussi nous avons effectué une étude lithologique de différentes région dans la wilaya. Ce travail consiste à réaliser des analyses, notamment des paramètres physico-chimiques tels que le pH, la température, la conductivité électrique, la dureté de l'eau, la minéralisation, le calcium, les nitrites, le fer, etc., dans le laboratoire de l'ADE Laghouat.

Les résultats obtenus indiquent que la majorité des puits d'eau présentent une bonne qualité et sont conformes aux normes nationales et internationales, ce qui les rend adaptés et acceptables pour différentes utilisations, sans constituer un danger pour la santé des consommateurs.

Mots clés : La nappe du barrémien, eaux souterraines, analyses physico-chimiques, forages, normes de potabilité.

ملخص:

لتقييم التركيبة المائية للمياه الجوفية في طبقة باريميان في منطقة الأغواط وتحديد صلاحيتها لاستخدامات متنوعة في مجالات مختلفة، قمنا بجمع وتحليل ست عينات من المياه الجوفية مأخوذة من مناطق مختلفة خلال شهر مارس ٢٠٢٣ و كما قمنا بدراسة بنية الطبقات الجيولوجية السطحية للأرض. يتضمن هذا العمل المتواضع إجراء تحاليل، بما في ذلك المعلمات الفيزيكيو-كيميائية مثل الحموضة (pH)، درجة الحرارة، التوصيل الكهربائي، صلابة المياه، المعدنية، الكالسيوم، نترت، الحديد، وما إلى ذلك، في مختبر وكالة المياه والتطهير بالأغواط.

تشير النتائج إلى أن غالبية آبار المياه تتمتع بجودة عالية وتتوافق مع المعايير الوطنية والدولية، مما يجعلها مناسبة ومقبولة للاستخدامات المختلفة دون تشكل خطر على صحة المستهلكين.

كلمات مفتاحية: طبقة باريميان، مياه جوفية، تحاليل فيزيائية وكيميائية، حفر الابار، معايير جودة الماء.

Abstract:

To assess the hydro geochemistry of groundwater from the Barremian aquifer in the Laghouat region and determine its suitability for various uses in different sectors, we collected and analyzed six groundwater samples from different regions in March 2023 and also we study the lithology of different regions in Laghouat. This modest study involved conducting analyses, including physicochemical parameters such as pH, temperature, electrical conductivity, water hardness, mineralization, calcium, nitrites, iron, etc., at the ADE Laghouat laboratory.

The results indicate that the majority of the water wells exhibit good quality and comply with national and international standards, making them suitable and acceptable for various uses without posing a risk to consumer health.

Keywords: Barremian aquifer, groundwater, physico-chemical analyses, boreholes, drinking water standards.

remerciments

Nous sommes reconnaissantes envers Allah Tout-Puissant de m'avoir accordé la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous aimerions exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrante, Mme BENTAHAR Fatiha, d'avoir accepté de superviser et de suivre ce travail. Travailler avec elle a été un réel plaisir, Nous avons particulièrement appréciés sa chaleur humaine et sa disponibilité quotidienne. Merci, Madame, pour votre disponibilité et votre gentillesse.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous les membres du laboratoire d'analyse de l'Algérienne des Eaux de Laghouat. Nos remerciements vont tout particulièrement à Monsieur MECHRAOUI et Monsieur Henniche Mohammed pour leur aide précieuse et leurs encouragements constants.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude du fond du cœur à tous les enseignants de l'Université de Tizi Ouzou. Leur accompagnement tout au long du stage de terrain, qui s'est déroulé pendant une semaine dans la wilaya de Laghouat, nous a permis de mieux comprendre et d'approfondir nos connaissances en géologie de la région. Cette expérience humaine a été extrêmement précieuse pour nous. Merci infiniment pour cette opportunité.

Nous souhaitons également adresser nos sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail modeste, madame Farida ALLAL, monsieur Rachid CHAIBI, madame Amira ABDESSLAM, monsieur Ahamed HENNICHE, madame Fatiha BENTAHAR .

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements au Chef de département, Monsieur CHAIBI Rachid, pour sa contribution précieuse et son soutien inestimable.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers tous les enseignants du département de biologie, en particulier : Farida ALLAL, Amira ABDESSELAM, Mustapha Nacer YUCEFI, Youcef BOUBRIMA, Rabah KHEDIM, Smahane TALEB, Mohammed OUINTEN, Hicham GOUZI, Mohammed GHERMAOUI, Ibtissem SOUFI.

Dédicace

A la mémoire de mon cher défunt père ***Mahdi***

A Celle qui m'a enseigné la patience, la fierté, la réussite, la lumière qui éclaire mon chemin : ma chère maman ***Ghazala***

A mes chers frères :

Abdelkader et sa femme ***Dehiba*** et leurs enfants : ***ElHadj***,
Abdelmoumen, ***Soundous***, ***Atallah***, ***Djad*** et ***Djawad***

Aissa et sa femme ***Kheira*** et leurs enfants : ***Nour***, ***Mahdi*** et ***Karam*** et
Maram

Nouh et sa femme ***Naziha*** et leurs enfants : ***Ghazala*** et ***Ahmed***

A mes jolies sœurs :

Souad et ses filles : ***Douaa*** et ***Meriem***

Nafissa et son mari ***Toufik*** et leurs enfants : ***Taher*** et ***Nada***

A toutes les familles ***GACEMI*** et ***DEHINA***

A mon encadrant ***Mme Fatiha BENTAHAR***

A toutes mes chères amies.

Chikha

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma merveilleuse maman, Source d'amour inconditionnel, Ta présence est un cadeau précieux, Tu es ma lumière dans l'obscurité.

Merci pour ton soutien sans faille, Tes conseils avisés et ta tendresse,

Je suis fier(e) d'être ton enfant, Et je t'aime de tout mon être.

A celui qui a été toujours la source d'inspiration et de courage....

Merci mon PERE.

*A mes chers frères et sœurs : **Fatiha. SAIDA. Rahma. ALI et son fils Abu Baker Elsdik. ABDE ALHAMID.***

*A toute ma famille **KHELIFI.***

*A Tous mes amies sans exception et spécialement : **Marwa, Isra, Bassmala.***

*A mon amie et binôme : **Chikha***

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

*A tous ceux qui connaissent **KHELIFI Barkahom.***

*Et enfin, avec une mention spéciale à tous les habitants d'**EL HADJEB.***

Barkahom.



Table des Matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	01
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique	
I. Sources de l'eau.....	03
II.1 . Eaux souterraines	03
II.2. Eaux de surface	05
II.3. Eaux de source	05
II. L'eau et la santé.....	05
III. Présentation de l'algérienne des eaux.....	06
III.1. Création de l'ADE.....	06
III.2. Laboratoire de l'ADE de Laghouat	07
IV. Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau	07
V. Risques liés à l'eau.....	08
Chapitre 2 : Matériels et Méthodes	
Introduction	09
I- Situation géographique de la zone d'étude.....	09
II- Etude géologique de la zone d'étude.....	10
II-1- Cadre géologique de l'Atlas Saharien.....	10
II-1-1- Situation géographique générale de l'Atlas Saharien	10
II-1-2- Les formations étudiées.....	11
II-1-2-1- Formation de Laouidja.....	11
II-1-2-2- Formation de Kerakda.....	12
II-1-2-3- Formation de Calcaire à polypier	12
II-1-2-4- Formation de Kourdane	13
II-1-2-5- Formation de Milok	14
III- Echantillonnage.....	15
III-1- Prélèvements.....	15
III-2- Mode de prélèvement.....	15
IV- Analyses physico-chimiques	17
IV-1- Analyses partielles	18
IV-1-1- Mesure de la température.....	18

IV-1-2- Mesure du potentiel d'hydrogène (pH).....	18
IV-1-3- Mesure de la conductivité électrique (CE) et TDS.....	18
IV-1-3- Mesure de la turbidité	19
IV-1-4- Mesure de la salinité et de la minéralisation	19
IV-2- Analyses complètes.....	20
IV-2-1- Minéralisation Globale	20
IV-2-1-1- Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme.....	20
IV-2-1-2- Détermination du calcium (Ca ²⁺).....	21
IV-2-1-3- Détermination du magnésium (Mg ²⁺).....	22
IV-2-1-4- Détermination des chlorures.....	22
IV-2-1-5- Détermination des sulfates (SO ₄ ³⁻)	23
IV-2-1-6- Détermination de l'alcalinité (HCO ₃ ⁻).....	23
IV-2-1-7- Détermination de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA.....	24
IV-2-2- Paramètres de pollution.....	25
IV-2-2-1- Détermination de l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺).....	25
IV-2-2-2- Dosage des nitrites (NO ₂ ⁻)	25
IV-2-2-3- Dosage des nitrates (NO ₃ ⁻)	26
IV-2-2-4- Détermination des phosphates (PO ₄ ³⁻).....	26
IV-2-3- Eléments indésirables.....	27
IV-2-3-1- Détermination du fer.....	27
Conclusion	27
Chapitre 3 : Résultats et discussion	29
I. Résultats des analyses physicochimiques.....	29
I.1. Analyses partielles.....	29
I.1.1. Température.....	29
I.1.2. pH... ..	30
I.1.3. Conductivité	31
I.1.4. Turbidité	32
I.1.5. TDS	32
I.1.6. Salinité.....	33
I.1.7. Minéralisation.....	34
I.2. Analyses complètes	35
I.2.1. Minéralisation globale.....	35
I.2.1.1. La dureté totale.....	35
I.2.1.2. Calcium (Ca ²⁺) et magnésium (Mg ²⁺)	36
I.2.1.3. Sodium (Na ⁺) et potassium (K ⁺).....	37
I.2.1.4. Chlorure (Cl)	39

I.2.1.5. Sulfates (SO_4^-)	40
I.2.1.6. Bicarbonates (HCO_3^-).....	41
I.2.2. Paramètres de pollution	42
I.2.2.1. Phosphates (PO_4^{2-})	42
I.2.2.2. Nitrate (NO_3^-).....	43
I.2.2.3. Nitrites(NO_2^-).....	44
I.2.2.4. Ammonium (NH_4^+)	45
I.2.3. Eléments indésirables	46
I.2.3.1. Fer (Fe^{2+}).....	46
Conclusion générale.....	48
Références bibliographiques.....	50
Annexe	54

Liste des figures

N°	Titre	Pages
Figure.I.1	différents types de nappes d'eau souterraine (Bentahar 2007).	05
Figure.II.1	Carte de situation géographique de la wilaya de Laghouat.	09
Figure.II.2	Situation géographique de djebel Milok, Ksar Kourdane, Kef el melh. (Wilaya de Laghouat).	10
Figure.II.3	Coupe schématique de djebel Laouidja (<i>CHETTIH, 2007</i>).	12
Figure.II.4	Coupe schématique du djebel Milok (<i>Chettih,2007</i>).	15
Figure.III.1	Variations de la température enregistrés dans les forages.	29
Figure.III.2	Variations des teneurs du PH enregistrés dans les forages.	30
Figure.III.3	Variations de la Conductivité enregistrés dans les forages.	31
Figure.III.4	Variation des teneurs de la turbidité enregistrés dans les forages.	32
Figure.III.5	Variation des teneurs de la TDS enregistrés dans les forages.	33
Figure.III.6	Variation des teneurs de la Salinité enregistrés dans les forages.	34
Figure.III.7	Variation des teneurs de la Minéralisation enregistrés dans les forages	35
Figure.III.8	Variations des teneurs de la dureté des eaux enregistrés dans les forages.	36
Figure.III.9	Variations des teneurs de calcium enregistrés dans les forages.	36
Figure.III.10	Variations des teneurs de Magnésium enregistrés dans les forages.	37
Figure.III.11	Variations des teneurs du sodium enregistrés dans les forages.	38
Figure.III.12	Variations des teneurs du Potassium enregistrés dans les forages.	39
Figure.III.13	Variations des teneurs du chlorure enregistrés dans les forages.	40
Figure.III.14	Variations des teneurs du Sulfate enregistrés dans les forages.	41
Figure.III.15	Variations des teneurs du Bicarbonates enregistrés dans les forages.	42
Figure.III.16	Variations des teneurs du Phosphates enregistrés dans les forages.	43
Figure.III.17	Variations des teneurs du Nitrate enregistrés dans les forages.	44
Figure.III.18	Variations des teneurs du Nitrite enregistrés dans les forages.	45
Figure.III.19	Variations des teneurs de l'Ammonium enregistrés dans les forages.	46
Figure.III.20	Variations des teneurs du Fe enregistrés dans les forages.	47

Liste des Photos

N°	Titre	Pages
Photo.II.1	La formation de Laouidja (cliché originale, 2023)	12
Photo.II.2	La zone de passage (cliché originale, 2023)	13
Photo.II.3	Les grès de Seklafa (cliché originale, 2023)	13
Photo.II.4	L'arrêt de la série de Kourdane (cliché originale, 2023)	14
Photo.II.5	Djebel el Milok (cliché originale, 2023)	14
Photo.II.6	Prélèvement d'un échantillon (cliché originale, 2023)	15
Photo.II.7	Lavage et autoclavage des flacons (cliché originale, 2023)	16
Photo.II.8	Mesure de paramètres physiques sur terrain (cliché originale, 2023)	17
Photo.II.9	pH mètre et thermomètre intégré (cliché originale, 2023)	18
Photo.II.10	Appareil conductimètre (cliché originale, 2023)	19
Photo.II.11	Turbidimètre (cliché originale, 2023)	19
Photo.II.12	Appareil Dr LANGE (JENWAY) pour le dosage du sodium (cliché originale, 2023)	21
Photo.II.13	Les réactifs nécessaires pour le dosage du Ca^{2+} (cliché originale, 2023)	22
Photo.II.14	Spectrophotomètre (cliché originale, 2023)	23
Photo.II.15	Réactifs détermination de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA (cliché originale, 2023)	25
Photo.II.16	Réactif I et Réactif II utilisés pour le dosage du NH_4 (cliché originale, 2023)	25
Photo.II.17	Réactifs utilisés pour le dosage du nitrates (cliché originale, 2023)	26
Photo.II.18	Réactifs utilisés pour le dosage du phosphates (cliché originale, 2023)	27
Photo.II.19	Réactifs utilisés pour le dosage du fer (cliché originale, 2023)	27

Liste des tableaux

N°	Titres	Pages
II.1	Points d'eau mesurées dans la campagne d'échantillonnage de Mars 2023	

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE : Algérienne des eaux.

C° : Degré Celsius .

CE : Conductivité électrique

EDTA : Ethylène Diamine Tétra-Acétique.

g : Le gramme

L : litre.

MES : Matières en suspension

mg/l : Milligramme par litre

NA : Normes Algériennes.

NET : Noir Eriochrome T .

NTU: Unité Néphélométrique de turbidité.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

pH : potentiel Hydrogène.

TDS : Solides dissous totaux.

TH : Titre Hydrométrique (Dureté totale).

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est omniprésente dans la nature. Elle se présente sous forme liquide, sans couleur, ni odeur, et possède un pH neutre. De plus, elle est un excellent solvant, essentiel à la composition de la majorité des êtres vivants (Bernard, 2007).

L'eau est un élément essentiel de notre environnement naturel, tout comme l'air que nous respirons et la terre qui nous nourrit. Elle est également un élément familier de notre vie quotidienne, en tant qu'aliment de base.

Aristote a défini quatre éléments pour décrire l'univers : le feu, l'air, la terre et l'eau. Cette dernière joue un rôle primordial dans la formation des paysages et des climats de notre planète. De plus, elle est essentielle à la vie de tous les êtres vivants en tant que composante clé de leur structure et de leur métabolisme. Ainsi, l'eau est souvent considérée comme synonyme de vie ou de mort.

En outre, l'eau est considérée comme la matière la plus importante pour l'homme, étant essentielle à la survie et au développement des sociétés modernes (Kettab, 1992). En effet, l'eau est indispensable à la vie et joue un rôle crucial dans divers domaines tels que la santé, l'agriculture, l'industrie et l'énergie.

Avec l'augmentation de la population, l'eau devient de plus en plus importante et sa disponibilité devient de plus en plus difficile. Par conséquent, l'exploitation des eaux inexploitées est devenue une nécessité. Toutefois, avec le développement industriel, les eaux souterraines sont de plus en plus exposées à la pollution due à l'infiltration de différents rejets dans les nappes phréatiques (Benchehba et Benhennour, 2017).

La consommation d'eau potable est un facteur déterminant pour prévenir les maladies liées à l'eau. Elle doit donc faire l'objet d'une attention particulière. En effet, une eau destinée à la consommation humaine est considérée comme potable lorsqu'elle ne contient aucun élément chimique ou biologique susceptible de nuire à la santé des individus à court ou à long terme (Benchehba et Benhennour, 2017).

L'objectif de notre étude était d'évaluer et de contrôler la qualité des eaux souterraines de la nappe Barrémien de Laghouat en analysant leur qualité physico-chimique.

Ce mémoire est structuré de la manière suivante :

- Une introduction générale ;
- Une première partie théorique consacrée aux généralités sur l'eau et son importance, en mettant en avant son importance, la relation étroite qu'elle entretient avec la santé et une présentation de la compagnie nationale de l'algérienne des eaux (ADE) ;
- Une deuxième partie : étude géologique de la série de l'Atlas Saharien, présentation des méthodes et des matériels utilisés pour cette recherche, ainsi que les différents essais effectués pour la mise au point des méthodes analytiques
- Une troisième partie : consacré à l'analyse et interprétation des résultats obtenus, suivie d'une conclusion générale.

Chapitre I :
Synthèse
bibliographique

I. Sources de l'eau :

L'eau à l'état naturel (superficielle, souterraine ou saline) n'est jamais « pure » ; c'est un milieu vivant qui se charge de très divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle (Degreement, 2005)

L'être humain a besoin de l'eau pour satisfaire ses besoins et pour ses activités industrielles et agricoles. Pour cela, il utilise généralement trois types de ressources naturelles :

- Les eaux souterraines ;
- Les eaux de surface (rivières, fleuves et lacs) ;
- Les eaux salines (eaux de mer et saumâtres).

Cependant, l'eau à l'état naturel n'est jamais "pure". Elle est un milieu vivant qui se charge de nombreux éléments en entrant en contact avec les milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle. (Degreement, 2005).

II.1. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines représentent environ 22% des réserves d'eau douce et sont créées par l'accumulation d'infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique. Elles se rassemblent pour former des nappes souterraines. (Claude, 1999)

Ces eaux sont généralement détectées à des profondeurs importantes dans les nappes souterraines et présentent des caractéristiques distinctes, dont les plus importantes sont une faible turbidité, une contamination bactérienne relativement faible, une température constante et un faible indice de couleur. Cependant, elles peuvent contenir des concentrations élevées de fer et de manganèse. (Gomella, 1978)

✓ Les différents types de nappes :

Une nappe d'eau souterraine est une eau contenue dans les interstices ou les fissures d'une roche du sous-sol qu'on nomme aquifère (fig.I.1).

Types de nappes :

Les nappes peuvent être contenues dans des aquifères de type poreux (sables, craie, graviers, grès) ou fissurés

- Nappe libre : Une nappe libre est une nappe dont la partie supérieure est constitué de terrain perméable.
- Nappe fossile : C'est une nappe qui ne se renouvelle plus, depuis un temps plus ou moins long (jusque plusieurs milliers d'années). Ces nappes sont exploitées dans les milieux désertiques. Dans ce type de cas, elles sont vouées à un épuisement inévitable.
- Nappe captive : Une nappe captive est une nappe généralement profonde et située entre deux couches imperméables. Elle est entièrement saturée d'eau sous pression. Elle jaillit lorsque l'on fait un forage et c'est ce qu'on appelle un puits artésien.
- Nappe semi captive : Est une nappe qui se limite d'un côté dans sa partie supérieure de couche imperméable et d'un autre côté perméable. Ou elle se trouve limitée dans sa partie supérieure d'une couche semi perméable.
- Nappe phréatique : Est une nappe d'eau que l'on rencontre à faible profondeur. Elle alimente traditionnellement les puits et les sources en eau potable. C'est la nappe la plus exposée à la pollution en provenance de la surface.
- Nappe alluviale : Est un cas particulier de nappe libre (nappe peu profonde située sous un sol perméable).

Les nappes alluviales sont des nappes qui circulent dans les sédiments des rivières, c'est une masse d'eau se trouvant dans des terrains alluvionnaires. Elles se trouvent à faible profondeur et sont donc relativement faciles d'accès pour des prélèvements d'eau.

Une nappe alluviale est le plus souvent la nappe d'accompagnement d'un cours d'eau, avec lequel elle communique jusqu'à rencontrer une barrière géologique imperméable : si le niveau de la rivière s'élève rapidement (en période de crue), une partie de l'eau s'infiltrera pour recharger la nappe, tandis qu'au contraire en cas d'étiage, le débit du cours d'eau sera augmenté par l'écoulement de la nappe qu'il draine

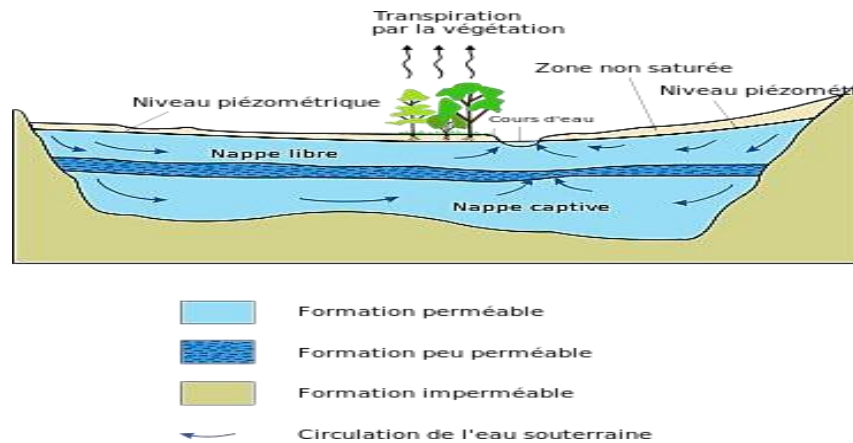


Figure.I.1 : différents types de nappes d'eau souterraine (Bentahar 2007).

II.2. Eau de surface :

Les eaux de surface se répartissent en eaux circulantes (courantes) ou stockées (stagnantes). Elles se forment à partir, soit de l'émergence de nappes profondes en source, soit du rassemblement d'eau ruissellement.

Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organiques, ainsi qu'en plancton. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique du type nitrate et pesticide d'origine agricole (Claude, 1999).

II.3. Eau de source :

Une eau de source est une eau naturelle qui provient d'une source souterraine. Elle est généralement issue de nappes phréatiques profondes et est réputée pour sa pureté et sa qualité. Pour être classée comme une eau de source, elle doit répondre à certaines normes et critères spécifiques en matière de composition chimique, de minéralisation et de pureté microbiologique. L'eau de source est souvent embouteillée et commercialisée en tant qu'eau potable, offrant une alternative aux eaux du robinet ou aux eaux minérales. Elle est considérée comme une source naturelle d'hydratation et peut présenter des caractéristiques minérales distinctes selon sa provenance géographique.

II. L'eau et la santé :

L'eau joue un rôle crucial dans le maintien d'une bonne santé. Voici quelques aspects importants concernant l'eau et la santé :

Hydratation : L'eau est essentielle à l'hydratation du corps humain. Une hydratation adéquate est nécessaire pour maintenir les fonctions physiologiques, réguler la température corporelle, transporter les nutriments et éliminer les déchets. Il est recommandé de boire suffisamment d'eau chaque jour pour s'hydrater correctement.

Équilibre électrolytique : L'eau est un solvant qui aide à maintenir l'équilibre électrolytique du corps. Les électrolytes tels que le sodium, le potassium et le

Magnésium sont nécessaires au bon fonctionnement des cellules, des muscles et des organes. L'eau contribue à maintenir cet équilibre en permettant le transport des électrolytes à travers le corps.

Digestion et absorption des nutriments : L'eau est nécessaire à la digestion des aliments et à l'absorption des nutriments dans le système digestif. Elle facilite le processus de décomposition des aliments, aide à la formation des sucs digestifs et favorise le mouvement des nutriments à travers l'intestin pour une absorption optimale.

Élimination des déchets : L'eau est impliquée dans l'élimination des déchets du corps, notamment par l'urine et la transpiration. Elle aide à filtrer les toxines et les déchets métaboliques des reins et à les éliminer du corps, contribuant ainsi au maintien d'un système excréteur sain.

Santé des organes : Une consommation suffisante d'eau est importante pour le bon fonctionnement des organes vitaux tels que le cœur, les poumons, le cerveau et les reins. L'eau aide à maintenir une circulation sanguine adéquate, une oxygénation des cellules, une lubrification des articulations et une régulation de la température corporelle.

Il convient de noter que les besoins en eau varient selon les individus en fonction de divers facteurs tels que l'âge, le sexe, le niveau d'activité physique et les conditions environnementales. Il est recommandé de boire de l'eau potable propre et sûre pour bénéficier de ses bienfaits sur la santé :

- 68 % d'eau dans le corps humain adulte
- 80 % dans le sang, 4.5% dans le plasma et 30% dans les os
- Pour la peau : 12 à 15% dans la couche cornée et 60 à 70% dans le derme
- 16 % dans le milieu extracellulaire

Les maladies dues à l'eau sont nombreuses : dans les pays en développement, 80% des maladies sont liées à l'eau et causent la mort prématurée de trois millions de personnes chaque année.

Chaque année, 1,8 million de personnes, dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement, meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra) et 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant ou à une hygiène défectueuse²⁴ ([Hugonin, 2011](#)).

III. Présentation de l'algérienne des eaux :

III.1. Création de l'ADE :

Sous la tutelle du ministère des ressources en eau, l'Algérienne des eaux est un établissement public national à caractère commercial et industriel doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Elle a été créée à la suite de la réforme institutionnelle en gagé par les pouvoirs publics en vue d'assurer une gestion rationnelle de la ressource en eau. C'est de cette réforme institutionnelle qu'un décret

Exécutif N°01-101 du 27 moharrem 1422 correspondant au 21 Avril 2001 a officialisé la création de l'Algérienne des Eaux ([Benchehba et Benhennour, 2017](#)).

III.2. Laboratoire de l'ADE de Laghouat :

Le service laboratoire ADE Laghouat est dans le but principal d'assurer la qualité des eaux distribuées à la wilaya de Laghouat et destinées à la consommation humaine. Le laboratoire d'analyses d'eau a pour but d'assurer la qualité d'eau destinée à la consommation en passant par le contrôle dans le réseau de distribution et réservoirs jusqu'au robinet des consommateurs.

IV. Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau :

Pour une analyse physico-chimique complète d'une eau, les principaux renseignements à fournir sont les suivants :

- ✓ Origine de l'eau : Indiquez la source de l'eau, qu'il s'agisse d'une eau de réseau, d'une eau de source, d'une eau de puits, etc.
- ✓ Date et lieu de prélèvement : Mentionnez la date à laquelle l'échantillon d'eau a été prélevé, ainsi que le lieu de prélèvement (par exemple, le nom de la ville, la station de traitement de l'eau, etc.).
- ✓ Description de l'échantillon : Décrivez l'apparence de l'échantillon d'eau, qu'il s'agisse d'une eau claire, trouble, colorée, etc.
- ✓ Utilisation de l'eau : Précisez l'utilisation prévue de l'eau, par exemple, s'il s'agit d'une eau destinée à la consommation humaine, à un usage industriel, à l'irrigation, etc.
- ✓ Paramètres à analyser : Indiquez les paramètres spécifiques que vous souhaitez faire analyser dans l'eau. Cela peut inclure des paramètres physiques tels que la température, le pH, la conductivité, la turbidité, etc., ainsi que des paramètres chimiques tels que la concentration en minéraux, les ions, les métaux lourds, les substances organiques, etc.
- ✓ Normes applicables : Mentionnez les normes, réglementations ou directives en vigueur auxquelles vous souhaitez comparer les résultats de l'analyse. Cela peut inclure des normes nationales, internationales ou locales spécifiques relatives à la qualité de l'eau potable, à la protection de l'environnement, etc.
- ✓ Méthodes d'analyse souhaitées : Si vous avez des préférences pour des méthodes d'analyse spécifiques, vous pouvez les spécifier. Sinon, les laboratoires d'analyse utilisent généralement des méthodes normalisées reconnues pour chaque paramètre.

Il est important de noter que chaque laboratoire peut avoir ses propres exigences spécifiques concernant les informations à fournir pour l'analyse d'eau. Par conséquent, il est recommandé de contacter directement le laboratoire d'analyse pour obtenir des instructions précises sur les renseignements requis et les procédures à suivre ([Bentahar, 2007](#))

V. Risques liés à l'eau :

Il peut arriver que l'eau utilisée dans un établissement de soins soit contaminée, ce qui expose les populations à deux types de risques : les risques infectieux et les risques toxiques. La contamination microbiologique ou chimique peut avoir deux origines distinctes :

La contamination peut provenir de l'eau provenant du réseau public. Bien que cette eau soit généralement potable, il est possible qu'une pollution accidentelle la contamine avec des microorganismes ou des substances chimiques, la rendant dangereuse pour certains patients vulnérables.

La contamination peut également être due à une dégradation de la qualité de l'eau à l'intérieur même du réseau de distribution de l'établissement. L'eau est souvent contaminée par des microorganismes présents dans l'environnement hospitalier. La présence de substances toxiques est moins fréquente, mais peut se produire en cas de dissolution de matériaux de canalisation tels que le cuivre, le plomb ou les plastifiants, ou en cas de mauvaise gestion de certains produits utilisés, tels que l'introduction de produits filmogènes dans des réseaux autres que les réseaux techniques.

La présence de bactéries, de virus et de champignons constitue un risque à court terme, tandis que la présence de substances toxiques présente principalement des risques à moyen et long terme. En général, les concentrations de substances toxiques sont généralement trop faibles pour causer des intoxications aiguës. Cependant, pour certains usages, notamment l'hémodialyse, la présence de substances telles que l'aluminium, le cuivre ou le zinc, même à faibles concentrations, représente un risque grave pour les patients ([Rahal et Ghribi, 2020](#)).

Chapitre II :

Matériels et Méthodes

Introduction :

Dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude, Nous avons réalisé un stage sur le terrain d'une durée d'une semaine, du 11 mars au 16 mars 2023, en compagnie de Mme Bentahar et des étudiants en géologie (**Master I ensembles sédimentaire**) de l'Université de Tizi Ouzou. Cette expérience nous a offert l'opportunité de nous familiariser avec les différentes structures lithologiques présentes dans plusieurs stations, notamment Kaf El Meleh, Jebel Milok et Kourdene. De plus, nous avons effectué des prélèvements d'échantillons d'eau provenant de diverses stations.

I- Situation géographique de la zone d'étude :

La wilaya de Laghouat se situe à 400 Km au sud de la capital Alger. La wilaya s'étend sur 25,000 km². Limitée au Nord-ouest par la wilaya de Tiaret, au Nord et Nord-est par la wilaya de Djelfa, à l'ouest par la wilaya d'el Bayadh, au Sud par la wilaya de Ghardaïa (fig.I.1).

Région pastorale de l'Algérie, elle possède également le plus grand gisement de gaz naturel d'Afrique avec une réserve estimée à plusieurs milliards de mètres cubes.

Située à plus de 750 mètres d'altitude sur les Hauts Plateaux, la wilaya de Laghouat est traversée par la chaîne de l'Atlas saharien avec des sommets qui dépassent les 2 000 mètres ("Djebel Amour" 2 200 mètres).



Figure.II.1 : carte de situation géographique de la wilaya de Laghouat.

Les régions d'étude appartiennent sur le plan administratif à la wilaya de Laghouat(fig.II.2).

➤ **La région de Milok :**

La région de Milok se situe à 23 km du chef-lieu Laghouat.

➤ **La région de Kourdene :**

Ksar Kourdene se situe à 50 km à l'Ouest nord-ouest du chef-lieu Laghouat.

➤ **La région de Kaf el melh :**

Se situe à 120 km au sud-ouest du chef-lieu Laghouat.

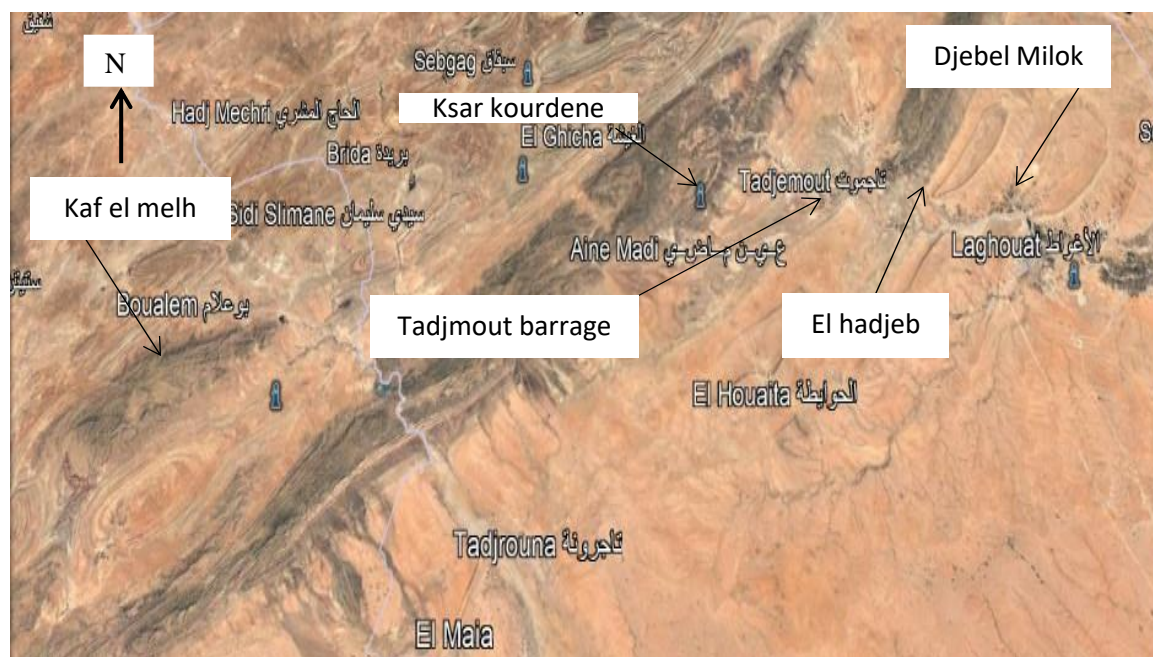


Figure.II.2 : situation géographique de djebel Milok, Ksar Kourdane, Kef el melh. (Wilaya de Laghouat).

II- Etude géologique de la zone d'étude :

II-1- Cadre géologique de l'Atlas Saharien :

II-1-1- Situation géographique générale de l'Atlas Saharien :

L'Atlas Saharien est une chaîne de montagnes intracontinentale, caractérisée par un relief peu escarpé et allongé, s'étendant de la partie supérieure de l'Atlas marocain jusqu'en Tunisie. Elle présente un aspect général de vastes steppes séparées par de longues collines pointues et alignées. Cette chaîne est composée de formations argilo-gréseuses et carbonatées fortement fissurées, principalement structurées au cours du cycle alpin (Chettih, 2007). Elle s'étend sur près de 1200 km, depuis les frontières algéro-marocaines à l'ouest jusqu'aux Aurès à l'est. Au nord, elle est bordée par les Hautes Plaines oranaises, tandis qu'au sud, elle est limitée par la plateforme saharienne. L'Atlas saharien peut être divisé en trois unités géographiques, d'ouest en est :

- L'unité occidentale, composée des Monts des Ksour (Ain-Sefra).
- L'unité centrale, dominée par le Djebel Amour (El Bayadh).

- L'unité orientale, occupée par les Monts des Ouled Naïl (Les Aurès) (Elberrichi et Lefkiri, 2017).

Pour atteindre notre objectif, nous avons réalisé différentes coupes stratigraphiques sur le terrain, basées sur l'observation et la description des éléments géologiques qui laissent des traces dans les couches. La région de Laghouat présente deux domaines géologiques distincts, tant sur le plan de la structure que de l'évolution géologique : l'Atlas Saharien au nord et la plateforme Saharienne au sud. La wilaya possède un socle de roches sédimentaires datant du Secondaire, du Tertiaire et du Quaternaire (Berkat, 2020).

II-1-2- Les formations étudiées :

II-1-2-1- La formation de Laouidja :

Elle est formée par une succession de trois séquences de second ordre, qui présentent une lithologie croissante de type grano-stratique. Cette séquence est caractérisée par une alternance de couches d'argiles verdâtres à la base et de grès au sommet (photo.II.1) :

La 1ère séquence : une combe argileuse surmonté de grés à intercalation calcaire présente des traces d'activité, bioturbation brachiopode, lamellibranche. Comme structure il y a les rides à la base : des mégas rides. Les grés sont en cordon, la forme inverse du chenal qui indique du cordon (base d'embouchure). On est dans le milieu littoral comme indice les stratifications et la faune (Berkat, 2020).

La 2ème séquence : combe argileuse a banc légèrement arqué surmonté de grés a mégaride au sommet une surface durcique noir indique la fin de la séquence : accumulation d'oxygénation, fin du 1er chenal engendre une émergence et un ralentissement (Berkat, 2020).

La 3ème séquence : alternance de grés et argile, épaisse banc d'argile a intercalation calcaire surmonté d'un épais banc de grés à base arquée lenticulaire, y a des éclats, surface d'oxydation. Au sommet surface durcique marque la fin de la séquence et la fin d'activité du chenal. La présence des laminations planes à la base, vers le sommet des rides de courant a stratification oblique indique qu'on est dans la partie supérieur du Pro de delta (Berkat, 2020).

En conclusion la formation de Laouidja (fig.II.1) elle est strato-grano-croissante, la présence des figures de charge témoigne une subsidence qui est d'un effondrement entraînant un ralentissement et donc le début d'installation du 1er édifice deltaïque. Il s'agit d'un bassin instable (Berkat, 2020).



Photo.II.1 : la formation de Laouidja (cliché originale, 2023)

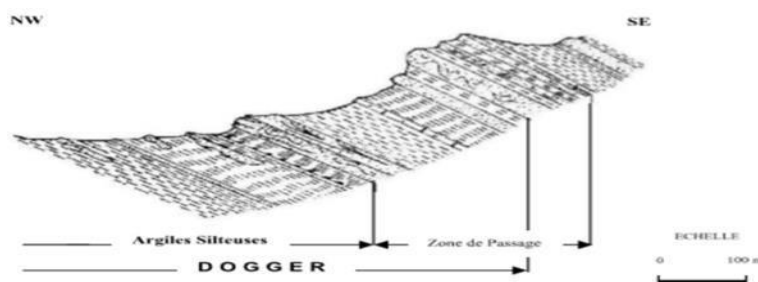


Figure.II.3 : Coupe schématique de djebel Laouidja (Chettih, 2007).

II-1-2-2- La formation de Kerakda :

C'est le premier édifice deltaïque et le plus important dans l'Atlas saharien central. C'est une formation d'âge Callovo-oxfordien constituée de plusieurs séquences d'environnement de front de delta qui sont strato-grano croissantes. Dont l'organisation de ces facies présente la succession suivante grès argile dolomie. Les grès : La première séquence est constituée par des argiles vertes puis des grès avec des méga-rides, et avec quelque dépôts carbonaté (dolomie), en grosses lentilles devenant des barres plus massives vers le sommet pluri métriques, correspondant à des cordons qui contiennent des structures sédimentaires tel que : les stratifications obliques, entre croisées, en arrêt de poisson, rides, méga rides, slump, les slumpbole, bois silicifié qui caractérisent l'environnement intertidale . Les argiles : intercalent les barres gréseuses et contiennent parfois les silts. La dolomie : ou grès dolomitique contient les bioclastes (Berkat, 2020).

II-1-2-3- Formation de Calcaire à polypier :

C'est une série d'âge Kimméridgien inférieur, strato-grano croissante délimité par des surfaces durcis, Elle commence par des bancs calcaires (photo.II.2) à silex dolomités riches en faune variée (polypier branchue, et en colonie, des encroutements algaire, des gastéropodes et des bivalves) qui sont séparés par une combe marneuse de couleur verte, leur surface est gondolée et diaclasée. La série se termine par des grès verts et grossiers tidal à laminations planes, flazers et rides et des structures entrecroisées (Berkat, 2020).



Photo.II.2 : Bancs calcaires (Cliché originale, 2023)

II-1-2-4- Formation de Kourdane :

Les grès de Seklafa : en dessous de la formation d'Argile rouge et dolomie de kourdane se trouve la partie sommitale de grès de Seklafa (photo.II.3) d'âge kimméridgien inférieur, présente certaine ride de courant asymétrique et des bioturbations (Berkat, 2020)



Photo.II.3 : Les grès de Seklafa (Cliché originale, 2023)

La série de kourdane : constitue par 02 méga Séquence (photo.II.4) :
Première Méga Séquence : représenté par des grés à la base surmonté des argiles à intercalation parfois carbonatés

Les grés sont de taille moyenne à fine, de couleur blanchâtre. Les argiles sont marmorisées. Comme structure il y a les rides de courant qui sont dissymétrique, diaclase, bioturbation, figure de charge, des laminations, pédogénèse, marmorisation bois silicifié, Géode, indice de dissolution qui marque une émergence. Plus haut de petit niveau jaunâtre dolomitique, et une discontinuité qui marque la fin de la 1ère méga séquence (Berkat, 2020).

Deuxième Méga Séquence : des alternances de grés et argile parfois à intercalation dolomitique. Les grés sont stratifiés dissymétrique à base lenticulaire ravinant, la taille des bancs diminue vers le sommet. Présente comme structure des rides d'interférence.

Les argiles marmorisées, Au sommet les argiles rouges marquent la fin de la série de kourdane. La marmorisation indique l'émergence le climat est plus humide,

la série est strato-grano décroissante stratonomie et bathymétrie importante. Dominance d'activité de chenaux et les dépôts de condensation donc on est dans le

milieu de la plaine deltaïque. Au point structural la présence de certaine fente (Berkat, 2020).



Photo.II.4 : L'arrêt de la série de Kourdene (Cliché originale, 2023)

II-1-2-5- Formation de Milok :

Constitue par des dépôts de crétacé (photo.II.5)

Barrémien : une alternance de grés et argile, grano-décroissante. Grés blanc friable chenalisé a dragée de quartz a stratification oblique, vers le sommet trace de galet argileux. Les dragées de Quartz témoignent d'un écoulement fluvial très violent. Une discontinuité vers le sommet marqué pas les silicrête, présence des kerboub (nappe principale) (Berkat, 2020).

Aptien : représenter par des dépôts d'argile versicolore gypseux à intercalation carbonaté, indique un milieu lacustre.

Albien : essentiellement gréseux, massif, rougeâtre donc chenaux assez larges, vers e haut marneux gypseux à stratification oblique et présence de stromatolithe.

Cénomaniens- Turoniens : représenter par des dépôts carbonates a marne et gypse, une alternance calcaire marne indique une hausse eustatique donc un développement vers la plateforme externe. Présente des dessiccations, stromatolithe, tepee (Berkat, 2020).



Photo.II.5 : Djebel el Milok (cliché originale, 2023)

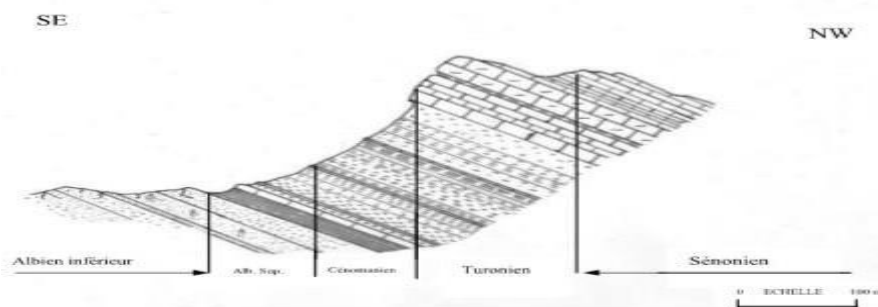


Figure.II.4 : coupe schématique du djebel Milok (Chettih,2007).

III- Echantillonnage :

III-1- Prélèvements :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate qui nécessite une grande attention, car elle influence les résultats analytiques et leur interprétation (photo.II.6). Il est essentiel que l'échantillon soit homogène, représentatif et prélevé sans altérer les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau. Le préleveur doit avoir une connaissance précise des conditions de prélèvement et de leur impact sur la qualité des résultats analytiques. (Bentassa et Guettaf, 2021).



Photo.II.6 : prélèvement d'un échantillon (Cliché originale, 2023).

III-2- Mode de prélèvement :

Le prélèvement des échantillons pour les analyses physico-chimiques revêt une grande importance car les résultats reflètent directement les caractéristiques chimiques de l'eau prélevée. Il est essentiel de veiller à ce que les manipulations effectuées lors du prélèvement ne conduisent en aucun cas à une contamination, d'où la nécessité d'utiliser des instruments stériles et de travailler dans des conditions stériles.

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre de 500 ml avec un bouchon en téflon, qui ont été soigneusement lavés et rincés à l'eau distillée

(Photo.II.7). Par la suite, les flacons sont stérilisés dans un autoclave à une température de 108 °C pendant deux heures.

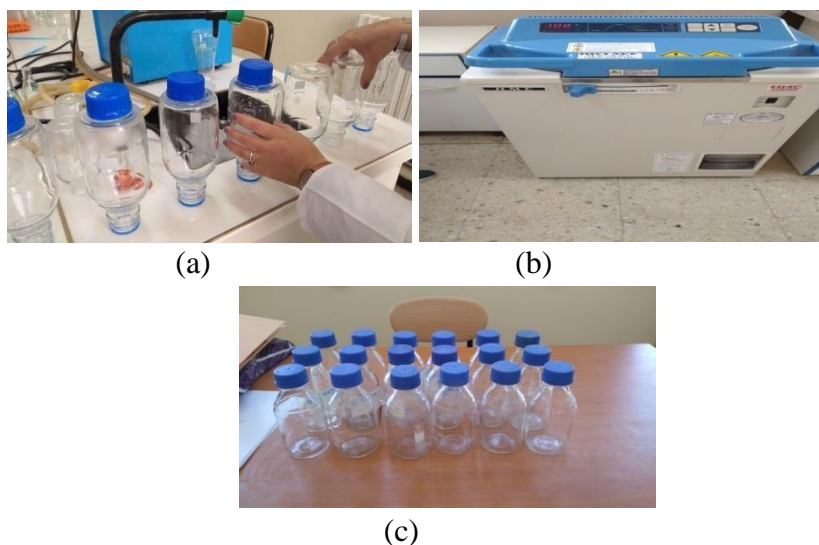


Photo.II.7 : Lavage et autoclavage des flacons

(a): lavage des flacons, (b): autoclave, (c): 15 flacons stériles (Cliché originale, 2023)

Au moment du prélèvement des échantillons pour l'analyse physico-chimique (pendant les jours; 11, 12, 13 Mars 2023) les flacons doivent être rincés à trois reprises avec de l'eau à analyser, puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon doit être fermement placé de manière à éviter toute présence de bulles d'air et à assurer qu'il ne se détache pas pendant le transport. Il est également important d'étiqueter les flacons d'échantillonnage en indiquant le point de prélèvement, la date et l'heure (Bentahar,2007).

Les échantillons prélevés nécessitent un certain temps de transport et une période d'attente au laboratoire avant d'être analysés. En général, il est recommandé de les transporter à une température de 4°C et de les maintenir à l'abri de la lumière dans des emballages isothermes afin de garantir une conservation optimale (Bentahar,2007).

Les analyses des éléments physico-chimiques ont été effectuées au laboratoire des analyses physico-chimiques de l'ADE Laghouat le 19 mars 2023. Certains paramètres physiques ont été mesurés directement sur le terrain (photo.II.8), notamment la température de l'eau, la température de l'air, le pH et la conductivité.



Photo.II.8 : Mesure de paramètres physico-chimiques sur terrain (cliché originale, 2023)

Dans un premier temps, nous avons entamé l'analyse physico-chimique et avons été accueillis par Monsieur Henniche, chef de service du laboratoire de l'ADE Laghouat. Il nous a fourni toutes les explications nécessaires concernant le matériel utilisé ainsi que les techniques d'analyse physico-chimique. Les noms des forages ainsi que leurs coordonnées ayant servis à l'échantillonnage d'eau sont indiqués dans le tableau II.1.

Tableau.II.1 : Forages d'eau sélectionnés pour la campagne d'échantillonnage de mars 2023.

Forages	Nom de forage	X	Y
F1	Milok source 1	2.73	33.91
F2	Milok source 2	2.73	33.91
F3	Tadjmout Barrage	2.47	33.90
F4	Kourdane source	2.34	33.84
F5	El Hadjeb	2.60	33.80
F6	Kaf el melh	2.67	33.70

IV- Analyses physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques ont inclus la mesure de la température, du pH, de la conductivité électrique (CE), de la turbidité, des matières en suspension (MES), de la dureté totale, du calcium, du magnésium, des chlorures et des nitrites (Ayad, 2017). Cette analyse se divise en deux parties : une analyse partielle et une analyse complète.

L'objectif de ces analyses est de procéder à l'autocontrôle de la qualité des eaux destinées à la consommation. Les analyses ont été effectuées au laboratoire d'analyses physico-chimiques de l'ADE LAGHOUAT, en collaboration avec Monsieur Ahmed Henniche, (chef de service, ADE).

IV-1- Analyses partielles :

Concerne à mesurer les paramètres suivants : températures, pH, turbidité et la conductivité.

IV-1-1- Mesure de la température :

La température de l'eau joue un rôle significatif dans la perception de sa sensation. C'est un facteur crucial lorsqu'il s'agit d'eau destinée à la consommation humaine (Bentahar,2007). En général, les instruments de mesure de la conductivité ou du pH sont équipés d'un thermomètre intégré (Rodier et al., 2009).

IV-1-2- Mesure du potentiel d'hydrogène (pH) :

Procédure :

- Connecter le pH-mètre (photo.II.9) et le laisser se stabiliser pendant quelques minutes.
- Installer les électrodes aux entrées correspondantes de l'appareil.
- Étalonner l'appareil en utilisant une solution tampon.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et avec l'échantillon à analyser.
- Assurer que l'échantillon d'eau atteigne la température souhaitée.
- Plonger l'électrode dans l'échantillon à analyser et lire la valeur du pH directement.
-

Après chaque mesure du pH, retirer l'électrode, la rincer, et à la fin de l'expérience, laisser tremper l'électrode dans de l'eau distillée (Rodier et al., 2009).



Photo.II.9 : pH mètre et thermomètre intégré (Cliché originale, 2023)

IV-1-3- Mesure de la conductivité électrique (CE) et TDS :

➤ Mode opératoire :

En général, il est essentiel de garantir la propreté rigoureuse et le rinçage de la verrerie avec de l'eau distillée avant utilisation. Pour la cellule de conductivité, il convient de la rincer plusieurs fois, d'abord avec de l'eau distillée, puis en la plongeant dans un récipient contenant l'eau à analyser.

La mesure est effectuée dans un deuxième récipient, en veillant à ce que les électrodes en platine soient complètement immergées. Le liquide est agité pour égaliser la concentration ionique entre les électrodes et le liquide environnant. Cette agitation permet également d'éliminer les bulles d'air des électrodes. Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Rodier et al., 2005). Cet appareil permet également de mesurer les matières solides totales dissoutes (TDS) (Photo.II.10), dont la valeur est exprimée en mg/l .



Photo.II.10 : Appareil conductimètre (Cliché originale, 2023)

IV-1-4- Mesure de la turbidité :

➤ Mode opératoire :

Une cuvette de mesure propre est remplie avec l'échantillon à analyser, soigneusement homogénéisé, et la mesure est effectuée rapidement dans le turbidimètre (Photo.II.11). Il est important de vérifier l'absence de bulles d'air avant de procéder à la mesure. La valeur de turbidité est obtenue directement en NTU (Nephelometric Turbidity Units) (Ayad, 2017).



Photo.II.11 : Turbidimètre (Cliché originale, 2023)

IV-1-5- Mesure de la salinité et de la minéralisation :

Nous calculons les valeurs de salinité à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Salinité (mg/l)} = \text{TDS}/1000$$

Pour la minéralisation globale :

Si : $333 (\mu\text{S}/\text{cm}) < \text{Conductivité électrique} < 833 (\mu\text{S}/\text{cm})$

Donc $M = C * 0,715920$

Si : $833 (\mu\text{S}/\text{cm}) < \text{Conductivité électrique} < 1000 (\mu\text{S}/\text{cm})$

Donc : $M = C * 0,758544$

IV-2- Analyses complètes :**IV-2-1- Minéralisation Globale :****IV-2-1-1- Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme :****➤ Matériel :**

- Appareil Dr LANGE (JENWAY)

➤ Réactifs :

- Solution fille de sodium (Na^+) à 10 mg/l
- Solution fille de potassium (K^+) à 10 mg/l
- Eau distillée.

➤ Mode opératoire

Pour allumer l'appareil Dr LANGE (Jenway) (Photo.II.12), nous appuyons sur le bouton vert "Power". Ensuite, nous ouvrons le robinet de la bouteille de gaz et nous allumons la flamme en maintenant le bouton noir "IGNITION" enfoncé jusqu'à ce que l'affichage "FLM" en rouge apparaisse sur l'écran. Nous plaçons ensuite une pipette remplie d'eau distillée dans une cuvette et ajustons la flamme si elle est jaune en utilisant le bouton "fuel" jusqu'à ce qu'elle devienne bleu violacé. Nous effectuons ensuite un réglage à zéro en utilisant le bouton "Blank" et laissons la flamme se stabiliser pendant 5 à 10 minutes.

Une fois que la flamme est stabilisée à zéro, nous remplaçons la cuvette d'eau distillée par une autre cuvette contenant une solution étalon de Na^+ ou K^+ à 10 mg/l et l'ajustons à 10 mg/l en utilisant le bouton "FINE". Ensuite, nous retirons la cuvette contenant la solution étalon et la remplaçons par une cuvette d'eau distillée pour vérifier si l'écran affiche zéro. Nous répétons cette étape avec une autre solution étalon de Na^+ ou K^+ à 10 mg/l et vérifions si l'écran affiche (10). Nous retirons ensuite la cuvette et la remplaçons par une cuvette d'eau distillée.

Ensuite, nous procédons à l'analyse de nos échantillons inconnus en passant chaque échantillon jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon). À la fin de l'analyse, par mesure de sécurité, nous fermons d'abord la bouteille de gaz, puis l'appareil et la pompe. Les résultats sont donnés directement en mg/l selon la norme ([ISO 9964/3,1993](#)).

• Remarque

Avant de doser le sodium (Na^+) il faut toujours vérifier les valeurs de la "conductivité" car cette dernière a un rapport proportionnel à la dilution, c'est à dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du (Na^+) est grande et vice versa. Alors pour le cas de (K^+) on ne fait pas la dilution sauf que la conductivité est grande. ([ISO 9964/3, 1993](#)).



Photo.II.12 : Spectrophotomètre à ionisation de flamme (Cliché originale, 2023)

IV-2-1-2- Détermination du calcium (Ca^{2+}) :

➤ Réactifs :

- Solution d'EDTA = 0.01 mol/l:
EDTA 3,725 g.
Après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
H2O distillée q.s.p 1000 ml
- Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) pH = 10,1:
Chlorure d'ammonium67,5 g.
 NH_4OH (25%)570 ml.
H Cl concentréPH = 10,1
H2O distillée..... q.s.p 1000 ml.
- Indicateur coloré (calcon)

➤ Mode opératoire :

Pour effectuer l'analyse, nous prélevons 50 ml d'eau à analyser et ajoutons 2 ml d'une solution tampon de pH=10 nous avons ajoutés cette solution parce que la réaction se passe dans un pH=10(photo.II.13). Ensuite, nous ajoutons quelques grammes de l'indicateur Calcon pour obtenir une coloration rose. Nous plaçons ce mélange sur l'agitateur, sous la pipette de titrage contenant l'E.D.T.A.

En ouvrant la pipette de titrage, nous laissons couler l'E.D.T.A. jusqu'au changement de couleur en bleu. Nous refermons ensuite la pipette, arrêtons l'agitation et relevons la différence de volume entre V2 et V1. La valeur obtenue est ensuite multipliée par un coefficient de 40,08 pour obtenir la concentration en mg/l des ions calcium dans l'eau à analyser, conformément à la norme NF T90-003 (1984).

Ainsi, la formule pour calculer la concentration de Ca^{2+} en mg/l est :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = (\text{V2} - \text{V1}) \times \text{M}_{\text{Ca}^{2+}}$$

Où :

- V2 représente le volume total d'EDTA utilisé,
- V1 représente le volume d'EDTA nécessaire pour atteindre une concentration donnée,
- $\text{M}_{\text{Ca}^{2+}}$ est la masse molaire du calcium en g/mol.

En résumé, la concentration de Ca^{2+} en mg/l peut être calculée en utilisant la formule :

$$\text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = (V2 - V1) \times 40,08.$$

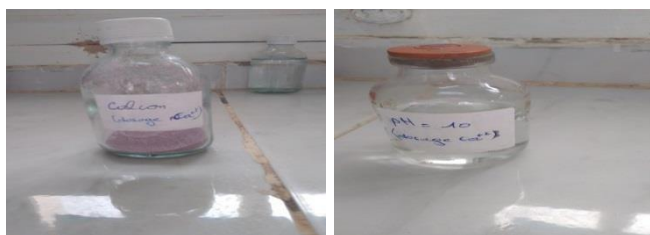


Photo.II.13 : Les réactifs nécessaires pour le dosage du Ca^{2+} (Cliché originale, 2023)

IV-2-1-3- Détermination du magnésium (Mg^{2+}) :

Pour le magnésium nous extrayons les résultats par l'équation suivante :

$$\text{TH} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \longrightarrow \text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$$

$$\text{Donc: } \text{Mg}^{2+} / (\text{M}_{\text{Mg}^{2+}} / 2) = \text{TH} / (\text{M}_{\text{TH}} / 2) = \text{Ca}^{2+} / (\text{M}_{\text{Ca}^{2+}} / 2)$$

$$\longrightarrow \text{Mg}^{2+} = (\text{TH} / 50 - \text{Ca}^{2+} / 20.04) \times 12.16$$

$\text{M}_{\text{Mg}^{2+}}$: Masse molaire du magnésium en g/mol.

M_{TH} : Masse molaire de la dureté totale en g/mol.

$\text{M}_{\text{Ca}^{2+}}$: Masse molaire du calcium en g/mol.

IV-2-1-4- Détermination des chlorures :

➤ Matériel :

- Béchers de 150 ml
- Pipette de pasteur
- Agitateur
- Barreau magnétique
- Flacon erlenmeyer de 100 ml.
- Burette de l'EDTA.

➤ Réactifs :

- Solution de chromate de potassium à 10 % (indicateur coloré)
- Solution de nitrate d'argent à 0.02 N

➤ Mode opératoire :

Nous prélevons 10 ml d'eau à analyser dans un bécher de 150 ml. Ensuite, nous ajoutons 3 gouttes d'une solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) qui confère une couleur jaunâtre au mélange. Nous procédons ensuite au titrage en utilisant une solution d' AgNO_3 à 0,01N jusqu'à ce que la couleur rouge brique apparaisse.

- V2 représente le volume total d'AgNO₃ utilisé,
- V1 représente le volume d'AgNO₃ nécessaire pour atteindre une concentration donnée,
- MCl⁻ est la masse molaire des chlorures en g/mol.

Ainsi, pour calculer la concentration en mg/l des chlorures, nous utilisons la formule :

$$Cl \text{ (mg/l)} = (V2 - V1) \times 71.$$

Veillez noter que les valeurs V2 et V1 doivent être exprimées en volume et que MCl⁻ correspond à la masse molaire des chlorures en grammes par mole.

IV-2-1-5- Détermination des sulfates (SO₄⁻³) :

➤ Matériel :

- ✓ Spectrophotomètre UV Visible (longueur d'onde = 420 nm)
- ✓ Bêchers
- ✓ Fioles
- ✓ Pipettes

➤ Réactifs :

• Réactif (I) (solution stabilisante) :

- ✓ Acide chlorhydrique
- ✓ Ethanol
- ✓ Chlorure de sodium
- ✓ Glycérol
- ✓ Eau distillée

• Réactif (II) (Solution de chlorure de baryum) :

- ✓ Chlorure de baryum
- ✓ Acide chlorhydrique
- ✓ Eau distillée

➤ Mode opératoire :

Prélevez 20 ml d'eau à analyser et ajoutez-y 5 ml de solution stabilisante ainsi que 2 ml de chlorure de baryum. Agitez vigoureusement le mélange pendant 1 minute avant de le placer dans le spectrophotomètre (photo.II.14). Les résultats seront exprimés en mg/l conformément à la norme [ISO 5667 de 2004](#).



Photo.II.14 : Spectrophotomètre (Cliché originale, 2023)

IV-2-1-6- Détermination de l'alcalinité (HCO₃⁻) :

➤ Matériel :

- Bécher
- Eprouvette de 100ml

- Pipettes
- Pissette d'eau distillée

➤ **Réactifs :**

- Solution indicatrice de méthyle orange
- Solution de H₂SO₄

➤ **Mode opératoire :**

Prélevez 100 ml d'eau à analyser et ajoutez-y quelques gouttes de méthyle orange. Vous obtiendrez une coloration orange. Placez cette solution sur l'agitateur à faible vitesse situé sous la pipette de titrage contenant l'H₂SO₄. Versez la solution d'H₂SO₄ dans l'eau à analyser jusqu'à ce que la couleur vire au jaune. À ce moment-là, arrêtez l'agitation et notez la différence entre les volumes V₂ et V₁. Multipliez cette valeur par un coefficient de conversion (527) pour obtenir la concentration de HCO₃⁻ en mg/l conformément à la norme NF T0-036 de 1994.

$$\text{HCO}_3^- \text{ (mg/l)} = (\text{Volume H}_2\text{SO}_4 \times \text{concentration massique de H}_2\text{SO}_4) / \text{Volume d'eau à analyser}$$

IV-2-1-7- Détermination de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA :

➤ **Matériel :**

- Bécher
- Epruvette de 100 ml
- Pipettes et fioles
- Pissette d'eau distillée

➤ **Réactifs :**

- Solution d'EDTA
- Solution du noir d'Eriochrome T (NET) à 0.5%
- Solution tampon pH=12

➤ **Mode opératoire :**

Prenez 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajoutez-y 4 ml de solution tampon pH=12 et 3 gouttes de solution de noir d'ériochrome T (photo.II.15). La solution se colore en violet. Placez cette solution sur l'agitateur à une faible vitesse, qui se trouve sous la pipette de titrage contenant l'EDTA. Versez la solution d'EDTA dans l'eau à analyser jusqu'à ce que la couleur vire au bleu, puis arrêtez l'agitateur. Notez la différence entre les volumes V₂ et V₁. Multipliez cette valeur par un coefficient de conversion (100) pour obtenir la valeur de la dureté totale de l'échantillon à analyser.

$$\begin{aligned} \text{TH (mg/l)} &= (V_2 - V_1) \times M_{\text{TH}} \\ \text{TH (mg/l)} &= (V_2 - V_1) \times 100 \end{aligned}$$

Où :

V₂ : Volume total d'EDTA

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

M_{TH} : Masse molaire de la dureté totale en g/mol.



Photo.II.15 : Réactifs utilisés pour la détermination de la dureté totale (Cliché originale, 2023)

IV-2-2- Paramètres de pollution :

IV-2-2-1- Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+) :

➤ Matériel :

- ✓ Appareil Spectrophotomètre UV-Visible (longueur d'onde= 655 nm)
- ✓ Becher
- ✓ Pipette de pasteur
- ✓ Eprouvette de 100 ml

➤ Réactifs :

• Réactif (I) (coloré) :

- ✓ Salicylate de sodium $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$.
- ✓ Citrate tri sodique déshydraté $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$.
- ✓ Nitroprussiate de sodium $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- ✓ Eau distillée.

• Réactif (II) :

- ✓ Hydroxyde de sodium NaOH .
- ✓ Dichlorosocyanurate de sodium.
- ✓ Eau distillée.



Photo.II.16 : Réactif I et Réactif II utilisés pour le dosage du NH_4^+ (Cliché originale, 2023)

➤ Mode opératoire :

Prendre 50 ml d'eau à analyser et ajoutez-y 1 ml du réactif I et 1 ml du réactif II (Photo.II.16). Attendez ensuite pendant 30 minutes. Une fois ce délai écoulé, placez l'échantillon dans le spectrophotomètre pour la lecture. La concentration de NH_4^+ peut être directement lue sur l'appareil en mg/l.

IV-2-2-2- Dosage des nitrites (NO_2^-) :

➤ Matériel :

- Bécher
- Pipette
- L'appareil de Spectrophotomètre UV-Visible

➤ Réactifs :

- Réactif Mixte:

- Sulfanilamide.....40 g.
- Acide phosphorique.....100 ml.
- N-1- Naphtyle éthylène diamine2 g.
- H₂O distiller.....q.s.p 1000 ml.

➤ **Mode opératoire :**

Prendre 50 ml d'eau à analyser et ajoutez-y 1 ml du réactif mixte. Attendez pendant 10 minutes. L'apparition d'une coloration rose indiquera la présence de NO₂⁻. Ensuite, placez l'échantillon dans le spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 543 nm pour la lecture. La concentration des nitrites sera directement affichée sur l'appareil en mg/l, conformément à la norme ISO 5667.2004.

IV-2-2-3- Dosage des nitrates (NO₃⁻):

➤ **Matériel et appareils :**

- ✓ Etuve
- ✓ Spectrophotomètre U.V visible
- ✓ Bêchers
- ✓ Pipettes

➤ **Réactifs :**

- ✓ Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h)
- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium 30 %
- ✓ H₂SO₄ concentré
- ✓ Tartrate double de sodium et de potassium.
- ✓ Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l
- ✓ Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l

➤ **Mode opératoire :**

Prenez 10 ml de l'eau à analyser, puis ajoutez-y 3 gouttes de NaOH à 30%. Ensuite, ajoutez 1 ml de salicylate de sodium (photo.II.17). Les échantillons analysés seront placés dans une étuve à une température de 75-88 C° afin d'évaporer complètement l'eau. Après refroidissement, ajoutez 2 ml de H₂SO₄ aux résidus, laissez reposer pendant 10 minutes. Ensuite, ajoutez 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium. Les échantillons seront ensuite placés dans le spectrophotomètre à une longueur d'onde de 415 nm. Les résultats seront donnés directement en mg/l, conformément à la norme T90-012.1994.



Photo.II.17 : Réactifs utilisés pour le dosage du nitrates (Cliché originale, 2023)

IV-2-2-4- Détermination des phosphates (PO₄³⁻) :

➤ **Matériel et appareil :**

- ✓ Appareil Spectrophotomètre UV visible
- ✓ Becher

- ✓ Pipettes
- **Réactifs :**
 - ✓ Réactif Mixte
 - ✓ Acide ascorbique à 10 %
- **Mode opératoire :**

Prendre 40 ml d'eau à analyser et ajoutez-y 1 ml d'acide ascorbique ainsi que 2 ml du réactif mixte (photo.II.18). Laissez reposer pendant 10 minutes jusqu'à ce que la couleur bleue apparaisse. Ensuite, transférez l'échantillon dans le spectrophotomètre en utilisant une longueur d'onde de 880 nm. Les résultats seront donnés directement en mg/l, conformément à la norme ISO N° 6878.2004.



Photo.II.18 : Réactifs utilisés pour le dosage du phosphates (Cliché originale, 2023)

IV-2-3- Eléments indésirables :

IV-2-3-1- Détermination du fer :

- **Rectifs :**
 - ✓ Tampon acétate
 - ✓ Solution phénantroline
 - ✓ Chlorhydrate d'hydroxylamine
- **Mode opératoire :**

Prenez 50 ml d'eau à analyser dans un bécher. Ajoutez 1 ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélangez soigneusement. Ensuite, ajoutez 2 ml de tampon acétate et 2 ml de la solution de phénantroline (photo.II.19). Conservez le mélange à l'obscurité pendant 15 minutes. Enfin, transférez l'échantillon dans le spectrophotomètre pour effectuer la mesure à une longueur d'onde de 510 nm. Les résultats seront donnés en mg/l, conformément à la norme ISO 6332.1988.

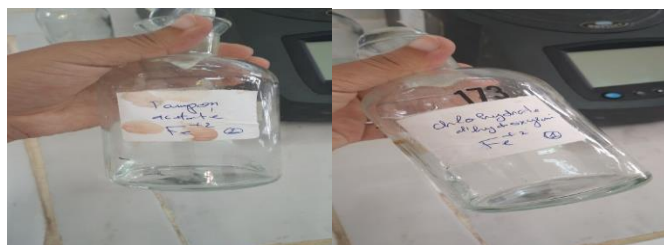


Photo.II.19 : réactifs utilisés pour le dosage du fer (Cliché originale, 2023)

Conclusion :

En conclusion, les analyses physico-chimiques de l'eau sont indispensables pour évaluer sa qualité et garantir sa sécurité. Ces méthodes permettent de détecter la présence de contaminants et de surveiller les paramètres clés liés à la potabilité de

l'eau. Il est essentiel de suivre les protocoles d'analyse de manière rigoureuse et de se référer aux normes établies pour obtenir des résultats précis et significatifs. Cela contribue à protéger la santé publique et à assurer l'accès à une eau potable de qualité

Chapitre III :

Résultats et

Discussion

I. Résultats des analyses physico-chimiques :

I.1. Analyses partielles :

I.1.1. Température :

La température est un élément écologique crucial qui a un impact significatif sur l'environnement. Elle joue un rôle essentiel dans l'ajustement des paramètres d'analyse qui sont étroitement liés à la température, tels que la conductivité électrique. Par conséquent, il est primordial de mesurer précisément la température de l'eau afin de garantir des résultats d'analyse fiables. La température influe sur divers aspects tels que la solubilité et la dissolution des sels dissous, la solubilité des gaz, la conductivité électrique et la détermination du pH.

Suite à nos analyses, nous avons obtenu des valeurs de température comprises entre 11,1 et 13,1 °C température mesurées en moi de Mars pour les échantillons d'eau étudiés (fig.III.1). Ces valeurs restent nettement inférieures à la limite de 30 °C. Une température élevée peut avoir des effets importants sur la qualité de l'eau, notamment en influençant la solubilité des substances dissoutes et la réaction chimique entre les différents composants de l'eau. Par conséquent, des températures élevées peuvent entraîner des changements significatifs dans les propriétés physico-chimiques de l'eau.

Dans le contexte de notre étude, les valeurs de température obtenues se situent dans une plage acceptable, ce qui suggère que la température de l'eau n'a pas d'effet négatif majeur sur ses propriétés. Cependant, il est important de surveiller régulièrement la température de l'eau pour détecter tout changement significatif qui pourrait influencer sa qualité.

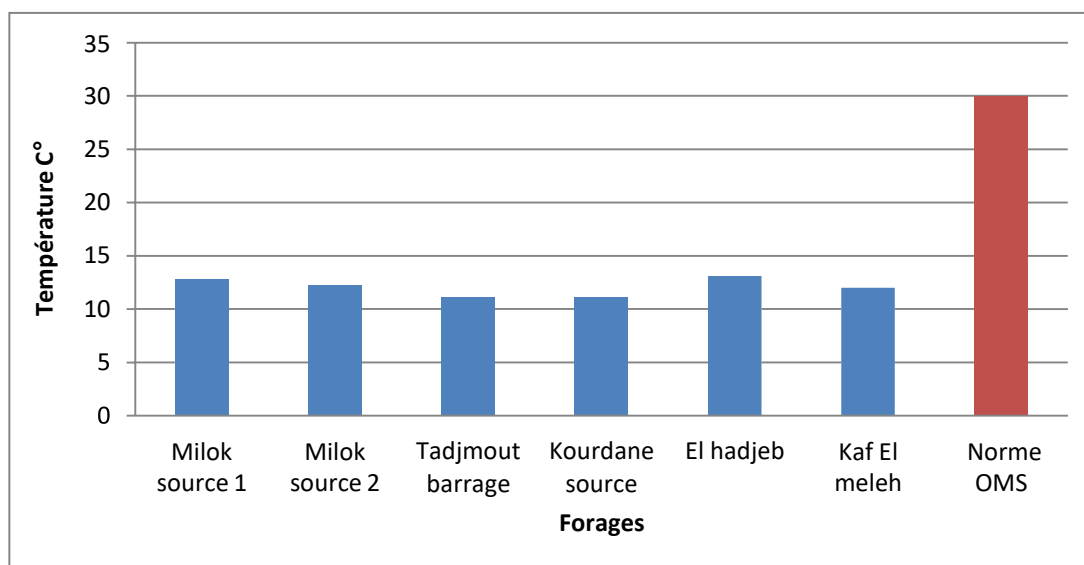


Figure.III.1 : Variations de la température enregistrés dans les forages.

I.1.2. pH :

Le pH est un paramètre chimique qui permet de caractériser l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il est déterminé par la composition ionique de l'eau et peut être inférieur ou supérieur à 7 en fonction de son acidité ou de sa basicité. Bien que le pH n'ait pas de signification hygiénique directe, il joue un rôle important dans l'évaluation de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous.

Dans le cadre de notre étude, les valeurs de pH mesurées ne présentent pas de variations significatives et se situent entre 7,94 et 8,40 (fig.III.2). Ces résultats indiquent que les eaux souterraines analysées respectent les normes en vigueur en Algérie concernant le pH. Une plage de pH comprise entre 6,5 et 9 est généralement considérée comme acceptable pour l'eau potable.

Le maintien d'un pH équilibré dans l'eau est essentiel pour assurer son caractère non corrosif et prévenir les problèmes liés à la corrosion des canalisations et à la précipitation de substances dissoutes. Des variations importantes du pH peuvent affecter la qualité de l'eau et influencer sa capacité à dissoudre ou à précipiter des composés.

Dans l'ensemble, les valeurs de pH obtenues indiquent que les eaux souterraines étudiées présentent un pH conforme aux normes réglementaires, ce qui suggère qu'elles ne présentent pas de caractère excessivement acide ou basique. Cependant, il est recommandé de surveiller régulièrement le pH de l'eau afin de détecter tout changement significatif qui pourrait avoir des conséquences sur sa qualité et son utilisation.

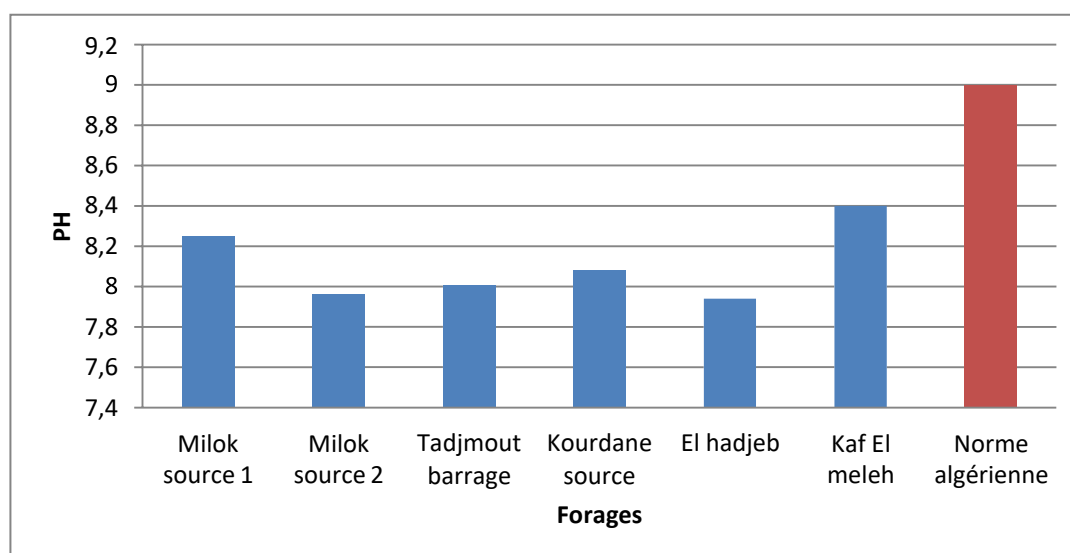


Figure.III.2 : Variations des teneurs du pH enregistrés dans les forages.

I.1.3. Conductivité :

La conductivité électrique est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, ce qui permet d'évaluer rapidement son degré de minéralisation et de suivre son évolution au fil du temps. La minéralisation de l'eau peut être évaluée à l'aide de différents paramètres, tels que la conductivité, le résidu sec, les concentrations en calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{+}), sulfates (SO_4^{2-}), chlorures (Cl^-) et sodium (Na^+).

Les résultats de notre étude révèlent que la conductivité de l'eau souterraine des stations de Khaf elmeleh dépasse les normes établies (fig.III.3), qui sont respectivement de 2100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Les valeurs mesurées varient entre 2607 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 6786 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ces résultats indiquent que l'eau de ces stations est très minéralisée.

Une eau fortement minéralisée peut avoir des implications sur sa qualité et son utilisation. Elle peut affecter le goût de l'eau et avoir des effets sur les équipements et les infrastructures qui y sont exposés, tels que les canalisations et les appareils électriques. De plus, une teneur élevée en minéraux peut influencer les propriétés physico-chimiques de l'eau, notamment sa solubilité et sa capacité à dissoudre d'autres substances.

Il est important de noter que la minéralisation de l'eau peut varier en fonction de la géologie et des processus hydrologiques de la région. Les sources de minéralisation peuvent être multiples, notamment les dépôts géologiques, les rejets industriels ou agricoles, ainsi que d'autres activités humaines.

En conclusion, les résultats obtenus indiquent que les stations de Khaf elmeleh présentent une eau souterraine très minéralisée, avec une conductivité électrique dépassant les normes établies. Pour comprendre l'origine de ces fortes conductivités, nous intéressons à la texture et la nature lithologique du sous-sol. Elles permettent de mettre en évidence les interactions eau-roche qui existent à cet endroit et accélèrent par conséquent les dissolutions. Il convient donc de prendre en compte cette caractéristique lors de l'utilisation et du traitement de l'eau de ces sources, afin de garantir sa qualité et son adéquation à différentes applications.

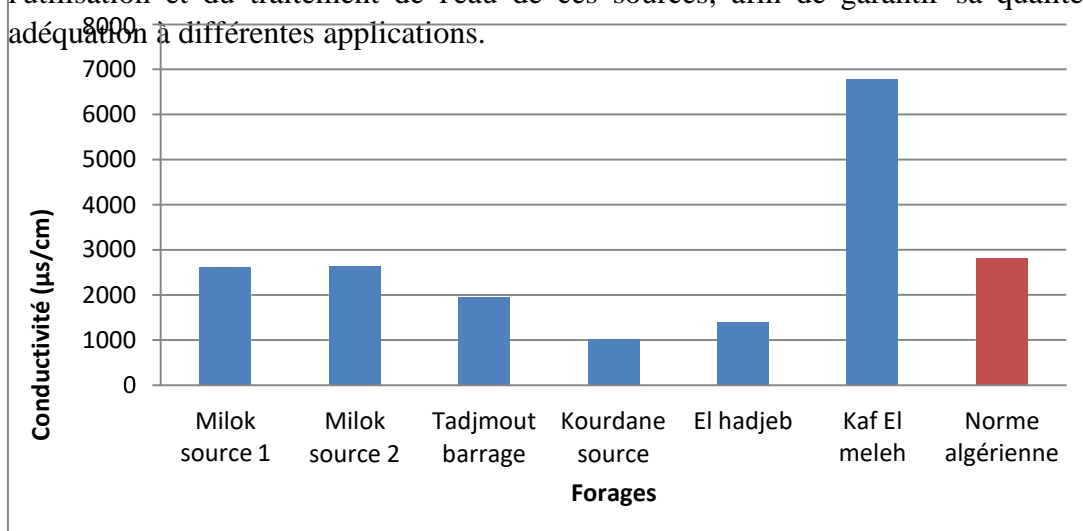


Figure.III.3 : Variations de la Conductivité enregistrés dans les forages.

I.1.4. Turbidité :

La turbidité correspond à la diminution de la transparence d'un liquide en raison de la présence de matières non dissoutes. Dans le cas des eaux, elle est principalement causée par la présence de fines matières en suspension (MES) telles que les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible proportion de la turbidité peut également être due à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (Rejeseq, 2002). La turbidité de l'eau souterraine est généralement d'origine inorganique et causée par des facteurs géologiques naturels (Bekhiche et Chikh, 2022).

Selon les normes algériennes, la turbidité de l'eau distribuée ne doit jamais dépasser 5 NTU (Unité de Turbidité Néphélométrique). Les valeurs obtenues de turbidité varient entre 0,03 NTU (Milok source1) et 0,360 NTU (Kourdane source) (fig.III.4), ce qui indique une eau claire sans présence de matières en suspension.

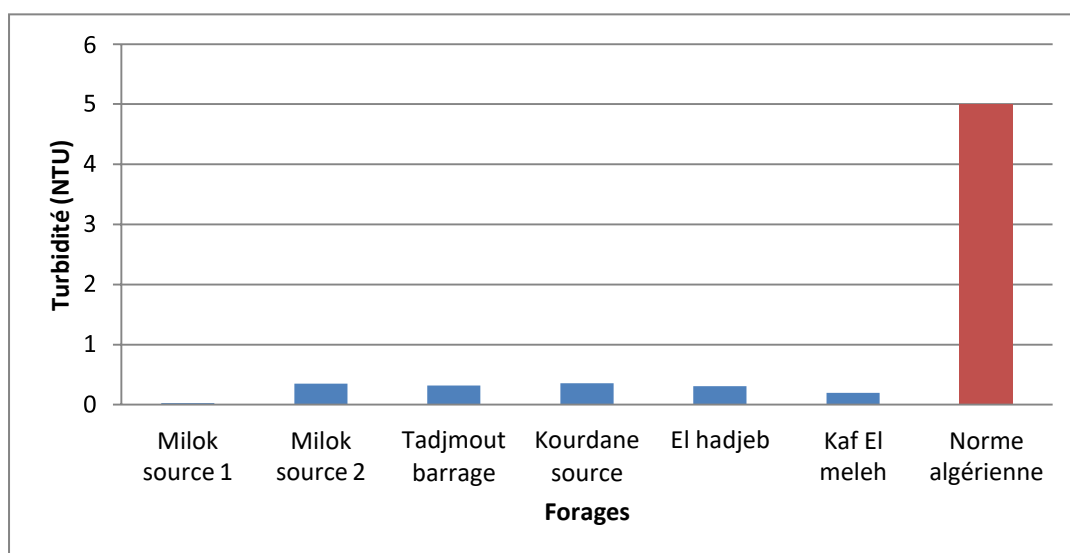


Figure.III.4 : Variation des teneurs de la turbidité enregistrés dans les forages.

I.1.5. TDS :

Les Solides Dissous Totaux (TDS) représentent la quantité de matière dissoute dans l'eau, mesurée en milligrammes par litre (mg/L). Les sources de TDS incluent les mines, les décharges, le sel de voirie, l'eau salée, les stations d'épuration, les systèmes de traitement et d'adoucissement de l'eau, etc. (Patrick, 2009). Bien qu'il n'y ait pas de valeur guide spécifique, il est recommandé de maintenir les TDS en dessous de 1000 mg/L pour un optimum selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2006).

Les résultats obtenus révèlent des niveaux de Solides Dissous Totaux (TDS) variables dans les différentes sources d'eau analysées (fig.III.5). La source Kourdane présente un niveau de TDS de 503 mg/L, tandis que la source Khaf El Meleh affiche un niveau de TDS de 3620 mg/L.

Les TDS représentent la quantité de matière dissoute dans l'eau et peuvent provenir de diverses sources telles que les activités minières, les décharges, l'eau salée, les stations d'épuration et les systèmes de traitement de l'eau. Les niveaux élevés de TDS peuvent être associés à une forte concentration de sels dissous dans l'eau.

Bien qu'il n'existe pas de valeur guide spécifique pour les TDS, l'OMS recommande généralement de maintenir les niveaux en dessous de 1000 mg/L pour optimiser la qualité de l'eau potable. Il est important d'évaluer les niveaux de TDS en fonction de leur utilisation prévue, car des concentrations élevées peuvent affecter le goût, la qualité et l'adéquation de l'eau pour divers usages tels que la consommation humaine ou l'irrigation agricole.

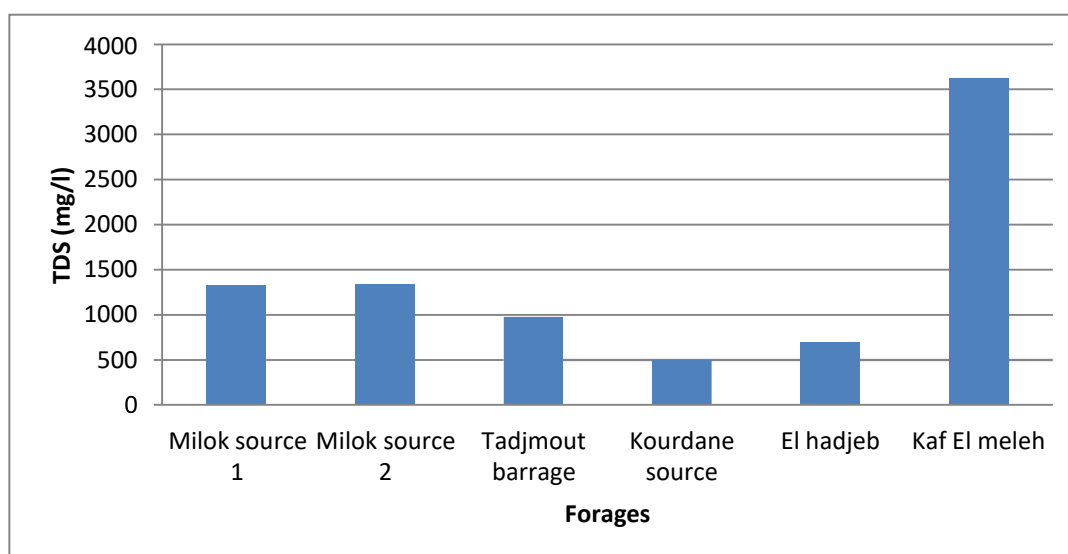


Figure.III.5 : Variation des teneurs de la TDS enregistrés dans les forages.

I.1.6. Salinité :

La salinité est la quantité de sels (composés ioniques) dissous dans 1 litre d'eau. Elle est exprimée en milligrammes par litre d'eau (mg/l). Un composé ionique ou un solide ionique cristallin est constitué de cations (ions chargés positivement) et d'anions (ions chargés négativement) régulièrement disposés dans l'espace. Dans l'ensemble, un cristal ionique est électriquement neutre. Chaque solide ionique cristallin possède une formule statistique qui indique la nature et la proportion des ions présents sans les spécifier individuellement ([Gaujous, 1985](#)).

Les résultats obtenus montrent des niveaux de salinité variables dans les différentes sources d'eau étudiées (fig.III.6). La source Kourdane présente une salinité de 0,503 mg/l, ce qui indique une faible quantité de sels dissous dans l'eau. En revanche, la source Khaf El Meleh présente une salinité de 3,620 mg/l, ce qui suggère une concentration plus élevée de sels dissous.

Ces variations de salinité peuvent être influencées par divers facteurs tels que la géologie de la région, les processus d'évaporation, la présence de sources salées ou d'activités humaines telles que l'agriculture ou l'industrie. Il est important d'analyser et de

comprendre ces niveaux de salinité afin d'évaluer l'adéquation de l'eau pour différentes utilisations, telles que l'irrigation agricole, la consommation humaine ou d'autres applications spécifiques.

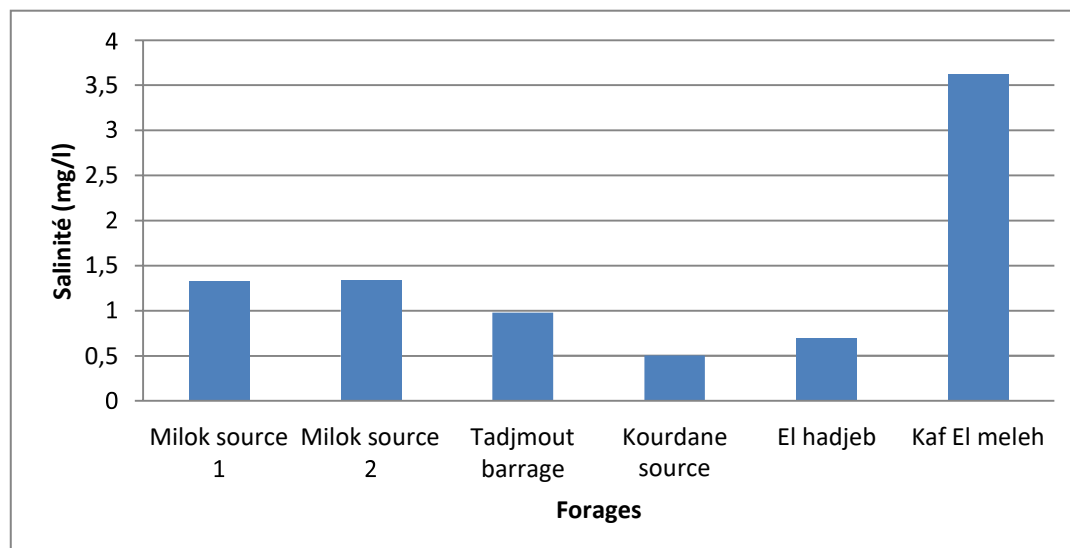


Figure.III.6 : Variation des teneurs de la Salinité enregistrés dans les forages.

I.1.7. Minéralisation :

Les résultats obtenus indiquent des niveaux de minéralisation variables dans les différentes sources d'eau étudiées (fig.III.7). La source Kourdane présente un niveau de minéralisation de 766.5, tandis que la source Khaf el Meleh affiche un niveau de minéralisation plus élevé de 5089.5.

Une relation directe entre la minéralisation de l'eau et sa conductivité électrique est observée. En général, une conductivité plus élevée est associée à une plus grande quantité de sels dissous et donc à une plus grande minéralisation de l'eau. Cela signifie que la source Khaf el Meleh, avec une conductivité plus élevée, présente une plus grande concentration de minéraux dissous par rapport à la source Kourdane.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de la conductivité en tant qu'indicateur de la minéralisation de l'eau. Une compréhension de la minéralisation est essentielle pour évaluer l'adéquation de l'eau à différentes utilisations, telles que la consommation humaine, l'irrigation ou d'autres applications spécifiques.

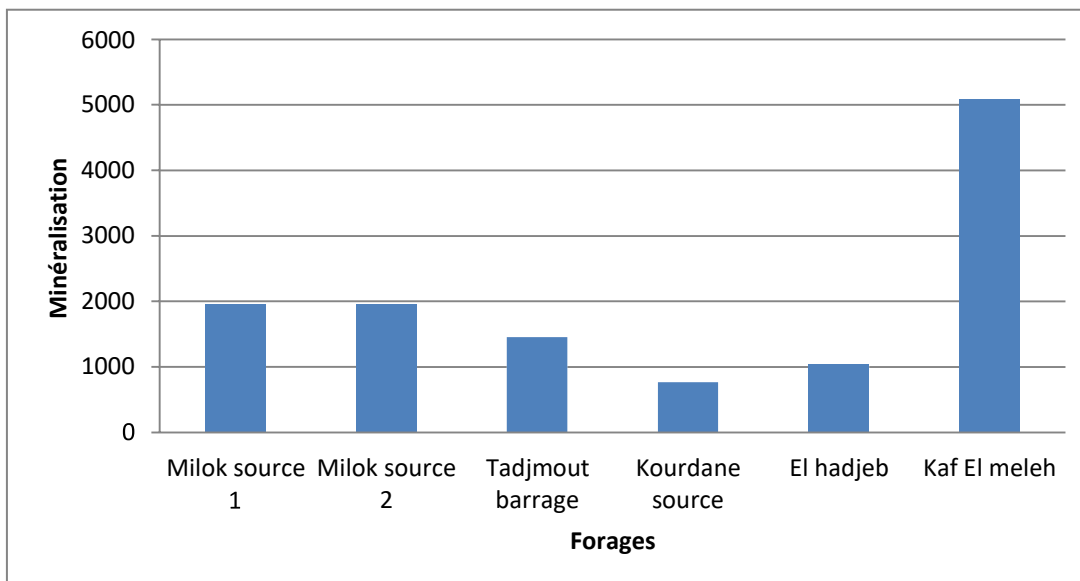


Figure.III.7 : Variation des teneurs de la Minéralisation enregistrés dans les forages.

I.2. Analyses complètes :

I.2.1. Minéralisation globale :

I.2.1.1. La dureté totale (titre hydrométrique TH) :

La dureté de l'eau est un indicateur de sa teneur globale en ions calcium et magnésium. Elle est influencée par le lessivage des terrains traversés et est principalement déterminée par la concentration de ces ions (Gomella, 2015 ; Rodier J., 2009). La dureté de l'eau peut varier considérablement en raison de la nature lithologique de la formation aquifère (Ayad, 2016). Une eau présentant une dureté élevée est qualifiée de "dure", tandis qu'une eau ayant une faible dureté est considérée comme "douce" (Illal et Cherfaoui, 2018).

Nos données révèlent des variations significatives de la dureté totale de l'eau entre les différents sites analysés (fig.III.8). La valeur maximale de dureté est enregistrée à la source Milok 1 avec une concentration de 1920 mg/L, tandis que la valeur la plus faible est enregistrée à la source El Hadjeb avec une concentration de 410 mg/L.

Ces résultats soulignent l'importance de comprendre et de surveiller la dureté de l'eau, car elle peut avoir des implications pour plusieurs utilisations, telles que la consommation humaine, l'agriculture et les processus industriels. Une dureté excessive peut entraîner des problèmes d'entartrage des installations et des équipements, tandis qu'une faible dureté peut être préférable pour certains usages spécifiques.

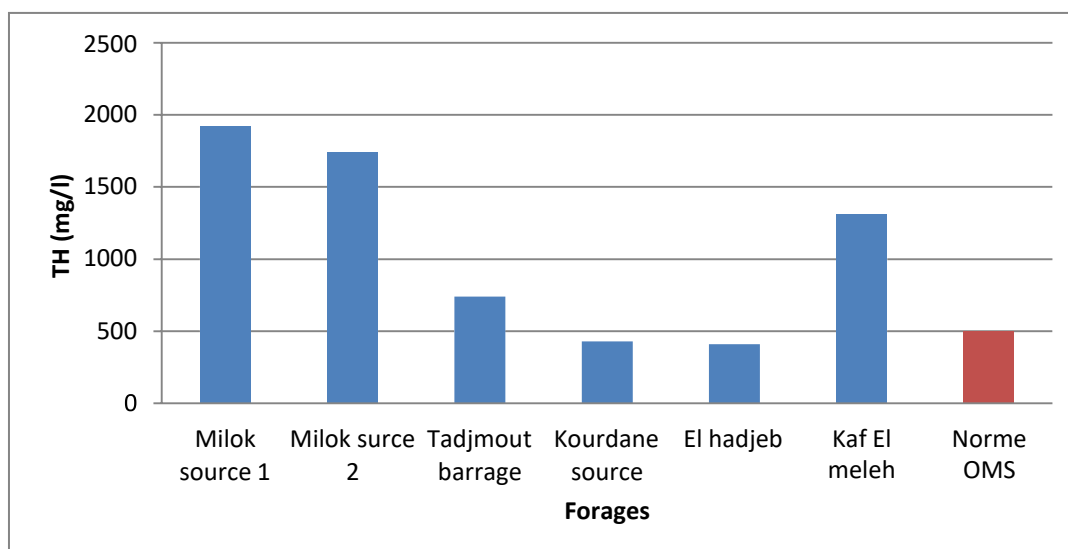


Figure.III.8 : variations des teneurs de la dureté des eaux enregistrés dans les forages.

1.2.1.2. Calcium Ca^+ et magnésium Mg^+ :

Le calcium est un métal alcalino-terreux largement présent dans la nature, notamment dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il constitue l'un des principaux composants de la dureté totale de l'eau et est généralement l'élément dominant dans les eaux destinées à la consommation humaine (Khelili et Lazali, 2015).

Après avoir analysé l'eau, nous avons constaté que les valeurs de calcium dépassent les 200 mg/L (fig.III.9), ce qui indique des concentrations largement supérieures aux niveaux recommandés par les normes de notre pays.

L'interprétation de ces résultats suggère que la présence élevée de calcium peut contribuer à une dureté excessive de l'eau. Une eau dure peut entraîner des problèmes tels que l'entartrage des canalisations, des appareils électroménagers et des installations sanitaires. Il est donc important de surveiller et de contrôler les niveaux de calcium dans l'eau potable afin de garantir une qualité optimale et de prévenir d'éventuels effets indésirables sur la santé et les infrastructures.

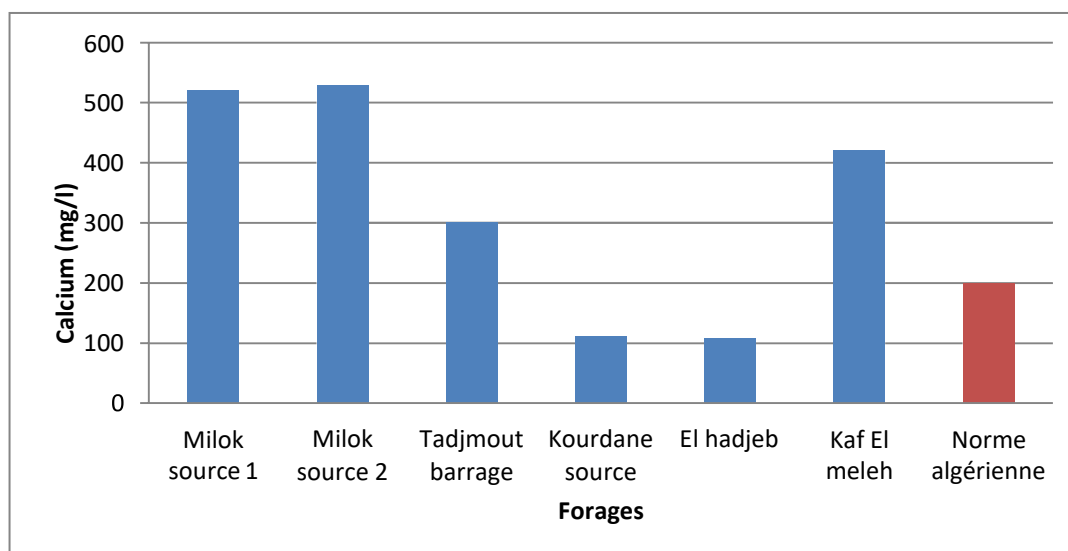


Figure.III.9 : variations des teneurs de calcium enregistrés dans les forages.

Le magnésium est l'un des éléments les plus présents dans la nature, représentant environ 2,1 % de l'écorce terrestre. En raison de sa répartition géographique et de sa solubilité élevée, sa concentration dans l'eau peut varier de quelques milligrammes à plusieurs centaines de milligrammes par litre. La teneur en magnésium dépend de la composition des roches sédimentaires présentes dans la région. Il joue un rôle significatif dans la dureté de l'eau, aux côtés de l'ion calcium (Rodier, 1996).

Suite à l'analyse des échantillons d'eau de notre zone d'étude, les teneurs en magnésium sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible (fig.III.10), qui est de 150 mg/l selon les normes de l'OMS pour l'eau potable. Cependant, il convient de noter que la source Milok 1 présente une teneur en magnésium de 150,78 mg/l, dépassant ainsi les normes algériennes de 150 mg/l.

Dans l'ensemble, les niveaux de magnésium dans l'eau de notre zone d'étude respectent les normes internationales pour l'eau potable. Cependant, il est important de surveiller attentivement la teneur en magnésium, en particulier dans la source Milok 1, afin de garantir la conformité aux normes locales et d'assurer la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

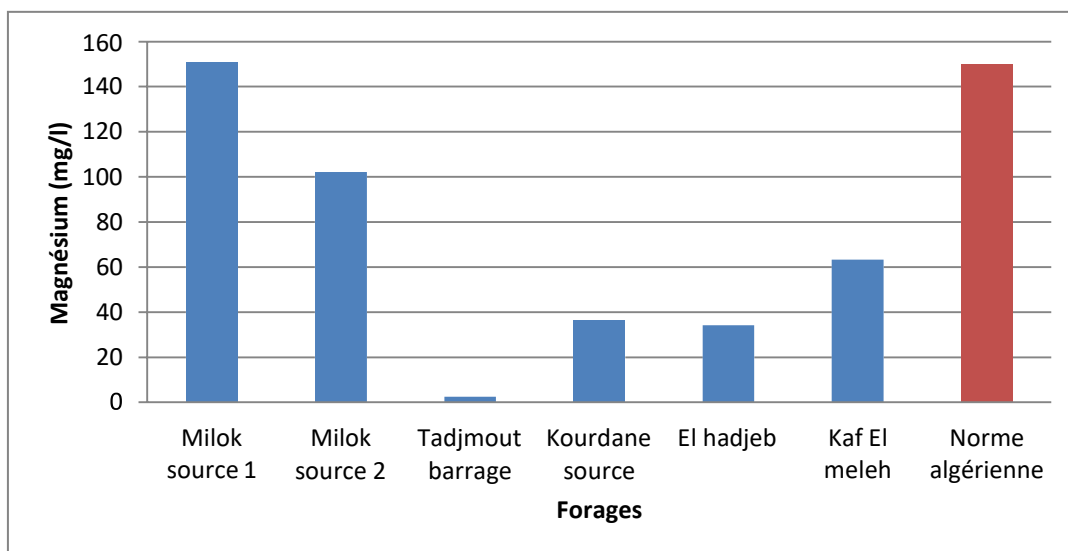


Figure.III.10 : variations des teneurs de Magnésium enregistrés dans les forages.

I.2.1.3. Sodium Na^+ et potassium K^+ :

Le sodium provient principalement de l'eau de mer qui est introduite dans l'aquifère par les précipitations, ainsi que de l'hydrolyse des silicates (argiles), bien que ce processus soit très lent. Le sodium est apporté à l'aquifère par les pluies et peut être libéré par l'hydrolyse des feldspaths sodiques (Kessasra, 2015).

Les résultats de notre étude (fig.III.11) indiquent que les niveaux de sodium dans les eaux souterraines analysées restent inférieurs à la concentration maximale autorisée selon les normes algériennes, qui est de 200 mg/l.

La présence de sodium dans l'eau souterraine de notre zone d'étude ne dépasse pas les limites réglementaires fixées par les normes algériennes. Cela indique que l'eau est conforme aux exigences de qualité en termes de concentration en sodium. Cependant, il est important de continuer à surveiller attentivement les niveaux de sodium dans les ressources en eau afin de garantir leur préservation et leur utilisation durable.

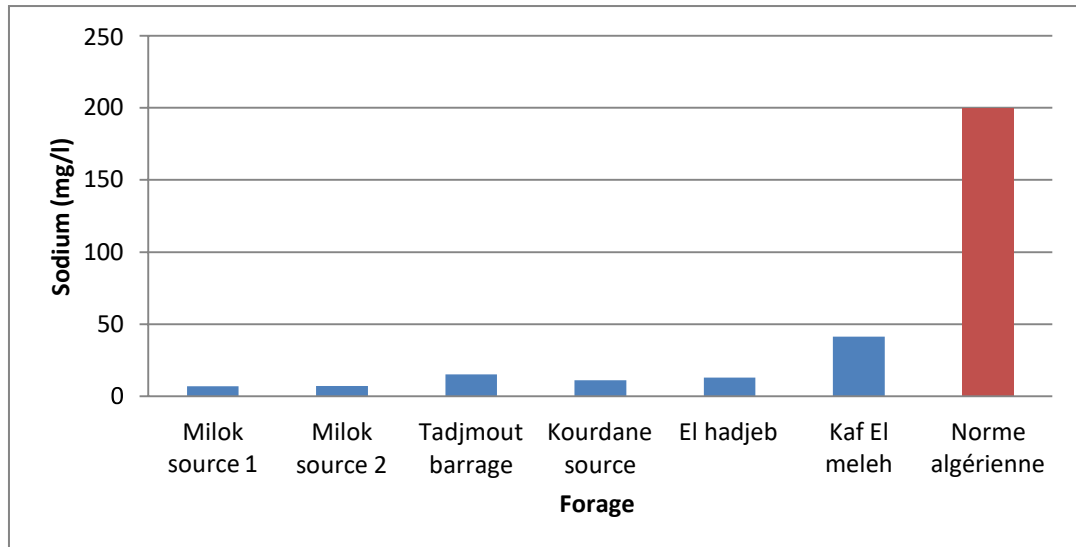


Figure.III.11 : Variations des teneurs du sodium enregistrés dans les forages.

Le potassium est le cation le plus abondant dans le liquide intracellulaire et joue un rôle essentiel dans de nombreuses fonctions cellulaires. Les besoins quotidiens en potassium pour le bon fonctionnement de l'organisme sont importants (Houillier et al., 2004).

Les résultats de notre analyse indiquent que les niveaux de potassium dans l'eau ne dépassent pas les normes établies par les régulations en vigueur en Algérie (fig.III.12).

L'interprétation de ces résultats suggère que la présence de potassium dans l'eau analysée respecte les normes algériennes en matière de qualité de l'eau. Cela indique que la concentration de sodium est inférieure aux limites fixées pour garantir la salubrité de l'eau potable. Il est important de maintenir ces niveaux conformes pour assurer la sécurité et la santé des consommateurs d'eau.

Cependant, il convient de noter que ces résultats concernent uniquement le sodium et ne font pas référence spécifiquement au potassium. Pour obtenir des informations précises sur les niveaux de potassium dans l'eau, des analyses spécifiques doivent être effectuées.

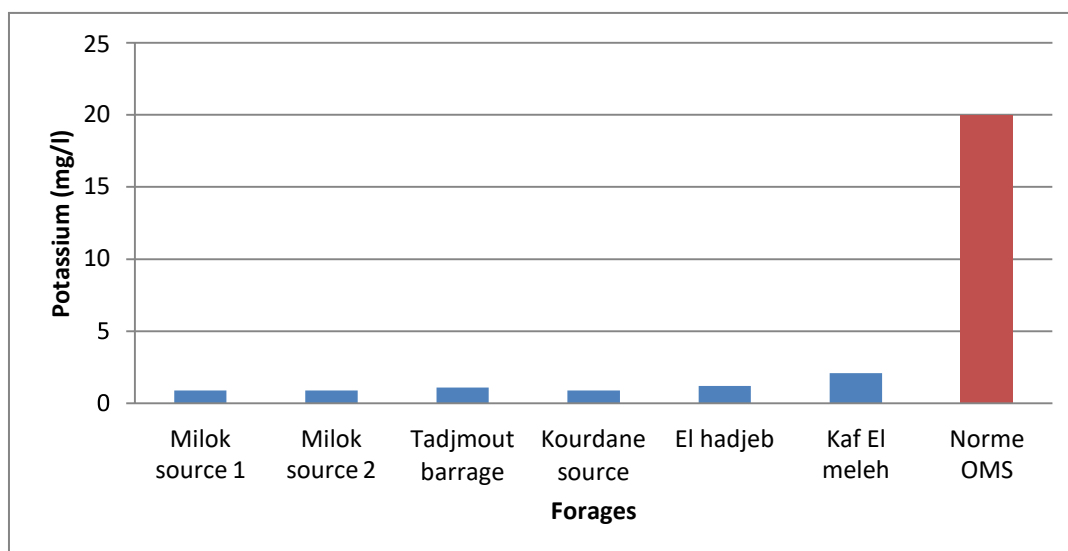


Figure.III.12 : Variations des teneurs du Potassium enregistrés dans les forages.

I.2.1.4. Chlorure Cl⁻ :

Les chlorures sont des composés chimiques fréquemment présents dans la nature, sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂). Leur présence dans l'eau est variable et dépend de plusieurs facteurs. Outre la composition géologique des formations traversées, la présence de chlorures peut être attribuée aux rejets d'industries chimiques, à l'exploitation de puits pétroliers, de mines de potasse, au drainage d'irrigation, etc. Les chlorures, notamment ceux de sodium, sont connus pour conférer à l'eau un goût désagréable à partir d'une concentration d'environ 250 mg/L (Rodier, 2005).

Les résultats de notre analyse (fig.III.13) révèlent des niveaux très élevés de chlorures dans les eaux souterraines de Khaf El Meleh, atteignant 1604,6 mg/L. Ces valeurs dépassent la norme fixée à 500 mg/L.

De ces résultats indique que les eaux souterraines de Khaf El Meleh présentent une concentration élevée de chlorures, dépassant la norme recommandée pour assurer la qualité de l'eau potable. Cela peut avoir un impact sur le goût et la qualité perçue de l'eau. Il est donc important de prendre des mesures pour traiter et réduire la teneur en chlorures dans cette zone afin de garantir l'accessibilité à une eau de meilleure qualité pour les consommateurs.

Cependant, il convient de souligner que les autres forages analysés respectent les normes en termes de concentration en chlorures, ce qui est encourageant du point de vue de la qualité de l'eau.

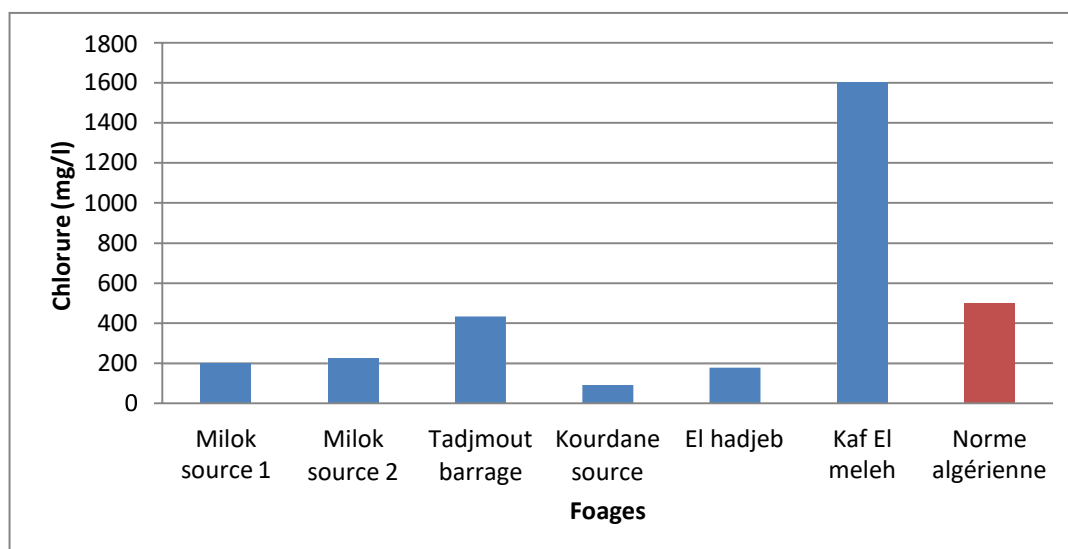


Figure.III.13 : Variations des teneurs du chlorure enregistrés dans les forages.

I.2.1.5. Sulfates SO_4^- :

La concentration en ions sulfates dans les eaux naturelles présente une grande variabilité. Dans les régions où les sulfates minéraux ne sont pas présents en quantité significative, la concentration peut atteindre de 30 à 50 mg/L. Cependant, ce chiffre peut être largement dépassé (jusqu'à 300 mg/L) dans les zones contenant du gypse ou lorsque la durée de contact avec la roche est élevée (Rodier, 1996).

L'analyse des stations étudiées révèle que les valeurs de sulfates présents dans l'eau des sources Milok, Tadjmout barrage et Kaf el melh dépassent la norme réglementaire (fig.III.14). Cependant, pour les autres forages, les concentrations en sulfates restent inférieures à la limite maximale fixée par les normes Algériennes.

Ces résultats indiquent que les sources : Milok, Tadjmout barrage et Kaf el melh présente une teneur élevée en sulfates, dépassant les normes de qualité de l'eau établies. Les sulfates peuvent provenir de la présence de gypse ou d'une longue exposition de l'eau aux roches contenant des sulfates. Il est important de prendre des mesures appropriées pour traiter et réduire la concentration en sulfates dans cette source afin de garantir la conformité aux normes de qualité de l'eau.

Cependant, il est encourageant de constater que les autres forages étudiés respectent les normes en termes de concentration en sulfates. Cela indique une meilleure qualité de l'eau dans ces zones. Il est essentiel de maintenir une surveillance régulière de la concentration en sulfates dans toutes les sources d'eau afin de prévenir tout dépassement des limites réglementaires et de garantir la fourniture d'une eau de qualité aux consommateurs.

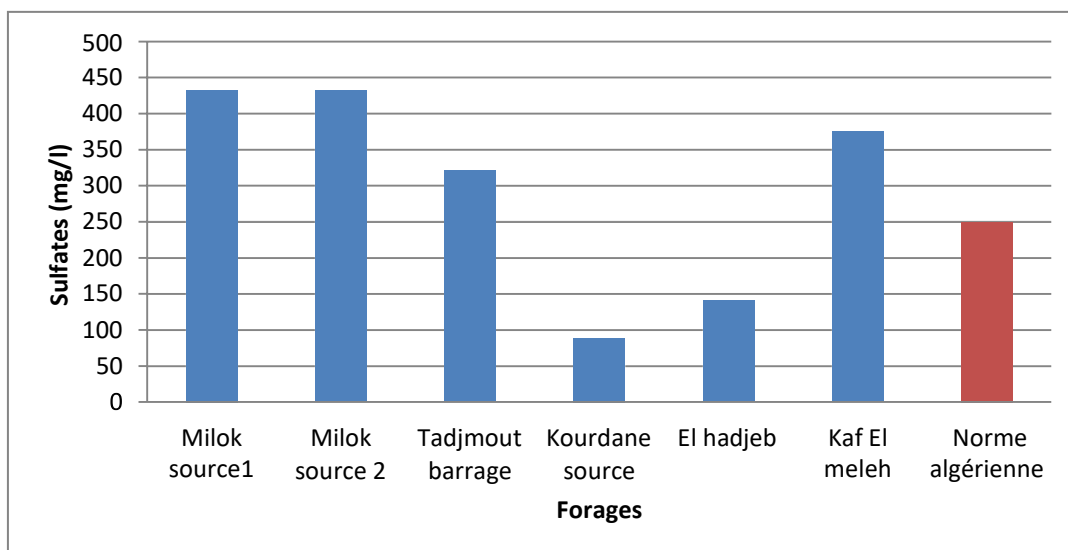


Figure.III.14 : Variations des teneurs du Sulfate enregistrés dans les forages.

I.2.1.6. Bicarbonates HCO_3^- :

Généralement, les concentrations élevées d'hydrogénocarbonates (HCO_3^-) sont associées à des concentrations élevées de Ca^{2+} et à une minéralisation totale élevée. Ce phénomène s'explique par la présence abondante de CO_2 , produit par les plantes. Les eaux en contact avec des roches carbonatées présentent donc des concentrations d'alcalinité plus élevées, et les silicates peuvent également contribuer à la minéralisation de l'eau (Kessasra, 2015).

Ces résultats mettent en évidence la relation entre les concentrations d'hydrogénocarbonates, de calcium et de minéralisation totale dans l'eau (fig.III.15). Les concentrations élevées d'hydrogénocarbonates sont généralement associées à une minéralisation plus élevée et à des concentrations plus élevées de calcium. Cela peut être attribué à la présence abondante de CO_2 , qui est produit par les plantes et se dissout dans l'eau, rendant ainsi l'eau plus agressive envers la calcite.

Les eaux en contact avec des roches carbonatées présentent des concentrations plus élevées d'alcalinité, ce qui peut être observé par des valeurs élevées d'hydrogénocarbonates. De plus, les silicates peuvent également contribuer à la minéralisation de l'eau. Il est important de noter que les bicarbonates ne se comportent pas de manière conservatrice, ce qui signifie qu'ils peuvent être influencés par des processus chimiques et géologiques complexes.

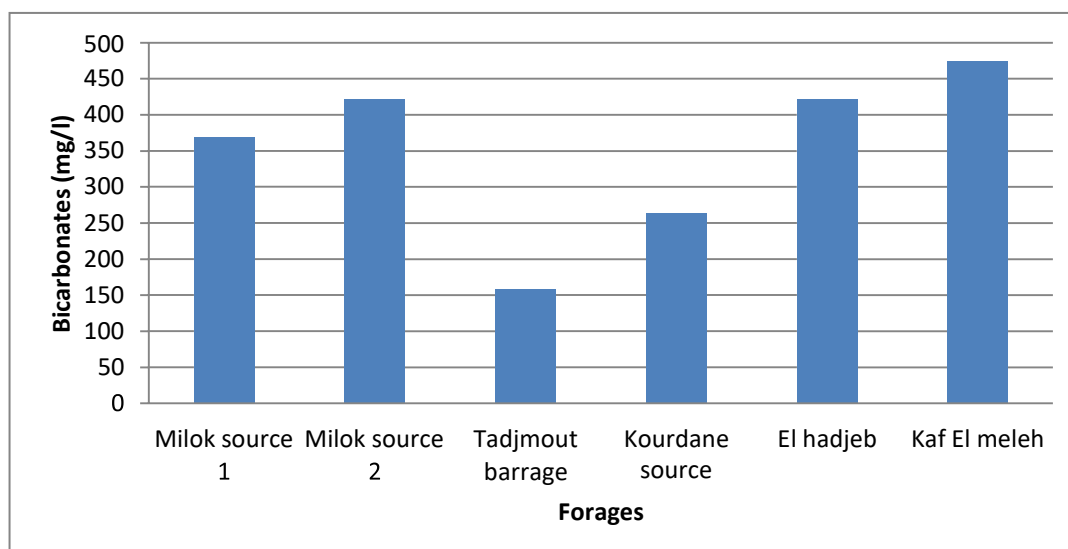


Figure.III.15 : Variations des teneurs du Bicarbonates enregistrés dans les forages.

I.2.2. Paramètres de pollution :

I.2.2.1. Phosphates PO_4^{3-}

Les ions phosphates présents dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent avoir différentes origines, notamment la décomposition de la matière organique, le lessivage des minéraux et les rejets industriels tels que ceux issus de l'agroalimentaire, des activités domestiques comme l'utilisation de détergents contenant des polyphosphates, ou encore l'utilisation d'engrais et de pesticides (Jean-Claude, 1992).

Il est important de noter que les normes de l'OMS établissent une valeur limite de 0,5 mg/L pour les phosphates dans l'eau (OMS, 2003).

Les résultats obtenus indiquent que toutes les valeurs mesurées restent inférieures à cette valeur limite (fig.III.16). Cela suggère que la concentration en ions phosphates dans les échantillons analysés respecte les normes de l'OMS en termes de qualité de l'eau.

Il convient de surveiller régulièrement les niveaux de phosphates dans l'eau, car leur présence en quantités excessives peut avoir des effets néfastes sur la qualité de l'eau et sur les écosystèmes aquatiques. Le contrôle et la limitation des rejets industriels, domestiques et agricoles contribuent à maintenir les concentrations de phosphates dans les eaux à des niveaux acceptables sur le plan environnemental et sanitaire.

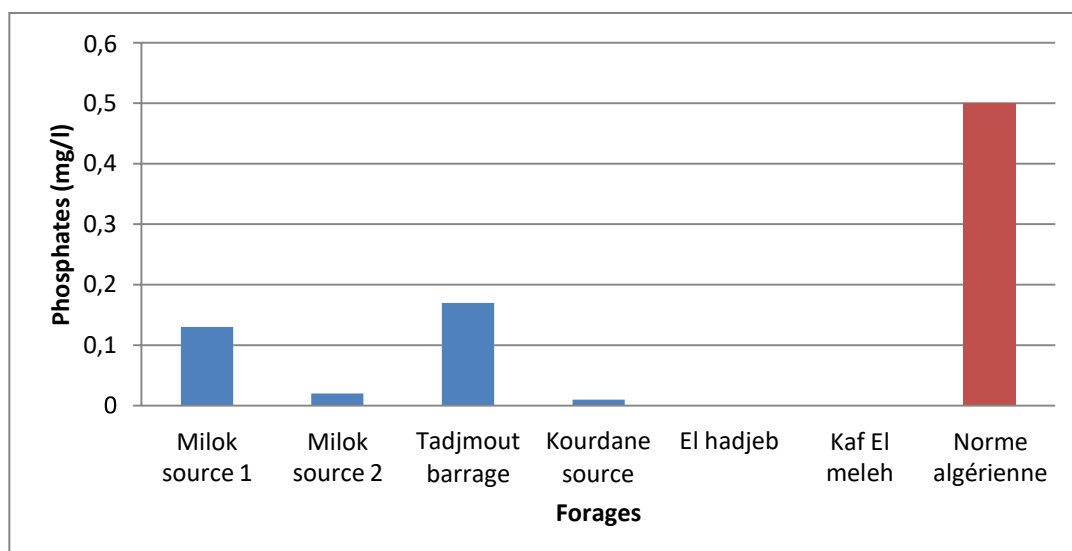


Figure.III.16 : Variations des teneurs du Phosphates enregistrés dans les forages.

I.2.2.2. Nitrate NO_3^- :

Les nitrates sont le produit final de l'oxydation de l'azote organique et ils sont solubles dans l'eau. Ils se trouvent naturellement à faible concentration dans les eaux souterraines et de surface. Les nitrates présents dans le sol ont différentes origines, telles que les déjections animales ou humaines stockées, ainsi que l'apport d'amendements organiques. Cependant, ce sont principalement les engrais et les rejets d'eaux usées qui contribuent à des concentrations élevées de nitrates (Potelon et Zysman, 1998 ; Gros Claude, 1999).

En ce qui concerne les résultats obtenus pour les nitrates dans les eaux souterraines, il est important de noter qu'un seul forage dépasse les normes algériennes, fixées à 50 mg/l, soit la source Kourdane avec une concentration de 80,1 mg/l (fig.III.17). Cependant, les autres valeurs mesurées respectent les normes établies.

La présence de niveaux élevés de nitrates dans l'eau peut avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine, en particulier chez les nourrissons et les femmes enceintes. Les nitrates peuvent se transformer en nitrites dans l'organisme, ce qui peut entraîner des problèmes de santé tels que la méthémoglobinémie ou "syndrome du bébé bleu". Par conséquent, il est essentiel de surveiller et de contrôler les niveaux de nitrates dans l'eau potable afin de garantir sa sécurité et de prendre les mesures appropriées pour réduire les sources de contamination, telles que la gestion des déchets agricoles et les bonnes pratiques d'utilisation des engrais.

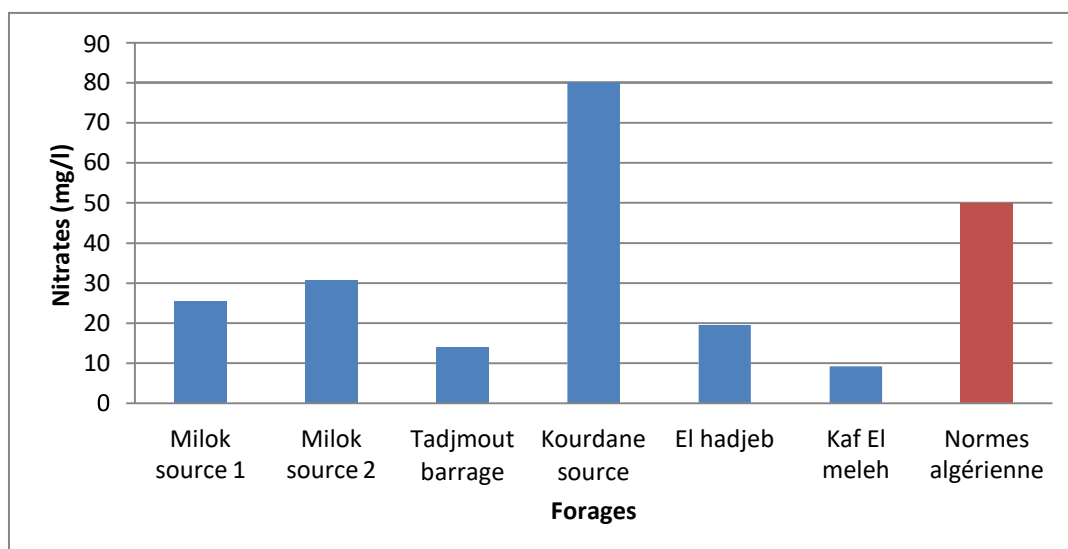


Figure.III.17 : Variations des teneurs du Nitrate enregistrés dans les forages.

I.2.2.3. Nitrites NO_2^- :

Les nitrites sont connus pour être toxiques pour l'organisme humain, et leur présence en quantité importante peut dégrader la qualité de l'eau. Les nitrites ont un fort pouvoir oxydant, ce qui les rend potentiellement nocifs pour la santé (Maiga, 2005). Ils sont également considérés comme des indicateurs de pollution.

Les résultats de nos analyses indiquent que les taux de nitrites sont faibles à nuls et conformes aux normes (fig.III.18). Cela signifie que la concentration de nitrites dans l'eau analysée est inférieure aux seuils définis par les normes de qualité de l'eau. Une faible présence de nitrites est un indicateur positif de la qualité de l'eau, car cela signifie qu'elle est moins susceptible de présenter des risques pour la santé humaine.

Il est important de maintenir les niveaux de nitrites bas dans l'eau potable, car une exposition excessive à ces composés peut entraîner des problèmes de santé tels que la méthémoglobinémie. Les contrôles réguliers des niveaux de nitrites dans l'eau sont essentiels pour garantir la sécurité de la population et prévenir toute pollution susceptible de compromettre la qualité de l'eau potable.

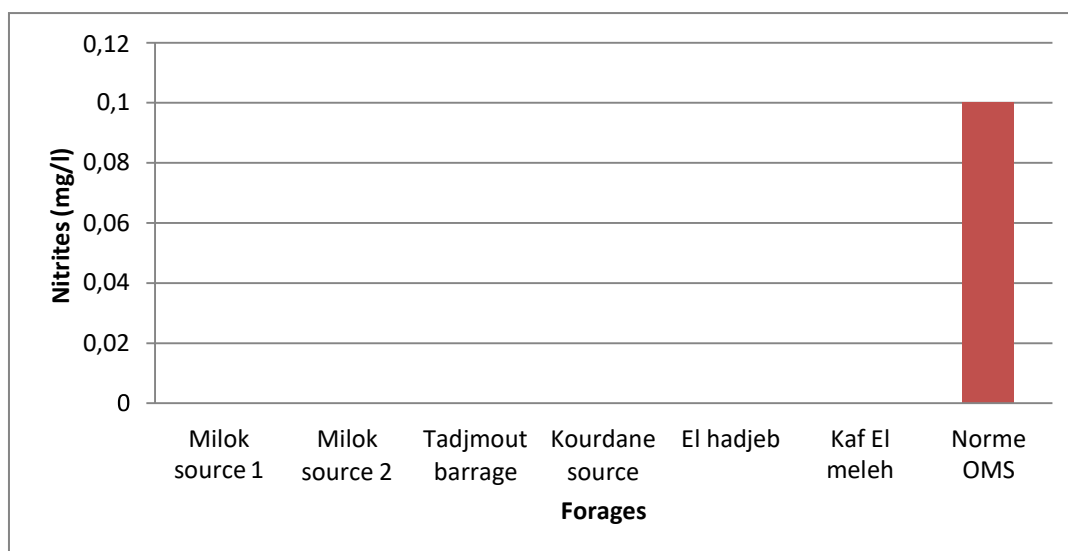


Figure.III.18 : Variations des teneurs du Nitrite enregistrés dans les forages.

I.2.2.4. Ammonium NH_4^+ :

Les ions ammonium sont les premiers résidus minéraux issus de la dégradation de la matière organique azotée dans le sol par le processus d'ammonification. Ils peuvent être apportés par différents facteurs, notamment les effluents d'élevage qui les libèrent lors de leur dégradation. Les ions ammonium sont considérés comme un indicateur fiable de la pollution des eaux causée par les rejets organiques d'origine agricole, domestique et industrielle, et ils peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé des populations (Marlet., Job, 2006).

La réglementation de notre pays fixe une limite de teneur en ions ammonium de 0,5 mg/l dans l'eau. Les résultats de nos analyses montrent que les concentrations d'ions ammonium dans les échantillons d'eau étudiés sont nettement inférieures à la valeur limite, à l'exception de la source Khaf el Meleh qui présente une concentration de 1,09 mg/l, dépassant ainsi la valeur réglementaire (fig.III.19).

Il est important de noter que des concentrations élevées d'ions ammonium dans l'eau peuvent indiquer une pollution et potentiellement avoir des conséquences négatives sur la qualité de l'eau et la santé des populations. Il est donc essentiel de surveiller régulièrement les niveaux d'ions ammonium dans les sources d'eau afin de prévenir et de contrôler toute pollution potentielle, en prenant les mesures appropriées pour minimiser les impacts sur l'environnement et la santé publique.

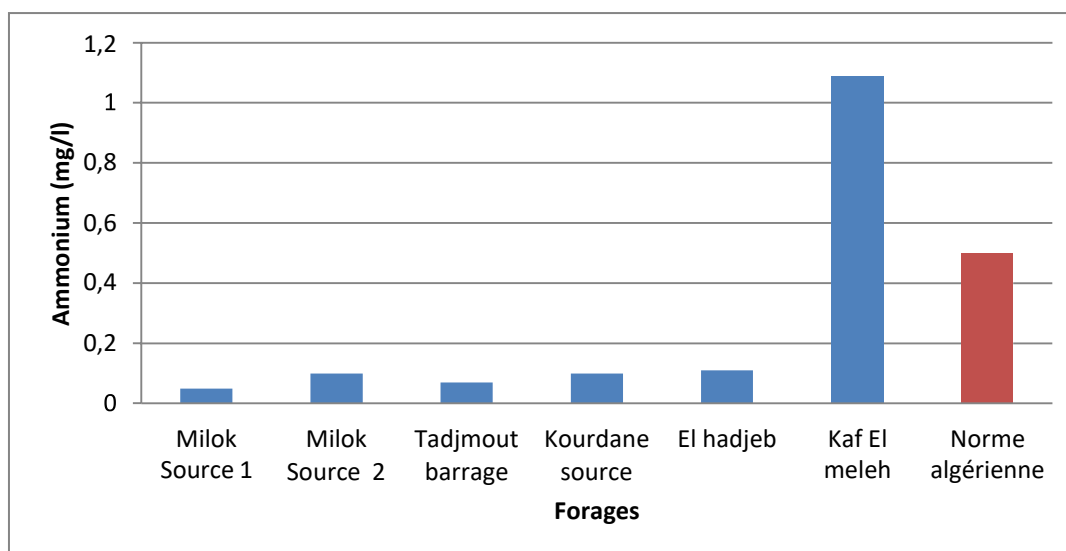


Figure.III.19 : Variations des teneurs de l'Ammonium enregistrés dans les forages.

I.2.3. Eléments indésirables :

I.2.3.1. Fer (Fe^{2+}) :

Le fer est présent en quantités significatives dans les eaux souterraines car il est un élément constitutif majeur de la croûte terrestre, représentant environ 4,5 à 5% de sa composition. La présence de fer dans l'eau dépend de divers facteurs physiques et hydrologiques tels que le lessivage des terrains, les rejets industriels et la corrosion des canalisations métalliques.

Il est important de noter que la concentration de fer dans l'eau destinée à la consommation humaine doit être maintenue en dessous de 0,3 mg/l, conformément aux normes de qualité. Des concentrations élevées de fer peuvent altérer la couleur, le goût et l'odeur de l'eau, ce qui la rend moins agréable à boire. De plus, de fortes teneurs en fer peuvent entraîner des dépôts et des incrustations dans les canalisations et les appareils ménagers, réduisant ainsi leur efficacité et leur durée de vie.

La présence de fer dans les échantillons d'eau analysés (fig.III.20) doit être surveillée de près afin de garantir la conformité aux normes de qualité. Si la concentration de fer dépasse la limite recommandée, des mesures appropriées doivent être prises pour traiter l'eau et réduire la teneur en fer, afin de préserver la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

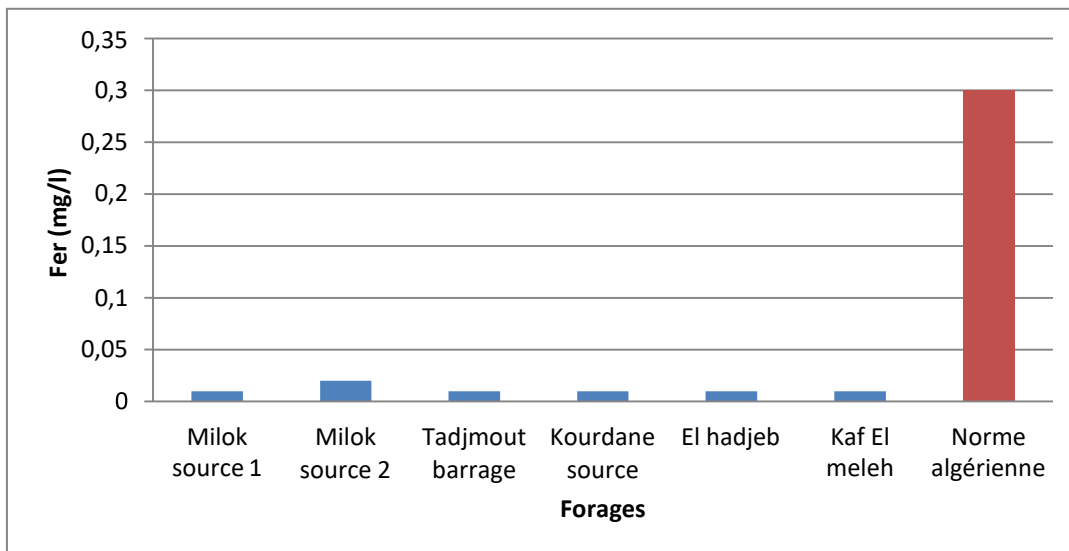


Figure.III.20 : Variations des teneurs du Fe enregistrés dans les forages.

Conclusion générale

L'objectif de ce modeste travail est d'effectuer une analyse de la qualité des eaux de la nappe du Barrémien dans la région de Laghouat.

Notre stage s'est déroulé au laboratoire de l'ADE (Algérienne des Eaux) de la wilaya de Laghouat, dont la mission est de contrôler les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région. Les données recueillies sur divers paramètres physico-chimiques nous ont permis de valoriser les ressources en eau de la zone d'étude.

Les eaux souterraines sont une ressource précieuse fortement sollicitée par la population urbaine et périurbaine de la région de Laghouat. Les paramètres physico-chimiques de nos échantillons d'eau se situent dans des intervalles proches des normes internationales et algériennes établies pour l'eau.

Les résultats des analyses physico-chimiques sont conformes aux normes dans la plupart des stations, à l'exception de la station de Kaf el Meleh où certains paramètres ont dépassé les limites recommandées (conductivité, TDS, salinité, minéralisation, dureté totale, calcium, chlorure, bicarbonates, ammonium). De même, pour les sources de Milok (source 1 et source 2), certains paramètres ont dépassé les normes (TDS, dureté totale, calcium, magnésium, sulfate). Ces observations suggèrent que la composition physico-chimique de l'eau est directement influencée par les formations géologiques, les écoulements de surface, la profondeur de la nappe, la distance entre les puits et les sources de pollution, les précipitations qui accélèrent le processus d'infiltration à travers le sol, ainsi que d'autres activités anthropiques locales qui affectent le degré de contamination de ces eaux.

Il est essentiel de veiller à la qualité de l'eau pour une consommation saine. Il est donc important de maintenir une surveillance rigoureuse des paramètres physico-chimiques dans les ressources en eau, afin de garantir leur préservation et une utilisation durable, tout en respectant les normes locales. Ceci permet d'assurer la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

L'ingestion excessive de divers éléments chimiques peut être nocive pour le corps humain. Par exemple, une concentration élevée de potassium peut avoir un impact négatif sur les reins. De plus, des niveaux élevés de calcium et de magnésium peuvent causer de la constipation, voire de la diarrhée, affectant ainsi la santé gastro-intestinale. De même, une consommation excessive de sodium peut augmenter la tension artérielle.

Par conséquent, il est primordial de surveiller attentivement les niveaux de ces paramètres afin de garantir une eau de qualité et préserver la santé publique.

Afin de prévenir tout risque sanitaire lié à la consommation de ces eaux et de mieux contrôler cette pollution, il est recommandé de prendre les mesures suivantes :

1. Effectuer des analyses de l'eau destinée à la consommation afin de vérifier sa conformité aux normes de qualité.
2. Interdire la création de points d'eau dans les zones densément peuplées.

3. Supprimer tous les points d'eau abandonnés présentant des défauts d'équipement.
4. Sensibiliser les populations et les encourager à traiter l'eau des puits avant de la consommer.
5. Éloigner les usines des zones habitées afin de prévenir toute contamination due aux rejets chimiques, ce qui contribue à la concentration de minéraux dans l'eau.

Ces mesures permettront d'assurer une eau de meilleure qualité et de réduire les risques pour la santé publique.

Références bibliographiques

- **Abdesselem, A. (1999).** Suivre de La qualité microbiologique et physicochimique de trois serres alimentant de la région de Tlemcen. Institut de biologie, Université De Tlemcen.
- **Aminot, A. et Kérouel, R. (2004).** **Hydrologie des écosystèmes marins :** paramètres et analyses. Éditions Ifremer, France.
- **Ayad w, 2016** Thèse doctorat Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d’el-Harrouche (wilaya de Skikda) université Badji Mokhtar – Annaba p : 19-20.
- **Ayad Wissem (2016-2017) ,** évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d’el-harrouch (wilaya de Skikda), présentée en vue de l’obtention du diplôme de doctorat 3ème cycle lmd en microbiologie, université Badji Mokhtar – Annaba.
- **Ben aakam Rachid. Ben Ammi Fatima. Nouari Naima. Walid Myrieme.**
- **Berkat Sabrina,** stage sur terrain Laghouat publié le 11 oct. 2020, consulté le 22 mars 2023.
- **Barakate Nezha. Azizi Rokya. El hamri Hecham. 2019.** Guide des analyses physico-chimiques des eaux destinées à la consommation humain. INH (Institut nationale d’hygiène MAROC).
- **Ben Chehba H & Ben Hennour N , 2017,** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources dans les localités de Miliana (AïnDefla) et Ain Deheb (Tiaet) ,Pour l’obtention du diplôme de Master en Sciences agronomiques , Université Abdelhamid ben Badis-Mostaganem .
- **Benkaddour B ,** contribution à l’étude de la contamination des eaux et des sédiments de l’Oued Cheliff , thèse de doctorat 2018 , université de Mostaganem .
- **Bentahar Fatiha (2007) :** cartographie hydrogéologique des eaux souterraines du plateau de Mostaganem et du bas Chélif (Nord-ouest Algérie). Thèse magistère, Université des sciences de la technologie Houari Boumediene, USTHB, Bab Ezzouar, Alger.
- **Bentassa Nour El houda et Guettaf Mounira (2020/2021),** étude comparative de la composition des eaux de deux forages destinées a l’alimentation en eau potable de la zone de lmniaa, projet de fin d’étude présenté en vue de l’obtention du diplôme de master, université de Ghardaïa.
- **Bekhiche Wiam et Cheikh Nafissa (2022),** Analyses physico-chimique et bactériologiques des eaux de la nappe du plateau de Mostaganem ouest (Nord-ouestAlgérie) mémoire du mastère en parasitologie université de Laghouat.
- **Bernard C,** « Introduction à l’étude de la médecine expérimentale », 2007, édition Biblio Bazaar.
- **Boukalkola F, Aichaoui D, Aichaoui O (2022),** recueil des milieux de culture de bactérie électif ; sélectif et général, mémoire de master, université Ahmed DRAIA-Adrar.
- **Chettih Mohamed (2007) ,** analyse fonctionnelle de quelques système aquifères de l’Atlas Saharien Central , thèse de doctorat , faculté des sciences de la terre de géographie et de l’aménagement du territoire , université STHB Alger .
- **Claude Cardot 1999.** Les traitements de l’eau. Procédés physicochimiques et biologiques. Edition Ellipses.

- **Degrement, 1984**, TOME 1, Mémento technique de l'eau, 9ème édition. Lavoisier, Paris.
- **Dégréement, « Mémento technique de l'eau », 2005**, Lavoisier-Lexique technique de l'eau. Tome 1, Paris.
- **Desjardins-R, 1997**, Le traitement des eaux, 2ème édition revue et corrigée. Raymon.
- **Desjardins-R, 1997**, Le traitement des eaux, 2ème édition revue et corrigée. Raymon. P302-304.
- **Dupont A, Hydraulique urbaine, « Hydrologie, captage et traitement des eaux »**. Tome 1.3eme édition : Eyrolles. Paris 1989
- **ElberrichiCh, Lefkiri A (2016-2017)**, étude lithostratigraphique et sédimentologique de la formation de Tiloula de la région d'el Bayedh (Atlas Saharien Central) , mémoire de mastère, université de Tlemcen.
- **Gaujous D. (1985)** : La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire. 2• émet Édition : revue et augmenté, p. 49.
- **Gomella, Cyrille (2015)** : Dureté de l'eau. Encyclopædia Universalis.
- **Gomella Guerre. 1978**. Les eaux usées dans les agglomérations urbaines aux ~~ms~~ Edition EVROLLES. Paris. France.
- **-Gros Claude G. 1999**.L'eau usage et polluants. Tome 2 Edition INRA Paris. 210p.
- **Guilbert-L, 2000**. Chimie Dans La Buanderie, Projets d'Intégration des Sciences et des Technologies en Enseignement au Secondaire.
- **Guiraud-J ET GALZY-P, 1980**, Analyse microbiologique dans l'industrie alimentaire, Les éditions de l'usine nouvelle. Paris. P 64-89.
- **Hadef Djihad et HASNI Malika (2016-2017)**, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de Boutane région de Khemis-Miliana W. Ain Defla, Mémoire de fin d'étude, Université Djilali Bounaâma deKhemis Miliana.
- **Hamed, M. et al., (2012)**. Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-Torba. Thèse magister, de l'Université des Sciences et Technologies Béchar, Algérie.
- **Haslay-C et Leclerc-H, 1993**. Microbiologie des eaux d'alimentations. P 400.
- **Hugonin-P, 2011**. Eau introduction aux thématiques. ISE, UNIGE. P 10.
- **Huot A. 2010**. Eau et santé. La revue Bio contact, n°200.
- **Illal A& Cherfaoui S** , Contribution a l'évaluation de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau de consommation de la ville de Bouira , mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme master 2018 , université Akli mohandou hadj – Bouira .

- **ISO 5667 : Organisation internationale de normalisation. 2004.** Qualité de l'eau : Échantillonnage Partie 1 : Recommandations relatives à la conception des programmes et des techniques d'échantillonnage. Edition 1. p 42.
- **ISO 6332 : Organisation internationale de normalisation. 1988.** Qualité de l'eau : Dosage du fer : Méthode spectrométrique à la phénanthroline-1,10., Edition 2. p 4.
- **ISO 9964/3 : Organisation internationale de normalisation. 1993 :** Qualité de l'eau : Dosage du sodium et du potassium par spectrométrie d'émission de flamme. Edition 1.
- **Jean Claude. -B, 1992.** Chimie des Eaux. 2ème Edition. Les éditions du Griffond'Argile. P 213-215.
- **John P. et Donald A., 2010.** Microbiologie, 3ème Édition, 1216 p.
- **Kessasra Farès. (2015) :** Modélisation hydrogéologique des écoulements des eaux souterraines et de surface de la nappe des alluvions de la vallée de la Soummam (Nord-est Algérie) Impacts sur l'environnement et les écosystèmes. Diplôme de Doctorat : Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. 452p.
- **Kettab A, « Traitement des eaux : Les eaux potables »,1992,** Edition : Office des Publications Universitaires. Alger.
- **-Khellili R., Lazali D. 2015.** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla) (2005).
- **Maiga A. (2005) :** Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, thèse de doctorat en pharmacie, Université de Bamako, Mali.
- **Marlet S., Job J.O. Processus et gestion de la salinité des sols. In :** Tiercelin, J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec and Doc Lavoisier. 2006.
- **NF EN ISO 6222 : Association Française de Normalisation, AFNOR, en Organisation internationale de normalisation, 1999 :** Qualité de l'eau - Dénombrement des micro-organismes revivifiés blés - Comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé, p8 .
- **NF T90-003 : Association Française de Normalisation, AFNOR, 1984 :** Norme françaises et européennes : Détermination de la concentration totale en calcium et magnésium méthode titrimétrique à l'EDTA
- **OMS.(2006) :Normes de l'OMS sur l'eau potable :**
<https://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-oms-eau-potable.htm>
Consulté le : 05/05/2022 .
- **OMS : L'Organisation mondiale de la santé. (2003):** Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. Switzerland.
- **Ouali.M 2001.** Traitement des eaux, Ed office des publications universitaires, Alger.

- **Patel-Sorrentino N, Mounier S, Benaim JY. Excitation**–emission fluorescence matrix to study pH influence on organic matter fluorescence in the Amazon basin rivers. *Water Research*. 2002;36:2571–2581.
- **Patrick Campbell. (2009):** TDS-Total Dissolved Solids. DEP-DWWM : https://dep.wv.gov/WWE/Programs/wqs/Documents/Triennial%20Review/May%2018,%202009/17155_tds.pdf
- **Pomerol C. et Renard M, « Élément de géologie »,1997, 11eme édition :** Masson.
- **Potelon J-L., Zysman K. 1998.** Le guide des analyses d'eau potable, la lettre du cadre territorial.253p.
- **Rapinat M, « L'eau »,1982,Presse universitaire de France.1re édition.**
- **Raymond des Jardins ,« les traitements des eaux »,2007,2ème édition.**
- **Rodier. J, Bazin. C, Broutin. J.P, Chambon. P, Champsaur. H, Rodier. L, (1996)** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8^e édition. Dunod, Paris, France.
- **Rodier J., 2005.** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8eme édition: Dunod, Paris.
- **Rodier J. et al. (2009) :** L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, Paris, France.
- **Rodier. J, Legube. B, Merlet. N, Brunet. R, Mialocq. J.C, Leroy. P, Houssin. M, Lavison. G, Bechemin. C, Vincent. M, Rebouillon. P, Moulin.L, Chomodé. P,Dujardin. P,Gosselin. S, Seux. R., Almardini F,(2009) :** L'analyse de l'eau, 9ème Ed. Dunod., Paris, France.
- **Samake H. 2002.**Thèse analyse physicochimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001.
- **Sebgagui Nesrine et Yousfi Ikram,** Analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux souterraines la partie Est du Plateau de Mostaganem, MEMOIRE de Master, UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT.
- **Site internet :** <https://www.aquaportail.com/definition-5538-eau-saline.html>.
- **T90-012. L'AFNOR. 1994. Qualité de l'eau :** Détermination de l'azote nitreux et de l'azote nitrique et de la somme des deux par analyse en flux (CFA et FIA) et détection spectrométrique., Date de la dernière mise-à-jour 23/11/2017., 20 p.
- **Ziregue M (2018),** Démarche cognitive pour la revitalisation du Quartier Zgag El-Hedjadj Ksar de Laghouat, mémoire du mastère en architecture ville et territoire, université de Blida.
- **Zouag Bilal, Belhadj Yassine (2017),** Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta « Tlemcen », mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de docteur en pharmacie, département de pharmacie / Tlemcen.

Annexe

ANNEXE

Annexe 1 : Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable (OMS, 2003).

Substances	Unité	OMS Normes	Normes algériennes
Turbidité	NTU	< 2,5	< 2
Température	C°	< 25	< 5
Calcium	mg/l	< 270	< 200
Magnésium	mg/l	< 50	< 150
Chlorure	mg/l	< 250	< 500
Conductivité à 20°C	µS/cm	< 2100	< 2800
Ammonium	mg/l	< 0,5	< 0,5
Potassium	mg/l	< 20	< 12
Fer	mg/l	< 0,3	< 0,3
Nitrate	mg/l	< 50	< 50
Nitrite	mg/l	< 0,1	< 0,1
Sulfate	mg/l	< 400	< 400
Phosphate	mg/l	< 0,5	< 0,5
La dureté (TH)	mg/l	< 500	< 500