République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université Ahmed Draïa Adrar

Code:	
-------	--



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

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Filière: Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème:

Evaluation de la qualité des eaux de Foggara de la région de Bouda

Préparé par :

M. ABDAOUI Abderrahim

M. MOKADEM Brahim

Membres de jury d'évaluation :

M. BOUSLAH Yahia Président MCB Univ. Adrar
M. AGUEDAL Hakim Encadreur MCA Univ. Adrar
M. RAHMOUNI Mostafa Examinateur MAA Univ. Adrar

Année Universitaire: 2021/2022

Remerciements

Nous adressons nos sincères remerciements au Bon Dieu le tout Puissant qui nous a ouvert les portes de la réussite.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire des Ressources Naturelles Sahariennes Dirigé par Monsieur le Professeur IDDOU Abdelkader qui retrouve ici nos vifs remerciements de nous avoir autorisé de travailler au laboratoire et mettre à notre disposition tout les moyens et matériels nécessaire à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur le Docteur AGUEDAL Hakim Maître de Conférences « A » à l'Université Ahmed Draia - Adrar, de nous avoir fait bénéficier de ces connaissances et de ses critiques qui nous ont beaucoup aidé à la réalisation de ce travail, pour sa patience, son soutien, sa gentillesse et ses conseils judicieux tout au long de la période de réalisation de ce travail.

Nous remercions aussi les membres du jury Monsieur le Docteur BOUSLAH Yahia Maître de Conférences « B » à l'Université Ahmed Draia – Adrar, de nous avoir fait le grand plaisir de présider le jury de ce mémoire, et Monsieur RAHMOUNI Mostafa Maître Assistant « A » à l'Université Ahmed Draia – Adrar d'avoir accepté d'examiner ce travail et de nous faire profiter de son précieuses expérience.

Nous sommes également très reconnaissants à tous les ingénieurs des laboratoires pédagogiques biologie de chimie et de Mr. BOUKHETACHE Ishak, **ABDERRAHMANE** Mme. BEN Mebarka, Mme. BOUCHAKOUR Sadjia, Mr. TAYBI El-Hachmi et Mme. LALOUT Jihen Fatma Zohra.

Nos vifs remerciements à tous les enseignants du département des Sciences de la Nature et la Vie En fin, nous remercions toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents :

- Ma chère mère pour sa tendresse, sa patience et son soutien morale
- Mon cher père pour son guide vers le chemin droit, sa générosité, ses encouragements et soutien sans limite.
- A mon frère Abdellah et Abdelaziz et Ahmed.
- A toutes mes chères sœurs ; qui ont été toujours à mes côtés.
- Je n'oublie et je n'oublierai jamais leur aide morale et technique.
- A mes neveux et mes nièces adorables.
- A tous mes collègues de la promotion de master.

Enfin, je remercie mes amis et mon collègue qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

ABDERRAHIM

Je dédie ce travail à :

- Mes parents, qui ont été le facteur le plus important pour que j'atteigne cette étape par leur soutien financier et moral
- Mes très chers frères
- Mes enseignants qui m'enseignent et m'apportent leur soutien et leurs conseils.

Et enfin, à mes amis, Amin et Hussein Al-Din, qui étaient toujours à mes côtés avec leurs encouragements et aussi ma gratitude et mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé.

Brahim

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Eau potable	3
I.1. Définition	4
I.2. Les critères de potabilité de l'eau	4
I.2.1. Les paramètres organoleptiques	4
I.2.2. Les paramètres physico-chimiques	5
I.2.3. Les paramètres microbiologiques	5
I.2.4. Les paramètres liés aux substances indésirables :	5
I.2.5. Les paramètres liés aux substances toxiques :	6
I.3. Les origines de différents types de l'eau	6
I.3.1. Eaux de source, eaux minérales	6
I.3.2. Eaux brutes.	7
I.4. Les différents types de pollution des eaux	8
I.4.1. Polluants biologiques	8
I.4.1.1. Organismes libres	8
I.4.1.2. Agents pathogènes	8
I.4.2. Polluants chimiques	8
I.4.2.1. Les sels minéraux	9
I.4.2.2. Les composés toxiques	9
I.4.3. Les polluants radioactifs	10
I.4.4. Pollution domestique	10
I.4.5. Pollution accidentelle.	10
I.5. Conséquences de la pollution	10
I.6. Traitements de l'eau pour la rendre potable	11
Chapitre II : Système de captage traditionnel « Foggara »	12
II.1. Historique de la Foggara	13
II.2. Définition de la Foggara	14

II.3. Aperçu sur la wilaya d'Adrar	15
II.4. Hydrogéologie de la région d'Adrar	15
II.5. Diffèrent type de la Foggara	15
II.5.1. Les Foggaras du continental intercalaire	16
II.5.2. Les Foggaras du tertiaire continental et de la dalle calcaire	16
II.5.3. Les Foggaras des alluvions quaternaires	16
II.6. Les éléments d'une Foggara	17
II.6.1. Le captage	17
II.6.2. La distribution.	17
II.7. La répartition de l'eau	18
Chapitre III : Partie expérimentale	19
III.1. Objectif du travail	20
III.2. Présentation de la zone d'étude	20
III.2.1. Bouda Al Sharqiah	21
III.2.2. Bouda Al Wusta	21
III.2.3. Bouda Al Gharbia.	21
III.3. Prélèvements des échantillons	22
III.4. Analyses des eaux	22
III.4.1. Analyse physique de l'eau	22
III.4.1.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	22
III.4.1.2. La Conductivité électrique	23
III.4.1.3. Turbidité	24
III.4.1.4. La salinité	25
III.4.2. Analyse chimique de l'eau	26
III. 4.2.1. La dureté de l'eau	26
III.4.2.2. Dosage de TA et TAC	28
III. 4.2.3. Dosage du Sodium et du Potassium	29
III.4.2.4. Dosage des Chlorures	30

III.4.2.5. Dosage des sulfates	31
III.4.3. Paramètre de pollution	32
III.4.3.1. Les matières en suspension (MES)	32
III.4.3.2. La Demande Chimique en Oxygène	33
III.4.3.3. Dosage des nitrates	34
III.4.3.4. Dosage des phosphates	35
Conclusion	37
Références bibliographiques	39

Résumé

L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le problème de la pollution des ressources en eau. Par ailleurs il est certain que nos besoins en eau ne cesseront de croître alors que les réserves en eau de bonne qualité diminuent. Ce travail est objectif d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de différentes Foggara Hdjadj, Sofiian, Hadj amer, Chafia, Zaouit chiekh, Yaalou et Aadouche situées de la région de Bouda - Adrar. D'après les résultats obtenus nous pouvons dire que les eaux de Foggara de la région de Bouda ne répondent pas parfaitement aux normes Algérienne de potabilisation en raison de la forte concentration de certains paramètres qui ne sont pas dans les limites acceptables. Nous concluons que les eaux de Foggara de la région de Bouda sont de mauvaise qualité, cela est probablement lié à l'existence d'une pollution anthropique.

Mots clés: Qualité des eaux, Foggara, Pollution, Bouda-Adrar.

Abstract

The evolution of urban and industrial environment poses, in many countries, the problem of water resources pollution. Moreover, it is certain that our water needs will continue to grow while the reserves of good quality water are decreasing. This work aims to evaluate the physicochemical quality of different Foggara waters of Hdjadj, Sofiian, Hadj amer, Chafia, Zaouit chiekh, Yaalou and Aadouche located in the region of Bouda - Adrar. According to the obtained results we can say that the waters of Foggara in Bouda region do not fully comply with drinking water Algerian standards due to the high concentration of certain parameters which are not within the acceptable limits. We conclude that the waters of Foggara in the Bouda region are in poor quality, this is probably due to the existence of anthropogenic pollution.

Keywords: Water quality, Foggara, Pollution, Bouda-Adrar.

ملخص

يطرح تطور البيئة الحضرية والصناعية، في كثير من البلدان، مشكلة تلوث الموارد المائية. علاوة على ذلك، من المؤكد أن احتياجاتنا المائية ستستمر في النمو بينما تتناقص احتياطيات المياه عالية الجودة. يهدف هذا العمل إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لمياه كل من فقارة حجاج، سفيان، حج عامر، الشافية، زاوية الشيخ يعلو وأعدوش الواقعة في منطقة بودة-أدرار. وفقا للنتائج التي تم الحصول عليها، يمكننا القول إن مياه الفقارة في منطقة بودة لا تفي تماما بالمعايير الجزائرية لمياه الشرب بسبب التركيز العالي لبعض المعايير التي ليست ضمن الحدود المقبولة. نستنتج من ذلك أن مياه الفقارة في منطقة بودة ذات نوعية رديئة، وربما يرتبط ذلك بوجود تلوث من صنع الإنسان.

الكلمات المفتاحية: جودة المياه، الفقارة، التلوث، بودة-أدرار.

Introduction

'eau est le facteur vital pour les êtres vivants et pour le développement de leurs activités. Dans les régions ou les pluies font considérablement défaut, milieu saharien par exemple, l'eau n'est pas disponible que dans le sous-sol et sa mobilisation doit se faire de manière ingénieuse, de façon à pourvois en tirer le maximum de profit.

L'évolution que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le problème de l'eau. Par ailleurs il est certain que nos besoins en eau ne cesseront de croître alors que les réserves en eau de bonne qualité diminuent.

L'eau recouvre les trois quarts de la surface de notre planète. On la trouve sous multiples formes : pluies, mers, océans, lacs, nappes, souterraines, ...etc.

L'eau potable est une eau douce propre à la consommation humaine qui peut être utilisée sans restriction pour boire ou préparer la nourriture. La potabilité des eaux, typiquement une eau de source ou l'eau du robinet.

Foggara est un système d'abreuvement adopté par les régions désertiques d'Algérie, dont la plus connue est la région de Touat (sud), bien qu'il remonte à des centaines d'années, il est encore debout aujourd'hui et défie la technologie. Foggara ne dépend pas des moteurs ni de la technologie pour élever l'eau du sol jusqu'à la surface pour irriguer les terres, mais plutôt de manière très traditionnelle, et c'est le secret de la Foggara.

La qualité chimique et naturelle des eaux de Foggara peut être modifiée par des activités anthropiques ou des phénomènes naturels. Ainsi, la composition physico-chimique de l'eau de Foggara en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique détermine sa qualité. En effet, une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques et/ou biologiques susceptibles, à plus ou moins long terme, nuire à la santé des individus. C'est dans ce sens que des normes de qualité ont été définies pour juger la potabilité des eaux de consommation, et ce au niveau de chaque pays ou à l'échelle continentale (exemple des normes européennes) et mondiale (normes OMS).

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de différentes Foggara Hdjadj, Sofiian, Hadj amer, Chafia, Zaouit chiekh, Yaalou et Aadouche situées de la région de Bouda.

Pour cela ce présent travail est présenté comme suit :

- Le premier chapitre, un aperçu général sur l'eau potable.
- Le deuxième chapitre une présentation générale sur les eaux de Foggara et leur système de fonctionnement.
- Le troisième chapitre résume les modes opératoires et protocoles des analyses physico-chimiques des échantillons prélevés des eaux de Foggara, ainsi les résultats obtenus et leurs discussions.

Le travail s'achève par une conclusion générale.

Chapitre I : Eau potable

L'eau est très importante dans la vie humaine et nécessaire pour sa survie, car l'eau constitue environ 50 à 80 % du corps humain, et donc aucun processus chimique qui s'y produit n'est complet sans la présence d'eau. Elle est également utilisée dans la production alimentaire, le nettoyage, le transport, la production d'énergie, le divertissement...etc, en plus de son importance dans le développement durable, le développement social et économique.

I.1. Définition

L'eau est une molécule composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, sa formule chimique est H2O (figure.1). Une goutte d'eau de la taille d'une pointe d'épingle contient environ un milliard de milliards de molécules d'eau. Sur Terre, l'eau est présente sous la forme de 3 états, qui dépendent de la température et de la pression atmosphérique : état liquide, état solide (glace) et état gazeux (vapeur) [1].

Une eau potable est une eau douce chimiquement et biologiquement saine, conforme pour un usage lié à la consommation humaine sans restriction pour éviter toute maladie. Les normes appliquées à une telle eau ne devraient pas être dépassées celles proposées dans la dernière édition de "Normes internationales pour l'eau potable" publiée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

L'eau potable est une ressource naturelle primaire à la consommation ; la potabilité permet la survie des êtres vivants et les activités humaines fondamentales et surtout l'agriculture.

I.2. Les critères de potabilité de l'eau

Une eau est déclarée « potable » si et seulement si elle répond à des normes de potabilité précises imposées. Ces normes varient en fonction de la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau destinée à la consommation humaine ou d'une eau industrielle. Aujourd'hui, 63 paramètres contrôlent la qualité de l'eau. Parmi ces 63 paramètres, on peut distinguer cinq catégories de paramètres que l'eau doit respecter [2].

I.2.1. Les paramètres organoleptiques

Ils désignent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe. Ainsi, l'eau distribuée au robinet du consommateur ne doit pas avoir d'odeur, ni de saveur particulière [3].

Chapitre I : Eau potable

I.2.2. Les paramètres physico-chimiques

Ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité,

la dureté de l'eau, etc. et délimitent les quantités maximales à ne pas dépasser pour certains

composants comme les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates [4].

Les normes physico-chimiques à respecter selon les normes Algériennes sont les suivantes :

l'eau doit avoir un pH situé entre 6.5 et 9

son taux de magnésium doit être inférieur à 50mg/l

son taux de calcium doit être inférieur à 75mg/l

son taux de chlore doit être inférieur à 200mg/l

son taux de sodium doit être inférieur à 150mg/l

son taux d'aluminium doit être inférieur à 0.2mg/l

son taux de sulfates doit être inférieur à 250mg/l

son taux de matières organiques doit être inférieur à 2mg/l

• sa dureté (TH) doit être située entre 7 et 30°f (degrés Français).

I.2.3. Les paramètres microbiologiques

Ils permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les

bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire des épidémies.

Les différents indicateurs bactériologiques couramment utilisés et qui témoignent d'une

contamination fécale sont : les coliformes, les entérocoques et l'*Escherichia coli*. Bien que ces

trois bactéries ne soient pas directement pathogènes, leur simple présence dans l'eau indique

que d'autres germes potentiellement dangereux pour l'homme sont aussi présents.

I.2.4. Les paramètres liés aux substances indésirables :

Déterminent des seuils de concentrations massiques que certaines substances ne doivent pas

dépasser, comme :

azote: 1mg/l.

benzène: 1micro.g/l.

bore: 1mg/l.

bromates: 10micro.g/l.

cuivre: 2mg/l.

détergents anioniques: 200micro.g/l.

• fer: 200micro.g/l.

fluorures: 1,5mg/l.

5

- hydrocarbures dissous: 10micro.g/l.
- manganèse: 50micro.g/l.
- Nitrites (NO₂): 0,1mg/l.
- Nitrates (NO₃): 50mg/l pour la norme habituelle. 25mg/l. pour nourrisson, femme enceinte ou allaitante.
- phénols: 0,5micro.g/l.

I.2.5. Les paramètres liés aux substances toxiques :

Les micropolluants imposent un seuil extrêmement bas et sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité sur l'homme. Pour certaines des substances dites chimiques, voici les teneurs tolérées :

- arsenic: 10micro.g/l.
- cadmium: 5micro.g/l.
- chrome total: 50micro.g/l.
- mercure: 1micro.g/l;
- nickel: 20micro.g/l.
- plomb: 10micro.g/l.
- hydrocarbures aromatiques polycycliques (6 substances): 0,1micro.g/l.

I.3. Les origines de différents types de l'eau

I.3.1. Eaux de source, eaux minérales

Les eaux dites « de source » sont des eaux naturellement propres à la consommation humaine ; on parle alors d'eau potable. Elles, possèdent des propriétés particulières : elles ont des teneurs en minéraux et en oligo-éléments qui peuvent leur donner des vertus thérapeutiques. Les eaux minérales peuvent être plates ou gazeuses. Comme les eaux de source, elles ne peuvent être traitées. En ce sens, c'est un alicament. Elle est d'origine profonde et de composition physico-chimique constante dans le temps, et satisfait à des exigences microbiologiques plus strictes que les autres eaux destinées à la consommation humaine.

En Europe, les seuls traitements qu'il est permis de leur appliquer sont l'aération, la décantation et la filtration. Les eaux naturellement gazeuses, qui contiennent du dioxyde de carbone dissous, peuvent également être regazéifiées avant d'être embouteillées.

Certaines eaux très fortement minéralisées dépassent les critères législatifs de minéralisation tolérées pour les eaux brutes. Par extension, et certains composants tels que le fluor et les sulfates n'étant bénéfiques pour la santé qu'à faibles doses, il arrive qu'elles soient qualifiées de non-potable [3].

I.3.2. Eaux brutes

L'eau brute est ce qui se trouve dans l'environnement qui n'a pas été traité et qui contient tous les minéraux, ions, molécules, bactéries et parasites. Eaux de pluie, eaux souterraines et eaux provenant de puits, de réservoirs et de rivières qui fuient.

L'eau brute est généralement impropre à la consommation humaine en raison de la présence de polluants. Un problème de santé majeur dans certains pays en développement est l'utilisation de l'eau brute pour boire et cuisiner [5].

Sans traitement, l'eau brute peut être utilisée à des fins agricoles, de construction ou de nettoyage [6]. Les agriculteurs l'utilisent pour arroser leurs cultures et la donner à boire au bétail, et à toute autre fin qui ne nécessite pas sa consommation par l'homme. L'eau sous cette forme est considérée comme brute [7].

I.3. Modifications naturelles de la composition des eaux:

La composition chimique de l'eau est fortement modifiée à l'échelle temporelle et surtout lors des événements de crues, en raison de contributions variables des eaux venant de différents réservoirs et des écoulements : pluies, ruissellements de surface et subsurface (sols), nappes. Les processus d'érosion chimique et physique sont alors très actifs.

Après acquisition de la signature géochimique, la composition des eaux de rivières peut être modifiée lors de leurs transferts de l'amont vers l'aval par différents processus chimiques, physiques et biologiques naturels comme:

- le dégazage du CO₂ à l'interface eau/atmosphère,
- la production phytoplanctonique et la formation de diatomées,
- les échanges avec la végétation riveraine et les macrophytes aquatiques,
- les échanges avec les nappes souterraines, les apports d'affluents à signatures géochimique et biologique différentes,
- la précipitation ou la dissolution de minéraux, les interactions avec les biofilms de rivières...etc

Enfin, de nos jours, les impacts anthropiques de nature diverse (contaminations diffuses par retombées atmosphériques, intrants agricoles, contaminations ponctuelles urbaines et industrielles...) perturbent ces équilibres et ces processus naturels, entraînant une modification importante de ces compositions chimiques naturelles de l'eau de pluie, des rivières, des nappes et des océans [3].

I.4. Les différents types de pollution des eaux

I.4.1. Polluants biologiques

Ils comprennent les organismes libres et les agents pathogènes.

I.4.1.1. Organismes libres

Les principaux organismes libres présents dans l'eau, sont : le plancton, les macro-invertébrés et les micro-organismes. Ces derniers se subdivisent en :

- micro-organismes des eaux de surface
- micro-organismes des eaux propres
- micro-organismes responsables de certains goûts et odeurs

I.4.1.2. Agents pathogènes

Sont les protozoaires, les bactéries pathogènes et les virus.

Les protozoaires

L'espèce pathogène la plus fréquente en Afrique subtropicale, *Entamoeba histolytica*, provoque la dysenterie amibienne [8].

Les bactéries pathogènes

Ces bactéries pathogènes, ou potentiellement pathogènes, sont responsables de la plupart des maladies infectieuses qui sévissent en Afrique subtropicale : choléra, fièvre typhoïde, dysenterie, gastro6entérite, maladies diarrhéiques, etc.

Généralement transmises à l'homme par voie digestive liée à la consommation d'eau ou d'aliments contaminés, les bactéries pathogènes jouent un rôle déterminant dans la pollution biologique de la nappe phréatique [9].

Les virus

De nombreux virus peuvent infecter une personne et être transmis à de nouveaux hôtes à travers les fèces par voie digestive. Un gramme de fèces peut contenir jusqu'à 10⁹ particules virales infectieuses [8].

I.4.2. Polluants chimiques

Certains éléments chimiques qui se trouvent dans l'eau sont utiles et même indispensables à la santé de l'homme à faibles concentrations mais peuvent devenir toxiques lorsqu'ils sont absorbés en très grande quantité. Ils comprennent les sels minéraux et les composés toxiques.

I.4.2.1. Les sels minéraux

Les plus couramment rencontrés dans la pollution des eaux sont : les nitrates, les nitrites, les phosphates, les sulfates, bicarbonates, etc.

Les principales sources mises en cause sont :

- les effluents industriels et urbains.
- le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais
- la mauvaise conservation des produits chimiques
- la nature des terrains traversés [10].

I.4.2.2. Les composés toxiques

Ils sont soit minéraux, soit organiques :

Les composés minéraux toxiques

Ce sont essentiellement:

- les métaux lourds ou certains métalloïdes
- les minéraux d'origine agricole
- les minéraux d'origine industrielle

Les composés organiques toxiques

Ce sont principalement les pesticides et les détergents. Ces derniers ne sont pas toxiques mais ils favorisent l'assimilation des substances toxiques.

Les pesticides: on désigne généralement les pesticides comme, des produits utilisés pour lutter contre les organismes portant atteinte à la santé publique ou s'attaquant à tous les stades et de toutes les manières aux ressources végétales ou animales nécessaires à l'alimentation humaine, à l'industrie ou encore à la conservation de l'environnement. D'après leurs usages, les pesticides sont classés de la manière suivante : les insecticides, les fongicides, les nématoïdes, les rodenticides, les herbicides, les acaricides etc.

Les détergents : on désigne par détergents (du latin « déterger » : nettoyer), les produits susceptibles de permettre des opérations de nettoyage. Les nuisances engendrées par l'utilisation des détergents sont :

- L'apparition de goût de savon.
- La formation de mousse qui freine le processus d'épuration naturelle ou artificielle.
- Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau, même en l'absence de mousse, par création d'un film interracial [10].

I.4.3. Les polluants radioactifs

La pollution des eaux de surface par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, imputable au fonctionnement des réacteurs, à l'utilisation des isotopes radioactifs en médecine, dans l'industrie et dans diverses autres branches d'activité civile et aux retombées provenant des essais d'armes nucléaires.

On s'efforce actuellement par tous les moyens de prévenir la pénétration de déchets concentrés dans les eaux de surface, mais les eaux de refroidissement des réacteurs entraînent de faibles quantités de matières radioactives [9].

I.4.4. Pollution domestique

Elle provient des utilisations de l'eau par les habitants. On distingue les eaux vannes (eau des toilettes) et les eaux ménagères (eau de lavages).

La pollution domestique est surtout organique (graisses, déchets organiques), elle peut aussi être chimique (poudres à laver, détergents, produits utilisés dans les jardins...).

Aux eaux usées domestiques traditionnelles s'ajoutent les eaux de pluie et les eaux "collectives" de lavage des rues, des marchés, des commerces, des bâtiments scolaires, des hôpitaux. Ainsi que les pollutions par des pesticides pour le traitement des espaces verts et des voiries [11].

I.4.5. Pollution accidentelle

Leurs origines sont multiples. Certains déversements de produits polluants sont dus à des accidents (camions citernes, bacs endommagés, fuites sur canalisations...). D'autres surviennent dans des usines, lorsque des quantités importantes de gaz ou de liquides toxiques s'en échappent et sont disséminées en peu de temps dans la nature.

Les stations d'épuration elles-mêmes peuvent tomber en panne et déverser leurs eaux usées ou leurs boues directement dans le milieu aquatique. Enfin, la pollution peut être due à l'ignorance ou à la légèreté de certains usagers : rejet de solvants chlorés dans les égouts, huiles de vidange. (ONEMA) [11].

I.5. Conséquences de la pollution

- Les matières organiques solubles abaissent la teneur en oxygène dans les cours d'eau, ce qui conduit à un déséquilibre de l'écosystème.
- Les matières en suspension, s'accumulent au fond des cours d'eau, lacs et étangs et causent l'augmentation de la turbidité.
- Les acides sont toxiques à la vie aquatique et détériorent les réseaux d'égaux.

- Les huiles et les graisses flottants conduisent au colmatage des conduites et donnent un aspect esthétique indésirable.
- Les matières toxiques et métaux lourds sont toxiques à la vie aquatique.
- Le phosphore et l'azote conduisent à l'eutrophisation des cours d'eau.
- Le phosphore est un élément limitant la croissance des plantes et du phytoplancton.
- Les coliformes fécaux et pathogènes participent à la contamination bactériologique des cours d'eau [12].

I.6. Traitements de l'eau pour la rendre potable

Plusieurs procédés de purification améliorent les propriétés de l'eau pour la rendre potable, l'exemple classique est l'ajout du chlore (par chloration ou chloramination) comme désinfectant ; en même temps, du calcium est introduit pour élever le pH et préserver l'intégrité des tuyaux contre la corrosion des matériaux métalliques.

Le processus de conversion de l'eau ordinaire en eau potable est appelé purification. Les procédés de traitement pour atteindre le seuil de potabilité sont variés ; par exemple une désinfection simple, pour éliminer les agents pathogènes, se fait habituellement par l'addition de composés chlorés, de rayonnement ultraviolet, l'application d'ozone, une fluidisation, etc. Ces procédures sont applicables à l'eau provenant de sources naturelles ou des eaux souterraines.

Si la source d'eau est de l'eau de surface d'un cours d'eau de rivière ou d'un lac, qu'ils soient naturels ou artificiels, le traitement consiste habituellement en un décapage des substances volatiles suivi d'une précipitation d'impuretés par floculation, filtration et désinfection avec du chlore ou de l'ozone.

Le cas extrême existe lorsque les sources d'eau contiennent des sels et/ou des métaux lourds. Des procédés pour éliminer ces impuretés sont généralement compliquées et coûteuses. Dans les régions où les zones ont une faible pluviométrie, avec peu d'averses, la disponibilité des eaux marines est une alternative pour produire de l'eau potable par dessalement. Ceci est souvent accompli par osmose inverse ou distillation.

Chapitre II : Système de captage traditionnel « Foggara »

Le système d'irrigation traditionnel « Foggara » dans le Sahara algérienne a permis le passage du nomadisme à la sédentarisation. Cette organisation hydraulique a permis également d'installer et de maintenir des oasis, dont le rôle essentiel était d'offrir aux voyageurs et aux caravanes l'ultime étape avant la traversée du grand sud.

L'ingéniosité du procédé réside dans sa conception et son adaptation aux conditions de la vie et du climat sahariens : il supprimait les corvées d'eau épuisantes, qui prenaient l'essentiel du temps des habitants, et assurait un approvisionnement à débit constant, sans risque de tarir la nappe d'eau et en limitant l'évaporation au minimum.

L'état algérien a donné une grande importance à ce système de captage des eaux souterraines car la pérennité de la verdure dans les oasis de la wilaya d'Adrar est maintenue grâce à la Foggara.

II.1. Historique de la Foggara

Le système de captage des eaux souterraines se trouve en Algérie sous le nom de « Foggara »il constitue un patrimoine culturel national ou plutôt mondial. Puisqu'il existe seulement dans 50 pays du monde, mais sous différentes appellations, on le trouve en Chine sous le nom de « Karez », en Iran « Qanat », au Pakistan « Kharez », au Yamen « Sahrij », à l'Oman « Falej », en Syrie « Kanawat », en Tunisie « Ngoula », au Maroc « Khettara » et en Espagne « Minas », On trouve aussi des adductions similaires en Azerbaïdjan, Arménie et dans l'ancienne Égypte. D'après plusieurs auteurs cette technique aurait pris naissance en Iran, Hérodote mentionne l'existence de ce système en Mésopotamie au Ve siècle avant. J.C. Polybe signale aussi ce système en Perse au IIIe et au IIe siècle avant J.C, ce qui atteste l'origine lointaine de cette technique. Les rares documents trouvés justifient que les Foggaras sont introduites au Sahara Algérien entre le XIème et XIIème siècle par El Malik El Mansour, qui aurait creusé la première Foggara appelée Hennou (actuellement elle débite 3,2 L/s) à Tamentit située à 15 km au sud de la ville d'Adrar, donc ce système est très répondu, Les Foggaras ont été ensuite développées dans le Touat et Gourara [13]. En Algérie la majorité des Foggaras se trouve dans la wilaya d'Adrar, mais on les trouves aussi au Nord de la wilaya de Tamanrasset dans la région d'In Salah, dans la wilaya de Bechar dans la partie Sud-est à Beni Abbès et Igli, et aussi quelques traces de l'existence de la Foggara dans la wilaya de Laghouat et à Boussaâda [14].

II.2. Définition de la Foggara

La Foggara signifie en arabe "Fakara" (creuser). Certains historiens estiment que ce terme provient du mot arabe "El Fokr" (pauvreté). Toute personne qui creuse une Foggara se trouve dans l'obligation d'y investir à tel point qu'elle finit par se retrouver dans le besoin avant d'en bénéficier. Mais certains pensent que le nom de Foggara est relatif au mot "Fakra" qui signifie littéralement vertèbre en arabe. Mais la désignation la plus correcte semble provenir du mot arabe « fadjjara » (faire jaillir), qui désignerait la sortie de l'eau de la bouche d'un canal [13].

Foggara est une technique traditionnelle du captage des eaux souterraines très répandue dans les Oasis. Elle consiste à capter l'eau souterraine à l'aide d'une galerie drainante souterraine qui sert à mener l'eau des profondeurs jusqu'à l'air libre par seul biais de la différence de charge hydraulique (écoulement gravitaire). D'une manière plus détaillée, la Foggara est une canalisation souterraine creusée dans la zone de l'exutoire naturel de la nappe du continental intercalaire, elle est constituée de plusieurs puits communiquant successifs de profondeurs variables, réunis à la base par une galerie drainante appelée couramment « N'fad » [14]. Les eaux mobilisées par les canalisations qui suivent une légère pente sont par la suite drainées par des seguias secondaires pour irriguer les palmeraies. La distance respectée entre deux Foggaras ne doit pas être inférieure à deux cents mètres environ sur terrain. Les puits sont séparés l'un de l'autre de six à douze mètres et même plus. Une Foggara peut atteindre 500 à 600 puits, sa longueur varie de 1 à 15 km, la distance entre les puits n'est pas forcément respectée, l'intervalle qui sépare deux puits s'appelle « N'fad » ou galerie drainante.

La Foggara est une technique liée à un système social de travail collectif, mené par un comité de sages, appelé Djemaa, dont le rôle est de diriger et de surveiller l'entretien de la Foggara et la répartition de son eau [15].

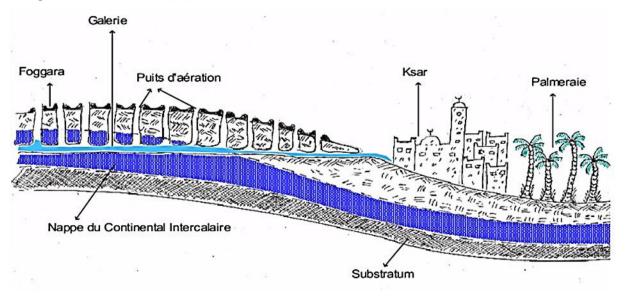


Figure 1 : Système de la Foggara.

II.3. Description de la foggara

Le terme Foggara désigne une galerie souterraine qui consiste a drainé les eaux de la nappe aquifère du plateau vers les terrains irrigués situés dans la dépression. La Foggara se compose de plusieurs puits avec des profondeurs variables réunis à leurs bases par une galerie, qui se caractérise par des dimensions géométriques variables d'une région à l'autre suivant la nature des terrains. La Foggara draine la nappe d'eau grâce à la différence de pression qui existe entre la galerie drainante et la surface de la nappe aquifère et que le débit drainé est proportionnel à la hauteur rabattue de la nappe d'eau.

II.3. Aperçu sur la wilaya d'Adrar

La wilaya d'Adrar est située dans la partie centrale du Sahara algérien, elle s'étend sur une superficie de km², elle est limitée : au nord-ouest par la wilaya de Bechar, à l'est par la wilaya de Ghardaïa et Tamanrasset, à l'ouest par la wilaya de Tindouf, au sud-ouest par la Mauritanie et au sud par le Mali. Cette wilaya est composée de trois grandes régions Gourara, Taouat et Tidikelt [13].

II.4. Hydrogéologie de la région d'Adrar

Parmi les formations qui affleurent dans la région, la plus importante du point de vue hydrogéologique est celle du crétacé inférieur appelée communément le continental intercalaire (C.I.). La partie occidentale la plus importante occupe une superficie de l'ordre de km 2. L'épaisseur de la formation du continental intercalaire varie du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest, selon les données des Forages semi profonds son épaisseur oscille entre 150 et 400 m. Notons que l'épaisseur diminue progressivement de l'Est vers l'Ouest et du Nord vers le Sud et échoue en biseau sur le substratum du primaire. Le niveau statique de la nappe aquifère du C.I oscille entre 13 à 30 m par rapport à la côte du sol et peut atteindre 100 m au niveau du plateau de Tadmait (Forages d'Ain bel bel).

II.5. Diffèrent type de la Foggara

Selon le contexte géologique et hydrogéologique dans lequel elles sont creusées, différents types de Foggara peuvent être distingués :

- Foggara du plateau : La majorité des foggaras de la région d'Adrar sont alignées Est-Ouest, ils suivent le sens d'écoulement de la nappe du Continental Intercalaire et de même façon ils sont orientés vers le plateau de Tademaït.
- Foggara de l'Erg: C'est une foggara creusée près de l'Erg, avec l'avancement des dunes de sables durant les siècles de l'existence de la foggara, il est très difficile de trouver le puits amont de la foggara recouvert de sable.

- Foggara du Jardin : C'est une foggara localisée dans la palmeraie, elle est de petite longueur et qui capte les eaux d'infiltration et de drainage des autres foggaras situées en amont.
- Groupement de foggaras: On peut trouver plusieurs foggaras associés dans une seule
 Foggara, c'est une réunion de deux à six foggaras dans une seule kasria [13].

II.5.1. Les Foggaras du continental intercalaire

Ce groupe contient le plus grand nombre des Foggaras sahariennes (Touât, Gourara et Tidikelt). Dans les parties gréseuses du continental intercalaire (Touât en particulier), la galerie est étroite, propre et bien taillée et ne dépasse pas 0,6 m de largeur.

Dans le nord du Touât les eaux des Foggaras traversent des formations calcaires en se chargeant de sels (sulfates, carbonates de chaux), ces derniers se déposent par couches le long des parois de la galerie. Lorsqu' ils rencontrent une aspérité, ces dépôts ont tendance à s'accumuler à ce point (concrétion calcaires), il se forme un étranglement qui se l'on n'y prenait pas garde pourrait se transformer en un véritable barrage.

Dans la partie méridionale (au Tidikelt), les Foggaras sont creusées dans la formation argilosableuses du continental intercalaire et sont bien taillées. Les parois s'effritent, la galerie s'élargit et il se forme de grandes cavernes par l'effet d'éboulement.

II.5.2. Les Foggaras du tertiaire continental et de la dalle calcaire

A la lisière sud d'Erg, un certain nombre de Foggaras sont creusées dans la dalle calcaire coiffant la hamada. Elles sont peu profondes (3,5 m au puits amont) et ont un fort débit.

II.5.3. Les Foggaras des alluvions quaternaires

Les plus typiques sont celles du Hoggar à Tamanrasset. Elles sont creusées dans les arènes et sables grossiers des alluvions de l'oued. Le manque de cohésion des matériaux, constituant la voûte et les parois ainsi que les dégâts provoqués périodiquement par les crues, leur donne un aspect ruiniforme particulier. La partie amont qui se trouve le plus près de l'axe de l'oued est détruite et comblée, la Foggara est alors reconstituée à une dizaine de mètres de l'oued. La succession de puits, d'âge différent, donne un ensemble topographique chaotique et incohérent d'aspect très différent des alignements connus au Touât, Gourara et Tidikelt [16].

II.6. Les éléments d'une Foggara

Le système de Foggara est divisé en deux parties : le captage et la distribution.

II.6.1. Le captage

Le captage de l'eau souterraine est assuré par une galerie de plusieurs kilomètres, de faible pente, qui draine l'eau de la nappe vers la surface libre. Cette galerie est équipée de plusieurs puits verticaux qui servent à l'entretien et à l'aération de la Foggara [17].

II.6.2. La distribution

Le drainage est d'autant plus important que la Foggara étire sa longueur vers le plateau, ce système de drainage souterrain permet un écoulement d'eau continu; les puits profonds de trois à quatre mètres au départ du village atteignent 30 à 35 mètres sur les hauteurs de certaines Foggaras. La répartition se fait à travers un genre de peigne en pierre tendre et facile à gratter, c'est la « kasria » ou répartiteur. Pour faciliter la mesure et éviter un gros débit à la fois la « kasria » doit avoir un nombre suffisant d'ouvertures par lesquelles l'eau s'échappe facilement sans faire retour en arrières ; ces ouvertures permettent à l'eau de couler dans les rigoles qui ne sont pas obligatoirement égales. Il arrive même d'avoir plusieurs ouvertures qui déversent à la fois l'eau dans le même majra (voir photos ci-après).

La distribution de l'eau s'effectue juste à la sortie de la galerie et repose sur quatre éléments majeurs qui sont : Kasria (répartiteur); Seguia (canal), Madjen (bassin de récupération) et Gamoun (Jardin). Une fois l'eau arrivée à la sortie de la galerie, elle est répartie entre les propriétaires par la Kasria. Le cheminement de l'eau jusqu'au Madjen s'effectue par l'intermédiaire des Seguias.



Figure 2: Kasria d'une Foggara.

II.7. La répartition de l'eau

Le système de distribution de l'eau dans la plus ancienne Foggara au Touât « Hannou » reste différent de ce qui existe ailleurs. Il s'agit d'une « Foggara horaire » d'où partiraient des "Seguias », plus ou moins importantes. La répartition ne se fait pas en quantité et en volume, et ne nécessite pas de « peignes ». Cette Foggara est obstruée une ou deux fois le jour, pour permettre de reconstituer le niveau requis, puis libérée pour un temps donné, proportionnel à la contribution versée par le bénéficiaire

L'augmentation du nombre des bénéficiaires pousse les ksouriens à disposer d'un système de distribution propre à eux. A l'aide d'un outil ingénieux se fait la mesure d'une Foggara et la distribution de ses eaux.

Cet outil dénommé la «Hallafa» dans la région de Touât (littéralement : celle par laquelle il faut jurer), « Chegfa » ou «Louh» dans le Tidikelt. Le mesureur est appelé par les Arabes « Alkayle-al-asfar » (la mesure jaune). Le louh est constitué d'un cylindre de cuivre percé à sa surface latérale de trous de différents diamètres représentant des mesures avec leurs multiples et sous multiples. Ce cylindre est ouvert sur ses deux bases. Au moment de l'usage, il est légèrement enfoncé verticalement dans le lit de la « Seguia » préalablement bien aplanie. La « Chegfa » est placée à une distance constante du point ou doit se faire la répartition de l'eau.

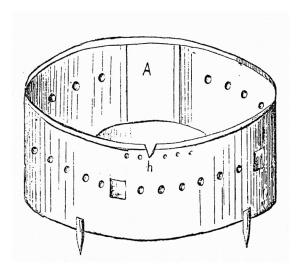


Figure 3 : Instrument de mesure du débit de la Foggara à son débouché.

Chapitre III : Partie expérimentale

III.1. Objectif du travail

Ce travail a été réalisé au Laboratoire des Ressources Naturelles Saharienne, de l'Université d'Adrar. Il est objectif d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau de sept de Foggara situées dans la région de Bouda.

III.2. Présentation de la zone d'étude

Il n'est pas possible de parler de l'état d'Adrar sans parler de la municipalité de Bouda, cette région, qui était une source de science et de culture et une station pour l'admiration de tous les visiteurs pour son oasis de palmiers et ses sables dorés qui ressemblent à un archipel dans les mers et ses palais et paragraphes architecturaux que les scientifiques n'ont pas pu décrire et ce que ses habitants apprécient des coutumes et traditions Il a été visité par de nombreux chercheurs et voyageurs.

Bouda était une oasis de palmiers dont les terres sont très fertiles. « Bo » signifié eau, et « Alwada » signifié ici..., donc Bouda signifie « eau ici », et l'histoire de ce nom remonte au premier homme qui est venu dans la région avec son fils qui cherchait la vie et la stabilité, donc si son fils a aperçu la rosée, il est apparu de la surface de la terre, alors le fils a crié en disant : "Al Buda". L'origine du mot remonte à l'ancien dialecte local. Bouda était un trait d'union entre le Nord-Ouest Algérien et le Sud Algérien, où c'était une station à partir de laquelle s'approvisionnaient les Bédouins et les nomades, lors du passage de ces tribus et des caravanes commerciales venant de Tlemcen et passant par Bechar, Balbala et se dirigeant vers le Soudan, prenant de Bouda un lieu de repos et de troc. Le Soudan et d'autres passant par les marchés du Hedjaz, et la région était considérée comme un lieu fertile en raison de l'eau souterraine disponible près de la surface de la terre.

Emplacement:

La commune de Bouda est située à l'ouest de la wilaya d'Adrar, elle est délimitée par la commune de Sebaa au nord, la commune de Timi (Oulad Ahmed) au sud, la commune d'Adrar à l'est et la commune de Tablebla (Bachar) à l'ouest. La zone est à 25 km du siège de l'État. La municipalité occupe une superficie de 4140 km², avec une population de plus 15000 habitants.

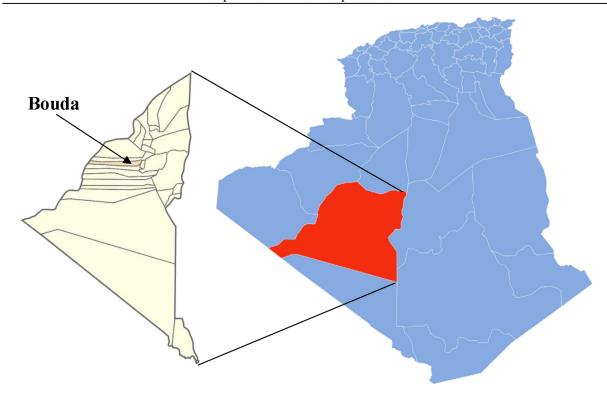


Figure 4 : Situation géographique de la commune de Bouda.

La région de Bouda comprend plusieurs palais situés dans trois zones :

III.2.1. Bouda Al Sharqiah

Comprend des palais de : Oudran 'Vieux Palais' Beni Wasel, Amende Ali, Zawiya Sidi Heida, Mansour et le quartier Houari Boumediene.

III.2.2. Bouda Al Wusta

Elle comprend des palais de : Ben Darao 'Siège de la municipalité, Zawiyat El Sheikh, Banilou.

III.2.3. Bouda Al Gharbia

Elle comprend les palais de : Bakhla, Afar Old Abandoned Palace, Lamarine, Ghamara, Al Ksaiba, et la zone contient trois kasbahs en ruine.

III.3. Prélèvements des échantillons

Les prélèvements des échantillons d'eau est opération délicate à laquelle le plus grande soin doit être apporté. Il condition les résultats analytiques et les interprétations qui s'en suit. L'échantillon doit être représentatif et que ne doit pas être modifié les caractéristiques de l'eau. Après avoir bien lavé les flacons de prélèvement l'échantillonnage a été effectué directement sur site (la source), en trompant doucement le flacon à l'intérieur de l'eau, à environ 30cm de surface, en évitant le prélèvement en surface et au fond pour ne pas risquer de ramasser de l'écume ou des sédiments. Les volumes nécessaires pour les analyses sont de 2 à 4 litres.

III.4. Analyses des eaux

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au sein du Laboratoire des Ressources Naturels Saharienne et au Laboratoire des Chimie de l'Université Ahmed Draïa d'Adrar. Après l'opération d'échantillonnage les prélèvements ont été conservés au réfrigérateur à 4,5°C.

III.4.1. Analyse physique de l'eau

III.4.1.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH est en relation étroite avec la concentration en ions H⁺ présent dans l'eau ou la solution. On parle alors de pH acide, de pH neutre ou de pH basique. Les mesures du pH sont réalisées directement à l'aide d'un pH mètre en plongeant l'électrode et en lisant la valeur de l'échantillon.



Figure 5 : Détermination de pH à l'aide d'un pH-mètre.

Les résultats de mesure du pH des échantillons présentés sur la figure 6, montrent que le pH des eaux de toutes les Foggara varié entre 5,5 et 7,7. D'après les normes Algérienne ces eaux sont classées d'après leur pH en majorité des eaux souterraines.

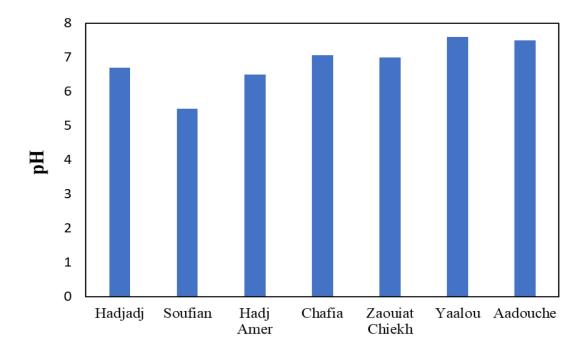


Figure 6 : Résultats d'analyse du pH des eaux de Foggara.

III.4.1.2. La Conductivité électrique

La conductivité électrique qui est l'inverse de la résistivité traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau ⁽⁴⁾.

Les mesures de la conductivité électrique ont été effectuées à l'aide d'un conductimètre en plongeant directement l'électrode dans l'échantillon à analyser.

Les valeurs de la conductivité enregistrées présentés sur la figure 8 dépassent les normes (a valeur de la conductivité d'une eau potable variant entre 0.1 et 1 S/cm) donc la qualité de l'eau des Foggaras étudiées est très minéralisée donc de mauvaise qualité.



Figure 7. Détermination de la conductivité à l'aide d'un conductivité mètre

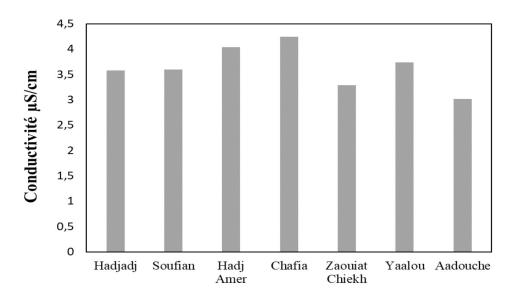


Figure 8 : Résultats d'analyse de la conductivité électrique des eaux de Foggara.

III.4.1.3. Turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne.

La turbidité des échantillons étudiés a été déterminée par un turbidimètre après avoir étalonné le turbidimètre par une solution de référence.



Figure 9 : Détermination de la turbidité à l'aide d'un turbidimètre.

Les valeurs de la turbidité présentées sur la figure 10 sont compris entre 0,30 à 1,9 NTU sont inférieures à celle donnée par la norme Algérienne (turbidité < 5 NTU), indiquant de ce fait que les eaux de toutes les Foggaras étudiées sont claires.

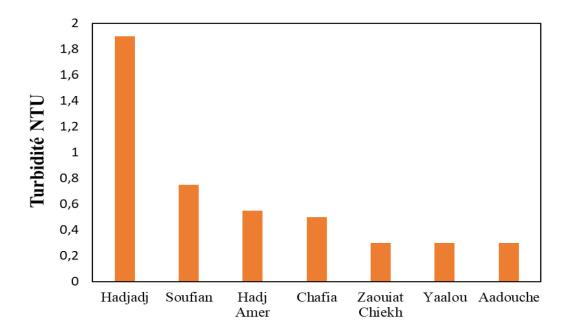


Figure 10 : Résultats d'analyse de la turbidité des eaux de Foggara.

III.4.1.4. La salinité

La salinité désigne la quantité ou la concentration totale de sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux. La salinité de l'eau est mesurée généralement au travers de la conductivité électrique de cette eau car cette dernière augmente avec l'augmentation de la concentration des sels dissous dans l'eau, ce qui signifie qu'elle est directement proportionnelle à la salinité.



Figure 11 : Détermination de la salinité.

Les résultats des analyses présentés sur la figure 12 pour tous les échantillons montrent que les valeurs de la salinité des eaux de Foggaras étudiées sont inférieures à 3 S/m traduit le caractère salin.

L'excès de teneur en sel est l'un des soucis principaux avec l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sel dans l'eau affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols.

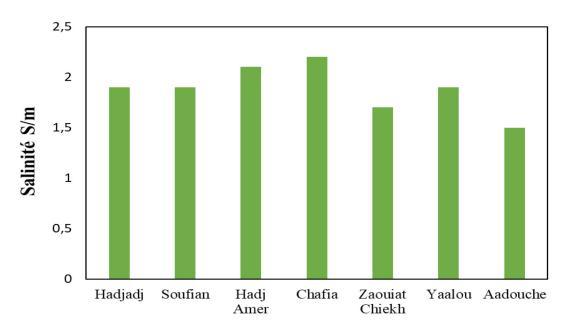


Figure 12 : Résultats d'analyse de la salinité des eaux de Foggara.

III.4.2. Analyse chimique de l'eau

III. 4.2.1. La dureté de l'eau

La dureté de l'eau est liée au lessivage des terrains traversés et elle correspond à la teneur en calcium (Ca⁺²) et en magnésium (Mg⁺²). On parle de dureté totale d'une eau ou de titre hydrométrique (TH).

La détermination de la dureté totale des eaux de Foggaras a été effectuée par un titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH 10. Le Noir Erichrome T (NET), qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. Dans le cas de la dureté calcique le murexide a été utilisé comme indicateur coloré qui vire du bleu au rouge violet.

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) ou soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄). D'après les résultats obtenus nous avons remarqué des teneurs en ions Ca⁺² qui varient entre 108 mg/L comme valeur minimale à 200 mg/L comme valeur maximale qui est dans les limites acceptable selon les normes Algériennes de 200 mg/L. Les concentrations en calcium plus élevée indiquent que ces eaux sont plus influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen). D'après les résultats obtenus une très faible teneur en magnésium (5 mg/L) a été enregistrée pour la Foggara de Soufian, tandis que les autres Foggaras oscillent entre 45 et 70 m/L qui ne dépassent pas les normes Algériennes de 150 mg/L donc la qualité de l'eau est acceptable.

A la base de ces résultats obtenus on considère, d'une manière générale, que les eaux de Foggaras de la région de Bouda sont très dures.

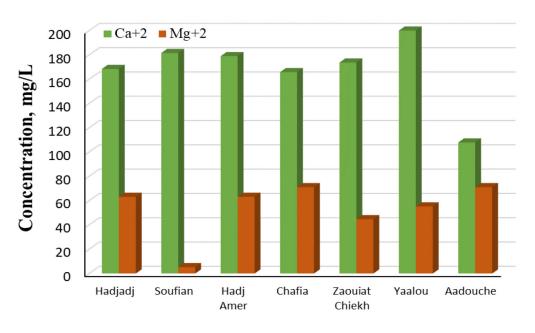


Figure 13 : Résultats d'analyse des ions Calcium et Magnésium des eaux de Foggara.

III.4.2.2. Dosage de TA et TAC

Détermination du TA

Prélever 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, (pH < 8,3). Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH 8,3). Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

Ces deux valeurs permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau.

Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration jaune orangé et apparition de la couleur rouge (pH 4,5). Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage.

Expression des résultats de TA

- V/5 exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.
- V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1 °f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

Expression des résultats de TAC

- V'/5 exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.
- V' exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

D'après les résultats obtenus le TAC varie entre 0,96 à 1,23 meq/L, donc les résultats ne dépassent pas les normes Algérienne. Quant aux résultats de TA varient entre 0,04 à 0,36 meg/L, donc les résultats ne dépassent pas les normes Algérienne.

Ces résultats indiquent que la concentration de bicarbonate et de carbonate est faible dans les eaux des Foggaras analysées.

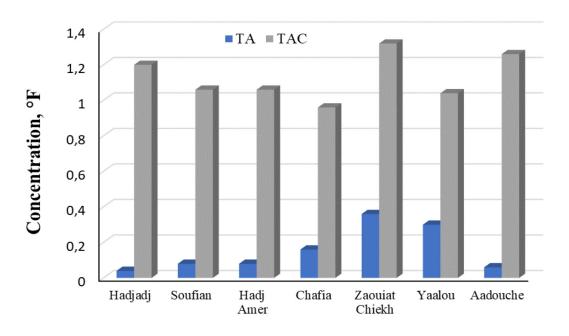


Figure 14 : Résultats d'analyse de TA et TAC des eaux de Foggara.

III. 4.2.3. Dosage du Sodium et du Potassium

La photométrie à flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino-terreux. Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, etc) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Les ions Sodium Na⁺ et Potassium K⁺ ont été analysés directement à l'aide d'un photomètre à flamme après avoir établir des courbes d'étalonnages pour chaque élément à doser.



Figure 15: Photomètre à flamme.

Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant de chlorure de sodium. C'est un élément nécessaire au fonctionnement des nerfs, mais entraîne en même temps une augmentation de la pression artérielle. Les résultats des analyses montrent que les concentrations des ions Na⁺ des eaux de Foggara est varient entre 90 et 125 mg/L. Ces valeurs ne dépassent pas les normes Algérienne de 200 mg/L.

Quant au potassium joue un rôle essentiel chez l'homme (transmission de l'influx nerveux) pour lequel les besoins de l'organisme sont de l'ordre de 1,5 à 4 g/jour. Une carence en potassium provoque des dysfonctionnements cardiaques. Les valeurs des eaux de Foggara analysées varient entre 25 et 35 mg/L. Ces valeurs ne respectent pas les normes Algériennes qui recommandent une concentration maximale de 20 mg/L.

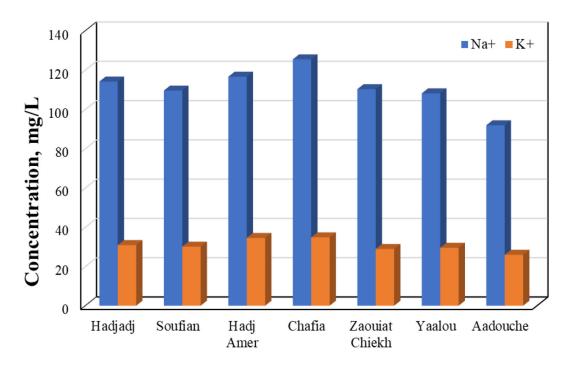


Figure 16 : Résultats d'analyse des ions Sodium et Potassium des eaux de Foggara.

III.4.2.4. Dosage des Chlorures

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique [Hg(SCN)₂] et de l'alun ferrique [Fe₂(SO₄)₃, NH₄ 24H₂O] donnent en milieu acide un complexe orangé susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

Sur la base des résultats des analyses effectuées pour les échantillons des eaux, les teneurs en chlorures dépassent les normes Algériennes (500mg/L) donc la qualité des eaux de Foggaras de la région de Bouda est inacceptable.

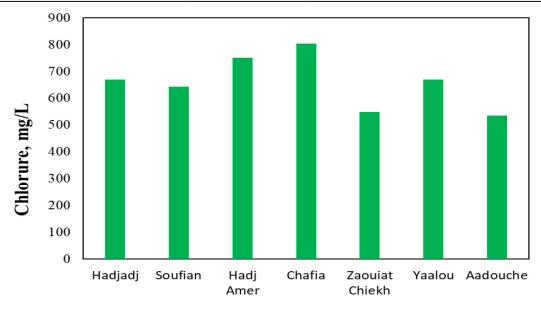


Figure 17 : Résultats d'analyse des Chlorures des eaux de Foggara.

III.4.2.5. Dosage des sulfates

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum. Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible après avoir établir une courbe d'étalonnage.

D'après les résultats obtenus les teneurs en sulfates varient entre 123 mg/L comme valeur minimale à 513 mg/L comme valeur maximale. Nous notons que les concentrations en sulfate pour les échantillons de : Chafia, Aadouche, Hdjadj et Sofian sont proches de la concentration admissible par les normes algériennes (400 mg/l), tandis que les concentrations en sulfate pour les échantillons de Zaouit chiekh, Yaalou et Hadj amer sont supérieures aux normes admissibles en raison de la différence de couches et leur composition.

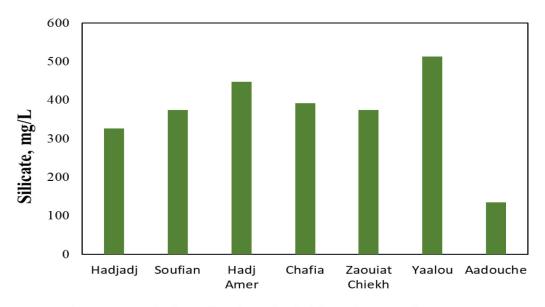


Figure 18 : Résultats d'analyse des Sulfates des eaux de Foggara.

III.4.3. Paramètre de pollution

III.4.3.1. Les matières en suspension (MES)

La détermination des matières en suspension (MES) est un indicateur de pollution concernant la charge en matières solides. Les MES dans l'eau. Les MES sont des particules solides très fines qui se classent en matières décantable et matières colloïdales généralement visibles à l'œil nu et déterminent la turbidité

La teneur et la composition des matières en suspension sont très variables selon l'origine de l'eau, elles sont fonction des terrains, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets etc. La détermination de MES a été effectuée comme suit :

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par une pesée différentielle après un séchage à 105 °C. La teneur en matières en suspension est exprimée en m/L et obtenue par la formule suivante :

$$MES(mg/L) = \frac{M - M'}{V} \times 1000$$

Où:

- M : représente la masse du filtre après filtration, en mg ;

- M' : représente la masse du filtre avant filtration, en mg ;

V : représente le volume en L d'échantillon filtré.

D'après les valeurs de MES obtenues nous pouvant dire que toutes la Foggaras présentent des eaux claires et limpides (MES < 25 mg/L).



Figure 19: Dispositif de filtration sous vide.

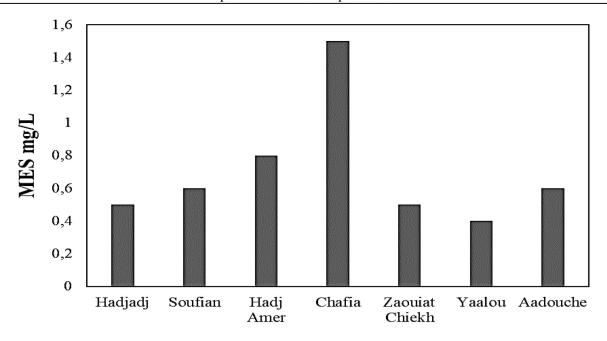


Figure 20 : Changements Les Matières En Suspension de l'eau de Foggara d'étude

III.4.3.2. La Demande Chimique en Oxygène

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) exprime la quantité d'oxygène qui nécessaire pour oxyder la matière organique biodégradable et non biodégradable d'un litre eau. La DCO des eaux de Foggara a été déterminée par la méthode à reflux en système ouvert. Le principe de la méthode consiste que dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées à l'ébullition (150 °C) par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) permettant de complexer les ions chlorure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

D'après les résultats obtenus des valeurs élevées de la DCO ont été observées qui varient entre 190 et 920 mg/L et qui dépassent les normes montrant une charge importante en matières organiques dans toutes les eaux de Foggara.

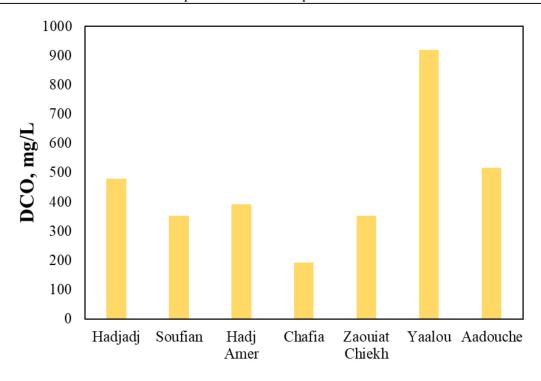


Figure 21 : Résultats d'analyse de la DCO des eaux de Foggara.

III.4.3.3. Dosage des nitrates

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur. Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie : diazotation avec l'acide sulfanilique et capsulation avec l'α-Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé par un spectrophotomètre UV-Visible à 520 nm.

La figure 21 montre les résultats de la mesure de la quantité de nitrates dans les échantillons d'eau de Foggara, et nous notons que les valeurs des résultats sont comprises entre 80 et 130 mg/L, ce qui est une valeur très élevée par rapport à la limite autorisée (45 mg/l), indiquant des taux très élevés par rapport aux normes algérienne.

Ces niveaux élevés de nitrate peuvent être associés à la pollution d'origine agricole par l'utilisation engrais et des fertilisant dans les activités d'agricultures pratiquées dans la région, les déchets animaux, les latrines, les puisards, les décharges etc.

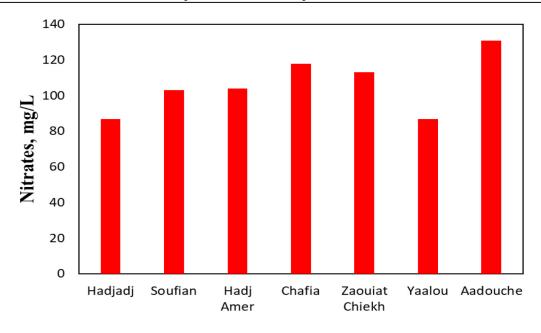


Figure 22 : Résultats d'analyse des Nitrates des eaux de Foggara.

III.4.3.4. Dosage des phosphates

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium Mo₇(NH₄) 4H₂O, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développent une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique à une longueur d'onde d'absorption de 800 nm, après avoir établir la courbe d'étalonnage. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

Les résultats d'analyse des phosphates des eaux de Foggara obtenues dans la présente étude sont compris entre 0,4 et 0,64 mg/L. Les concentrations en phosphates pour les échantillons de Chafia, Hdjadj, Sofian et Yaalou sont inférieures à la concentration autorisée dans la norme algérienne (0,5 mg/L), tandis que les concentrations en phosphates pour les échantillons de Aadouche, Zaouit chiekh et Hadj amer, sont supérieures aux normes autorisées.

Ces taux élevés des phosphates dans les eaux de Foggara peut être à l'origine de l'assainissement domestique collectif et des départs de phosphore par érosion et le lessivage de certaines roches et sols. Ce dernier paramètre est très difficile à évaluer et dépend non seulement du type de sol et de sa richesse en phosphore mais aussi de l'occupation du sol et de l'aménagement de l'espace. Le phosphate nourrit les algues et permet leur développement et leur prolifération, ce qui a été remarqué au bord des sites de prélèvement.

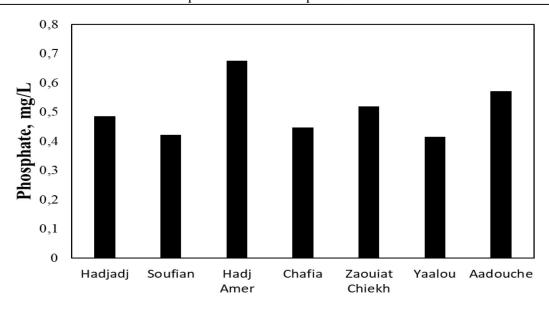


Figure 23 : Résultats d'analyse des Phosphates des eaux de Foggara.

Conclusion

ans la région de l'Adrar, la principale ressource pour l'approvisionnement en eau potable était la Foggara, car ce système a été découvert depuis l'Antiquité, car il a été établi selon des normes et des principes qui garantissent l'autosuffisance de la population de la région et s'adapte à la nature du climat de cette région.

Dans notre étude, nous nous sommes appuyés sur l'étude des analyses physicochimiques et l'évaluation de la qualité des eaux de sept différentes Foggaras situées dans la région de Bouda.

L'analyse hydrochimique a montré la mauvaise qualité des eaux de Foggara de la région de Bouda et l'existence d'une pollution anthropique. Nous pouvons dire que les eaux de Foggara de la région de Bouda ne réponde pas parfaitement aux normes Algérienne de potabilisation en raison de la forte concentration de certains paramètres qui ne sont pas dans les limites acceptables.

- D'après les valeurs du pH nous avons confirmé que ces sont majoritairement d'origine souterraine. Les MES et la turbidité présentent des eaux claires et limpides.
- La conductivité et la salinité confirment que les eaux de Foggaras contiennent des taux élevés en sels dissous et en minéraux.
- La détermination de la dureté totale indique que les eaux de Foggaras de la région de Bouda sont très dures.
- Les valeurs élevées de la DCO montrent une charge importante en matières organiques dans toutes les eaux de Foggara.
- Les apports élevés en nitrates sont généralement attribués aux engrais azotés utilisé dans les activités d'agriculture. À long terme, la contamination de ceux-ci par des nitrates peut atteindre un stade inquiétant de l'eau, en particulier avec un excès de nitrates provoquant de graves troubles sanguins chez l'homme. En particulier la dégradation de l'hémoglobine.
- Les taux élevés des phosphates dans les eaux de Foggara est probablement due aux départs du phosphore par érosion et le lessivage de certaines roches et sols.
 Cela est traduit aussi par le développement et la prolifération des algues.

La connaissance de l'origine des problèmes est une nécessité à prendre en considération pour protéger ces ressources de tout risque. Car le devenir des palmeraies dans la wilaya d'Adrar et en milieu saharien est étroitement lié au bon fonctionnement de des systèmes d'irrigation traditionnels qu'est la « Foggara ».

Références bibliographiques

- [1] M. Boukamoum, "Contribution à la prévision de la demande en eau en Algérie (application sur l'agglomération de Sétif)," *Mémoire Master en Hydraul. Urbaine, Ec. Natl. supérieure d'hydraulique-Arbaoui Abdellah*, p. 62, 2016.
- [2] N. Amroune and F. Elkali, "Caractéristiques physico-chimiques de l'eau Potable de la région de Bou-Saàda," *Mémoire Master en Ecol. Univ. Mohamed Boudiaf M'sila*, p. 89, 2021.
- [3] B. Yassamine, : "Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement Cas de la station de traitement de Hammam Debagh Guelma," no. Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master Université 8 Mai 1945 Guelma, p. 89, 2016.
- [4] M. Bouchemal and A. C. Hammoudi, "Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam Debegh," *Mémoire Magister en Hydraul. Urbaine, Univ. Larbi Ben M'hidi Oum El Bouagh*, p. 113, 2016.
- [5] G.-A. Tamara, "Etude de la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine," *Thèse Dr. en Ecol. des Systèmes Aquat. Univ. Libr. Bruxelles.*, p. 173, 2006.
- [6] S. Achour, S. Guergazi, N. Guesbaya, N. Seghairi, and L. Youcef, "Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles," *LARHYSS J.*, vol. 1, no. 1, pp. 107–128, 2002.
- [7] B. Remini, "La problématique de l'eau en Algérie du nord," no. Département des Sciences de l'eat de l'environnement. Larhyss Journal, p. 8, 2010.
- [8] R. G. Feachem, D. J. Bradley, H. Garelick, and D. D. Mara, "Sanitation and disease health aspects of excreta and wastewater management word bank," World Bank Stud. Water Supply Sanit. 3, p. 534, 1983.
- [9] H. Bou Saab, N. Nassif, A. G. El Samrani, R. Daoud, S. Medawar, and N. Ouaïni, "Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban)," *Rev.*

- des Sci. l'eau, vol. 20, no. 4, pp. 341–352, 2008, doi: 10.7202/016909ar.
- [10] J. Rodier, B. Legube, and N. Merlet, "L'Analyse de l'Eau Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires, Eau de Mer," *9ème édition, ISBN 9782100072460*, p. 1579, 2009.
- [11] W. Gasmi and M. Refice, "Caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable de la région de M'sila (Dréat, Souamaa ,Newara)," *Mémoire Master en Ecol. Univ. Mohamed Boudiaf M'sila*, p. 85, 2020.
- [12] S. Ouzid, "Mesure des polluants atmosphériques générés par la société des ciments de Tébessa," *Mémoire Master en Chim. l'Environnement Univ. Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou*, p. 54, 2017.
- [13] N. Ghaoui, S., et Hadjali, "Caractérisation de la gestion de l'eau en tant que bien communs dans l'espace saharien Algérien mode de gouvernance du système traditionnel des foggaras," *Mémoire Master en Sci. économiques. Univ. Mouloud Mammeri Tizi Ouzou*, 2016.
- [14] M. Ghoule and A. Oughouzlafi, "Etude de qualité physico chimique des eaux de foggara dans la région Bouda-Adrar," *Mémoire Magister en Système Prod. agro écologie, Univ. Ahmed Draïa Adrar*, p. 90, 2018.
- [15] M. A. Kendouci, A. Bendida, R. Khelfaoui, and B. Kharroubi, "The Impact of Traditional Irrigation (Foggara) and Modern (drip, pivot) on the Resource Non-Renewable Groundwater in the Algerian Sahara," *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 154–162, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.07.018.
- [16] Y. Boutadara, "Etude hydrogéologique des systèmes de captage traditionnels dans les Oasis Sahariennes Cas des Foggaras de la région du Touat (Adrar)," *Mémoire Magister en Hydraul. Univ. des Sci. la Technol. d'Oran Mohamed Boudiaf*, p. 116, 2009.
- [17] K. R. Remini B., Achour B., "La Foggara en Algérie: un patrimoine hydraulique mondial. Revue des sciences de l'eau," vol. 23, no. Journal of Water Science, pp. 105–117, 2010.