



Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des sciences et de la technologie

Département de chimie industrielle

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

LABED Salima

Thème :

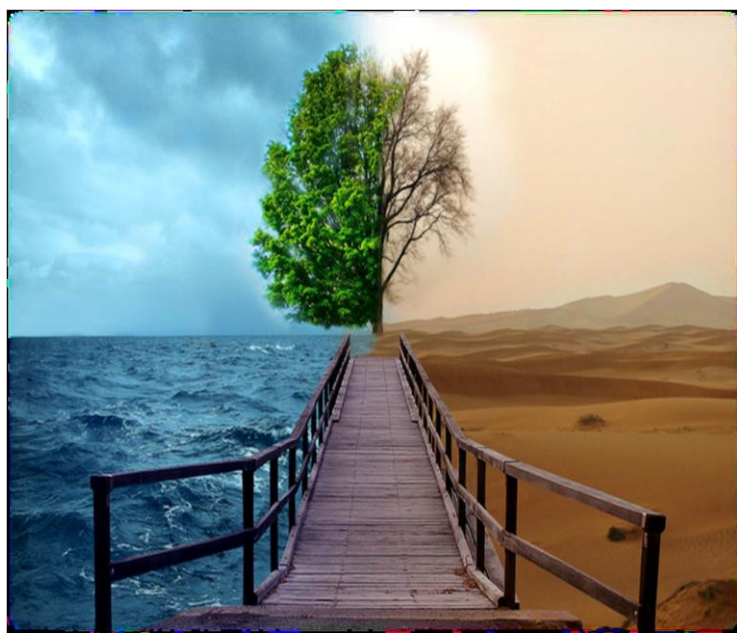
Caractérisation chimique des eaux des aquifères de fracture : Cas de la région de khénizene en Tolga

Jury

Pr.	Barkat Djamel	Pr	Université de Biskra	Président
Dr.	Aidi Amel	Dr	Université de Biskra	Examineur
Dr.	Ghebgoub Fatima	Dr	Université de Biskra	Encadreur

Année universitaire : 2021 - 2022

وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلِّ شَيْءٍ حَيًّا



Remercîment

Tout d'abord je remercie « ALLAH » le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience tout au long de la rédaction de ce travail.

Je remercie aussi Et ma gratitude à mes encadrant, Dr. Ghabgoub Fatima, pour ses efforts Pour mener à bien ce projet.

Je remercie également tous les grands remerciements et gratitude au Dr Ziad Sabrina pour les grands efforts qui ont été déployés pour réaliser ce projet.

Je remercie également le Pr Jamal Barakat et le Dr Aidi Amal.

Je voudrais partager mes remerciements Remerciements particuliers à M. Magzi Sha'a Abdel Halim, qui travaille au CRSTRA Je remercie également les travailleurs du Laboratoire Algérien des Eaux de Biskra pour leur aimable accueil et traitement.

Enfin, nous voudrions exprimer notre gratitude à vous tous

Amis, collègues et tous ceux qui nous ont aidé directement ou indirectement



Dédicace

*Je dédie ce mémoire aux êtres, qui me sont les plus chers, je
cite :*

Ma très chère mère

*Pour son amour, son support moral et physique, ses prières
et ses tendresses pour m'avoir donnée la force de continuer
et obtenir ce mémoire ;*

Je dédie également ce travail à feu mon cher père

*Mon cher époux, pour le soutien moral qui m'a aidé à
poursuivre mes études, Abdelkader Djellouli, et ma jeune
fille, Djellouli Dina fatima*

A mes frères Abdtawab et Mouhemed Toufik

Mes très chères grands-mères

Que Dieu me les garde.

Mon cher oncle

Labed Moussa qui m'a soutenu

Ma grande famille est labed et Djelouli.

*Que dieu grand et puissant les bénisses et leurs accorde une très longue
vie
Inchallah*

Résumé :

L'eau est un élément naturel précieux et indispensable aux multiples usages. Son usage alimentaire, potable et hygiénique nécessite une excellente qualité physico-chimique, pour évaluer la qualité de l'eau potable des puits utilisés pour la consommation humaine dans la région de Tolga située dans la province de Biskra, qui est situé dans le sud de l'Algérie. Un examen physico-chimique a été réalisé sur plusieurs échantillons d'eau extraits des puits de Five Khénizene, pour évaluer la qualité des eaux souterraines en mars, avril 2022.

Les échantillons ont été analysés en mesurant les paramètres physico-chimiques suivants : température, pH, conductivité, turbidité, nitrates, nitrites et salinité. Les résultats des analyses physico-chimiques menées pendant un mois ont montré que l'eau de puits utilisée pour la consommation est assez potable.

المخلص:

الماء هو عنصر طبيعي قيم واساسي لاستخدامات متعددة ,استخدامه في الطعام والشرب والنظافة يتطلب نوعية فيزيوكيميائية ممتازة ,لتقييم نوعية مياه الشرب الابار المستخدمة للاستهلاك البشري في منطقة طولقة الواقعة في ولاية بسكرة التي تقع جنوب الجزائر , اجري فحص الفيزيوكيميائي على عدة عينات من المياه التي استخرجت من خمسة ابار خنيزان ,لتقييم جودة المياه الجوفية في شهر مارس افريل 2022 تم اجراء التحاليل لعينات عن طريق قياس المعايير الفيزيوكيميائية التالية: درجة الحرارة ,الرقم الهيدروجيني ,الناقلية ,العكارة, النترات ,النترت والملوحة وقد اظهرت نتائج التحاليل الفيزيوكيميائي التي اجريت على مدى شهر ان مياه الابار المستخدمة للاستهلاك صالحة لشرب نوعا ما .

Abstract:

Water is a valuable and essential natural element for multiple uses. Its use in food, drinking and hygiene requires excellent physicochemical quality, to assess the quality of drinking water from wells used for human consumption in the Tolga region located in the province of Biskra, which is located in the south of Algeria. A physicochemical examination was conducted on several samples of water extracted from 2022.

Samples were analyzed by measuring the following physicochemical parameters: temperature, pH, conductivity, turbidity, nitrates, nitrites and salinity. The results of the physicochemical analyzes conducted over a month showed that well water used for consumption is somewhat drinkable.

Table des matières

Remercîment	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1
partie bibliographique	2
Chapitre I: Généralités sur les eaux naturelles	2
I.Introduction.....	3
II. Généralités sur les eaux naturelles.....	3
II.1. Eau sur terre	3
II.2. Cycle de l'eau.....	4
II.3. États de l'eau:	4
II.3.1. État solide:	5
II.3.2. État liquide:	5
II.3.3. État de gaz :	5
II.4. Différentes sources d’approvisionnement en eau	5
II.4.1. Eaux de pluie	5
II.4.2. Eaux de surface	6
II.4.3. Eaux de mer	6
II.4.4. Eaux souterraines	6
II.5. Caractéristiques générales des eaux souterraines	7
• Hydrographique et hydrogéologique	7
• Ressources superficielle	7
• Ressources souterraines	8
Conclusion.....	9
CHAPITRE II: CARACTERISATION DE LA	10
QUALITE DES EAUX	10
I. Introduction.....	11
II. Paramètres globaux de la qualité des eaux.....	11
II.1. Paramètres organoleptiques.....	11
II.2. Caractéristiques physico-chimiques	13
II.3. Paramètres de Pollution organique	18
III. Généralités sur l'agressivité d'une eau	21
III.1. Les eaux agressives et les eaux incrustantes.....	22

III.2. Détermination de l'agressivité ou du caractère entartrant d'une eau et utilisation des méthodes graphiques.....	22
III.2 .1 Indice de LANGELIER.....	23
III.2.2. Méthode de HALLOPEAU et DUBIN.....	23
Conclusion.....	24
Chapitre III: Partie Expérimentale	25
Première partie : matériels et méthodes	
I. Introduction.....	26
II. L'objectif.....	26
III. Présentation le domaine d'étude.....	26
III.1. Cadre Géographique et climatique.....	26
III.1.1. Cadre géographique.....	26
III.1.1.1 Situation géographique.....	26
IV. Échantillonnage et mode de prélèvement.....	31
V. Méthodes d'analyses organoleptiques.....	32
VI. Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	32
VI. 1. Détermination du pH.....	32
VI.2. Température.....	33
VI.3. La conductivité.....	33
VI.4. La salinité.....	34
VI.5. Total des solides dissous (TDS).....	34
VII. Les paramètres de pollution.....	35
VII.1. Dosage de l'ammonium (NH ₄ ⁺).....	35
VII.3. Dosage d'ortho phosphates (PO ₄ ³⁺).....	37
VIII. Paramètres volumétriques.....	38
VIII.1. Détermination des sulfates.....	38
VIII.2. Dosage des chlorures-titrage au nitrate d'argent avec du chromate de potassium (méthode de Mohr).....	39
VIII.3. Détermination de l'alcalinité titre alcalimétrique simple (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC).....	40
VIII.4. Dosage des nitrates par spectrométrie d'absorption moléculaire.....	42
VIII.5. Dosage du calcium méthode trimétrique a L'EDTA.....	43
VII.6. Dosage de la somme du calcium et magnésium par méthode titrimétrie a l'EDTA.....	45
VII.7. Dosage du fer par spectrométrie a la phenantroline -1,10.....	47
VIII.8. Détermination des résidus secs.....	48
Deuxième partie : Résultats et Discussion.....	50

I. Résultats des analyses physico-chimiques	50
II. Interprétation et discussion	50
II.1. Paramètres organoleptiques	50
II.1.1. La Couleur	50
II.1.2. L'odeur	50
II.1.3. Le goût et la saveur	51
II.2. Paramètres de pollution	51
II.2.1 Nitrites (NO²⁻)	51
II.2.2. Phosphate (PO₄³⁻)	51
II.2.3 Ammonium (NH₄⁺)	51
II.3. Paramètres physico-chimiques	52
II.3.1. Potentiel hydrogène (pH)	52
II.3.2. Conductivité	52
II.3.3. Salinité	53
II.3.4. Calcium (Ca⁺²)	54
II.3.5. Magnésium (Mg⁺²)	54
II.3.6. Chlorures (Cl⁻)	55
II.3.7. Titre alcalimétrique complet (TAC)	56
II.3.8. Dureté totale (TH)	56
Conclusion Générale	58
Références bibliographiques	59

Liste des tableaux

N°	Designation	Page
1	classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)	13
2	Rapport entre la conductivité et la minéralisation	14
3	Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'O.M.S (1972)	15
4	Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau potable	20
5	Répartition de quantité des eaux souterraine exploitées	28
6	Caractéristique des forages dans la commune de Tolga	28
7	les Résultats des analyses physico-chimiques	50

Liste des figures

N°	Designation	Page
1	Présentation des zones d'existences des eaux dures/eaux douces et eaux entartrantes/eaux agressives en fonction du <i>pH</i> et du <i>TAC</i>	22
2	Situation géographique de la zone de Tolga	27
3	Répartition des points d'eaux dans la region de biskra	29
4	Positionnement des points d'eaux dans la zone d'étude (tolga)	29
5	Différents procédés de contrôle de qualité d'une eau de consommation	30
6	Champ captant externe khénizene et leurs caractéristiques	31
7	pH mètre de mesure	33
8	Conductivimètre	34
9	Spectrophotomètre UV-Visible	36
10	Test des chlorures	40
11	Test des TAC	42
12	Test des TH	44
13	Test des Calcium	46
14	Test des résidus secs	49
15	Valeurs du pH des différents échantillons	52
16	Variation du Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	52
17	Variation de la salinité (‰)	53
18	Teneurs en Calcium (Ca^{+2}) dans l'eau de sources	54
19	Teneurs en Magnésium (Mg^{+2}) dans l'eau des sources	54
20	Teneurs en chlorure (Cl^-) dans l'eau des sources	55
21	Titre alcalimétrique complet (HCO_3^-)	56
22	Dureté totale (TH) des différents échantillons	56

Introduction générale

Introduction générale

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et l'activité humaine. C'est une composante majeure des mondes minéraux. Dans le monde présent, l'eau participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution.

Le phénomène de la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau potable.

L'étude des ressources en eau souterraines est axée principalement sur la synthèse des connaissances, ces ressources en mettant en évidence, la définition des différents aquifères, l'évaluation et l'importance de la mobilisation de cette ressource pour leur éventuelle utilisation.

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays

L'objectif de ce travail est d'étudier l'agressivité de l'eau de consommation qui a différents impacts directs ou indirects sur la santé des populations humaines en contact avec cette eau.

Le travail réalisé, outre l'introduction et la conclusion générale se divise en trois chapitres,

- Le premier concerne les informations générales sur les informations générales sur les eaux naturelles.
- Le deuxième chapitre de l'étude porte sur la caractérisation des la qualité d'eau.
- Le troisième chapitre est consacré à l'expérimentation, Dans ce chapitre nous présentons les différents protocoles expérimentaux mis en œuvre au cours de cette étude.

Partie bibliographique

Chapitre I

Généralités sur les eaux naturelles

I. Introduction

L'eau a sur nous un pouvoir magique, c'est une ressource précieuse pour les êtres vivants. Son importance pour la vie ainsi que son rôle important dans l'écosystème mondial ne sont plus à démontrer, mais il pourrait devenir une source de mort si la pollution l'emporte (MERZOUG- N ; BENRAZEK -S, 2020)

La région de Tolga est principalement une zone agricole, et en plus du palmier dattier, les cultures sous serre sont largement utilisées, ce qui nécessite de grandes quantités d'eau. Le plan de développement agricole a été une contribution importante à l'agriculture dans la région, mais a révélé que les ressources en eaux souterraines de la région sont encore inconnues et susceptibles de causer des problèmes à l'avenir.

Tolga est située dans la région nord-est du désert du nord et possède d'importantes ressources en eau. Cette eau est contenue dans différents réservoirs d'aquifères qui contiennent un aquifère de surface, il y a une forte demande d'aquifères par l'agriculture (75%), l'industrie (10%) et l'AEP (15%), et cette situation génère des flux d'eau Il est difficile se régénérer car la région souffre encore d'un manque cruel de précipitations.

II. Généralités sur les eaux naturelles

II.1. Eau sur terre

L'eau est un corps incolore, inodore, insipide, liquide à la température ordinaire et composé d'hydrogène (H₂O). L'eau était considérée par les anciens comme l'un des quatre éléments de base avec le feu, l'air et la terre. Elle constitue un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70% de leurs poids en moyenne).

L'eau se rencontre dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide et gazeux dépendant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdales électro-chargés.

Le changement d'état de l'eau solide, liquide, et gazeux, permet sa circulation entre tous les réservoirs et son transfert par évaporation entre les océans et les continents.

La majeure partie de l'eau (97%) est contenue dans les océans, et est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'Homme. Les 3% d'eau douce restants ne sont toutefois pas entièrement disponibles pour l'Homme. En effet, environ 68,3% de celle-ci se présente à l'état solide dans les glaciers et 31,4% seulement se trouve à l'état liquide dans les nappes phréatiques, les lacs d'eau douce, les rivières et l'eau contenue dans la matière vivante...etc. Une faible proportion de ces 31,4% est sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère(**M^r BOUAROURENE -M ; M^r SADI -M ,2016**).

II.2. Cycle de l'eau

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

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

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

Les eaux souterraines circulent elles aussi, une partie se jetant directement dans la mer et le reste venant alimenter les rivières à leur source ou par le biais d'un affluent. Enfin, l'eau peut revenir directement à sa phase liquide dans l'atmosphère par la transpiration des végétaux qui éliminent ainsi une partie de l'eau contenue dans le sol et conservent une partie de l'eau de pluie dans leur feuillage (**M^{me} LEBBIHI -R ; M^{elle} DERKI -H, 2018**).

II.3. États de l'eau:

L'eau est un constituant fondamental de notre environnement. Elle se présente sous différents états sous forme solide, liquide et gazeuse.

II.3.1. État solide:

L'eau est solide quand la température est inférieure à 0 °C. C'est la glace de la banquise au niveau des pôles, (Les calottes glaciaires des pôles Nord et Sud sont les plus grands réservoirs d'eau douce de la planète), le givre qui se forme par temps froid sur les arbres en hiver. Les calottes glaciaires et les glaciers représentent 2,1 % de l'eau présente sur la Terre.

II.3.2. État liquide:

Les plus grands réservoirs d'eau liquide sont les océans et les mers constitués d'eau salée ; ils représentent 97,2 % de l'eau de la Terre. Les autres réservoirs d'eau liquide sont les lacs, les rivières et les eaux souterraines. Ils sont constitués d'eau douce. Les lacs et les rivières correspondent à 0,01 % de l'eau présente sur Terre et 0,06% les eaux souterraines à de cette eau.

II.3.3. État de gaz :

Dans l'atmosphère, l'eau existe sous forme de gaz. C'est la vapeur d'eau présente dans l'air humide. Elle ne correspond qu'à 0,001 % de l'eau de la Terre (**M^{me} LEBBIHI - R ; M^{elle} DERKI - H, 2018**).

II.4. Différentes sources d'approvisionnement en eau

Depuis l'Antiquité, l'Homme réalise des aménagements pour assurer l'alimentation en eau potable et des cultures. Il ira chercher cette eau dans des différents emplacements en utilisant plusieurs techniques.

II.4.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées en oxygène et en azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme le sel de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (**M^r BOUAROURENE - M ; M^r SADI -M, 2016**).

II.4.2. Eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines, dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement.

Ces eaux sont constituées par des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages réservoirs et glaciers. Bien qu'il semble s'agir de masses d'eau bien individualisées solides ou liquides, immobiles ou en mouvement, on ne doit pas oublier qu'elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté.

Les eaux de surfaces sont rarement potables sans aucun traitement. Elles sont toujours plus ou moins polluées par divers rejets d'origine :

- Urbaine provenant de la collecte des eaux résiduaires urbaines.
- Industrielle parmi lesquels on trouve les polluants organiques (hydrocarbures, solvants, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques).
- Agricole comme les engrais, pesticides (herbicides, insecticides, fongicides).
- Bactériologique provenant des humaines et des animaux (**M^r BOUAROURENE – M ; M^r SADI - M ,2016**).

II.4.3. Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Elles sont caractérisées par leur concentration en sels dissous. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 000 à 37 000 mg/L.

II.4.4. Eaux souterraines

Les nappes souterraines sont contenues dans des terrains réservoirs appelés aquifères. La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine.

Une nappe peut être libre (ou phréatique si elle est suffisamment proche de la surface pour être accessible par puits). Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de pluie. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue.

Un cas particulier est représenté par les nappes alluviales dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La quantité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.

Une nappe peut être captive si elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imperméables. Les nappes de ce type sont les plus fréquentes et généralement profondes ; elles sont dites artésiennes quand ce niveau se situe au-dessous de la surface du sol

L'eau provenant de précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) situés en aval (**M^r BOUAROURENE - M ; M^r SADI - M ,2016**).

II.5. Caractéristiques générales des eaux souterraines

D'après **Chaussade et al (2005)**, la nature géologique du terrain à une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. A tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel soit elle stagne soit elle circule : Il s'établit donc un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées, celles circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques.

Parmi les caractéristiques de ces eaux, il faut retenir une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, absence d'oxygène. Dans le cas de nappes en milieu fermé, principalement en circulation de type karstique, on peut cependant relever des variations brutales dans la composition de l'eau, avec apparition de turbidité et de pollutions diverses. Ces variations sont liées à celle du débit des nappes engendrées par les précipitations. En outre, ces eaux sont souvent d'une grande pureté bactériologique (**M^r BOUAROURENE –M ; M^r SADI -M; 2016**).

- **Hydrographique et hydrogéologique**

Tolga possède ensemble des ressources en eau superficielle et souterraine, ils représentent des caractéristiques et des différents types permettent de donner des informations sur le potentiel hydrique utilisant dans l'alimentation en eau potable de la zone (**Ben Dabka A, 2020**).

- **Ressources superficielle**

Les versants sud d'Aurès caractérisent par des petits bassins avec un écoulement irrégulière et faible en hiver, sec a partir de moins avril. Ces versants utilisent dans irrigation agricole de la ville (**Ben Debka A, 2020**).

- **Ressources souterraines**

Elles comportent des ressources en eau souterraines importantes représentées par quatre unités aquifère:

- ✓ **Nappe Phréatique**

Cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, elle est alimentée essentiellement par les eaux des précipitations, d'infiltration des Oueds et des eaux d'irrigation. Elle est très sollicitée dans la ville de Tolga, utilisé pour alimenter en eau potable (**Abdelkader M-L, 2013**).

C'est les couches d'eau exploitées par des puits, sa profondeur ne dépasse pas 40 m, elle existe dans tous les communes de la ville de Tolga (Tolga, Lichana, Bouchegroune, Borj Ben Azouz) mais sa débit est bas (**Ben Debka A ,2020**).

- ✓ **Nappe Albienne:**

La moyenne de profondeur de cette couche environs de 1800 m exploités actuellement par de deux forages Tolga et Bouchegroune Les versants sud d'Aurès caractérisent par des petits bassins avec un écoulement irrégulière et faible en hiver,sec a partir de moins avril. Ces versants utilisent dans irrigation agricole de la ville. (**Ben Debka A, 2020**).

- ✓ **Nappe des Calcaires:**

Elle est la plus sollicitée dans les palmeraies des Zibans, cette dernière est appelée « Nappe de Tolga ». La profondeur de cette nappe varie de 100 m dans la zone de Tolga, à 500 m dans la zone de Lioua, le débit de cette nappe varie de 10 L/s jusqu'à 30 L/s, jaillissant dans les zones d'Ourlal et Lioua. (**Abdelkader M- L, 2013**).

Conclusion

Le climat de Tolga est caractérisé par une aridité marquée par un manque de précipitations et un rayonnement solaire excessif et un pouvoir évaporant très élevé.

Toutefois, la région constitue un carrefour d'échanges économique, culturel et social grâce à sa position géographique et ses richesses naturelles.

Au cours de ces dernières décennies, l'Etat a mis en place des politiques agricoles incitatives qui a permis aux Ziban de connaître une mutation spectaculaire qui se caractérise par une activité agricole diversifiée.

La situation géographique de tolga entre le Tell et le Sahara offre à la région, sur le plan hydrique, l'avantage des eaux superficielles du Nord et des eaux souterraines du Sahara septentrional. Cependant, les réserves souterraines représentent le potentiel hydrique le plus important de la région.

CHAPITRE II
CARACTERISATION DE LA
QUALITE DES EAUX

I. Introduction

Les eaux souterraines sont les eaux de sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité.

La composition et la qualité des eaux souterraines sont à l'origine liées à la nature géologique du terrain. Elles ont un impact direct sur celle des eaux de surface, ainsi que sur les écosystèmes aquatiques et terrestres associés.

Les eaux souterraines sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, mais la croissance démographique et la modernisation de l'agriculture ainsi que le développement industriel entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée.

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur. La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

Du fait de la spécificité des caractéristiques physico-chimiques des eaux, leur analyse s'avère un outil nécessaire à l'hydrogéologie. En effet, ce sont la température, le pH, la conductivité et les teneurs en éléments chimiques dissous qui vont donner aux eaux leurs caractères spécifiques (**Fattoum BOUCHEMAL, 2017**).

II. Paramètres globaux de la qualité des eaux

En plus de la qualité biologique des eaux, l'appréciation de la qualité des eaux et se base sur la mesure de paramètres organoleptiques et physicochimiques. L'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution (**FRAHTIA -S ; NEZZAR -S, 2016**).

II.1. Paramètres organoleptiques

Ces différents caractères doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage (apparition d'une coloration, de précipités, etc.) (**M^r BOUAROURENE – M ; M^r SADI - M, 2016**).

➤ Couleur

Une eau potable ne doit pas présenter de couleur. Cependant, la coloration de celle-ci est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration

La couleur des eaux souterraines est due, généralement, à des substances colorées d'origines variées :

-Des Substances humiques ou fulviques provenant de la décomposition de la matière végétale

-D'algues pouvant donner une coloration variable en fonction des pigments qu'elles contiennent ;

-Des Substances minérales, en particulier le fer et le manganèse, dont les formes précipitées sont colorées (**M^r BOUAROURENE – M ; M^r SADI - M ,2016**).

➤ **Goût et odeur**

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur « non désagréable». La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins exaltable et ont une certaine saveur.

Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère.

Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO₂ ou le sulfure d'hydrogène H₂S ; ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution (**M^{me} LEBBIHI - R ; M^{elle} DERKI –H, 2018**).

➤ **Turbidité :**

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre (**site internet**).

Tableau 1 : classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit).

NTU < 5	Eau Claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

II.2. Caractéristiques physico-chimiques

Ce sont eux qui font l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique, qui permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique, qui permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau (**FRAHTIA - S ; NEZZAR - S, 2016**).

➤ Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau (**Zeghoud Mohamed -S, 2014**).

➤ Le Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH mesurant l'acidité d'une solution, est défini par l'expression $\text{pH} = -\log H^+$ où (H^+) est l'activité de l'ion hydrogène H^+ dans la solution.

Les équilibres physicochimiques sont conditionnés par le pH. Il intervient avec d'autres paramètres comme la dureté, l'alcalinité et la température, habituellement il varie entre 7,2 et 7,6. Il ressort que le pH n'a qu'un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes. L'effet du pH du sol sur le transport des microorganismes pathogènes se manifeste principalement au niveau du processus d'adsorption.

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14,7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples, Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (**Redjem -F ; Rahmouni- R, 2018**).

➤ **Minéralisation totale et Conductivité**

La minéralisation d'une eau correspond à l'ensemble des sels minéraux dissous dans l'eau et dont la nature dépend des terrains traversés. L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), les bicarbonates (HCO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les chlorures (Cl^-). Certains éléments, à plus faible concentration, peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur soit des effets négatifs sur la santé.

La conductivité, caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature. Les matières organiques et colloïdes ne présentent qu'une faible conductivité. Elle varie avec la température.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. La conductivité électrique s'exprime en micro siemens/cm.

La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée (**FRAHTIA -S ; NEZZAR- S, 2016**).

La conductivité nous permet de déduire la minéralisation totale en sels minéraux d'une eau donnée par une relation simple :

Minéralisation (mg/l) = $k * C^{20}$ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) où k est un Coefficient dépendant de la gamme de concentration.

Tableau 2: Rapport entre la conductivité et la minéralisation :

Conductivité	Minéralisation
0 – 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
100 – 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation faible
200 – 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
333 – 666 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation accentuée
666 – 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
> 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

➤ **La dureté**

La dureté ou titre hydrotimétrique correspond essentiellement à la présence de sels de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium. (Mg^{2+}). Elle est directement liée à la nature des terrains traversés.

Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté.

- **Dureté totale** : somme des concentrations en calcium et magnésium ;

- **Dureté calcique** : concentration globale en calcium ;

- **Dureté magnésienne** : concentration globale en magnésium ;

Les ions calcium et les ions magnésium sont positifs, donc dans l'eau, ils peuvent se lier à d'autres ions négatifs ; de ce fait on peut diviser la dureté en deux catégories :

-**Dureté permanente ou non carbonatée** : dureté qui persiste après ébullition de l'eau et qui correspond uniquement aux sels de calcium et de magnésium solubles à chaud, sous forme de chlorures et de sulfates, car les hydrogénocarbonates sont décomposés et précipitent sous forme de carbonate de calcium ;

- **Dureté carbonatée ou temporaire** : dureté qui correspond aux sels de calcium sous forme d'hydrogénocarbonates, et qui est la différence entre la dureté totale et la dureté permanente.

La dureté non carbonatée est due à l'association des cations responsables de la dureté avec les sulfates, les chlorures et les nitrates. On l'appelle également dureté permanente, car elle ne peut être éliminée par ébullition (**FRAHTIA- S ; NEZZAR- S, 2016**).

La dureté s'exprime généralement en degré Français ou en milliéquivalents/ l.

Tableau 3 : Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'O.M.S (1972).

Dureté d'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
TH (°F)	0 – 7	7 - 22	22-32	32-54	54

➤ **L'alcalinité**

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité de réagir avec les ions H^+ qui est due à la présence des constituants alcalins HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- . On distingue deux types d'alcalinité :

-Alcalinité totale (ou titre alcalimétrique totale complet)

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-].$$

-Alcalinité composite (ou titre alcalimétrique)

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + (1/2) [\text{CO}_3^{2-}].$$

Il n'existe pas de normes européennes ni françaises concernant l'alcalinité. C'est un paramètre important car sa valeur peut donner à l'eau un caractère agressif ou incrustant (**M^{me} BERRAHAL- Y, 2019**).

➤ **Oxygène dissous**

Les concentrations en oxygène dissous, constituent l'un des plus importants paramètres de la qualité des eaux pour la vie aquatique. Sa concentration dans un milieu aquatique varie en fonction de la température de l'eau, de la profondeur, de l'heure de la journée, de la concentration de la matière organique et des nutriments dans le milieu ainsi que de la quantité de plantes aquatiques, d'algues et de bactéries présentes. Cependant, il existe deux principaux phénomènes dissous par lesquels l'oxygène dissous se retrouve dans l'eau, les échanges avec l'atmosphère et la photosynthèse (**M^{me} BERRAHAL- Y, 2019**).

➤ **Les résidus secs à 180°C**

Les Résidus secs obtenus par évaporation, représentent les matières dissoutes et en suspensions d'une eau (**MERZOUG -N ; BENRAZEK -S, 2020**).

➤ **Salinité**

La salinité totale d'une eau correspond à la somme des cations et des anions présents exprimée en mg/l (**MERZOUG- N ; BENRAZEK - S, 2020**).

➤ **Matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres microorganismes de l'eau.

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Les matières en suspensions sont exprimées en mg/l (**FRAHTIA- S ; NEZZAR -S, 2016**).

➤ **TDS**

Le TDS (*Total Dissolved Solids*) correspond à la masse de la totalité des cations, des anions et toutes autres espèces non dissociées présentes dans un litre de solution aqueuse.

La méthode normalisée pour déterminer le TDS consiste à faire évaporer une quantité connue d'un échantillon d'eau en le chauffant à 180 °C. Il suffit ensuite de peser le résidu de solides obtenu. Bien sûr, toutes ces opérations sont réalisées dans des conditions rigoureuses. L'exactitude de la méthode normalisée dépend de la nature des espèces dissoutes. La méthode

TDS intégrée dans les conductimètres offre un moyen facile et rapide de déterminer le TDS en se basant sur une mesure de conductivité et en utilisant un facteur de conversion pour exprimer le résultat TDS.

La mesure de TDS permet de connaître la quantité totale de matières organiques et inorganiques dissoutes dans l'eau par une méthode simple et fiable (**Dr. BENMOUSSA -H, 2018**).

➤ **Sodium et Potassium**

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites) et la roche Halite (évaporite NaCl). Le potassium (K^+) est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. Le potassium est dans les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles (**MERZOUG- N ; BENRAZEK- S, 2020**).

➤ **Les chlorures**

Les chlorures (Cl^-) sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, la source principale des chlorures dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires. Ils se trouvent généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (**MERZOUG- N- ; BENRAZEK -S, 2020**). Par contre, dans quelques eaux de surface de l'Est algérien, les concentrations des chlorures varient généralement de 42 à 274 mg/l.

➤ **Les sulfates**

Composés naturels des eaux, les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont liés aux cations majeurs: calcium, magnésium et sodium. Leur provenance est généralement due à la dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et par l'oxydation des sulfures en sulfates dans les déchets miniers. Les principales sources industrielles sont les effluents de tanneries, des ateliers de décapage métallique, des usines de textiles et des fabriques de pâtes et papiers. L'ion sulfate est très soluble et sa concentration est très variable dans les eaux naturelles.

L'OMS (2006), fixe une concentration limite pour les sulfates de 500 mg/l et les normes Algériennes fixe une concentration indicative de 400 mg/l, De fortes concentrations de sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux, elles peuvent donner un goût désagréable à l'eau, et créer des dépôts tenaces dans les chaudières. Différentes méthodes sont utilisées pour déterminer la teneur en sulfates dans l'eau tels que la méthode gravimétrique, le dosage des sulfates par turbidimétrie et la colorimétrie, mais la dernière méthode utilisée par le centre

d'expertise en analyse environnementale du Québec est le dosage par chromatographie ionique avec détecteur conductivimétrique, elle est aussi utilisée pour mesurer la teneur en chlorures dans les eaux (HECINI -L, 2016).

➤ **Le calcium**

Est un élément de la dureté totale, la dissolution du calcium résulte principalement de l'attaque par le CO₂ dissous (acide carbonique) des roches calcaires et dolomitiques ou par simple dissolution sous la forme de sulfates de calcium dans le cas de gypse.

Dans l'eau, il peut être échangé, sous certaines conditions, contre le sodium des roches traversées (argiles) (M^{me} GUETTAIA- S ,2017).

Par contre l'organisation mondiale de la santé (OMS) ne recommande aucune valeur (OMS, 2006). Lorsque sa teneur dans l'eau dépasse la norme, il provoque l'entartage dans les canalisations. Les eaux minérales contiennent plusieurs centaines de grammes par litre et les eaux de surface renferment généralement moins de calcium que les eaux souterraines.

Le calcium est dosé généralement par la méthode compléxométrique (HECINI- L, 2016).

➤ **Le magnésium**

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre.

La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires, dolomitiques, du jurassique ou du trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens.

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates (Redjem- F ; Rahmouni- R, 2018).

II.3. Paramètres de Pollution organique

➤ **L'ammoniac**

L'ammoniac existe simultanément sous deux formes, NH₃ (ou ammoniac non ionisé) et NH₄⁺ (ammoniac ionisé ou ammonium). L'ammoniac total est la somme de NH₃ et NH₄⁺. L'équilibre entre les deux est régi en grande partie par le pH et la température. La solubilité de NH₃ dans l'eau pure est élevée et de l'ordre de 900g/l à 0°C.

En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ; ce qui induit une consommation d'oxygène.

Dans la gamme des pH de la plupart des eaux naturelles, l'azote ammoniacal existe principalement sous forme de NH₄⁺.

L'ammoniac est un composé naturel dont ont besoin la plupart des organismes pour la synthèse des protéines. Les humains se servent principalement de l'ammoniac comme source d'azote dans les engrais.

L'OMS recommande comme valeur limite pour l'ammonium 0.2 mg/l (OMS, 2006) et Le JORADP (2014), une valeur limite de 0.5 mg/l. L'élimination de l'ammoniaque pour la production d'eau potable peut se faire par les résines échangeuses d'ions, l'oxydation par le chlore ou la nitrification biologique (HECINI- L, 2016).

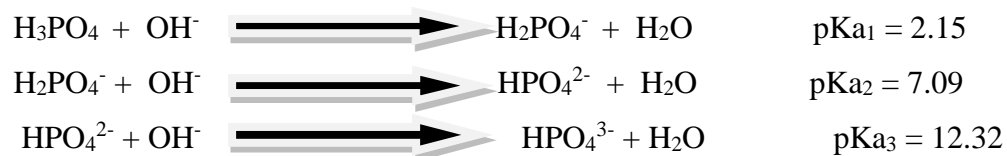
➤ Les phosphates

Les phosphates sont des composés phosphorés font partie des anions assimilables par le corps de l'être humain.

Dans la nature, le phosphore (P) est généralement présent sous forme de molécules de phosphates. Parmi les phosphates présents dans l'eau, on distingue couramment :

- ✓ **les orthophosphates** (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), qui sont des sels minéraux de l'acide phosphorique (H_3PO_4).
- ✓ **les polyphosphates** (ou phosphates condensés), qui correspondent à des molécules plus complexes de phosphates minéraux. On parle également de « phosphore hydrolysable » dans l'acide ;
- ✓ **les phosphates organiques**, qui correspond à des molécules de phosphates associées à des molécules à bases carbonées, comme dans la matière organique vivante ou morte (animaux, végétaux, microorganismes, etc.).

Un sel de phosphate se forme lorsqu'un cation se lie à l'un des atomes d'oxygène de l'ion phosphate, formant un composé ionique. Solubilisé dans une solution aqueuse, le phosphate existe sous ses quatre formes selon le taux d'acidité. En allant du plus acide au plus basique:



Diverses méthodes de séparation des phosphates des solutions aqueuses existent.

Les procédés physico-chimiques utilisés sont basés sur des phénomènes de précipitation par utilisation de sels de calcium, de fer ou d'aluminium ou sur des phénomènes d'adsorption. La déphosphoration peut également être réalisée par des procédés biologiques (HECINI- L, 2016).

➤ Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratâtes (nitrobacters) transforment les nitrites en nitrates.

Les nitrates ne sont pas toxiques ; mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu. Leur potentiel danger reste néanmoins relatif à leur réduction en nitrates (**Zeghoud Mohamed –S, 2014**).

➤ **Les nitrates**

Les ions nitrites (NO^{2-}) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrates (NO^{3-}). Les bactéries nitrifiantes (nitrosomonas) transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, qui nécessite une forte consommation d'oxygène, est la nitratisation

Les nitrites proviennent de la réduction bactérienne des nitrates, appelée dénitrification.

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. La toxicité augmente avec la température (**Zeghoud Mohamed –S, 2014**).

➤ **Fer**

Le fer est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il se trouve dans l'eau douce naturelle à des niveaux allant de 0,5 à 50 mg /litre. Le fer peut également être présent dans l'eau de boisson à la suite de l'utilisation de coagulants de fer ou de la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution de l'eau. Le fer présent dans l'eau potable est un élément essentiel dans la nutrition humaine (**Redjem- F ; Rahmouni- R, 2018**).

Tableau 4 : Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimique pour l'eau potable (OMS, 2003) (TABABOUCHET- S, 2017).

Substances	Unité	Normes OMS	Normes algériennes
Turbidité	NTU	<2,5	<2
Température	C°	<25	<5
TA	mg/l	<15	<5
TAC	mg/l	<15	<
Calcium	mg/l	<270	<200
Magnésium	mg/l	<50	<150
Chlorure	mg/l	<250	<500
Concentration en ions hydrogène	PH	≥ 6,5 et ≤ 9,5	≥ 6,5 et ≤ 9
Dureté	mg/l de CaCO_3	<500	<500
Conductivité à 20°C	$\mu\text{S/cm}$	<2100	<2800
Ammonium	mg/l	<0.5	<0.5
Potassium	mg/l	<20	<12
oxygène dissous	O_2	<6.5	Pas de valeur guide

III. Généralités sur l'agressivité d'une eau

L'agressivité c'est l'action de l'eau provoquée par le CO₂ libre agressif, c'est une action chimique due aux ions H⁺. Ceci est causé surtout par un déséquilibre calcocarbonique et ça cause le problème de corrosion. Dont les paramètres sont : le Ph et le CO₂ libre agressif (M^{lle} BOURAS -I, 2017).

Certaines eaux naturelles sont susceptibles de déposer du carbonate de calcium sur les parois des ouvrages de distribution d'eau selon un processus qui est très voisin de celui qui est observé sur les parois des cavernes souterraines et qui conduit à la formation des concrétions telles que les stalagmites ou les stalactites. De telles eaux sont dites **calcifiantes** ou encore **incrustantes**. Elles peuvent aussi dans certains cas, former des dépôts volumineux dans les échangeurs thermiques ou les ballons de production d'eau chaude et en perturbent le fonctionnement. Ces eaux sont alors qualifiées d'**entartrantes**. À l'inverse, certaines eaux peuvent dissoudre le carbonate de calcium lorsqu'elles sont en contact avec une roche ou un matériau calcaire. Elles sont alors dites **agressives**.

Lorsque les eaux sont calcifiantes elles peuvent former une couche protectrice de carbonate de calcium qui isole le matériau de l'eau et permet ainsi de réduire les risques de corrosion des métaux ou de dégradation des matériaux à base de ciment (béton armé ou précontraint ou mortier de ciment). C'est d'ailleurs cette propriété qui conduit les distributeurs d'eau à s'intéresser à cette propriété des eaux et qui a aussi amené les autorités sanitaires à imposer aux responsables des services d'eau de distribuer des eaux légèrement calcifiantes.

Ces propriétés sont liées à la faible solubilité du carbonate de calcium. Et comme tout composé ou sel, la solubilité de CaCO₃ est soumise aux règles élémentaires de la chimie. La thermodynamique précise, par la loi d'action de masse, les conditions d'équilibre et de solubilité (**équilibre calcocarbonique**). Il suffirait donc de connaître les concentrations des ions calcium et carbonate pour savoir, par une simple multiplication, si l'eau est calcifiante ou agressive. Mais si l'on peut déterminer simplement la concentration en calcium de l'eau par l'analyse, il n'en est pas de même de celle des ions carbonate. En effet, il s'agit d'un anion qui résulte de la dissociation du diacide faible, l'acide carbonique, et aucune mesure simple et directe de la concentration en carbonate n'est possible. Seul l'ensemble des concentrations en ions hydrogénocarbonate et carbonate peut être évalué par un simple dosage alcalimétrique. Le système se complique encore par le fait que la concentration en acide carbonique est elle-même en relation avec la pression partielle de l'anhydride carbonique (gaz carbonique, CO₂) présent dans le gaz avec lequel l'eau est en contact.

Ainsi, pour connaître le comportement d'une eau en contact avec du carbonate de calcium on doit recourir au calcul. Mais les mathématiques étant pour beaucoup, quelque peu rebutantes, et cela malgré des simplifications importantes, de nombreux auteurs ont proposé des méthodes graphiques plus ou moins simples d'emploi, qui, à partir de données analytiques de base, permettent de connaître rapidement les propriétés de l'eau étudiée (Rodier, 2009).

III.1. Les eaux agressives et les eaux incrustantes

A une minéralisation donnée (TH et TAC définis), Tillmans a montré qu'il existe un pH dit pH de saturation (pH_s) ou pH d'équilibre au-delà duquel il va être observé une précipitation des ions calcium et bicarbonate sous forme de carbonate de calcium. Ce précipité (couche de Tillmans) joue un rôle protecteur des parties métalliques vis-à-vis de l'eau. Les eaux peuvent donc être classées en fonction de la valeur de leur pH par rapport à leur pH_s :

- Si le $pH > pH$ d'équilibre, les eaux ont tendance à déposer du $CaCO_3$, elles sont dites "entartrantes" ;
- Si le $pH < pH$ d'équilibre, les eaux ont tendance à dissoudre du carbonate de calcium, elles sont dites "agressives".

La figure (1), représente les zones d'existences des eaux dures, eaux douces, eaux entartrantes et eaux agressives en fonction du pH et du TAC (M^{lle} BOURAS -I, 2017).

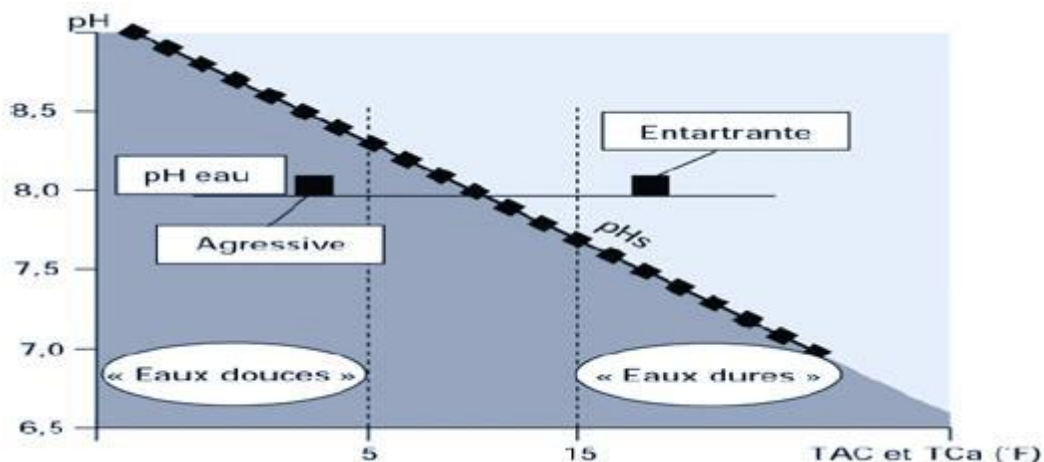


Figure 1 : Présentation des zones d'existences des eaux dures/eaux douces et eaux entartrantes/eaux agressives en fonction du pH et du TAC .

III.2. Détermination de l'agressivité ou du caractère entartrant d'une eau et utilisation des méthodes graphiques

On donnera ci-après des indications générales sur l'indice de LANGELIER puis on décrira la méthode graphique de HALLOPEAU et DUBIN et enfin celle de LEGRAND et POIRIER, plus récente.

III.2 .1 Indice de LANGELIER

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité est la méthode de Langelier. Cet auteur a établi un indice I_s , appelé **indice de saturation ou indice de Langelier**, égal à la différence entre le pH de l'eau considérée et son pH_s calculé :

$$I_s = pH - pH_s$$

L'eau est agressive si I_s est négatif, elle est calcifiante si I_s est positif et elle est à l'équilibre calcocarbonique si I_s est nul.

Langelier propose une formule simple pour déterminer le pH d'équilibre (pH_s) :

$$pH_s = pK_2' - pK_s' - \log[Ca^{2+}] - \log[HCO_3^-]$$

Dans cette formule pK_2' et pK_s' dépendent de la température de l'eau et de sa force ionique. L'auteur propose un diagramme permettant de calculer ces constantes à partir du résidu sec et de la température. Ainsi, compte tenu de l'imprécision de l'évaluation de la force ionique à partir du résidu sec, il est préférable de recourir à des formules plus rigoureuses telles que celles qui sont utilisées par Legrand et Poirier par exemple.

III.2.2. Méthode de HALLOPEAU et DUBIN

Cette méthode permet de déterminer graphiquement l'agressivité d'une eau vis-à-vis du carbonate de calcium.

Le graphique d'HALLOPEAU et DUBIN utilise en abscisse le TAC (échelle logarithmique) et en ordonnée le pH. Y figurent aussi :

- Le CO_2 libre qui est représenté par un ensemble de courbes, assimilables à des droites ascendantes et parallèles,
- La courbe de saturation de référence (équilibre calcocarbonique) qui est une droite descendante,
- Le diagramme auxiliaire qui permet de modifier la position de la courbe de saturation en fonction de la température et de la valeur du rapport TAC/TCa,
- Les courbes de référence des traitements de neutralisation.

Connaissant le pH et l'alcalinité (TAC) d'une eau, on peut déterminer le CO_2 libre de cette eau. Le graphique permet de déterminer le point caractéristique de l'eau, à une température donnée. La concentration en CO_2 libre de l'eau est donnée par la droite oblique passant par le point figuratif de l'eau

L'état calcocarbonique de l'eau est fonction de la position du point représentatif par rapport à la droite de saturation :

- S'il est situé au-dessous de cette droite, l'eau est agressive.
- S'il est situé au-dessus de cette droite l'eau est calcifiante.

Dans le cas présenté sur la figure 1 on a supposé que le TAC était égal au TH calcique (TCa).

Le pH de saturation se lit sur le graphique par l'ordonnée (pH) du point d'intersection de la droite de saturation de l'eau considérée avec la verticale du TAC de cette eau (**Rodier ,2009**).

Conclusion

Le problème de la qualité physico-chimique des eaux destinées à l'alimentation en eau potable et même à l'irrigation se pose au niveau de tout le territoire algérien. La pollution des eaux peut être d'origine minérale et due à des formations lithologiques, la minéralisation des eaux est alors élevée à cause de la dissolution et précipitation des sels minéraux. Des substances polluantes d'origine domestique, agricole ou industrielle peuvent aussi se retrouver dans les eaux et peuvent être aussi bien d'origine chimique que microbiologique.

Le problème de la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable et l'irrigation se pose avec acuité dans l'ensemble des régions sahariennes.

Chapitre III

Partie Expérimentale

1^{ère} partie : Matériels et méthodes

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons résumer le protocole analytique suivi ainsi que le matériel utilisé durant la partie pratique de ce travail. Tous les essais expérimentaux ont été menés au laboratoire de l'ADE (unité de Biskra).

II. L'objectif

Le présent travail, effectué au laboratoire d'analyse affilié à l'Algérienne Des Eaux «ADE» de la wilaya de Biskra, a pour objectif d'analyser les différents paramètres physicochimiques de l'eau de quatre sources de la région de Khinezene (Tolga), utilisée essentiellement à usage d'alimentation en eau potable. Comme on s'intéressera, sur un second volet, à déterminer l'agressivité des eaux dans cette région. A travers les résultats de ces analyses, on statuera, en premier lieu, sur la conformité de la qualité de l'eau de ces sources et secondairement une comparaison sera établie avec d'autres travaux similaires réalisés dans les régions limitrophes à la zone d'étude.

III. Présentation le domaine d'étude

Tolga représente une zone la plus ancienne de la Wilaya Biskra selon les fossiles et les témoins qui a trouvé sur bord de l'Oued Djedi, elle est l'une de plus importantes oasis des zibans et lien entre les communes l'ouest de la wilaya de Biskra et des wilayas voisines (**Ben Debka-A,2020**).

III.1. Cadre Géographique et climatique

Les caractères du climat saharien sont dus tout d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes températures, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et sec.

Le climat des régions arides est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et de grands écarts de température.

Le climat de la région de Biskra est un le climat saharien se caractérise par un faible taux de précipitations, des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif.

III.1.1. Cadre géographique

III.1.1.1 Situation géographique

La wilaya de Biskra est située au Sud-Est du pays, et plus exactement au sud des Aurès qui constituent sa limite naturelle au Nord. Elle s'étend au sud est jusqu'à la zone des Chotts (Chott Melghir) et au sud-ouest jusqu'au commencement du grand erg oriental. D'une superficie de 22379.95 Km². avec une population de 758354 habitants.

Elle comporte 12 daïras et 33 communes, dont, la commune de Tolga qui est la perle de la datte Deglet nour, se située entre 4°92' et 5°52' de latitude nord et entre 34°67' et 35°09' de longitude et est sur une superficie de 121400 hectares avec une population de 58000 habitants. Tolga est située à l'ouest du chef lieu de la wilaya de Biskra.

- **Au Nord**, par les communes de Batna et M'doukala (wilaya de Batna).
- **A l'Est**, par la commune d'El Outaya (Daira d'El Outaya, Wilaya de Biskra)
- **Au Sud –Est**, par la commune d'El hadjeb (Daira de Biskra) , Bouchagroune et Lichana (Daira de Tolga) .
- **Au Sud**, par la commune de Lioua (Daïra de Tolga).
- **Au Sud-Ouest** , par la commune de Bordj Ben Azzouz (Daira de Tolga) , Foughala , Grous (Daira de Foughala) et Chaïba (Daira d'Ouled Djellal, Wilaya de Biskra)
- **A l'Ouest**, par la commune de Zarzour et Ouled Slimane (Wilaya de M'Sila) (BEN AICHA-I, 2019).

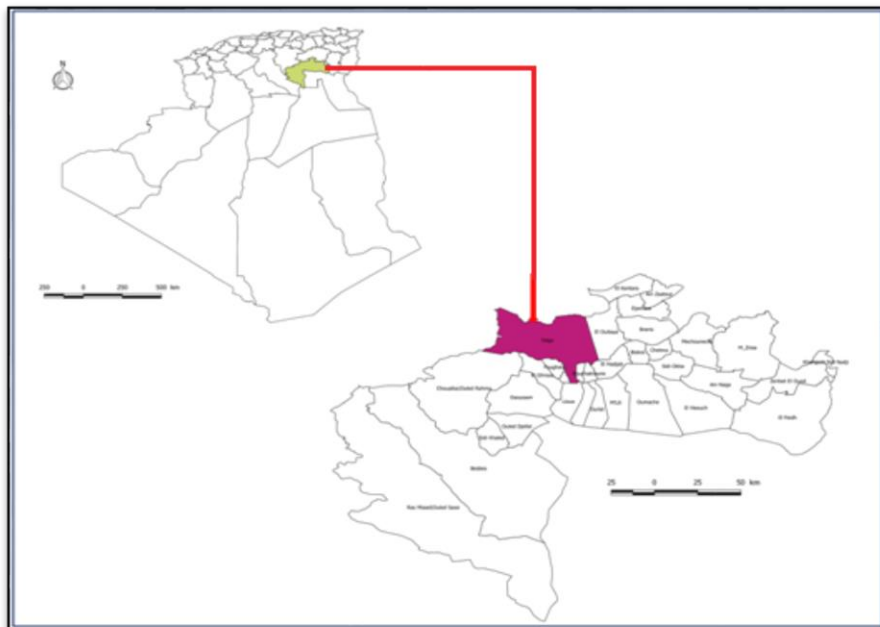


Figure 2 : Situation géographique de la zone de Tolga (BEN AICHA-I, 2019).

Tableau 5 : Répartition de quantité des eaux souterraine exploitées.

Nature d'exploitation	Quantité (million m ³)
Eau potable	10.974
Agriculture	89.949
Industrie	0.052
Total	100.975

Source : Direction des ressources en eau Biskra sous-section Tolga2020

Tableau 6 : Caractéristique des forages dans la commune de Tolga.

N°	Nom	Champ aptant	Profondeur (m)	Année de mise en service	Débit (l/s)	Durée de pompage (h)	Existence de débitmètre Oui/Non	Etat
1	Khénizène N°1	Khénizène	200	11-12-1990	12	24	Oui	En exploitation
2	Khénizène N°2		220	11-07-2004	8	24	Oui	En exploitation
3	Khénizène N°4			11-08-1990	5	24	Oui	En exploitation
4	Khénizène N°5		220	2003	0	24	Non	Arrêt

Source : ADE Biskra 2020.

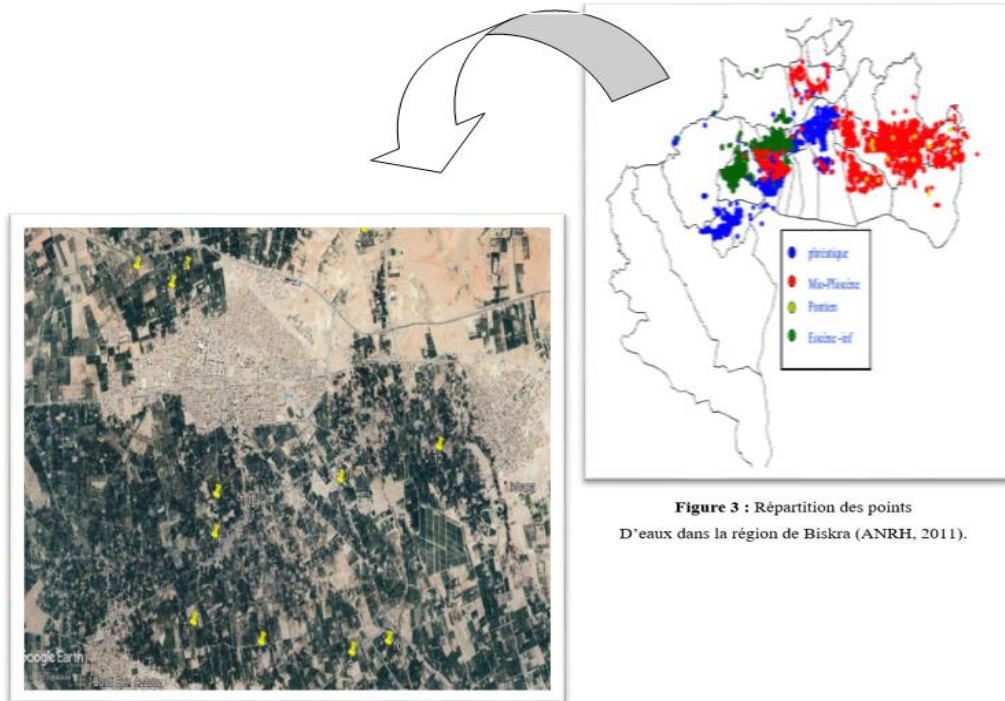


Figure 3 : Répartition des points
D'eaux dans la région de Biskra (ANRH, 2011).

Figure 4 : Positionnement des points d'eaux
Dans la zone d'étude (Tolga)

L'unité de Biskra est dotée d'un laboratoire d'analyses qui contrôle la qualité d'eau distribuée aux abonnés ainsi que les eaux des forages, les réservoirs destinés à l'alimentation des populations en eau potable. La collecte des échantillons se fait tous les matins pour l'ensemble des centres de l'ADE de Biskra. Une fois les échantillons sont prélevés, ils seront acheminés vers le laboratoire pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques.

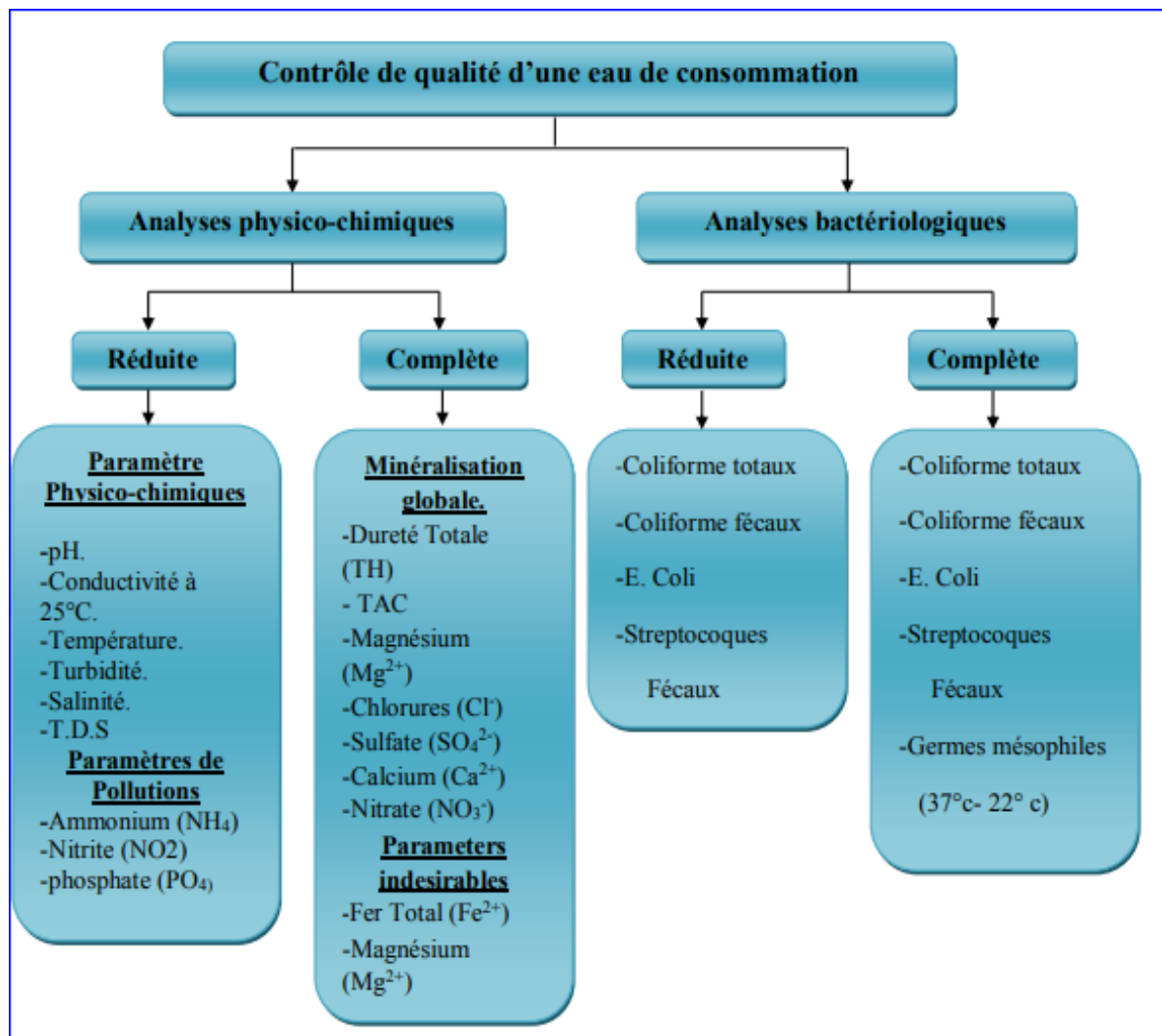
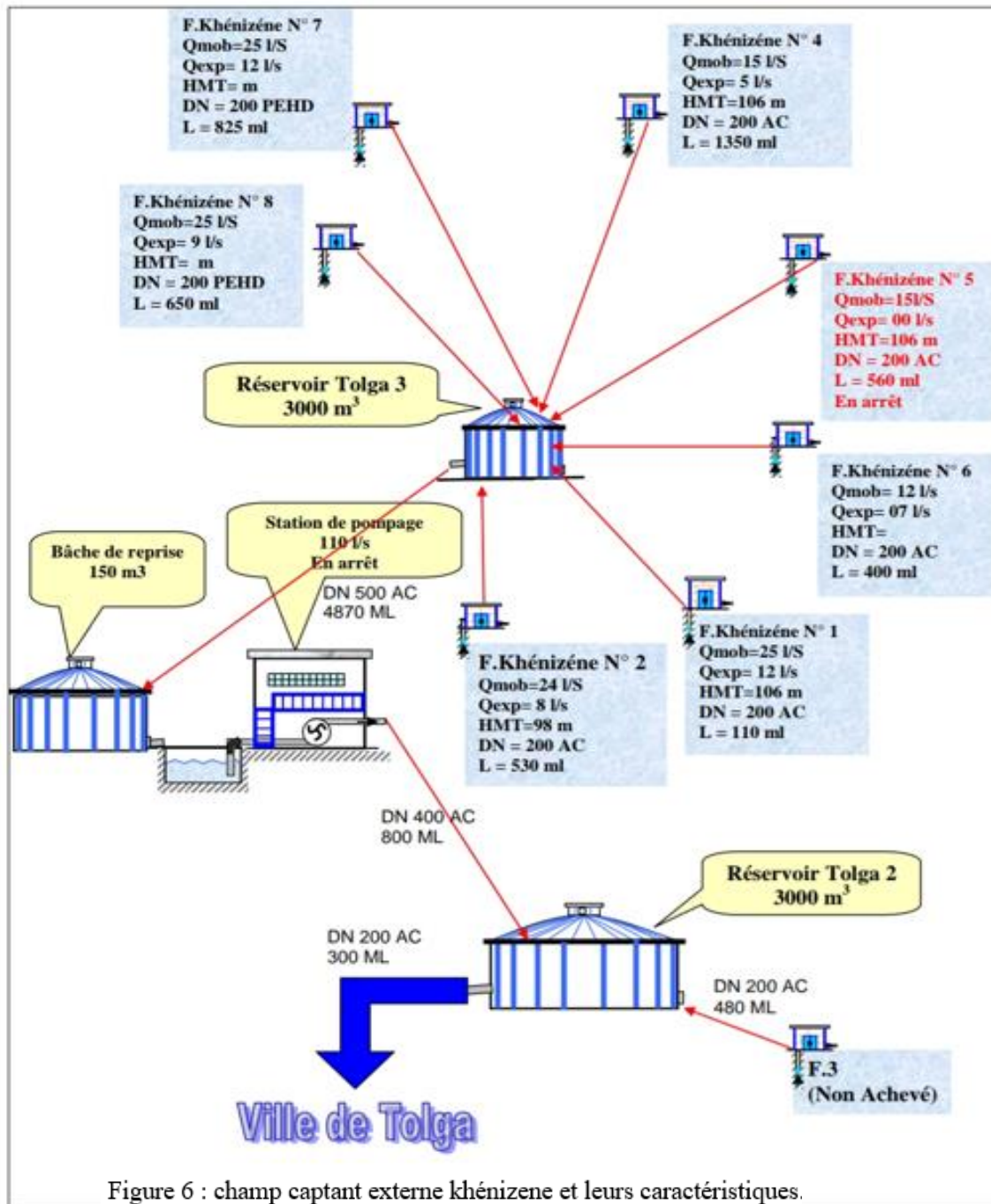


Figure 5 : Différents procédés de contrôle de qualité d'une eau de consommation (ADE Biskra 2022).



IV. Échantillonnage et mode de prélèvement

Le prélèvement de l'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui s'en suit. L'échantillon doit être homogène et représentatif et ne doit pas modifier les caractéristiques de l'eau. L'étude s'est portée sur le choix de quatre sources permanentes avec des débits variables en fonction des saisons et des aléas de la pluviométrie annuelle. Toutes ces sources se localisent au niveau de la daïra de

Tolga et le même champ captent constituent des points d'eau très sollicités par les habitants de la région connue pour sa faible adduction en eau potable. Les quatre sources échantillonnées sont nommées : -

Les échantillons sont pris dans des flacons en P.E.T (poly -éthylène) de 1,5litre bien nettoyés. Le protocole à suivre est le suivant :

- Ouvrir le robinet et laisser couler pendant un certain moment.
- Prendre les flacons et rincer avec l'eau à analyser, puis remplir jusqu'au bord.
- Généralement, la durée du transport de l'échantillon depuis le point de prélèvement jusqu'au laboratoire ne doit pas dépasser 5 heures.
- L'échantillon doit être conservé dans des glacières à une température variant entre 4à 6C°

V. Méthodes d'analyses organoleptiques

Les paramètres organoleptiques de l'eau doivent être appréciés au moment du prélèvement.

✓ . La couleur

La couleur des eaux a été estimée par un simple examen visuel des échantillons.

✓ . L'odeur

L'odeur a été évaluée par simple sensation olfactive.

✓ . Le goût et la saveur

La saveur est décelée par dégustation.

VI. Méthodes d'analyses physico-chimiques

VI. 1. Détermination du pH

Le potentiel hydrogène (pH) mesure l'acidité et la basicité d'une solution. La mesure est effectuée par un pH mètre électronique relié à une électrode

➤ Mode opératoire

- Étalonner l'électrode dans une solution tampon pH=4, pH=7, pH=10.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée puis avec l'échantillon a analysé.
- Introduire l'électrode dans l'eau à analyser

Appuyer sur la touche « READ », attendre le signal sonore afin de lire la valeur indiquée

- **Expression des résultats**

Les résultats sont obtenus directement à partir de la lecture au pH mètre.

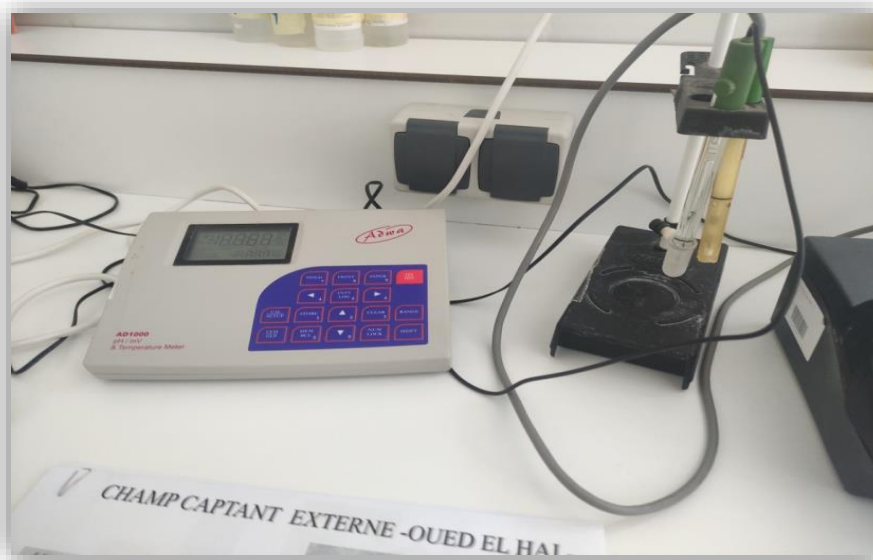


Figure 7 : pH mètre de mesure (ADE, Biskra).

VI.2. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision. Celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, donc dans la détermination du pH et sur la conductivité.

- Réactifs Solution tampon, eau distillée, eau a analysé.
- Matériels Pissette, bécher, appareil de mesure.
- **Mode opératoire**
- Brancher l'appareil, installer les électrodes aux entrées correspondantes sur l'appareil.
- Étalonner l'appareil avec la solution tampon et par la suite rincer l'électrode avec de l'eau distillée, puis avec l'échantillon a analysé.
- Remplir le bécher avec l'eau a analysé.
- Émerger l'électrode dans l'échantillon, appuyer sur la touche « READ », attendre le signal Sonore, puis noter la valeur de température affiché.

VI.3. La conductivité

La conductivité va déterminer l'ensemble des minéraux présents dans une solution. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre à électrode. La conductivité est exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

➤ **Mode opératoire**

- Étalonner l'appareil avec la solution tampon.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser.
- Émerger l'électrode dans le bécher contenant l'échantillon, puis le mettre en mode conductivité.
- Appuyer sur la touche « READ » et la valeur s'affiche.



Figure 8 : Conductivimètre (ADE, Biskra).

VI.4. La salinité

La salinité désigne la concentration des sels minéraux dissous dans l'eau.

➤ **Mode opératoire**

Après avoir noté la conductivité, appuyer sur la touche « SAL » et noter la valeur affichée.

VI.5. Total des solides dissous (TDS)

Le TDS représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions.

➤ **Mode opératoire**

Une fois que la salinité est notée, appuyer sur la touche « TDS » et noter la valeur affichée. I

VII. Les paramètres de pollution**VII.1. Dosage de l'ammonium (NH_4^+)**

Principe L'ammonium réagit avec les ions hypochlorite (qui sont générés par hydrolyse alcaline du sel de sodium de dichloroisocyanurate de sodium) pour former des chloramines qui vont réagir par la suite avec le salicylate de sodium à $\text{pH}=12,6$ en présence de nitrosopentacyanoferrate pour former un composé bleu. Du citrate de sodium est incorporé aux réactifs pour masquer l'interférence des cations, notamment le calcium et le magnésium. Le composé bleu est dosé spectrométriquement à la longueur d'onde $\lambda=655\text{nm}$.

➤ Réactifs et matériels**➤ Réactifs**

- a. Réactif coloré.
- b. Solution de Dichloroisocyanurate de sodium.
- c. Solution mère étalon d'ammonium 100 mg/l.
- d. Solution fille étalon d'ammonium 1 mg/l.
- e. Solution de lavage.

➤ Matériels

Matériel courant de laboratoire :

- verrerie (fioles et pipettes).
- Spectrophotomètre UV/VIS.



Figure 9 : Spectrophotomètre UV-Visible (ADE, Biskra).

➤ **Essais**

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

- 4 ml du réactif coloré homogénéisé ;
- 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser. Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm comme nous avons procédé pour la gamme d'étalonnage (**ISO 7150/1 – Qualité de l'eau – Dosage de l'ammonium – Méthode spectrométrique manuelle**, Norme **ISO 5667: 2004(F) Qualité de l'eau – échantillonnage**).

VII.2. Dosage de nitrites (NO_2^-)

Prélever les échantillons pour laboratoire dans des flacons en verre, conserver entre 2 et 5 °C et analyser dans les 24 h.

➤ **Réactifs et matériels**

➤ **Réactifs**

- a. Réactif mixte.

b. Solution étalon mère de nitrites 100 mg/l.

c. Solution étalon fille de nitrites 1 mg/l.

➤ **Matériel**

Matériel courant de laboratoire :

- Verrerie (fioles et pipettes...).
- Spectrophotomètre UV -Visible permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm, équipé de cuves de 10 mm d'épaisseurs.

➤ **Dosage**

Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte (a) et attendre au moins 20 mn. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm). Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités des réactifs mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrites(.

VII.3. Dosage d'ortho phosphates (PO_4^{3+})

Prélever des échantillons pour laboratoire dans des bouteilles en polyéthylène, polychlorure de vinyle ou, de préférence, en verre. En cas de faible concentration de phosphate, utiliser des bouteilles en verre.

➤ **Réactifs et matériel**

➤ **Réactifs**

- a. Acide sulfurique à 9 mol/L (dilution de $\frac{1}{2}$).
- b. Réactif mélange (solution molybdate acide).
- c. Acide ascorbique, solution, $\rho = 100$ g/l.
- d. Ortho phosphates, solution mère, $\rho = 50$ mg/l.
- e. Ortho phosphates, solution étalon, $\rho = 2$ mg/l.

➤ **Matériel**

- Balance analytique à 0,1 g et à 0,0001 g près.
- Spectromètre doit convenir pour la mesure de l'absorbance dans les régions du spectre visible et proches de l'infrarouge. La longueur d'onde la plus sensible est 880nm, mais si une perte de sensibilité peut être admise l'absorbance peut être mesurée à 700 nm.

Après un laps de temps compris entre 10 à 30 min, mesurer l'absorption à 880 nm.

➤ Dosage

Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2mL de réactif mélange dans une fiole jaugé de 50 ml. Compléter le volume. Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai (**NA 2364/1994 – Qualité de l'eau— dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium,**

ISO 6878/1:1998 (F) Qualité de l'eau — dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium, Norme ISO 5667 : 2004(F) Qualité de l'eau – échantillonnage).

➤ Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont retranscrits sur la feuille des résultats puis dans une trame informatique.

VIII. Paramètres volumétriques**VIII.1. Détermination des sulfates****➤ Réactifs et matériel****➤ Réactifs**

- a. Solution stabilisante
- b. Solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 0.01N
- c. Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de sulfate de sodium (Na_2SO_4)

➤ Matériel

Matériel courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers ...)

- Spectrophotomètre UV/Visible.
- Agitateur magnétique.

Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

➤ Dosage

Procéder comme décrit à la calibration en effectuant un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

Les résultats sont exprimés en SO_4^{-2} mg/L (**Analyses de l'eau, J.RODIER, p.214 (8ème édition), Norme ISO 5667 : 2004(F) Qualité de l'eau – échantillonnage)**

VIII.2. Dosage des chlorures-titrage au nitrate d'argent avec du chromate de potassium (méthode de Mohr)

➤ **Réactifs et matériel**

➤ **Réactifs**

- a. Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,02 mol/l
- b. Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100g/l
- c. Solution étalon de chlorure de sodium (Na Cl) à 0.02 mol/l
- d. Solution d'acide nitrique (HNO_3) à 0.1 mol/l
- e. Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0.1 mol/l
- f. Carbonate de calcium (CaCO_3) ou mono hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) en poudre

➤ **Dosage**

Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêcher conique, placé sur un fond blanc.

Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium **(b)** et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître.

➤ **Essai à blanc**

Titre une solution à blanc en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon pour essai. La valeur de l'essai à blanc ne devrait pas dépasser 0.2 ml de Nitrate d'Argent **(a)**, dans le cas contraire, vérifier la pureté de l'eau.

➤ **Expression des résultats**

La concentration en chlorure P_{Cl} exprimée en milligrammes par litre, est donnée par formule :

$$[\text{Cl}] = \frac{(V_s - V_b)}{V_a} * C * F$$

Où

- **Cl** : est la concentration en milligramme par litre de chlorure.
- **V_a** : est le volume, en millilitres de l'échantillon pour essai (maximum 100 ml ; les dilutions doivent être prises en compte).
- **V_b**: est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du blanc.
- **V_s**: est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du l'échantillon.
- **C**: est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO₃ par litre, de la solution de Nitrate d'Argent.
- **F** : est le facteur de conversion $f=35453$ mg/mol
- Donner le résultat à 1 mg/l près, avec seulement 3 chiffres significatifs (**ISO 9297 – NA 6917 - Qualité de l'eau – Dosage de chlorures – Titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr), Méthode ISO 5667-3 :2003 (F) Techniques généralement appropriées pour la conservation des échantillons**).



Figure 10 : Test des chlorures (ADE, Biskra).

VIII.3. Détermination de l'alcalinité titre alcalimétrique simple (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)

➤ Réactifs et matériel

➤ Réactifs

- a. Acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37 %.

b. Solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.01 N.

➤ **Matériels**

- pH-mètre;
- Electrode ;
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques ;
- Bécher de 50 ml.

Comme pour toute méthode instrumentale, la méthode d'essai est très étroitement lié aux matériels dont on dispose ; se reporter à la notice de l'appareil.

Amener 100 ml d'eau à analyser au pH 4.3 ; Soit V_2 le volume total d'acide employé.

Si le pH est supérieur à 8.3 verser lentement l'acide chlorhydrique pour obtenir cette valeur. Noter le volume V_1 lu au dosimat.

Suivre les instructions de l'utilisation du PH mètre.

➤ **Mesures et calcul du résultat**

Le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC), exprimés en mg/l par litre sont donnés respectivement par les expressions :

$$\text{TA} = (V_1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V.$$

$$\text{TAC} = (V_2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V.$$

$$\text{Masse molaire des bicarbonates} = 61 \text{mg.}$$

$$\text{Masse molaire des carbonates} = 60 \text{mg.}$$

- Si l'eau contient des bicarbonates seulement donc :

$$\text{TA} = 0$$

$$\text{TAC} = (\text{HCO}_3^-) \text{ mg/l} = V_1 \times 61.$$

Où ;

- V est le volume en millilitres, de la prise d'essai (100) ml.
- V_1 est le volume de la solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,01 N versé de la burette.

- V_2 est le volume d'acide chlorhydrique en millilitres.
- N est la normalité de la solution d'acide chlorhydrique = 0.01N (NF T90-036).



Figure 11 : Test des TAC (ADE, Biskra).

VIII.4. Dosage des nitrates par spectrométrie d'absorption moléculaire

➤ Réactifs et matériel

➤ Réactifs

- a. Solution de Salicylate de Sodium à 0.5%.
- b. Solution d'hydroxyde de Sodium à 30%.
- c. Solution de tartrate double de sodium et de potassium.
- d. Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.
- e. Solution mère de nitrate à 1000 mg/l.
- f. Solution fille étalon de nitrate 10 mg/l.

➤ Matériel

- Balance analytique de laboratoire précision 0.1 μg ;
- Capsules de 100 ml ;
- Pipettes 10ml, 5ml, 2ml, 1ml ;
- Poires à pipeter ;
- Etuve pour séchage ;
- Spectrophotomètre UV-Visible.

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415nm, construire la courbe d'étalonnage.

➤ Dosage

- Introduire 10ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30% **(b)** ;
- Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5 % **(a)** ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C ;
- Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré **(d)** ;
- Laisser reposer 10 minutes ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium **(c)**;
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à la longueur d'onde de 415 nm.

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre UV-Visible en mg/l des nitrates (**J. Rodier (Edition 1978), Norme Afnor T90-012**).

VIII.5. Dosage du calcium méthode trimétrique a L'EDTA**➤ Réactifs et matériels****➤ Réactifs**

- a. Hydroxyde de sodium, solution 2 N.
- b. Calcium, solution de référence à 100 mg/l.
- c. EDTA, solution titrée 0,01 mol/l.
- d. Murexide (indicateur)

➤ Matériels

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA.
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers...).

➤ Calcul du coefficient de correction (Fc)

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet. Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé.

Le facteur de correction Fc est égal à :

$$F_c = \frac{\text{Volume versé}}{\text{Volume théorique (12.5 ml)}}$$

- Si : $0,96 \leq F_c \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA est utilisable pour le dosage.



Figure 12: Test des TH (ADE, Biskra).

➤ Dosage

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur (Murexide). Bien mélanger le tout.

Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement.

Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette.

La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

➤ Mesures et calcul du résultat

La teneur en calcium, exprimée en mg/l, est donnée par l'équation :

$$Ca = \frac{C_1 \times V_1 \times A}{V_0} * F_c * 1000 * F$$

Où :

- C_1 : concentration, exprimée en mole par litre, de la solution EDTA, soit 0,01.
- V_0 : est le volume, en millilitres, de la prise d'essai, soit 50 ml.
- V_1 : est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA, utilisé pour le dosage.
- A : est la masse atomique du calcium (40,08 g)
- F_c : facteur de correction du titre
- F : facteur de dilution (**ISO 6058 -1984 (F) Qualité de l'eau – Dosage du calcium – Méthode titrimétrique à l'EDTA**).

VII.6. Dosage de la somme du calcium et magnésium par méthode titrimétrie a l'EDTA

➤ Réactifs et matériels

➤ Réactifs

- a. Calcium, solution étalon de référence à 0,01 mol/l.
- b. EDTA, solution titrée à 0,01 mol/l.
- c. Solution tampon pH 10.
- d. Mordant noir 11, indicateur.

➤ Matériels

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA ;
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers... ;
- pH-mètre.

➤ Calcul de facteur de correction (F_c)

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet. Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé.

Le facteur de correction F_c est égal à :

$$F_c = \frac{\text{Volume versé}}{\text{Volume théorique (12.5 ml)}}$$

- Si : $0,96 \leq Fc \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA est utilisable pour le dosage.

➤ **Dosage**

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 4 ml de la solution tampon (c) et une pincée d'indicateur NET (d). Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose. Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA (b), en versant lentement jusqu'au virage au bleu.

La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

➤ **Mesures et calcul du résultat**

La concentration totale en ions calcium et magnésium ($Ca^{++} + Mg^{++}$), exprimée en °F, est donnée par la formule :

$$TH = V_2 \times 2 \times F \times Fc$$

OU

TH : dureté exprimée en °F ;

V₂ : est le volume, en millilitres, d'échantillon dosé ;

Fc : facteur de correction ;

F : facteur de dilution (ISO 6058 -1984 (F) Qualité de l'eau –Dosage du calcium – Méthode titrimétrique à l'EDTA).



Figure 13: Test des Calcium (ADE, Biskra).

VII.7. Dosage du fer par spectrométrie a la phenantroline -1,10**➤ Réactifs et matériels****➤ Réactifs**

- a. Solution d'acide chlorhydrique à 10%.
- b. Solution de Peroxodi sulfate de potassium à 40 g/l.
- c. Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100 g/l.
- d. Solution de phénantroline-1,10.
- e. Solution tampon acétate.
- f. Solution mère de fer correspondant à 1 g/l.
- g. Solution intermédiaire (fille) de fer correspondant à 10 mg/l.

➤ Matériel

Toute la verrerie et flacons de prélèvement doivent-êtré lavés à l'acide chlorhydrique (HCl) à 1.12 g/ml.

- Spectrophotomètre UV-Visible convenant pour effectuer des mesurages à 510 nm ;
- Cuve photométrique, de parcours optique d'au moins 10 mm et convenant pour l'absorbance prévue de la solution d'essai ;
- Balance analytique de laboratoire ;
- Fioles ;
- Pipettes.

➤ Dosage

- Prendre comme prise d'essai, 50 ml.
- Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement
- Ajouter 2.0 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5.
- Ajouter 2.0 ml de la solution phénantroline et conserver pendant 15 min à l'obscurité.
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV VIS à 510 nm en utilisant une cuve de 10 mm².
- Établir une courbe d'étalonnage en portant la concentration en fer en mg/l, en abscisses et l'absorbance mesurer correspondante, en en ordonnée.
- Enregistrer la courbe établit sur le spectrophotomètre dans le cas où le coefficient R est supérieur ou égale à 0.995 avec le maximum de point retenues.
- Procéder de la même façon pour l'analyse de l'échantillon.

- Employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai (ISO 5667-1, Qualité de l'eau – Echantillonnage, ISO 6332, Qualité de l'eau – Dosage du fer – Méthode spectrométrique à la phénantroline-1,10).

VIII.8. Détermination des résidus secs

Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en verre borosilicaté. Ils sont conservés à 4 °C dans l'obscurité (voir INQ-LAB 05).

➤ Matériels

- Capsule en porcelaine, en verre borosilicaté ou, de préférence, en silice ou en platine.
- Balance permettant d'effectuer la pesée de la capsule et de son contenu à 0.1 mg près.
- Etuve réglable à 100-105°C ou 175-185°C.
- Four réglable à 525°C.

➤ Essai

- Nettoyer la capsule à l'acide chlorhydrique (HCl) ou à l'acide nitrique (HNO₃) dilués au dixième environ et tièdes, puis à l'eau distillée. La sécher par passage à l'étuve, puis la calciner dans le four réglé à 525 °C. Laisser refroidir presque jusqu'à la température ambiante puis placer dans un dessiccateur pendant ¼ d'heure environ et peser. Soit **M₀** la masse de la capsule vide.

- Faire évaporer progressivement au bain d'eau bouillante la prise d'essai introduite, éventuellement en plusieurs fractions successives, dans la capsule : il est recommandé de ne remplir celle-ci que jusqu'à mi-hauteur, vers la fin de l'opération, rincer à l'eau distillée la fiole jaugée qui a servi à mesurer la prise d'essai et verser les eaux de lavage dans la capsule. Une fois l'eau évaporée, placer la capsule dans l'étuve, réglée à 100-105°C et l'y laisser pendant 1 heure.

- **Si l'essai a pour objet la détermination du résidu sec à 100-105 °C**

Laisser refroidir la capsule et son contenu presque jusqu'à la température ambiante, pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant ¼ d'heure environ et peser. Commencer le cycle chauffage à 100-105°C – refroidissement- pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de 0.5 mg. Soit **M₁** la masse trouvée.

- **Si l'essai a pour objet la détermination du résidu sec à 175-180°C**

Poursuivre la dessiccation en plaçant la capsule pendant deux heures dans l'étuve à 175-180°C puis la laisser refroidir presque jusqu'à la température ambiante pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant ¼ d'heure environ et peser. Recommencer le cycle chauffage à 175-

180°C- refroidissement- pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de 0.5 mg. Soit M_2 la masse trouvée.

➤ **Mesure et calcul des résultats**

Soient :

V Le volume, en millilitres, de la prise d'essai.

M_0 La masse, en milligramme de la capsule vide.

M_1 La masse, en milligrammes, de la capsule et de son contenu après étuvage à 100-105°C.

M_2 La masse en milligramme, de la capsule et de son contenu après étuvage à 175-185°C.

Le résidu sec à 100-105°C, exprimé en milligrammes par litre, est donné par l'expression :

$$(M_1 - M_0) * 1000 / V$$

Le résidu sec à 175-185°C, exprimé en milligramme par litre, est donné par l'expression :

$$(M_2 - M_0) * 1000 / V$$

(Norme NA 6945 – Détermination des résidus secs, du résidu calciné et du résidu sulfaté,
Norme ISO 5667 : 2004(F) Qualité de l'eau – échantillonnage).



Figure 14 : Test des résidus secs (ADE, Biskra).

Deuxième partie : Résultats et Discussion

I. Résultats des analyses physico-chimiques

Ces résultats ont pour but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de V Sources (Source khénisene1, khénisene2, khénisene4, khénisene6, khénisene9) de la commune de Tolga wilaya de Biskra.

tableau 7 : les Résultats des analyses physico-chimiques

point d'eau de production (point de prélèvement)	Paramètres Physico-chimiques														
	sal‰	pH	COND µs/cm	TDS mg/l	TH mg/l	Ca ⁺⁺ mg/ l	Mg ⁺⁺ mg/ l	TAC (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ mg/ l	SO ⁴²⁻ mg/ l	NO ₃ ⁻ mg/ l	R, SEC (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
Forage Khénizene 1	3,05	7,85	6100	3050	1800	530	320	162	197,64	456	290	11,2	3200	420	28
Forage Khénizene 4	0,53	7,65	1068	534	870	220	97	298	363,56	120	100	9,4	1420	100	14
Forage Khénizene 6	1,68	7,42	3360	1680	750	210	102	235	286,7	410	121	7,4	1200	390	12
Forage Khénizene 2	1,10	7,24	2196	1098	630	240	85	290	353,8	250	114	6,03	700	260	5
Forage Khénizene 9	0,87	7,27	1735	867,5	630	132,26	72936	113,72	138	132,07	99	11,76	1000	129	8
Moyenne	1,45	7,486	2891,8	1445,9	936	3E+05	1E+06	2E+05	3E+07	3E+05	144,8	9158	1504	259,8	13,4
Minimum	0,53	7,24	1068	534	630	132,26	72936	113,72	1E+06	120	99	6,03	700	100	5
Maximum	3,05	7,85	6100	3050	1800	530	320	298	363,56	456	290	11,76	3200	420	28
Normes	/	6,5-8,5	2800	1400	500	200	150	/	250	500	250	50	2000	200	12

II. Interprétation et discussion

II.1. Paramètres organoleptiques

II.1.1. La Couleur

Lors des prélèvements, nous avons constaté que les eaux de 5 sources sont incolores, Ceci indique probablement l'absence des ions métalliques fer ferreux (Fe⁺²) et fer ferrique (Fe⁺³) ; qui sont les facteurs principaux du changement de la couleur d'eau.

II.1.2. L'odeur

L'eau des 5 sources étudiées est inodore, ce qui indique probablement l'absence de produits chimiques, de la matière organique

II.1.3. Le goût et la saveur

Lors des prélèvements, les eaux de 5 sources étaient sans goût.

II.2. Paramètres de pollution

II.2.1 Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont des indicateurs de pollution. Les normes algériennes indiquent une Valeur maximale de 0,1mg/l, les valeurs enregistrées pour les 5 sources sont 00mg/l, l'absence

Totale des nitrites donc les eaux ne sont pas polluées.

II.2.2. Phosphate (PO_4^{3-})

Des teneurs supérieures à 0,5mg/l doivent constituer un indice de pollution. Ce n'est pas le cas pour nos eaux étudiées, nous avons trouvé une teneur de 00mg/l, donc les eaux étudiées ne sont pas polluées.

II.2.3 Ammonium (NH_4^+)

Les eaux sont chargées en ammonium par réduction des nitrites sous l'action des bactéries. La réglementation algérienne fixe 0,5mg/l comme teneur limite. Les valeurs enregistrées pour nos 5 sources est 00mg/l, donc les eaux étudiées sont dépourvues en NH_4^+

II.3. Paramètres physico-chimiques

II.3.1. Potentiel hydrogène (pH)

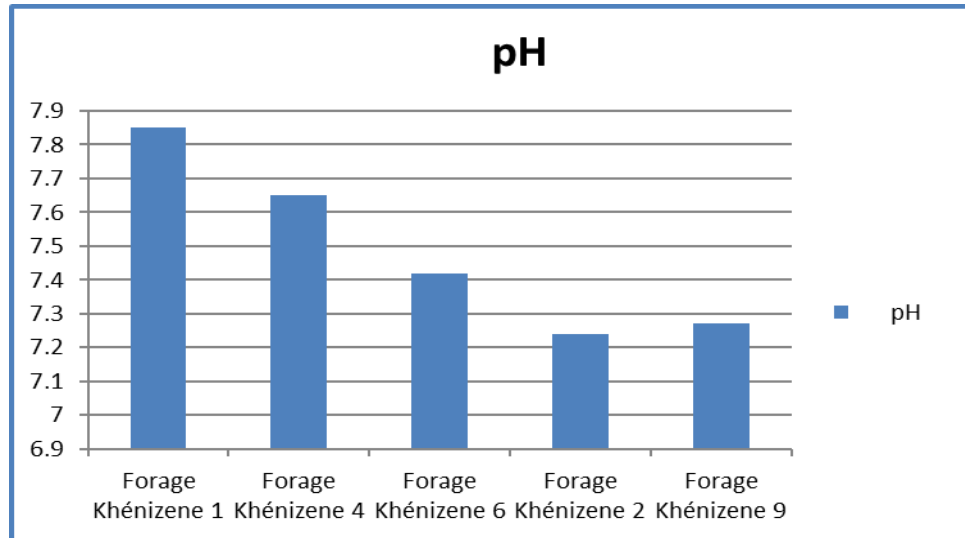


Figure 15 : Valeurs du pH des différents échantillons.

Les normes algériennes qui fixent des valeurs de pH entre 6,5 et 8,5. Les valeurs mesurées sont comprises entre 7,24 à 7,85 ; la valeur la plus basse c'est 7,24 de la 4^{ème} source de ce fait sont des eaux proches de la neutralité.

Le pH dépend en grande partie des terrains traversés par les eaux qui sont en majorité des terrains calcaires.

II.3.2. Conductivité

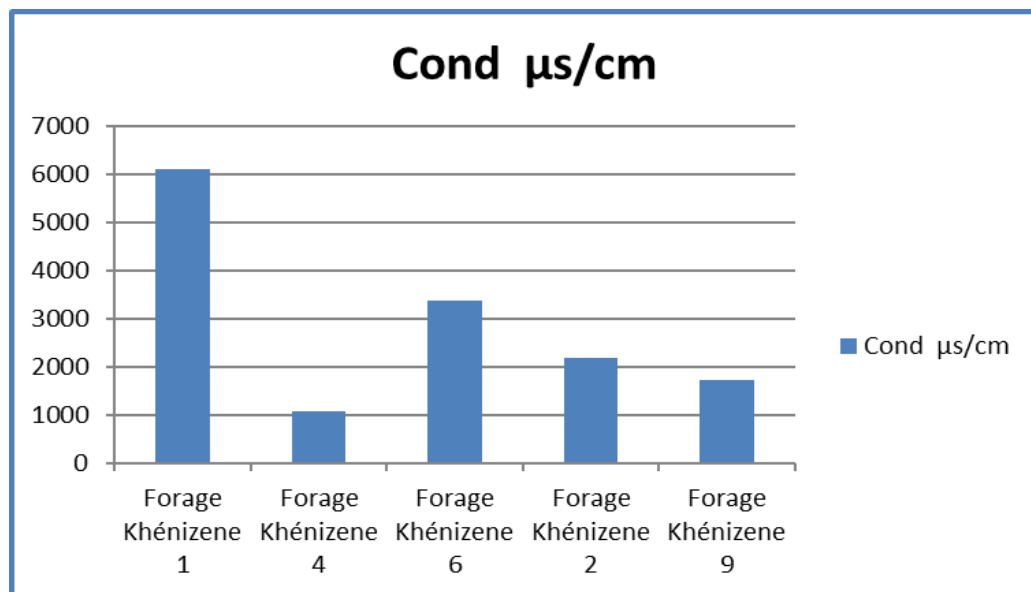


Figure 16 : Variation de la Conductivité ($\mu\text{S/cm}$).

La conductivité de l'eau des sources concernées est relativement forte. Ce qui s'explique probablement par la situation géographique des terrains abritant sources en question. Les valeurs sont variées entre 1065 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 6100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sa cette voix que notre eau est une eau a minéralisation importante jusqu'à une minéralisation élevée et aussi non conforment à la norme algérienne 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$

II.3.3. Salinité

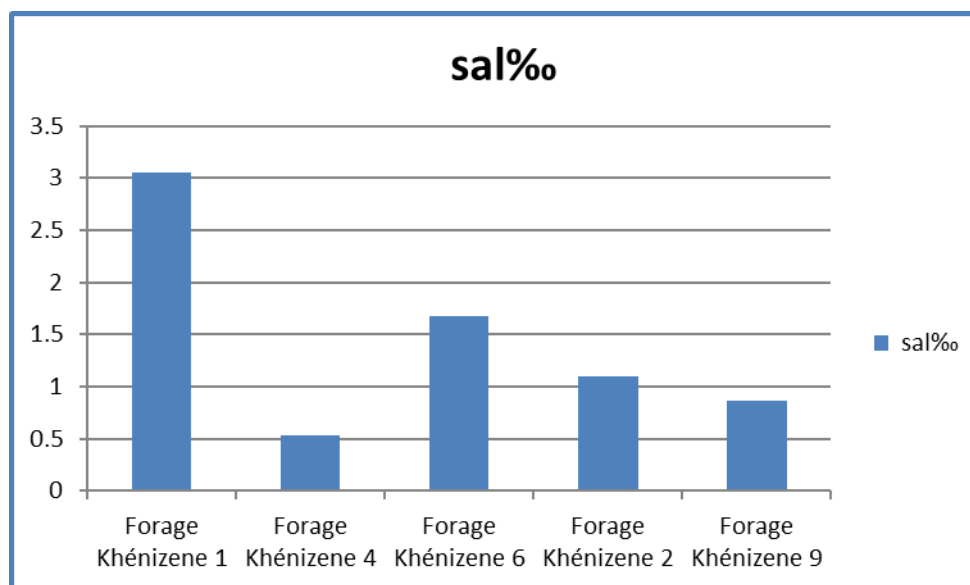


Figure 17 : Variation de la salinité (‰).

La variation de la salinité pourrait être due à la nature géologique des terrains également provenir de la dissolution des terrains salifères et la situation géographique des sources elles-mêmes. Les valeurs enregistrées dans les 5 sources sont très élevées, comprises entre 0,5‰ et 3‰.

II.3.4. Calcium (Ca^{+2})

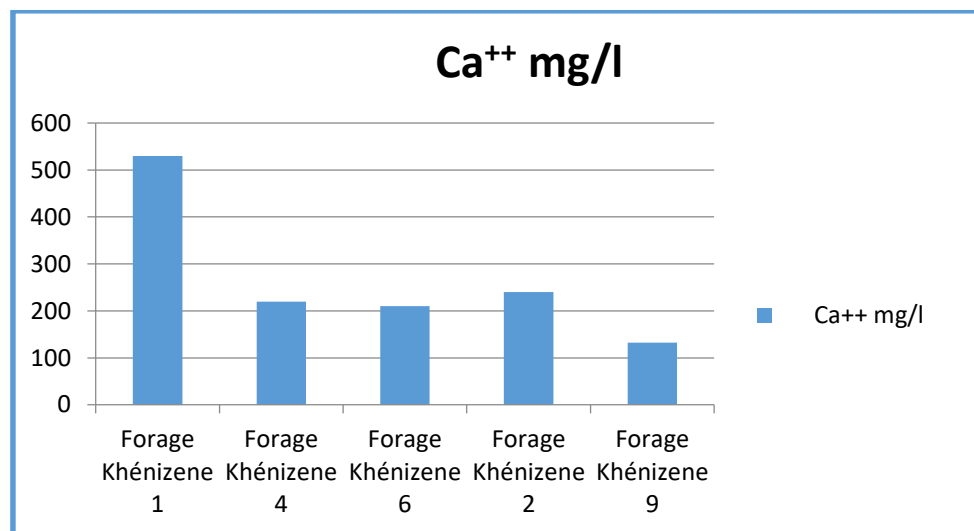


Figure 18 : Teneurs en Calcium (Ca^{+2}) dans l'eau de sources.

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les normes algériennes préconisent une concentration maximale de 200mg/l.

Nos résultats montrent que la teneur de calcium dans les eaux étudiées est comprise entre 132mg/l et 530mg/l. Cette teneur est liée directement à la nature géologique du substrat.

D'après les valeurs obtenues, nous remarquons qu'elles ne répondent pas aux normes algériennes dans la majorité des sources et que les eaux des deux dernières sources sont plutôt calciques.

II.3.5. Magnésium (Mg^{+2})

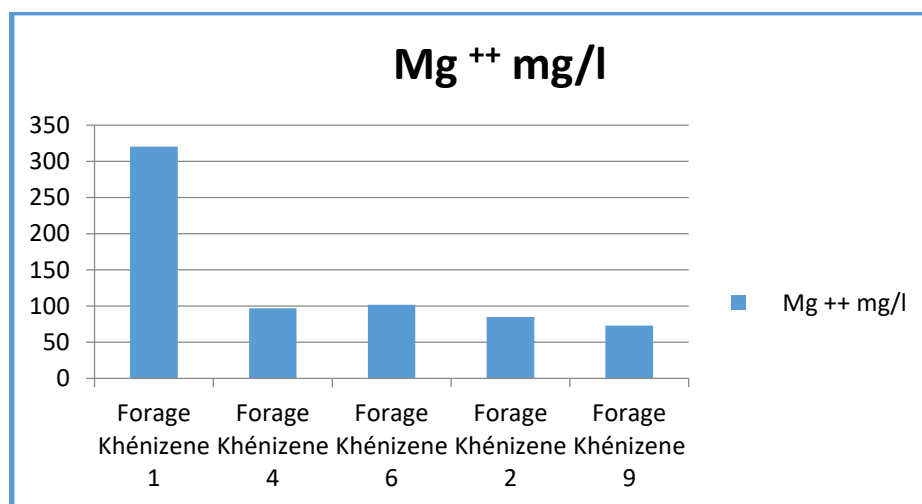


Figure 19 : Teneurs en Magnésium (Mg^{+2}) dans l'eau des sources.

Les eaux étudiées présentent une très faible teneur en Magnésium. Les concentrations en Mg varient entre 72mg/l et 320mg/l, ce qui est conforme à la norme fixée par la réglementation algérienne par contre dans le 1^{er} et 3^{eme} source (Valeur ≤ 150 mg/l de CaCO₃).

II.3.6. Chlorures (Cl)

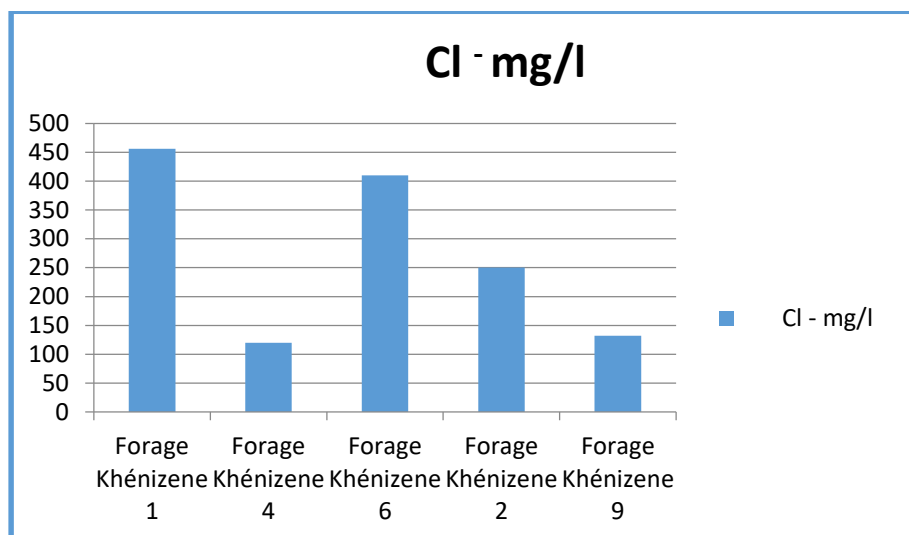


Figure 20 : Teneurs en chlorure (Cl) dans l'eau des sources.

Les teneurs en chlorures des eaux sont principalement liées à la nature des terrains traversés par ces dernières. La teneur de nos 5 échantillons est comprise entre 132 et 456mg/l. Elles sont conformes aux normes de notre pays qui fixe une concentration maximale admissible de 500 mg/l.

II.3.7. Titre alcalimétrique complet (TAC)

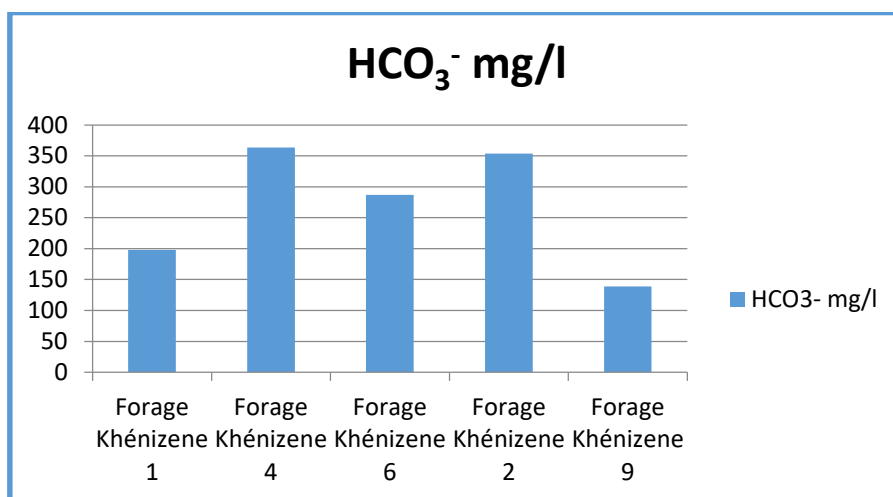


Figure 21 : Titre alcalimétrique complet (HCO₃⁻).

Selon la norme en vigueur, la valeur maximale à ne pas dépasser pour les HCO₃⁻ est de 500mg/l. Le HCO₃⁻ des résultats obtenus varient entre 138mg/l de et 365mg/l. Ces valeurs sont conformes à la réglementation algérienne.

II.3.8. Dureté totale (TH)

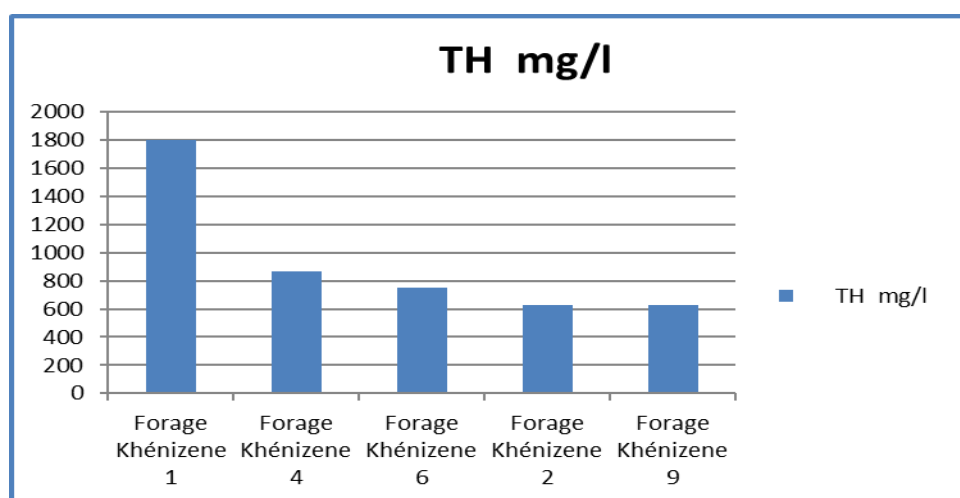


Figure 22 : Dureté totale (TH) des différents échantillons.

La norme de TH fixée par la réglementation algérienne est de 500mg/l de CaCO₃. Les valeurs obtenues sont comprises entre 630mg/l de CaCO₃ et 1800mg/l de CaCO₃ et d'une moyenne de 936mg/l, donc sont des eaux très dures.

Conclusion générale

Conclusion Générale

L'eau est un élément essentiel pour la vie quotidienne des êtres vivants d'une manière générale et de l'être humain d'une manière spécifique.

Des analyses physico-chimiques et le dosage de quelques métaux lourds des eaux brutes de Cinq sources « Source Khinezene 1, Khinezen 2 Khinezen 4 Khinezen 6 Khinezen 9. » localisées au niveau de la région de Khinezene(Tolga) ont été réalisées dans ce travail .

Les eaux des Cinq sources étudiées sont consommées à la longueur des années par la population et constituent un apport très considérable dans l'alimentation en eau potable pour la région. Par conséquent, il est indispensable de rester très vigilant quant à la qualité des eaux de ces sources en question. Les résultats enregistrés après la réalisation des différentes expérimentations exigées par les différents protocoles appliqués ont permis d'établir les affirmations suivantes :

- Les propriétés organoleptiques des échantillons prélevés révèlent des eaux claires, sans odeur, ni saveur désagréable.

Du point de vue physico-chimique, l'ensemble des résultats obtenus ont dévoilé :

- Une conductivité moyenne de 2891.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, donc sont qualifiées comme des sources à minéralisation importante.
- Un pH compris entre 7,24 à 7,85, de ce fait, ce sont des eaux alcalines.
- La moyenne de la dureté totale des sources étudiées est de 936mg/l, donc ce sont des eaux très dures.
- La concentration en ions chlorure proportionnellement élevée pour l'eau brute.
- Absence totale des paramètres de pollution « Nitrites (NO_2^-), Ammonium (NH_4^+), Ortho- phosphate (PO_4^{3-}) ».
- Absence totale du Fer (Fe), et Manganèse (Mn).

Sur le plan physico-chimique, les analyses ont abouti à des valeurs médiocres , on peut classer les eaux de cette région en eaux médiocres et en eaux un peu agressives, et ne présente aucun danger pour la consommation humaine.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ❖ **MERZOUG- N et BENRAZEK -S, 2020** : Analyse de l'eau de la source Toumia de Sebaa-Ayoune, Mémoire de fin d'études, UNIVERSITE 08 MAI 45 GUELMA.
- ❖ **M^r BOUAROURENE -M et M^r SADI -M ,2016** : Caractérisation et Valorisation de quatre Sources (Thimanithine, Ait Smail, Samta et El Ainseur) de la région de Toudja wilaya de Bejaia. Mémoire de fin d'étude, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou.
- ❖ **M^{me} LEBBIHI -R et M^{elle} DERKI -H, 2018** : Etude de quelques paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux potables dans la région d'El-OUED, MEMOIRE DE FIN D'ETUDE, Université Echahid Hamma Lakhdar D'el-Oued.
- ❖ **Ben Dabka A, 2020** : Gestion de l'eau potable cas des communes Tolga, Bouchagroune, B.B.Azzouz, Lichana Wilaya de Biskra, MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider – Biskra.
- ❖ **Abdelkader M-L, 2013** : contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du moi-plio-Quaternaire de la région de la ville de Biskra, mémoire de master en Géo-Ressources, université Abou Bekr Belkaid, Telmcen.
- ❖ **Fattoum BOUCHEMAL, 2017** : **Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra, Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences en HYDRAULIQUE, Université Mohamed Khider – Biskra.**
- ❖ **FRAHTIA -S ; NEZZAR -S, 2016** : ETUDE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE TROIS COMMUNES: - BIR CHOUHADA, SOUK NAAMANE ET OULED ZOUAI- (W D'O.E.B), Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme Master en Hydraulique urbaine, Université Larbi Ben M'hidi– OUM EL BOUAGHI –.
- ❖ **site internet** : https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.pdf.
- ❖ **Zeghoud Mohamed –S, 2014** : Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra, MEMOIRE Présenté en vue de l'obtention de diplôme de Master, UNIVERSITE D'EL –OUED.
- ❖ **Redjem -F ; Rahmouni- R, 2018** : Evaluation de la qualité de l'eau potable distribuée dans la commune de Hamma Bouziane (wilaya de Constantine), Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, Université des Frères Mentouri Constantine.
- ❖ **M^{me} BERRAHAL- Y, 2019** : Evaluation de la matière organique dans les eaux de surface des barrages de l'ouest d'Algérie et évolution des trihalométhanes et le plomb dans le réseau

Références bibliographiques

d'eau Potable, THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES, UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES.

- ❖ **Dr. BENMOUSSA -H, 2018** : Chimie des eaux, Ce cours est destiné aux étudiants de Master 1 Génie des Procédés de l'Environnement, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
- ❖ **HECINI -L, 2016** : Incidence de la coagulation-floculation des eaux sur l'élimination de la matière organique aromatique en présence de sels calciques, sulfatés et phosphatés, Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de Doctorat en sciences en HYDRAULIQUE, Université Mohamed Khider – Biskra.
- ❖ **M^{me} GUETTAIA- S ,2017** : « Etude de la relation Chott Merouane /Nappe du Mio-Plio-Quaternaire et son impact sur la qualité des eaux souterraines », THESE PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT ES SCIENCES, UNIVERSITÉ DE OUARGLA.
- ❖ **TABABOUCHET-S, 2017** : ETUDE DE LA POLLUTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES DU BASSIN VERSANT DU SEBAOU, MEMOIRE DE MASTER, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah.
- ❖ **M^{lle} BOURAS -I, 2017** : Reminéralisation et mise à l'équilibre des eaux osmosées. MEMOIRE DE MASTER, ENSH.
- ❖ **Rodier ,2009** : analyse_de_leau-RODIER_9edition.
- ❖ **BEN AICHA-I, 2019** : Evaluation de la qualités des eaux d'irrigation de la region de Tolga , MÉMOIRE DE MASTER , Université Mohamed Khider – Biskra.
- ❖ **ADE biskra** : Algérienne Des Eaux.
- ❖ ISO 7150/1 – Qualité de l'eau – Dosage de l'ammonium – Méthode spectrométrique manuelle.
- ❖ Norme ISO 5667: 2004(F) Qualité de l'eau – échantillonnage.
- ❖ NA 2364/1994 – Qualité de l'eau— dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium.
- ❖ ISO 6878/1:1998 (F) Qualité de l'eau — dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium.
- ❖ Analyses de l'eau, J.RODIER, p.214 ,
- ❖ ISO 9297 – NA 6917 - Qualité de l'eau – Dosage de chlorures – Titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr),
- ❖ Méthode ISO 5667-3 :2003 (F) Techniques généralement appropriées pour la conservation des échantillons.

Références bibliographiques

- ❖ Norme Française T90-036.
- ❖ J.Rodier (Edition 1978).
- ❖ Norme Afnor T90-012.
- ❖ ISO 6058 -1984 (F) Qualité de l'eau – Dosage du calcium – Méthode titrimétrique à l'EDTA.
- ❖ ISO 6332, Qualité de l'eau – Dosage du fer – Méthode spectrométrique à la phénantroline-1,10.
- ❖ Norme NA 6945 – Détermination des résidus secs, du résidu calciné et du résidu sulfaté.