



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par

Mr IZEBATENE Salah

Mr NEDIL Ahmed

Thème

***Etude hydrochimique des sources d'eau situées
à proximité du gisement polymétallique de
Tala Hamza***

Soutenu le 11 /07 /2019 devant le jury composé de :

Président :	Mr	AKDIM	M.A.A	U.A.M.B
Promoteur :	Mme	KICHER	M.A.B	U.A.M.B
Examineur :	Mr	MEGHERFI	M.A.A	U.A.M.B

Année Universitaire : 2018-2019

REMERCIEMENTS

Nous remercions s'adressent premièrement et avant tout au « Dieu » tout puissant, qui nous a aidé à réaliser ce travail, et pour sa grâce tout au long de notre vie professionnelle et personnelle.

Nous tenons à remercier vivement notre enseignant encadreur Mme : KICHER. K pour ses conseils, orientations et sa disponibilité le long de l'élaboration de ce travail.

Nous tenons également à assurer notre vif remerciement à Mr MGHERFI.K pour son aide précieuse et conseil.

Nous remercions également toute l'équipe de laboratoire Cevital unité de l'eau minérale lala khedidja et l'équipe de laboratoire de génie des procédés à l'université de béjaia

Ainsi qu'aux membres de jury qui nous feront l'honneur de juger ce travail.

Nous adressons aussi notre sincère remerciement à l'ensemble des enseignants de L'UNIVERSITE DE BEJAIA qui ont contribué à notre formation.

Merci infiniment à nos familles et tous les amis et collègues grâce auxquels nous avons pu atteindre ce modeste sommet de connaissance.

SALAH.I & AHMED.N

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

✚ *A mes très chers parents, qui sont la source de lumière qui m'éclaire depuis ma naissance :*

Ma chère mère, qui m'a toujours soutenue dans toutes les étapes de ma vie.

Mon cher père, à qui j'exprime mes sincères et éternelles gratitudees pour son attention et son soutien.

✚ *A mes frères et à ma sœur.*

✚ *A tous mes amis(es)*

✚ *A tous ceux qui de loin ou de près n'ont cessé de m'apporter leur soutien pendant mes années d'études.*

✚ *A mon binôme NEDIL Ahmed et sa famille.*

IZEBATENE. Salah

DEDICACES

Je dédie cet humble travail à toutes ma famille que j'ai de plus chère au monde, surtout : Ma très chère grande mère et grand père.

A mes parents que j'adore.

Mes frères et sœurs.

A mes tantes et oncle.

A mon binôme Salah et sa famille.

Je tiens aussi à dédier ce travail à mes amis(es) sans distinction, dont la liste est très longue surtout sans oublier les Master I

Ahmed Nedil

Introduction générale

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

Introduction

I.1. Situation géographique de la commune de Tala Hamza.....	2
I.2. I.2. Cadre géologique régionale	2
I.2.1. Le domaine interne	3
I.2.2. les phases tectonique.....	4
I.3. La tectonique récente	6
I.4. Le cadre géologique de la région	6
I.4.1. Les reliefs	6
I.4.2. La tectonique de la région d'étude	7
I.5. Aperçu sur le gisement de Tala Hamza	8
I.5.1. Description du gisement de Tala Hamza	8
I.5.2. Géologie du gisement de Tala Hamza	9
I.5.3. Caractérisation des solides	12
I.6. Hydrogéologie de la région	14

Chapitre II : Matériels et méthodes

Introduction.....	16
II.1. L'échantillonnage.....	16
II.2. Les paramètres organoleptiques des eaux.....	16
II.2.1. La Couleur.....	16
II.2.2. Goût et saveur.....	17
II.2.3. L'odeur.....	17
II.3. Les propriétés physico-chimiques des eaux.....	17
II.3.1. Paramètres physiques.....	18
II.3.1.1. La température.....	18
II.3.1.2. La conductivité électrique.....	19
II.3.1.3. La turbidité.....	20
II.3.1.4. Les matières en suspension.....	21

II.3.1.5. Le pH.....	22
II.3.2. Paramètres chimiques.....	24
II.3.2.1. L'alcalinité.....	24
II.3.2.2. Dureté totale (titre hydrométrique TH).....	25
II.4. Principaux éléments présents dans l'eau.....	26
II.4.1. Calcium et magnésium.....	26
II.4.1.1. Dosage de Calcium Ca^{2+}	26
II.4.1.2. Dosage de magnésium Mg^{2+}	27
II.4.2. Sodium et potassium Na, K.....	28
II.4.3. Bicarbonates (HCO_3^-).....	29
II.4.4. Chlorures (Cl^-).....	29
II.4.5. Les sulfate.....	30
II.5. Des éléments traces métalliques.....	31
II.6. Analyse par spectroscopie d'absorption atomique.....	31
II.7. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie d'absorption atomique.....	34
II.7.1. Le Zinc.....	35
II.7.2. Le Plomb.....	35
II.7.3. Le Cuivre.....	36
II.7.4. Préparation des solutions d'étalonnages.....	36

Chapitre III : Résultats et discussions

Introduction.....	38
III.1. Les paramètres organoleptiques.....	38
III.2. Les paramètres physiques.....	39
III.2.1. La température.....	39
III.2.2. Le PH.....	40
III.2.3. La conductivité électrique.....	41
III.2.4. La turbidité.....	42
III.2.5. Les matières en suspension.....	43
III.3. Les paramètres chimiques.....	44

III.3.1. Alcalinité (TA- TAC).....	44
III.3.2. Dureté totale ou Titre hydrométrique (TH).....	46
III.4. Les éléments majeurs présentés dans l'eau.....	47
III.4.1. Le calcium.....	48
III.4.2. Magnésium.....	48
III.4.3. Le sodium.....	49
III.4.4. Le potassium.....	50
III.4.5. Les chlorure.....	51
III.6. Les Bicarbonates.....	52
III.4.7. Les sulfate.....	53
III.5. Contrôle des résultats de l'analyse de l'eau.....	56
III.5.1. Caractérisation hydrochimiques.....	56
III.5.2. Présentation logiciel d'Hydrochimie Diagrammes.....	56
III.6. Classification des eaux.....	56
III.6.1. Diagramme de piper.....	57
III.6.2. Diagramme de Stiff.....	58
III.6.3. Le diagramme de Schoeller Berkaloff.....	59
III.7. Résultats de l'SAA des échantillons.....	61
III.7.1. Les courbe d'étalonnage.....	61
III.7.1.1. La courbe d'étalonnage de Zinc (Zn).....	61
III.7.1.2. La courbe d'étalonnage du plomb (Pb).....	62
III.7.1.3. Courbe d'étalonnage de cuivre (Cu).....	63
III.7.2. Normes conventionnelles des teneurs tolérées.....	64
III.7.4. Interprétation des résultats.....	65
III. conclusion	65
Conclusion générale.....	66
Références bibliographies	
Annexe	
Résumé	

- **WMZ** : Western Mediterranean Zinc
- **PH** : potentiel hydrogène
- **T°** : température
- **μS/cm** : micro-Siemens par centimètre
- **NTU** : Nephelometric Turbidity Unit
- **MES** : matières en suspension
- **TA** : titre alcalimétrique
- **TAC** : titre alcalimétrique complet
- **TH** : titre hydrométrique
- **Ca²⁺** : ions du Calcium
- **Mg²⁺** : ions du Magnésium
- **Na⁺** : ions du Sodium
- **K⁺** : ions du Potassium
- **Cl⁻** : ions du Chlorure
- **HCO₃⁻** : ions du Bicarbonates
- **SO₄⁻** : ions du Sulfates
- **Zn⁺** : ions du Zinc
- **SAA** : Spectroscopie d’Absorption Atomique
- **ETM** : éléments traces métalliques
- **BI** : balances ioniques
- **OMS** : Organisation mondial de la santé

Liste des figures

Figure I.1 : Carte de situation de la zone d'étude.....	2
Figure I.2 : carte géographique de Béjaia et de gisement de Tala Hamza	9
Figure I.3 : les limites de projet de Tala Hamza.....	9
Figure I.4 : colonne stratigraphique du gisement de Tala Hamza.....	11
Figure I.5 : plan transversal géologique Nord-Sud.....	15
Figure II.1: thermometer	18
Figure II.2: conductimètre.....	20
Figure II.3 : pH-mètre.....	23
Figure II.4 : Les instruments de la spectrométrie d'absorption atomique	33
Figure II.5 : Cathode creuse : source pour la spectrométrie d'absorption atomique.....	34
Figure II.6 : Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA).....	34
Figure III.1 : Variations des températures des échantillons.....	40
Figure III.2 : Variation de PH des échantillons.....	41
Figure III.3 : Variation des conductivité des échantillons.....	42
Figure III.4 : Variation de la turbidité des échantillons.....	43
Figure III.5 : Variation de la matière en suspension des échantillons d'eau.....	44
Figure III.5 : la variation de TAC dans les échantillons.....	45
Figure III.6 : la variation de la dureté entre les échantillons.....	46
Figure III.7 : Variation de la teneur en calcium dans les échantillons d'eau.....	48
Figure III.8 : Variation de la teneur de magnésium des échantillons d'eau.....	49
Figure III.9 : Variation de la teneur de Sodium des échantillons d'eau.....	50
Figure III.10 : Variation de la teneur de potassium des échantillons d'eau.....	51
Figure III.11 : Variation de la concentration des chlorures des échantillons d'eau.....	52
Figure III.12 : Variation des ions bicarbonates des échantillons d'eau.....	53
Figure III.12 : Variation de la concentration des sulfates des échantillons d'eau.....	54
Figure III.13 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.....	56
Figure III.14 : Diagramme de Piper des sources de Tala Hamza.....	57

Liste des figures

Figure III.15 : Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme Stiff.....	58
Figure III.16 : Représentation le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	60
Figure III.17 : Courbe d'étalonnage de Zinc (Zn).....	62
Figure III.18 : Courbe d'étalonnage de Plomb (Pb).....	63
Figure III.19 : Courbe d'étalonnage de cuivre (Cu).....	64

Liste des tableaux

Tableau I.1 : la composition chimique moyenne des échantillons	13
Tableau I.2: composition élémentaire des concentrés de minerai	14
Tableau II.1 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique	20
Tableau II.2 : Echelle du pH.....	23
Tableau II.3 : Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale).....	25
Tableau III.1: analyse des paramètres organoleptiques.....	38
Tableau III.2: températures des échantillons analysés.....	39
Tableau III.3: Variation de pH mesurés des échantillons.....	40
Tableau III.5 : Variation des conductivités des échantillons.....	41
Tableau III.6: Variation de la turbidité entre les échantillons.....	42
Tableau III.7 : Variation de la matière en suspension des échantillons d'eau.....	43
Tableau III.8 : les valeurs de TA enregistré dans les échantillons.....	45
Tableau III.9 : les valeurs de TAC enregistré dans les échantillons.....	45
Tableau III.10 : les valeurs de la dureté mesurée des échantillons.....	46
Tableau III.11 : Les normes chimiques fixées par l'OMS.....	47
Tableau III.12 : Concentration de calcium dans les échantillons d'eau.....	48
Tableau III.13 : Concentration de magnésium dans les échantillons d'eau.....	49
Tableau III.14 : Concentration de sodium dans les échantillons d'eau.....	50
Tableau III.15 : Concentration de potassium dans les échantillons d'eau.....	50
Tableau III.16 : Concentration des chlorures dans les échantillons d'eau.....	51
Tableau III.17 : Concentration des ions bicarbonates dans les échantillons d'eau.....	52
Tableau III.18 : Concentration des sulfates dans les échantillons d'eau.....	53

Tableau III.19 : résultats des analyses des sources d'eau de Tala Hamza.....	55
Tableau III.20 : Les formules caractéristiques de classification des eaux.....	61
Tableau III.21 : Les données de la courbe d'étalonnage du (Zn).....	61
Tableau III.22 : Les données de la courbe d'étalonnage du Plomb (Pb).....	62
Tableau III.23 : Les données de la courbe d'étalonnage du Cuivre (Cu).....	63
Tableau III.24 : Les normes algériennes des rejets d'effluent liquides industrielles...	64
Tableau III.25 : Résultats de la SAA des échantillons.....	65

De toutes les substances nécessaires à la vie telle que nous la connaissons sur cette terre, l'eau est la plus importante. C'est une ressource naturelle vitale, indispensable à la survie et à la satisfaction des besoins domestiques. Elle est également une source de bien être et de progrès, mais aussi une richesse nécessaire à toutes les activités humaines [1].

Lors de son écoulement, l'eau rentre en contact avec des terrains et se charge de divers éléments qui influent sur sa qualité. Certains de ces éléments se présentent naturellement dans le sol et vont définir la qualité de l'eau brute ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir des matières organiques solides ou en solutions parvenant de son encaissant à savoir : le calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonate, sulfates, chlorures,... et des matières en suspension. D'autres éléments sont d'origine anthropique, ou la qualité des eaux est dépendante de certains concentration en éléments traces à savoir : le fer, le zinc, le plomb, le cuivre, le bore, le lithium,... [2].

La bonne connaissance des conditions climatiques, des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère et des directions d'écoulement des eaux souterraines joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution et du mouvement des éléments chimiques [3].

Donc sur cette base et dans ce présent travail nous allons contribuer à étudier les caractéristiques hydrochimiques de certains éléments influents sur la qualité des eaux des régions situées à proximité de gisement polymétallique de Tala Hamza. Les détails de ces résultats seront illustrés dans ce mémoire, à travers trois chapitres :

- Le premier chapitre présente les caractéristiques hydro-climatiques et géologiques de la région d'étude.
- Le deuxième chapitre sera réservé aux matériels et méthodes utilisés pour la détermination des éléments dissous dans l'eau des échantillons à travers les différentes analyses.
- Le troisième chapitre est réservé à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus. Ainsi que les outils informatiques utilisés pour le traitement de nos résultats.
- Pour finir nous avons présente une brève conclusion de ce qui a été obtenue dans notre travail.

Dans ce chapitre, nous allons s'intéresser à la caractérisation de la région d'étude sous différent contexte (générale, géologique et hydrogéologique).

I.1. Situation géographique et découpage administratif

Le gisement de Tala Hamza se situe dans la wilaya de Béjaïa sur la frontière commune entre la daïra d'Amizour et celui de Tichi. Le gisement porte le nom de la ville de Tala Hamza elle-même localisée à proximité de celui-ci, dans la daïra de Tichi [1].

Notre zone d'étude correspond au territoire destiné à la réalisation d'une zone d'exploitation de minerai de zinc. Ce territoire chevauche sur les communes de Tala Hamza et d'Amizour. Il est compris entre les coordonnées géographiques sexagésimales suivantes [2] :

- Latitudes de 36° 38' 22'' à 36° 42' 37'' nord
- Longitudes de 4° 55' 39'' à 5° 1' 59'' Est

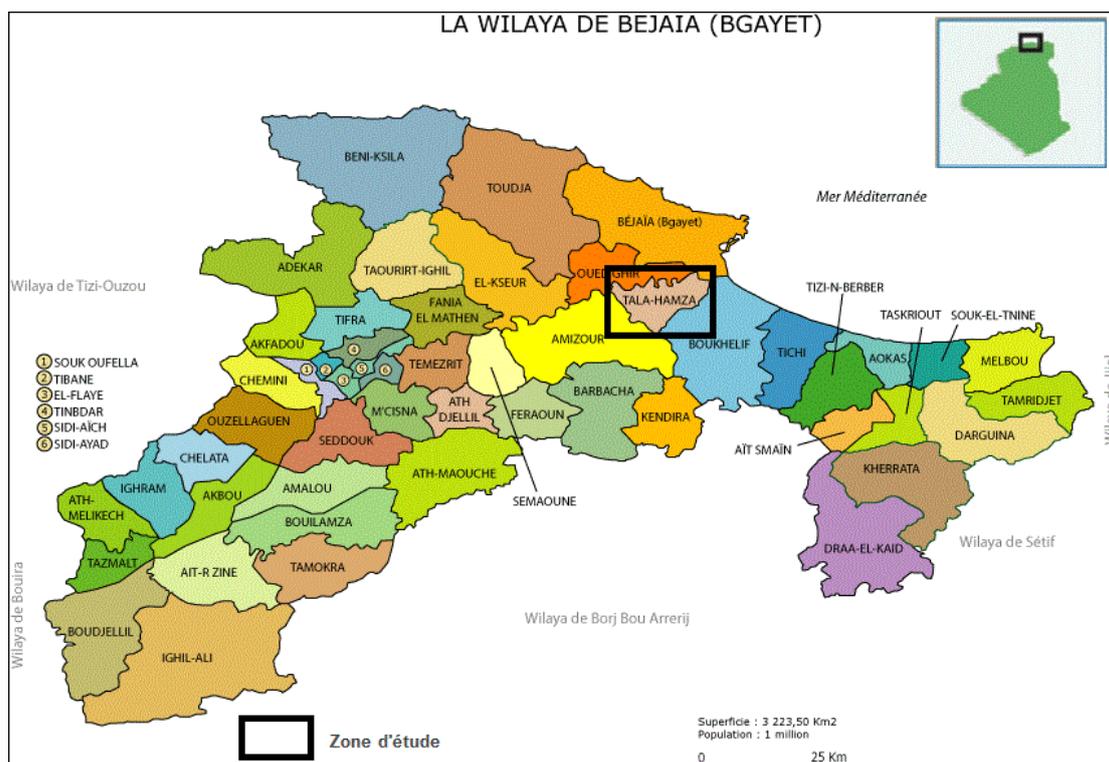


Figure I.1 : Carte de situation de la zone d'étude

I.2. Cadre géologique régionale

La géologie de l'Algérie du nord comprend des roches avec des couvertures sédimentaires plus récentes, affectées fortement par une tectonique alpine au cours de la rotation de translation de l'Afrique vers le Nord, de l'ouverture de l'Atlantique Nord et de la fermeture

de l'océan Téthys. Au moment de la formation de gisement de Tala Hamza, un événement tectonique comprimant du Miocène (23.5 à 5 millions d'années avant nos jours) a été suivi d'un épisode d'extension affectant la rive Nord de l'Afrique, créant des grabens extensionnels [1].

La chaîne alpine de l'Algérie du Nord est subdivisée en trois domaines paléogéographiques principaux :

I.2.1. Le domaine interne

Il regroupe les massifs Kabyles à matériel antécambrien et paléozoïque, c'est le socle Kabyle, et une couverture calcaire qui constitue la chaîne calcaire, appelée par la suite « Dorsale Kabyle ».

➤ **Socle Kabyle**

On le rencontre dans deux séries d'affleurement : au Nord, les massifs de grandes et petites Kabylie, plus au Sud, le substratum de la Dorsale. Il comprendrait les termes suivants [3]:

- Un ensemble crustal profond appartenant de quartzites, granulites.
- Des gneiss présentant des intercalations de quartzites, d'amphibolites et des marbres.
- Des phyllades ayant subi un métamorphisme de basse pression avec une zone inférieure à biotite et une zone supérieure à chlorite.
- Un ensemble essentiellement sédimentaire paléozoïque débutant au Cambrien et atteignant le Carbonifère.

➤ **La dorsale Kabyle**

C'est une zone étroite et discontinue qui caractérise l'axe interne de l'origine nord-algérien : elle est subdivisée en trois unités [3] :

- **Dorsale interne** : Sur un substratum constitué de phyllades et de rares affleurements paléozoïques, existent un Permo-Trias gréseux, rouge, un Lias carbonaté, un Jurassique supérieur et un Crétacé carbonaté et noduleux comportant d'importantes lacunes et d'épaisseur réduite, un Tertiaire transgressif d'abord néritique jusqu'au Lutétien, puis un Oligo-Miocène gréseux et micacé.
- **Dorsale Médiane** : Elle correspond à une série condensée continue du Crétacé inférieur à l'Eocène avec des faciès marneux et calcaireux-marneux pélagiques. Son substratum est analogue à celui de la dorsale interne.

- **Dorsale externe** : Définie par un Lias particulier souvent à Ammonites et Rhynchonelles puis par des séries conglomératiques du Dogger - Malm se terminant par des Radiolaires, gréseuses du Crétacé inférieur et conglomératiques du Sénonien au Lutétien. La Dorsale correspond à un ensemble de lames et d'écaillés empilé qui sont chevauchées par le socle Kabyle.

I.2.2. LES PHASES TECTONIQUE

La période préTECTOGÉNIQUE de la chaîne alpine d'Algérie a commencé dès le Trias, mais elle s'est surtout structurée au cours des phases tectoniques tertiaires. La structuration du bassin maghrébin est héritée d'une structuration ancienne, il s'agit d'un accident qui est une ancienne fracture profonde majeure connue actuellement sous le nom de flexure « sud atlasique », qui délimite la plate forme saharienne stable des domaines de l'avant pays de la chaîne des Maghrébines. Cependant la genèse de la chaîne alpine est caractérisée par les phases suivantes [3] :

I.2.2.1. Les phases tectoniques mésozoïques

Les travaux réalisés jusqu'à nos jours confirment que le Trias correspond à une période de distension généralisée, accompagnée d'un volcanisme basique contemporain à une sédimentation argilo-gypseuse dominante. Une subsidence différentielle au Jurassique inférieur qui continue jusqu'à la fin du Crétacé inférieur avec une direction générale des structures E-W caractéristique des bassins maghrébins [3].

Deux phases tectoniques localisées au passage Jurassique – Crétacé et au Crétacé supérieur.

1-Phase Jurassique supérieur : caractérisée par des discordances angulaires qui marquent la base du Crétacé inférieur.

2- La phase anti sénonienne : c'est une phase de compression associée à des plis E – W.

3- La phase de compression N-S (Sénonien inf-Santonienne) : Elle se manifeste par une lacune régionale du Turonien supérieur et Sénonien inférieur. Dans l'ensemble du massif Constantinois. Au massif de Chettabah Coiffait (1992) note la présence des conglomérats à galets polygéniques et hétérométriques à la base du Campanien. Les auteurs rattachent cet événement tectonique à une phase compressive du Sénonien inférieur.

4- Phase de compression du Maastrichtien Le Maastrichtien est défini dans les formations du Constantinois central. Cet événement tectonique, probablement fini-Maastrichtien-

Paléocène (65 Ma), se manifeste dans la région de Constantine par des plis dans les calcaires maastrichtiens, orientés globalement N70°E et par des failles inverses de direction E-W affectent les formations marno-calcaires maastrichtiennes.

I.2.2.2. Les phases tectoniques tertiaires

- **La phase fini-lutétienne**

Appelée aussi, la phase atlasique. Elle marque la fin d'un grand cycle sédimentaire. Cette phase aurait structuré la chaîne calcaire, les flyschs et les séries telliennes en lames ou en plis couchés à vergence Sud. Dans l'Atlas saharien elle est manifestement la plus évidente, elle montre une direction de raccourcissement NW – SE [3].

- **La phase Miocène**

Dans cet épisode existent deux phases compressives au Miocène inférieur et au Miocène supérieur :

1. La phase de compression du Miocène inférieur

La genèse des nappes dans le Constantinois déterminées depuis longtemps. Elle résultait d'un raccourcissement NE-SW.

Cette phase est responsable, des décrochements NW-SE et NE-SW respectivement dextres et senestres et des écaillages affectant les Babors, évoque une phase fini-Oligocène, marquée par l'accentuation des déformations antérieures, la formation de nouveau cisaillement et l'écoulement par gravité de lames sédimentaires plus ou moins vaste.

Il existe donc une phase au Miocène dite la phase alpine, caractérisé par une direction de raccourcissement N-S. C'est la phase majeure tortonienne à vergence Sud qui est responsable des vastes recouvrements anormaux impliquant les formations au Burdigalien supérieur dont la nappe numidienne [3].

2.2. La phase de compression du Miocène supérieur

C'est la phase tortonienne majeure, à vergence Sud qui est responsable de vastes raccourcissements impliquant les formations postérieures au Burdigalien supérieur dont la nappe numidienne.

Dans le bassin Mila-Constantine, le Miocène terminal-Pliocène inférieur, représenté par les dépôts continentaux repose par une discordance angulaire sur le Tortonien marneux gypsifère.

I.3. La tectonique récente

Le môle néritique Constantinois est affecté, dans sa partie méridionale, par une phase tectonique récente déformant les dépôts qui peuvent être attribués à du Pliocène inférieur. Comme les dépôts « villafranchien » ennoient les reliefs sans être déformés, il est logique de placer cette phase tectonique dans le Pliocène.

La tectonique récente ou poste nappe est mal connue. Dans le Constantinois, considèrent que les formations de la tectonique récente sont marquées par des failles normales de direction variable [3].

I.4. Le cadre géologique de la région

Le gisement de Tala Hamza apparaît dans le complexe volcanique de l'Oued Amizour qui est situé dans une structure de graben Miocène, et sa géologie contraste avec les formations sédimentaires principalement riches en calcaires qui l'entourent dans un édifice pli-nappe.

Le complexe plutonique-volcanique comprend (2) ou (3) épisodes intrusifs et volcaniques. La roche ignée appartient à une série calco-alcaline riche en potasse dont les âges varient de 24.4 Ma à 16.6 Ma pour l'andésite à 12.4 Ma pour certaines rhyolitoides riche en potassium K [4].

Au niveau de la commune de Tala Hamza les roches volcaniques et les corps intrusifs forment dans la topographie un massif montagneux individualisé sous le nom de massif d'Amizour [2].

I.4.1. Les reliefs

Le relief de la région est composé de deux grands ensembles : celui des plaines et collines et celui des montagnes et piémonts :

- L'ensemble des plaines occupe la partie nord. Il se compose de la plaine d'Ighil Ouberouak à l'Est et de la plaine d'Assif N'Soummam qui s'étend de l'Ouest vers l'Est. L'altitude de ces plaines est basse, elle varie entre 0 et 20m, présentant des pentes nulles ou très douces. L'ensemble des collines se situe principalement à l'Est et dans la partie

centrale, principalement au niveau d'Azib Aboudaou et Bousoltane où l'altitude varie entre 20 et 100 m avec des pentes faibles à moyennes.

- L'ensemble des montagnes et piémonts occupe la partie centrale et la partie sud. C'est un ensemble au relief accidenté et très dissèque. L'altitude augmente progressivement du nord vers le sud pour atteindre son maximum au niveau d'Adrar N'Tizi Ouchene, à l'extrême sud 936 m. Les pentes sont fortes dans la zone montagneuse et elles sont moyennes à fortes au niveau des piémonts [2].

I.4.2. La tectonique de la région d'étude

Au point de vue tectonique, territoire étudié est situé dans la partie occidentale de dépression interne du domaine orogénique-Tellien ou de la zone sous-Kabyle, selon (DURAND DELGZ 1968). On distingue dans la région les structures tectoniques suivantes [5].

I.4.2.1. La zone plissée mésozoïque

Se caractérise par un affaissement stable pendant une période, ce qui a conditionnée la formation de la puissantes assises carbonatées et grès-argileuses du jurassique et du crétacé sans discordances et lacunes de sédimentation notables. Dans la partie sud-ouest de la première étudiée, les formations de crétacé formant une série de plis anticlinaux et synclinaux étirés linéaires de direction Nord-Ouest, affectés d'accidents cassants de même direction. Les flancs des plis ont une faible inclination (jusqu'à 15° - 30°), tandis que dans les zones accidentées ils sont raides (jusqu'à 45° - 50°), dans la partie sud-Est du territoire, on distingue nettement la partie Nord de l'anticlinal d'Adrar N'Bodiab, dont le flanc Nord-est est affecté d'un accident cassant sub latitudinal [5].

I.4.2.2. Les structures superposées cénozoïques

Sont constitués de formations du territoire allant de l'Eocène supérieur au pliocène. Ils sont développés dans la région de Tichy-Soummam et sur la rive gauche de l'Oued Soummam en formant le **graben de Tichy-Soummam**. Ce dernier s'étend sur une longueur de 20 km à partir du village de Tichy (au bord de la Méditerranée) jusqu'à l'Oued Amizour à l'est, ayant une largeur de 2.5 - 3.0 à 10 km. La mise en place du graben Tichy-Soummam s'est produite en quatre stades [5].

- Au premier stade, à la fin de l'Eocène moyen, sur la structure mésozoïque s'est formé un graben.

- Au second stade s'est produite l'accumulation des sédiments du Miocène inférieur qui sont discordants sur les dépôts de l'oligocène supérieur.
- Au troisième stade, c'est l'activité volcanique qui s'est exercée avec la formation des volcanites de composition semi-acide et acide, très souvent avec l'alcalinité élevée. Les volcanites de formation andésitique se sont formées au cours de la première étape, puis il s'est produit un épanchement de laves acides et la formation des rhyolites et dacites rhyolitiques.

Au dernier stade, pliocène, la surface de sédimentation a considérablement diminuée. C'est seulement dans la dépression de Soummam qui se produit l'accumulation d'argile blanche et de marnes [5].

I.5. Aperçu sur le gisement de Tala Hamza

Le gisement de Zinc de Tala Hamza situé sur la cote septentrionale de l'Algérie, à environ 10 km de centre de la wilaya de Béjaïa et environ de 270 km à l'est de la capitale Alger. Le projet est centré sur l'exploitation minière du gisement de zinc de Tala Hamza, il comporte plusieurs zones productives possibles d'exploitation du zinc et du plomb. Il détient le potentiel de figurer parmi les cinq mines de zinc les plus importantes au monde [1].

I.5.1. Description du gisement de Tala Hamza

Pour se rendre au gisement de Tala Hamza on emprunte l'autoroute RN75 jusqu'à la sortie située à l'est de Illematene. Ensuite, il faut suivre la direction Izghaine (environ 2.5km) sur une petite route qui grime vers le sud-est. Deux autres routes non macadamisées sont également accessibles à partir de la RN75. Les sorties correspondantes sont situées à l'ouest d'Illematene et de Merdj Ouamene [6].

Le site du projet se trouve en terrain montagneux. Du point de vue topographique, vers le sud, le terrain s'élève sur environ 6 km depuis la plaine alluviale de la Soummam, près d'Achekrou (altitude entre 13 et 18 m au-dessus du niveau de la mer) jusqu'au Djebel Tizi Ouchene à 833 m d'altitude. Le gisement de Tala Hamza se trouve à quelques 2.5 km au sud de la Soummam, presque à mi-chemin par rapport au Djebel Tizi Ouchene, à une altitude comprise entre 100 et 340 m. Le village d'Izghaine se trouve sur le site du gisement de Tala Hamza, dans une vallée orientée est-ouest d'environ 200 m de large et de 600 m de long. Les villageois d'Izghaine ont été les voisins les plus proches du projet et ont été témoins des activités de forage exploration menées par **WMZ** (Western Mediterranean Zinc) [6].



Figure I.2 : carte géographique de Béjaia et de gisement de Tala Hamza [6]

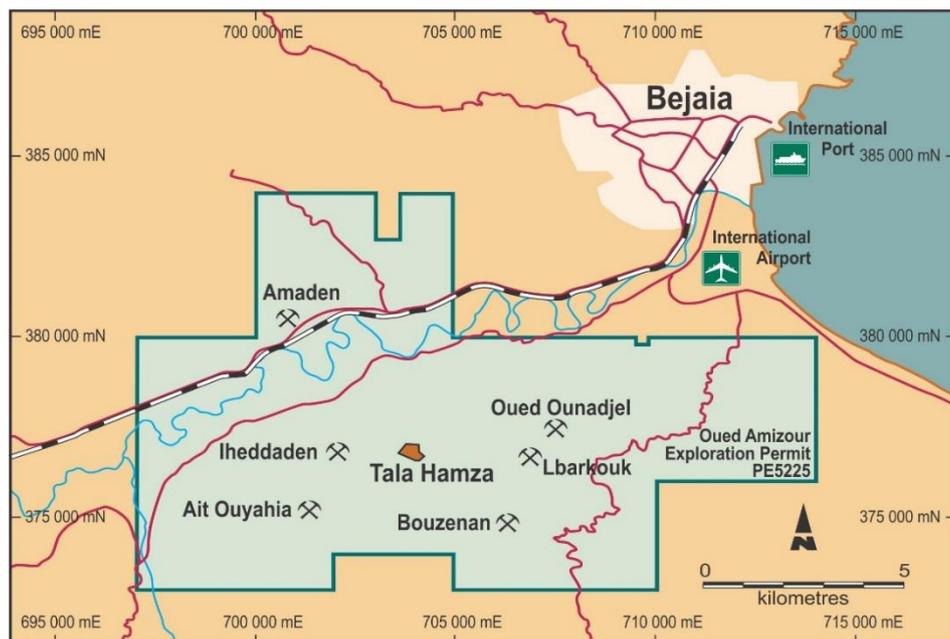


Figure I.3 : les limites de projet de Tala Hamza

I.5.2. Géologie du gisement de Tala Hamza

Selon l'ORGM (Office National de Recherche Géologique et Minière) la volcanicit  est en deux séries :

- 1) La série andésitique inférieure avec laves, intrusions, et roches volcaniques (jusqu'à 600 m d'épaisseur).
- 2) Une série dacitique supérieure (également avec laves, intrusions, et dépôts volcanoclastiques) et d'environ 300 m d'épaisseur.

Les deux séries ont été déclarées coupées en travers/banc par corps subvolcaniques, appelés historiquement localement rhyolitoides ou rhyodacites porphyrique.

Les travaux de WMZ ont confirmé l'interprétation des lithologies hôtes de l'ORGM au sens large. Des enregistrements et une pétrologie supplémentaires extensifs ont mené au développement d'une nouvelle colonne stratigraphique [4].

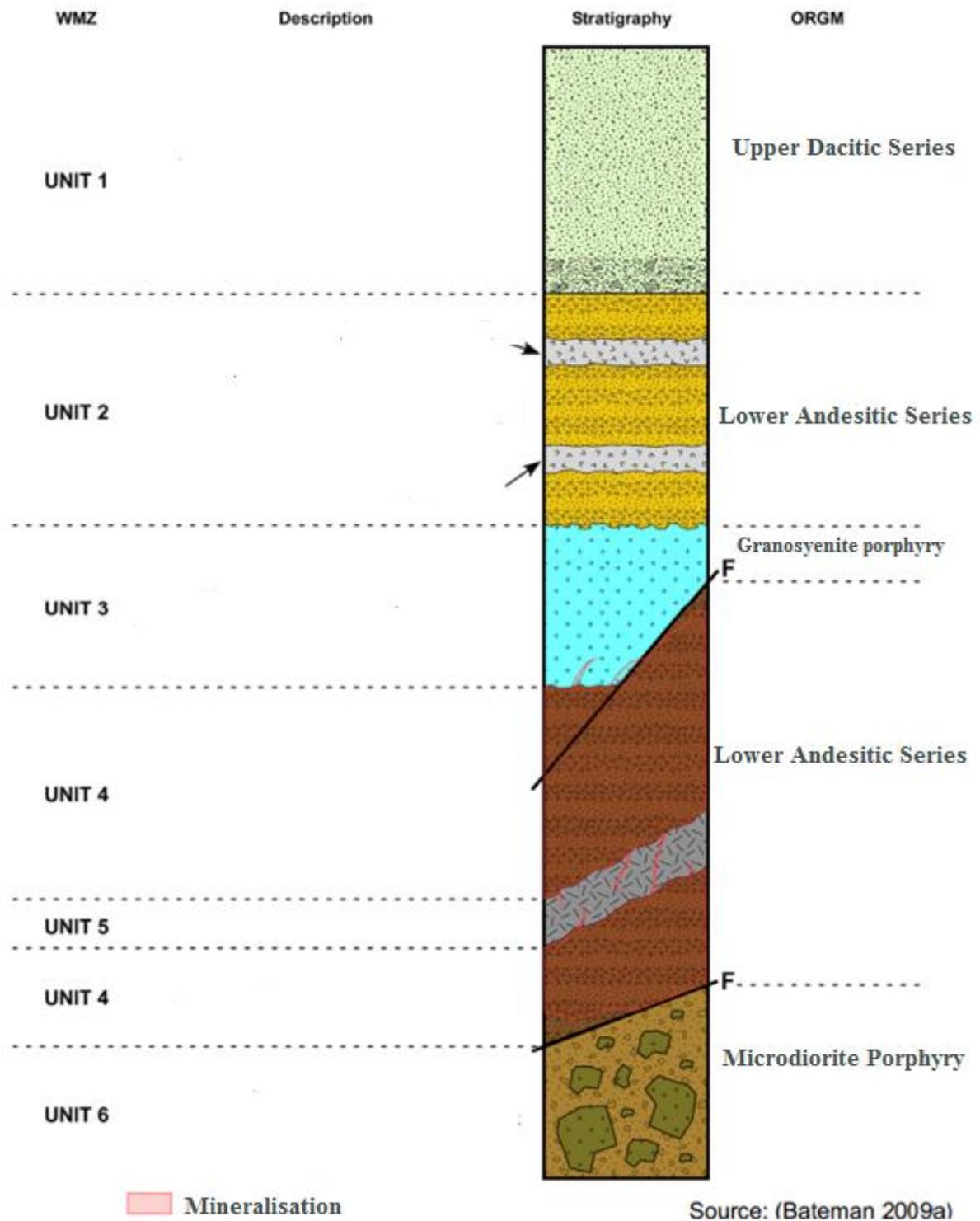


Figure I.4 : colonne stratigraphique du gisement de Tala Hamza montrant la relation entre la nomenclature **WMZ** et **ORGM**

L'unité 1 correspond à la série dacitique supérieure de l'interprétation d'ORGM, les unités 2-6 formant la série andésitique supérieure. Le gros dacite feldspath-phyrique est l'équivalent du "filon-couche rhyolitoïde" ou porphyre granosyérite.

Le gisement minéralisé de Tala Hamza est situé de façon prédominante dans l'Unité 4 mais une minéralisation de faible teneur se trouve à l'occasion dans la partie inférieure de l'Unité 3 et dans l'Unité 5. Suite à l'altération intense généralement, associée à la minéralisation, les protolithes sont presque tous impossibles à reconnaître ; cependant par analogie avec les roches moins altérées de l'Unité 4, ils sont supposés représenter des volcanoclastiques. La seule lithologie reconnaissable de façon consistante est une fine dacite phyrique (Unité 5) qui représente la zone appelée " morte ", une zone de stériles minéralisés se trouvant dans le gisement.

L'Unité 6 représente le mur de la formation de la minéralisation et comprend une roche extrêmement altérée qui consiste d'albite, de chlorite, de quartz, de feldspath et d'anhydrite, avec ou sans magnétite, phlogopite, séricite ou tourmaline. A certains endroits, des relictés de textures intrusives peuvent être visibles. A autres endroits, des argilites volcanique et des grès ont été enregistrés. Il faut encore découvrir une preuve irréfutable de la nature de séquence du mur de la formation parce que la plupart des trous n'ont pas traversé l'altération de gypse [4].

I.5.3. Caractérisation des solides

I.5.3.1. Roche du site

La composition chimique moyenne des échantillons prélevés dans sept forages dans la zone du gisement, est indiquée au **Tableau I.3** suivant. Ces compositions risquent de ne pas être représentatives de toutes les roches de la zone du gisement ; elles indiquent toutefois les gammes de concentration substances secondaire [4].

Tableau I.1 : Résumé de la composition chimique moyenne des échantillons de forage sélectionnés

	TH003	TH003	TH004	TH005	TH006	TH007	TH010
Profondeur(m)	208-520.15	149-429.1	312.05-530.4	257-559.5	355-592.4	246.7-557.45	0-629
Al₂O₃ (%)	13.1	14.6	9.66	12.8	12.2	12.6	15.2
CaO (%)	7.85	4.07	8.69	4.71	4.43	4.32	1.49
Fe₂O₃	8.65	6.10	10.4	7.95	7.82	6.16	S/O
K₂O (%)	3.12	2.83	2.54	2.56	2.41	2.34	S/O
MgO (%)	0.79	0.66	0.97	0.49	0.53	0.90	1.81
MnO (%)	0.51	0.48	0.43	0.27	0.42	0.24	S/O
Na₂O (%)	1.07	1.16	0.67	1.39	1.02	2.51	S/O
P₂O₅ (%)	0.24	0.24	0.22	0.22	0.20	0.16	S/O
SiO₂ (%)	42.0	45.9	34.4	50.5	49.0	55.1	65.1
TiO₂ (%)	0.47	0.59	0.41	0.49	0.49	0.55	S/O
Pb (%)	1.44	0.42	1.55	0.84	2.51	0.84	0.82
S (%)	9.60	6.08	11.9	8.10	8.43	S/O	5.16
Zn (%)	4.60	3.54	6.77	4.62	4.64	3.01	1.34
As (mg/kg)	577	515	812	518	411	372	128
Ba (mg/kg)	381	465	389	208	268	342	303
Cd (mg/kg)	262	126	452	204	225	133	58.6
Co (mg/kg)	54.7	24.6	40.9	33.0	37.6	25.4	22.1
Cu (mg/kg)	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.003
U (mg/kg)	10.5	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	15.5

Remarque : S/O indique l'absence de données.

I.5.3.2. Concentré de minerai

Des essais de flottation ont été réalisés par optimet laboratoires (Bateman 2009). Un échantillon a été utilisé pour la majorité des essais. Par conséquent, la représentativité spatiale et la représentativité de la composition sont inconnues. La composition élémentaire des concentrés produits par un essai de flottation sur un composite est indiquée au **Tableau I.2** [4].

Tableau I.2 : composition élémentaire des concentrés de minerai provenant des études de flottation

Elément	Concentré Pb Final	Concentré Zn Final
Pb (%)	60.9	2.98
Zn (%)	8.85	52.7
Fe (%)	4.37	4.18
SiO₂ (%)	1.33	1.60
As (mg/kg)	883	613
Cd (mg/kg)	525	2471
Bi (mg/kg)	<10	<10
Ti (mg/kg)	269	235

I.6. Hydrogéologie de la région

L'eau souterraine au site de la mine existe dans des aquifères en roche fissurée. Les zones fissurées agissent en tant que voies d'écoulement. Les flancs des vallées sont généralement escarpés et les réseaux contiennent des éboulis de blocs et de substratum rocheux in-situ [6].

L'eau souterraine s'écoule en direction du sud-ouest de la partie centrale de massif de l'Oued Amizour. Les profondeurs du niveau de l'eau souterraine qui traverse le site de la mine souterraine varient, allant de 32 m à 119 m avec une moyenne d'environ 85 m en-dessous du niveau du sol. Les niveaux d'eau souterraine de la partie est du gisement sont typiquement compris entre 135 et 150 m et sont de 20 à 40 m plus élevés que les niveaux d'eau de la partie ouest du gisement qui sont typiquement compris environ entre 100 et 120 m à des élévations topographique semblables [6].

L'aquifère alluvial du oued Soummam comprend des alluvions quaternaires au sein d'une large vallée. Un aquifère de gravier d'une épaisseur de 10 à 20 m.

La géologie du site de la mine comprend surtout des roches de composition ignée avec inclusion de roches volcaniques, des roches plutoniques et de certaines unités sédimentaires comprenant des unités de brèche volcanoclastique, des argilites et du grès. Un plan transversal qui coupe le gisement en direction nord-sud (préparé en octobre 2008), est reprise dans la (figure I.5) [1].

Le gisement et la zone environnante ont subi une altération hydrothermale extensive et contiennent de nombreuses failles. Le gisement est interprété comme étant déplacé, post-minéralisation, par mouvement à travers certaines de ces failles.

Lors des travaux de prospection les carottes du gisement montrent couramment une dégradation et une oxydation des roches, surtout dans les zones fissurées. Elles montrent aussi le développement de cavités à croissance cristalline qui indiquent un système aquifère de roches bien développé dans le gisement à des profondeurs atteignant de 600 à 700 m [1].

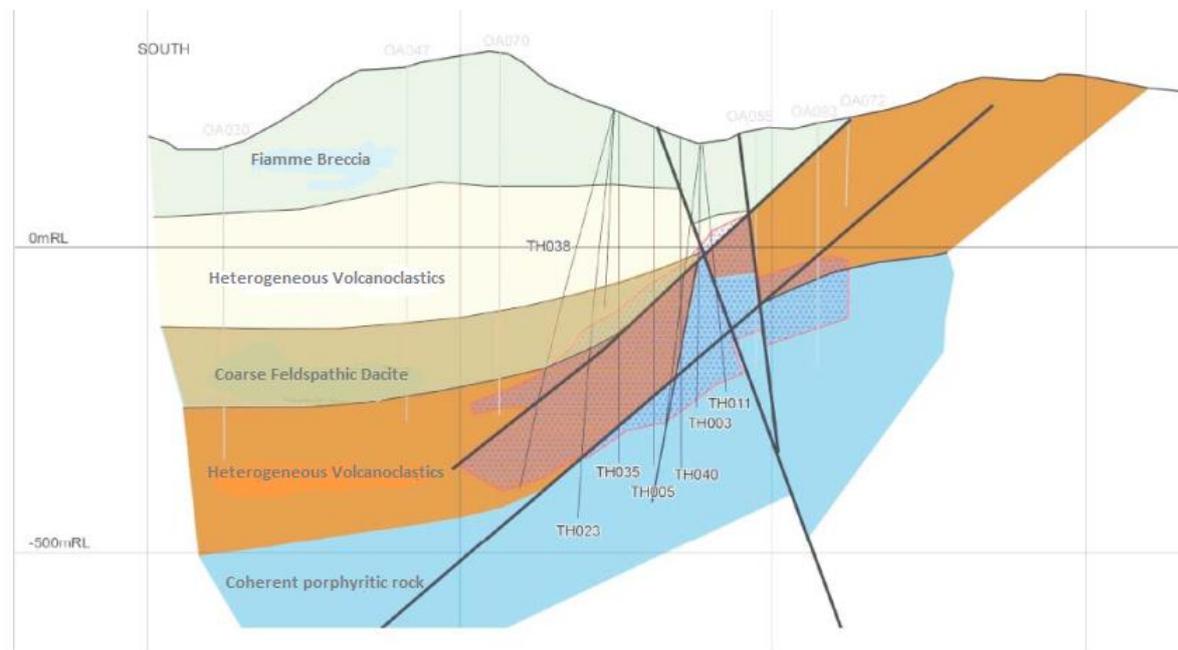


Figure I.5 : plan transversal géologique Nord-Sud [8].

Introduction

Les caractéristiques physiques et chimiques des eaux dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés. Une éventuelle pollution peut modifier les caractéristiques naturelles de l'eau. C'est dans ce contexte que le présent chapitre est abordé.

L'échantillonnage d'une eau comprend la préparation du prélèvement, le prélèvement proprement dit, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment où l'eau est analysée. Chacune de ces étapes est importante pour assurer la fiabilité des résultats des analyses.

II.1. L'échantillonnage

Pour étudier les caractéristiques d'une ensemble (les granulats, les eaux) on doit faire un prélèvement d'un sous-ensemble (échantillon). Il doit être de qualité et représentatif de ce que l'on veut analyser. Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

Deux propriétés sont essentielles : la reproductibilité de la prise d'échantillon et sa représentativité de lot initial [7].

II.2. Les paramètres organoleptiques des eaux

Les propriétés organoleptiques de l'eau font référence à la sensation, bonne ou mauvaise, que le consommateur peut ressentir en buvant de l'eau. Les paramètres organoleptiques sont ceux que le consommateur perçoit immédiatement [8].

II.2.1. La Couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle ; (Eléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation ...etc.), soit associée à sa pollution.

- D'origine naturelle (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface).
- Une des conséquences du phénomène d'eutrophisation (développement excessif d'algues et de plancton).

- D'origine industrielle chimique (teintures et l'industrie textile).

La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence des composés dissous. D'une manière plus simple, une estimation de la couleur peut être déduite de l'examen visuel de l'échantillon placé dans un récipient large et incolore [9].

II.2.2. Goût et saveur [10]

Le goût peut être défini comme :

- L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche.
- La propriété des produits provoquant ces sensations.

La saveur peut être définie comme :

- L'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs.
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par ces substances.

II.2.3. L'odeur

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler. L'odeur peut être définie comme [10].

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances.

II.3. Les propriétés physico-chimiques des eaux

L'analyse d'une eau naturelle doit donner la concentration des éléments caractéristiques. Ces paramètres globaux et/ou spécifiques permettent d'apprécier l'aptitude d'une eau à l'utilisation à laquelle on la destine. On peut les différencier en deux groupes : physiques et chimiques (pH, T°, Turbidité, Conductivité, la dureté,...).

II.3.1. Paramètres physiques

II.3.1.1. La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, parce qu'elle influe sur beaucoup d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique : Plus la température de l'eau s'élève, plus la quantité d'oxygène dissous diminue [11].

La température a 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,...etc [8].

➤ Mode opératoire

La mesure de la température est faite sur le terrain en utilisant l'appareil de mesure de la température s'appelle thermomètre, c'est un appareil portable.

D'abord avec immersion de l'électrode dans le flacon pendant 5 min juste après le prélèvement, et on lit la valeur indiquée sur l'écran de l'Oxymétrie, les résultats sont exprimés en °C.



Figure II.1: thermomètre

II.3.1.2. La conductivité électrique

La conductivité est la mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle varie en fonction de la présence d'ions, de leur concentration, de leur mobilité et de la

température de l'échantillon. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale, qui conduit peu. Par conséquent, dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique, la conductivité ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu. Dans les autres cas, elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation de l'eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques.

La mesure en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm (micro ou milli Siemens par cm) de la conductivité électrique d'une eau s'effectue à l'aide d'un conductimètre. Celui-ci mesure le passage de l'électricité entre deux électrodes séparées par un cube de $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ d'eau. La mesure s'effectue à 25°C ou avec un conductimètre avec compensateur automatique de température, est l'inverse de sa résistivité électrique [8].

La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité varie en fonction de la température et étroitement liée à la concentration et la nature des substances dissout. La mesure de la conductivité est réalisée à l'aide d'un conductimètre portable [12].

➤ **Mode Opérateur**

- Remplir un bécher par l'échantillon préparé.
- Allumer le conductimètre.
- Immerger l'électrode du conductimètre dans le bécher.
- Lire la conductivité indiquée.
- Rincer l'électrode par l'eau distillée après chaque lecture.



Figure II.2 : conductimètre

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau [20].

Tableau II.1 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique (*d'après Manuel de l'eau de Nalco 1983*).

Conductivité électrique (exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	bonne qualité
750 à 1500	médiocre mais eau utilisable
> à 1500	minéralisation excessive

II.3.1.3. La turbidité

La turbidité est une notion plus subjective que la notion de couleur ; on la définit comme l'inverse de la limpidité ou de la transparence. Une eau turbide est donc plus au moins trouble [8].

La turbidité est une caractéristique optique de l'eau, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes,...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. À savoir sa capacité à diffuser ou absorber la lumière incidente.

L'unité de turbidité prescrite par l'Environmental Protection Agency (EPA – USA) est le NTU (Nephelometric Turbidity Unit). La mesure s'effectue sur la lumière diffusée à 90°, mais à une longueur d'onde différente de 860 nm [8].

- **Correspondance entre les unités :** 1 NFU = 1 FAU.

Pour des turbidités inférieures de 10 à 20 NFU : 1 NFU = 1 NTU. Au-delà, 1 NFU = 0,6 NTU.

En première approximation on peut corréler la turbidité à la concentration en matières en suspension (MES) :

- Turbidités inférieures à 10 - 20 NFU : MES = 2 NFU.
- Turbidités supérieures à 20 NFU : MES = 3,3 NFU.

Les normes concernant la turbidité de l'eau potable sont assez différentes et variables. L'OSM recommande comme valeur limite 5 unités NTU, et précise que dans le cas où l'on pratique la désinfection, il conviendrait que la turbidité soit inférieure à 1 NTU.

II.3.1.4. Les matières en suspension

On appelle matières en suspension (MES) l'ensemble des très fines particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluant, micro-organismes,...), qui donnent un aspect trouble à l'eau (turbidité). Des teneurs plus élevées des matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique, diminuer l'oxygène dissous, compromettre le développement ichthyologique en créant des déséquilibres entre les diverses espèces. En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux.

La quantité de matières en suspension totale (MEST) se mesure par filtration d'un litre d'eau et pesage des résidus séchés. Le résultat s'exprime en mg/l. (On estime qu'un habitant rejette environ 90 grammes par jour de MES dans ses eaux usées) [13].

La détermination de MES dans les eaux brutes se fait par filtration sur disque filtrant en fibres de verre, séparation, séchage à 105°C et pesée.

➤ Mode opératoire

Laver un disque filtrant, placé sur l'équipement de filtration, à l'aide d'eau distillé, le sécher à 105 °C, laissé refroidir au dessiccateur et peser à 0.1mg près. Placer le filtre dans

l'équipement de Filtration et mettre en marche le dispositif de séparation. Verser progressivement l'échantillon sur le filtre jusqu'à ce que le récipient soit vide. Le volume filtré doit [8] :

- Être 200 ml.
- Permettre d'obtenir une masse de matières retenues sur le filtre au mois égale à 1 mg par cm² de surface filtrante.

➤ **Expression des résultats**

La teneur en mg de MSE par litre d'eau est donnée par l'expression suivant :

$$[(M_1 - M_0) * 1000] / V \quad (mg/l)$$

- **M₁** : la masse du disque filtrant après l'utilisation (mg).
- **M₀** : la masse du disque filtrant avant l'utilisation (mg).
- **V** : volume de l'échantillon (ml).

II.3.1.5. Le pH

Le pH (potentiel hydrogène) représente le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau, est le reflet de la concentration des ions hydrogènes H⁺ dans une solution. Cette mesure est importante, car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Le pH des eaux naturelles varie normalement en fonction du système bicarbonates-carbonates. Dans les eaux naturelles, peu soumises à l'activité humaine, le pH dépend de leur origine et de la géologie du milieu [14].

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau.

Ce paramètre, qui se mesure à l'aide d'un pH-mètre ou de "papier pH" (pH = - log [H⁺]), indique. Indique si l'eau est acide (de 1 à <7), neutre (7), ou basique (de > 7 à 14) ;(On dit aussi alcaline).

- L'eau des cours d'eau avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7.

Dans chaque milieu naturel les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant.

- PH > 7 en régions calcaires où les eaux sont **basiques** car fortement minéralisées, PH < 7 en région de sous-sol primaire (Vosges, ..) ou eaux sont **acides**.

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau.

Tableau II.2 : Echelle du pH

pH < 5	- Acidité forte - Présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	Eaux souterraines
pH > 8	Alcalinité, évaporation intense

La mesure de pH s'effectue à l'aide d'un pH-mètre. Cet appareil est muni d'une électrode qu'on immerge dans le flacon juste après le prélèvement, la valeur est indiquée sur l'écran de l'appareil.

➤ **Mode Opérateur**

- Remplir un bécher par l'échantillon préparé.
- Allumer le pH-mètre.
- Immerger l'électrode du pH-mètre dans le bécher.
- Lire le pH indiqué.
- Rincer l'électrode par l'eau distillée après chaque lecture [15].



Figure II.3 : pH-mètre

II.3.2. Paramètres chimiques

II.3.2.1. L'alcalinité (titre alcalimétrique TA et titre alcalimétrique complet TAC)

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes. Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en hydroxydes libres et en carbonates. Le titre alcalimétrique complet ou (TAC) correspond à la teneur en hydroxydes libres carbonates et hydrogencarbonates. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide minéral dilué [16].

Exprime sa concentration en sels de calcium et de magnésium. Comme le pH, la dureté est liée à la nature des terrains traversés par une eau. Si l'eau présente une forte concentration de ces sels minéraux, on dit qu'elle est dure (C'est le cas des eaux provenant des sols calcaires)

A l'inverse, si cette concentration est faible, l'eau est dite douce. Une eau dure, par son apport en calcium et en magnésium, est bonne pour la santé, mais elle accélère par contre l'entartrage des conduites et réagit mal au savon. A l'inverse, une eau trop douce a tendance à corroder les canalisations.

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré. Le TA sera inclus dans TAC, et de ce fait, lui sera toujours inférieur. On peut opérer soit en présence d'indicateur coloré (titrage), soit en utilisant un pH-mètre [7].

➤ **Mode opératoire**

a) **Détermination du TA :**

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans un bécher. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénophtaléine 0.5%. Une coloration rose doit alors se développer, dans le cas contraire le TA est nul.

Si le pH est supérieur à 8,3 ; verser doucement et en agitant constamment H_2SO_4 ou HCl (0.02N) pour obtenir cette valeur ou décoloration complète de la solution Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage [7].

b) **Détermination du TAC :**

Utiliser la prise d'essai traitée précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration c.-à-d. le TA est nul.

Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange (0,5%) et titrer de nouveau avec le même acide à un pH de 4.3 ou jusqu'au virage du jaune au jaune orangé.

Soit V' le volume d'acide versé pour le 2^{ème} dosage.

➤ **Expression des résultats :**

- **TA : $V/5$:** exprime le titre alcalimétrique en milliéquivalents par litre.
- **TAC : $(V' - 0.5)/5$:** exprime le titre alcalimétrique complet en milliéquivalents par litre [7].

II.2.2. Dureté totale (titre hydrométrique TH)

La dureté de l'eau est due à la présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} (dans certains cas on trouve aussi Fe^{2+}), qui existent dans la solution sous forme avec sels solubles. Selon la nature des sels que les ions alcalino-terreux peuvent former avec des ions négatifs présents dans l'eau, on distingue la dureté temporaire et la dureté permanente [17].

Une eau est dite douce ou dure selon sa charge en calcium et en magnésium. La somme des deux éléments constitue le Titre Hydrotimétrique qui s'exprime en degrés français ($^{\circ}f$ ou $^{\circ}fH$) sur une échelle de 0 à 40. ($1^{\circ}f = 4$ mg/l de calcium ou 2,4mg/l de magnésium) [13].

- Une eau sera dite dure si son TH est $>$ à $15^{\circ}f$. Une eau trop dure a pour inconvénients d'entartre les canalisations et un usage plus important de détergents pour le lavage.
- Une eau sera dite douce si son TH est $<$ à $15^{\circ}f$. Une eau trop douce sera dite « agressive » parce que corrosive pour les conduites.

Tableau II.3 : Les valeurs du titre hydrométrique (Dureté totale) [17].

TH ($^{\circ}F$)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	Très douce	Eau douce	Moyennement dure	dur	très dure

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, le (Organisation Mondial de la Sante) OMS ne recommande pas de valeur mais indique qu'une dureté élevée peut provoquer la formation de dépôts tandis qu'une faible dureté peut engendrer des problèmes de corrosion. Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française n'indiquent pas de valeurs pour les eaux livrées à la consommation humaine [17].

Par mes les méthodes qui permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium ; avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

➤ **Mode opératoire**

En prend 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA [15].

II.3. Principaux éléments présents dans l'eau

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium, et les anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes.

II.3.1. Calcium et magnésium

Le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}) sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux.

L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, dont les principales sont la calcite (CaCO_3), la dolomie (CaMgCO_3), la magnésite (MgCO_3), le gypse (CaSO_4), l'apatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$) ou la fluorine (CaF_2). Notons également les grès et roches détritiques au ciment carbonaté [68]. L'ion calcium est sensible au phénomène d'échange de bases [8].

II.3.1.1. Dosage de Calcium Ca^{2+}

Le dosage du calcium peut être réalisé de différentes manières (Spectrométrie, absorption atomique). Nous allons utiliser la méthode Spectrométrie à l'E.D.T.A. qui fait l'objet de la norme NFT90 016.

Principe

Le principe du dosage est de complexer les ions calcium avec l'EDTA (Acide éthylène diamine tétraacétique). On utilise comme indicateur coloré qui forme un complexe d'une coloration

rouge en présence de l'ion Ca^{2+} et reprend sa teinte bleue lorsque la totalité de ces ions sont sous la forme CaY^{2-} . Pour que ce dosage se fasse dans de bonnes conditions, il faut placer en milieu basique afin que l'EDTA ne soit pas protoné. On se place à un pH compris entre 12 et 13 pour précipiter le magnésium sous forme d'hydroxyde et éviter ainsi qu'il soit pris en compte dans le dosage.

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50ml de l'échantillon dans un Erlen- Meyer de 250ml ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium (2M) et quelques cristaux de l'indicateur acide calcine carboxylique. Dans le cas où le pH reste inférieur à 12, ajouter la quantité de solution d'hydroxyde de sodium nécessaire pour amener le pH entre 12 et 13 (vérifier avec du papier pH). Verser lentement en fin de dosage. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue. La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA [8].

Expression des résultats

$$N_{\text{Ca}^{2+}} = (1000 * 40.08 * V_{\text{EDTA}} * C_{\text{EDTA}}) / V_{\text{échantillon}}$$

Avec

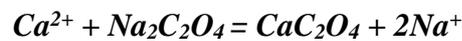
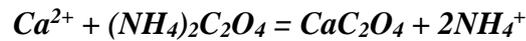
- $N_{\text{Ca}^{2+}}$: la concentration en Ca^{2+} (mg/l) ;
- V_{EDTA} : Volume de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage (ml) ;
- C_{EDTA} : Concentration de la solution d'EDTA (M) ;
- $V_{\text{échantillon}}$: Volume d'échantillon dosé (ml) ;

Les échantillons dont la concentration en calcium est supérieure à 100 mg/l doivent être dilués avant le dosage. Il faut alors tenir compte de la dilution dans le calcul des concentrations

II.3.1.2. Dosage de magnésium Mg^{2+}

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, à partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau [18].

Pour déterminer la teneur en ions magnésium dans l'eau, il est nécessaire d'éliminer les ions de calcium. Cette opération s'effectue à l'aide des sels oxaliques $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ou $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$, selon les réactions suivantes [8] :



On obtient la précipitation d'oxalate de calcium, qui empêche la réaction du calcium avec l'EDTA

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml. Puis on ajoute 3 à 4 ml de la solution de sel oxalique à 25°C-30°C. On filtre le précipité blanc de CaC_2O_4 qu'on lave avec quelque ml d'eau distillée au-dessus de l'entonnoir. L'eau de lavage est additionnée au filtrat. On ajoute par la suite 5 ml de la solution ammoniacale et 7 à 8 gouttes d'indicateur noir d'Eriochrome T et enfin, on titre l'eau à analyser par la solution de complexon III, et on note le volume moyen versé [8].

Expression des résultats

$$N_{\text{Mg}^{2+}} = (12000 * V_{\text{EDTA}} * N_{\text{EDTA}}) / V_{\text{échantillon}}$$

Avec,

- $N_{\text{Mg}^{2+}}$: La concentration en Mg^{2+} (mg/l).
- N_{EDTA} : Normalité de la solution de complexons III (Na_2EDTA) (0,02 N).
- V_{EDTA} : Volume de la solution de complexons III (Na_2EDTA).
- $V_{\text{échantillon}}$: Volume d'échantillon.

II.3.2. Sodium et potassium Na, K

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (Sables, argiles, évaporites). La roche Halite (Evaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ion Na^+ par le processus d'échange de bases [19].

Les concentrations en sodium peuvent être extrêmement variables, indépendamment du lessivage des formations géologiques contenant du chlorure de sodium. Le sel peut provenir de la décomposition des minéraux, comme les silicates de sodium et d'aluminium.

Le potassium (K^+) est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (Sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (Mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (Sylvinite KCl) et les argiles [8].

II.3.3. Bicarbonates (HCO_3^-)

L'eau agressive chargée en acide carbonique est ensuite saturée par des cations le plus souvent alcalino-terreux, pour donner les bicarbonates qui circulent dans la zone noyée.

Le bicarbonate, ou hydrogénocarbonate, est un ion poly atomique dont la formule chimique est RCO_3 . Le bicarbonate est nommé de par le caractère double de ses propriétés, il est à la fois acide et base appartenant à deux couples acido-basiques différents, on appelle cela une espèce amphotère. Dans l'eau, le dioxyde de carbone (acide carbonique), l'ion bicarbonate et l'ion carbonate sont en équilibre, en fonction du pH [19].

L'ion de bicarbonate est le principal constituant alcalin des eaux courantes, on le trouve souvent à une concentration de 5 à 50 mg/l de $CaCO_3$. La teneur peut comme on l'a vu être déduite de l'alcalinité [19].

II.3.4. Chlorures (Cl^-)

Les ions chlorures dont la plus grande partie se trouve dans les océans, constituent environ 0,05 % de la lithosphère (Partie solide de la sphère terrestre). De façon générale, l'ion chlorure est présent dans toutes les eaux, à des concentrations variables. Dans les eaux de surface, il est présent en faible concentration. Dans les eaux souterraines, la teneur en ion chlorure peut atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques [19].

La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer (Où le Cl^- est très présent), ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible.

L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. Les apports anthropiques (Salage des routes, urine..) sont mineurs dans les zones d'intervention humanitaire [19].

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution traitée de nitrate d'argent AgNO_3 en présence de chromate de potassium K_2CrO_4 comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent Ag_2CrO_4 au point d'équivalence. (**Méthode de MOHR**) [18].

➤ **Mode opératoire [7]**

- Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 500 ml.
- On ajoute 1 ml de K_2CrO_4 (10%).
- Titrer avec AgNO_3 (0,1N) l'apparition d'une teinte rougeâtre du précipité cette couleur doit persister 1 à 3 min.
- Soit V le volume de la solution AgNO_3 (0,1N).

Expression des résultats :

$$(\text{Cl}^-) \text{ mg/l} = V \times 3.55 \text{ mg/l de Cl}^-$$

II.3.5. Les sulfate

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (Evaporation d'eau de mer : $1 < C < 20$ mg/l) et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (Galène, blende et pyrite) [19].

D'une façon générale, la présence de sulfate dans des eaux naturelles "non polluées" invoque la présence de gypse ou de pyrite [19]

Les ions sulfates sont dosés en milieu acide, présence du chlorure de Baryum avec lequel ils forment le sulfate de Baryum, très peu soluble est très fin, ce qui confère à la solution un aspect colloïdal, susceptible d'être dosé par spectrophotométrie. Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfates de Baryum en présence de BaCl_2 [7].



➤ **Mode opératoire :**

- Prendre 20 ml d'eau analysé puis compléter à 100 ml distillée.

- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de Baryum $BaCl_2$.
- Ajouter énergiquement pendant 5 min.

➤ **Expression des résultats :**

- Observation de colorations.
- Lecteur dans le spectromètre UV visible.

La spectroscopie d'absorption dans l'UV et le visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée.

II.4. Des éléments traces métalliques

Ces éléments ont été analysés par le SAA (Spectroscopie d'Absorption Atomique) est une technique d'analyse très sélective permet le dosage des éléments métalliques à l'état de traces (quelques ppm), n'a cessé d'évoluer dans le sens de l'accroissement de sa sensibilité, sa fiabilité et sa reproductibilité [18].

Cette technique qui emploie les transitions électroniques à travers l'excitation des électrons en les transformant en signaux électroniques via un dispositif assez complexe, mais a toujours été associée au dosage des éléments traces métalliques (ETM) dans leurs différentes matrices. La maîtrise de la théorie et du principe de fonctionnement d'un équipement de spectrométrie d'absorption atomique est indispensable pour un chimiste analyste qui souvent est appelé à réaliser des dosages de minéraux dans des systèmes les contenant comme éléments gênants ou toxiques [20].

L'utilisation de cette technique d'analyse (SAA) dans notre travail est pour le dosage de certains éléments qui est présenté principalement dans le gisement polymétallique de Tala Hamza et son impact sur les sources d'eau située à proximité [20].

II.5. Analyse par spectroscopie d'absorption atomique

II.5.1. Principe

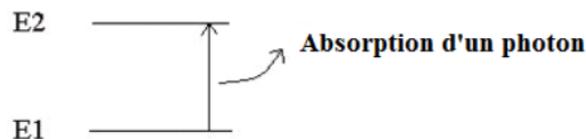
L'absorption atomique est un processus qui se produit lorsqu'un atome appartenant à l'état fondamental passe à l'état excité par l'absorption d'une énergie, sous la forme d'un

rayonnement électromagnétique, qui correspond à une longueur d'onde spécifique. Le spectre d'absorption atomique d'un élément est constitué d'une série de raies de résonance.

La spectrométrie d'absorption atomique étudie les absorptions de lumière par l'atome libre. C'est une des principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique dans le domaine UV-visible utilisée en analyse chimique.

Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites [20].

La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre : $\Delta E = h\nu$ où h est la constante de Planck et ν est la fréquence du photon absorbé. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés.



Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant selon la loi de distribution de Boltzmann, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments à doser. L'analyse par absorption atomique exprimé par la loi de Beer- Lambert [21].

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c$$

Avec :

- **A** : absorbance.
- **ϵ** : coefficient d'extinction molaire ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$).
- **l** : longueur du trajet optique (cm).
- **c** : concentration de la solution (mol/L).

ϵ et l étant de valeur constantes, l'absorbance mesurée est directement proportionnelle à la concentration.

II.5.2. Appareillage

Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique comportent quatre parties principales :

- 1- Le faisceau lumineux issu de la source.
- 2- traverse la chambre d'absorption (flamme ou four)
- 3- dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur
- 4- qui sélectionne un intervalle très étroit de longueurs d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur

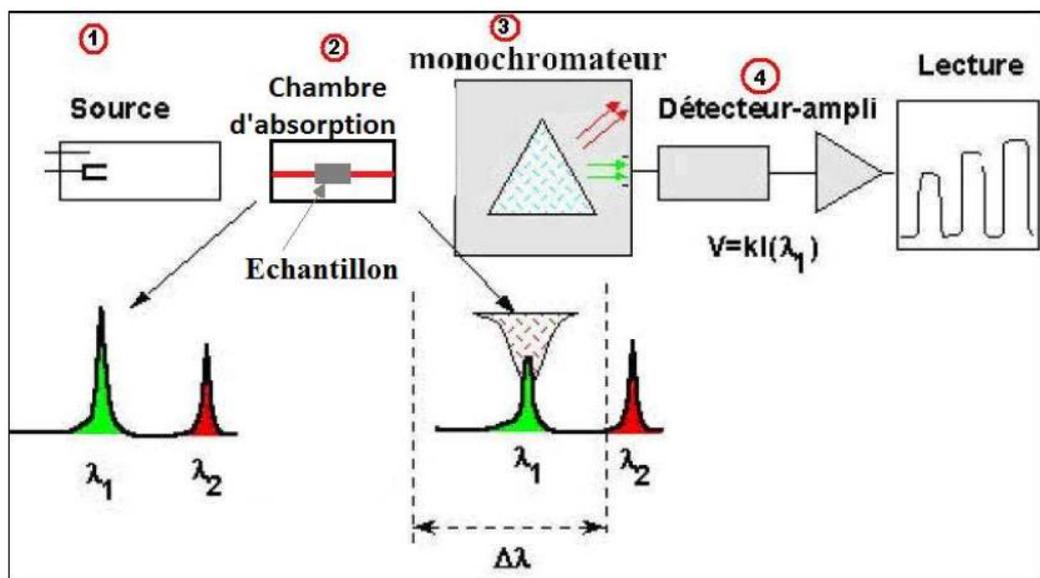


Figure II.4 : Les instruments de base pour la spectrométrie d'absorption atomique [20]

II.5.3. Source lumineuse

Elle consiste à émettre une radiation de résonance par l'élément même qu'on veut doser. Les sources d'émission doivent être stables dans le temps, présenter une luminance élevée pour le spectre de l'élément avec un fond continu faible et enfin avoir une durée de vie assez longue. Elles sont généralement constituées de lampe à cathode creuse ou lampe à décharge électronique [16].

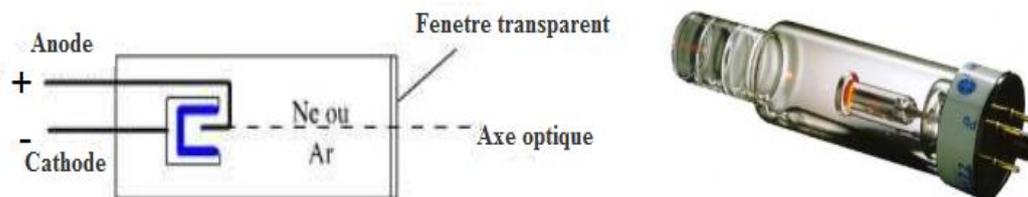


Figure II.5 : Cathode creuse : source pour la spectrométrie d'absorption atomique [21]



Figure II.6 : Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA)

II.6. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie d'absorption atomique

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme à une température très élevée, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et à l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés. Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées [20].

Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'une lampe au Deutérium (correcteur de bruit de fond). En plus de la simple dilution ou de la minéralisation par voie humide souvent décrite, on préconise l'utilisation d'une solution de modificateur de matrice qui permet de transformer l'élément à doser en ses formes les plus stable thermiquement : composés oxydes, formes réduites ou phosphates,... La formation des atomes neutres est réalisée par la vaporisation et l'atomisation dans une flamme air-acétylène [20].

II.6.1. Le Zinc

Le zinc appartient au groupe II B de classification périodique des éléments, est indispensable au métabolisme des êtres vivants (algo-éléments), présent naturellement dans la croûte terrestre, son état d'oxydation est Zn^{2+} . Le minerai principal est la blende, (sulfure de zinc, ZnS). Cependant certaines éléments du Zn, Chlorure ($ZnCl_2$), sulfates ($ZnSO_4$), nitrate ($ZnNO_3$), sont plus toxique que d'autre [22].

Le zinc est naturellement présent dans les roches, le sol, l'eau et l'air. Il est indispensable à la santé des hommes, des animaux et des récoltes et au bien-être de tous. Toute carence en zinc se traduit fréquemment par un mauvais rendement et une mauvaise qualité des récoltes, tandis qu'un manque de zinc dans l'alimentation est un problème grave qui touche des centaines de millions de personnes dans le monde entier [23].

Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion). Il entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers). Il est utilisé dans la construction immobilière, les équipements pour l'automobile, les chemins de fer et dans la fabrication de produits laminés ou formés. Il constitue un intermédiaire dans la fabrication d'autres composés de zinc et sert d'agent réducteur en chimie organique et de réactif en chimie analytique [23].

II.6.2. Le Plomb

Le plomb, du latin *plombum* est un métal lourd largement utilisé dans les activités métallurgiques habituellement trouvé en petite quantité dans la croûte terrestre à une concentration d'environ 15 mg/kg. Il n'a ni goût ni odeur caractéristique. Il appartient au groupe IV B de la classification périodique des éléments. Le plomb, de masse atomique 207,2 g/mol, possède une densité élevée de 11,35 g.cm⁻³. Il possède un point de fusion de 327°C et sa température d'ébullition est d'environ 1740°C [22].

Le plomb est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments : Fe, Cu, Cd, Bi, Sb, Ge, As, Ag, Au. Qui sont en grande partie récupérés lors des opérations métallurgiques. Les minerais mixtes Pb-Zn représentent 70 % de la production minière de plomb, les minerais de plomb en représentent 20 %, et 10 % de la production de plomb proviennent d'une coproduction lors du traitement du minerai de cuivre, de zinc ou d'autres métaux. Le principal minerai du plomb est la galène (PbS) très souvent associé à la blende et à la pyrite.

Le plomb il est présent dans tous les autres compartiments de l'environnement (les roches, eaux, air et même les êtres vivants), par altération de ces dernières, à des teneurs variables selon la composition initiale de la roche mère. La localisation ou la forme chimique du plomb dans l'environnement peut varier selon des phénomènes naturels ou par l'intervention de l'homme. Il existe donc un véritable cycle biogéochimique du plomb (tout comme il existe un cycle pour les éléments majeurs et les autres éléments traces) et au cours duquel le plomb change de compartiment et de forme chimique sous l'influence de processus naturels ou anthropiques. Par fois le plomb est un polluant environnemental, surtout dans les sols et l'atmosphère au voisinage de sites industriels (fonderies, usines de fabrication et de recyclage de batteries...) [22].

II.6.3. Le Cuivre

Le cuivre existe à l'état natif. Il se rencontre surtout sous forme de sulfures CuS et Cu_2S dans la tétrahédrite ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) et l'énargite (Cu_3AsS_4) et sous forme d'oxyde Cu_2O (cuprite). Le minerai le plus important est la chalcopyrite (Cu_2S , Fe_2S_3). On le trouve également dans la malachite ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), l'azurite ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$), la chalcocite (Cu_2S) et la bornite (Cu_3FeS_4). La teneur en cuivre dans les minerais varie de 0,5 % à 5 %. Elle est de 0,01 % dans les roches volcaniques et 0,0055 % dans les roches cristallines [24].

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquitaire. Sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 ppm (30 à 100 ppm). Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols marins constituent les principales sources naturelles d'exposition.

Le cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et particulièrement de sa conductibilité électrique et thermique. Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, dynamos, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie. Il est utilisé en métallurgie dans la fabrication des alliages (bronze (avec l'étain), laiton (avec le zinc)...) [24].

II.6.4. Préparation des solutions d'étalonnages

II.6.4.1. Protocole utilisé

Dans le but d'élaborer une analyse par spectrométrie d'absorption atomique (SAA), il faut établir un protocole de dosage des éléments en trace. Afin de doser ces métaux une solution mère a été préparé [25].

II.6.4.2. Préparation de solution mère pour l'élément de Zinc (Zn)

Pour préparer 1L de solution mère de (Zinc), à partir de nitrate de zinc $Zn(NO_3)_2$, il faut disposer des données suivantes : Pureté ($Zn(NO_3)_2$) est 98%, Masse molaire : 65,409 mol, masse molaire : 297,48 g/mol [25].

Ces données nous permettent de calculer la masse de nitrate de Zinc qu'il faut utiliser pour avoir 1L de solution mère.

$$\begin{array}{l}
 297.48 \text{ g/mol} \longrightarrow 65.409 \text{ g} \\
 X \longrightarrow 1 \text{ g} \quad \Longrightarrow X = 4.547 \text{ g}
 \end{array}$$

Pour une pureté de 100% la masse est calculée $X = 4,547 \text{ g}$, donc pour une pureté de 98% il faut ajouter X_1 (g) de produit.

$$\begin{array}{l}
 4.547 \text{ g} \longrightarrow 100 \% \\
 X_1 \longrightarrow 98 \% \quad \Longrightarrow X_1 = 0.04456
 \end{array}$$

La masse totale pour préparer 1L de solution mère est : $X_T = 4.59156 \text{ g}$ de nitrate de Zinc

Pour 1L de solution mère de Zinc, on pèse 4.59156 g avec une balance de précision, nous versons cette dernière dans une fiole contenant 500 ml d'eau déminéralisée, nous agitons jusqu'à la dissolution totale du produit, après nous continuons avec de l'eau distillée jusqu'au tri de jauge [25].

Introduction

La composition chimique d'une eau est d'une importance capitale dans la détermination de son origine et les roches responsables de la minéralisation et sa qualité, ainsi que le choix de sa destination, que ce soit à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation ou l'industrie.

Dans le chapitre présent on va traiter les caractéristiques physico-chimiques des eaux des sources situées à proximité de gisement polymétallique de Tala Hamza de la wilaya Béjaia.

Pour y arriver, nous avons effectué une campagne de prélèvements et analyses sur une multitude des sources de la région de gisement, avec sept (07) échantillons, les prélèvements ont été faits au mois d'Avril 2019.

Les analyses Physico-chimiques sont effectuées par laboratoire de Cevital (Unité eau minérale Lala Khedidja). Pour réaliser cette étude, sept analyses ont été effectuées sur les eaux des sources, elles portent sur les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^-), pour les métaux lourds (Pb, Zn, Cu) l'analyses s'effectués au niveau de laboratoire de génie de procédés de l'université de Béjaia.

Pour cela, un certain nombre des diagrammes ont été élaborés et qui serviront de base pour l'interprétation des résultats des analyses physico-chimique.

III.1. Les paramètres organoleptiques

Les résultats des paramètres organoleptiques des sept échantillons sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.1: analyse des paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques	Couleur	Odeur	Saveur
Tala Ighil ouyazit	Jaunâtre	Sans	Absence
Tala Acherchur	Incolore	Sans	Absence
Tala Tiziri	Incolore	Sans	Absence
Tala Izeghayen	Incolore	Sans	Absence
Tala Weghras oufela	Incolore	Sans	Acide
Tala Ath Dali	Incolore	Sans	Très acide
Tala Waghras Wada	Incolore	Sans	Absence

Après un simple examen visuel sur les échantillons placés dans des récipients, nous avons constaté que les eaux de six échantillons sont transparentes incolores sauf l'eau de la source **Tala Ighil Ouyazit** qui présente une couleur jaunâtre qui est du probablement à la turbidité (présence de matière en suspension).

Tous les échantillons sont sans Odeur et sans gout sauf les deux sources **Tala Weghras oufela** et **Tala Ath Dali** qui ont le gout est Acide.

III.2. Les paramètres physiques

III.2.1. La température

En rapport avec les normes de potabilité de l'eau fixée par l'OMS (2006) ; la qualité de l'eau est : médiocre lorsque la température est entre 25°C et 30°C ; passable lorsque la température est comprise entre 22°C et 25°C, bonne lorsqu'elle est dans l'intervalle de 20°C et 22°C.

Les mesures de températures des échantillons sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.2: températures des échantillons analysés

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghbras Wada
T °C	25.0	25.3	25.5	25.3	24.9	25.1	24.9

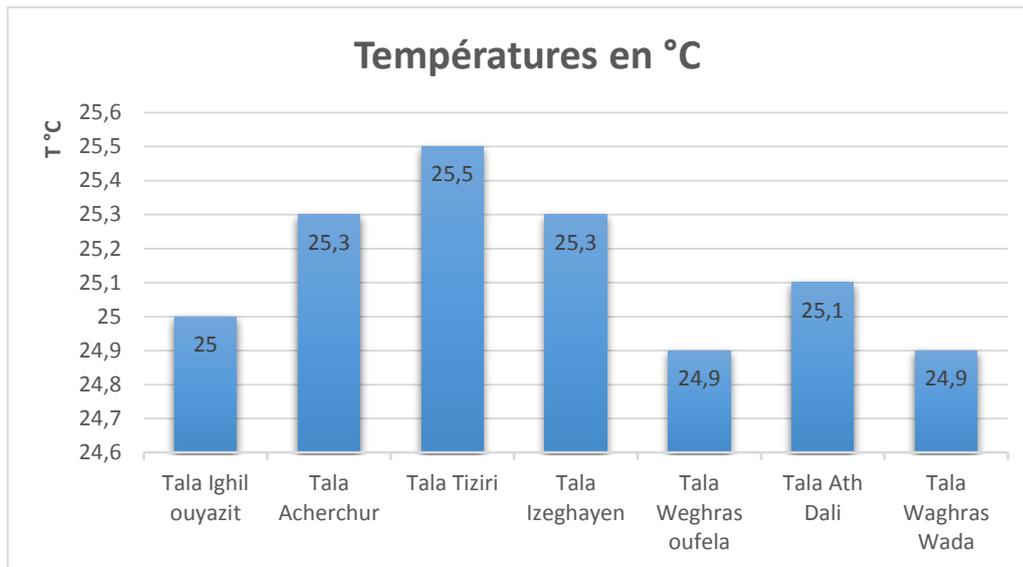


Figure III.1 : Variations des températures des échantillons

Les résultats des analyses des échantillons d'eau montrent une température varie entre 24,9 °C et 25,5 °C, ces valeurs sont entre 22°C et 30°C. En comparant ces résultats aux normes, on peut dire que les eaux des sources Tala Acherchur, Tala Tiziri, Tala Izeghayen et Tala Ath Dali sont de qualité médiocre et les autres sources sont passables. Donc ils sont conformes avec les normes de l'OMS et les normes Algériennes.

III.2.2. Le pH

Le pH indique le caractère acide ou basique de l'eau. Il est lié à la nature des terrains traversés. D'une façon générale, les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux ont un pH voisin de 7 et quelquefois un peu inférieur (environ 6) [8].

Les tests de pH des échantillons sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.3: Variation de pH mesurés des échantillons

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghra Wada
pH	6.93	7.01	7.47	7.22	5.60	2.69	6.33

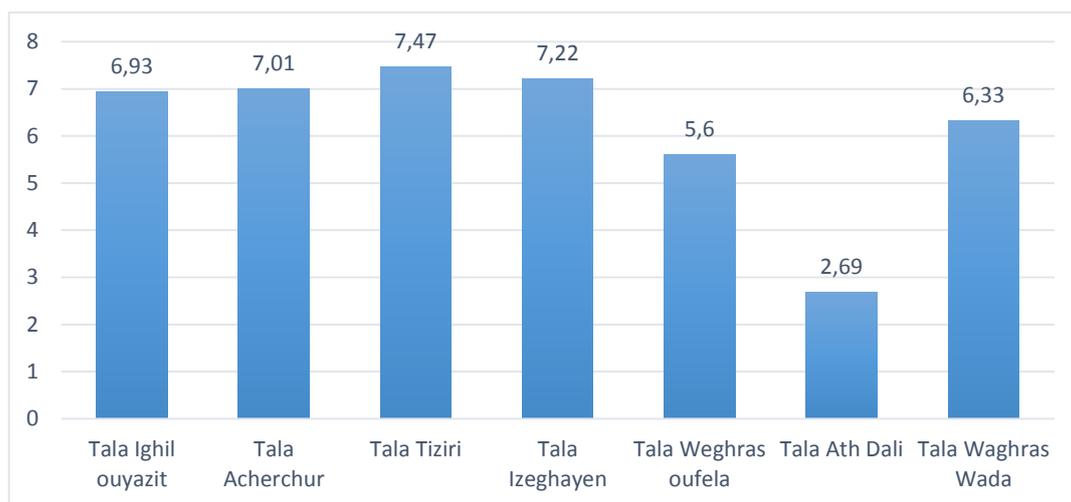


Figure III.2 : Variation de PH des échantillons

Les normes édictées par la réglementation locale et internationale en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH situé entre 6,5 et 9,5. En comparant les résultats obtenus (**Tableau III.3**) lors des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude à ces normes. Il ressort que seuls quatre échantillons ont des pH réglementaires : Tala Ighil ouyazit, Tala Acherchour, Tala Tiziri et Tala Izeghayen). Les trois échantillons restants présentent un pH acide (Tala Weghras oufela et Wada) à très acide pour la source de Ath Dali avec un pH de 2,69.

III.2.3. La conductivité électrique

La conductivité permet de savoir le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous formes d'ions chargés électriquement.

Les résultats de la conductivité des échantillons sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Variation des conductivités des échantillons

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghbras Wada
C25°c ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	315	242.7	1556	644	474	1824	311

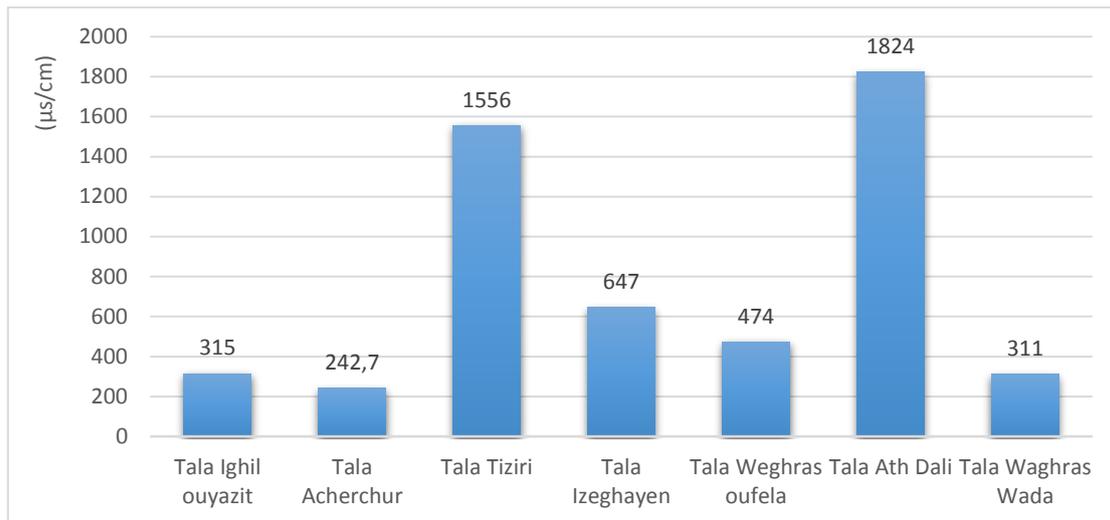


Figure IV.3 : Variation des conductivité des échantillons

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux de la zone d'étude (**Tableau III.5**) sont comprises entre 242.7 et 1824 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Et donc on a les eaux des sources Tala Ighil ouyazit, Tala Acherchour et Tala Waghbras Wada sont de excellentes qualités, et les sources Tala Izeghayen et Tala Weghras oufela est de bonne qualité. Et une forte minéralisation pour les sources Tala Tiziri et Tala Ath Dali.

III.2.4. La turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne. La mesure se fait par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise dans l'échantillon d'eau et par une gamme étalon.

Les résultats de la turbidité des échantillons sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.5 : Variation de la turbidité entre les échantillons

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghbras Wada
Turbidité (NTU)	14.54	0.39	0.09	4.83	0.36	0.24	4.38

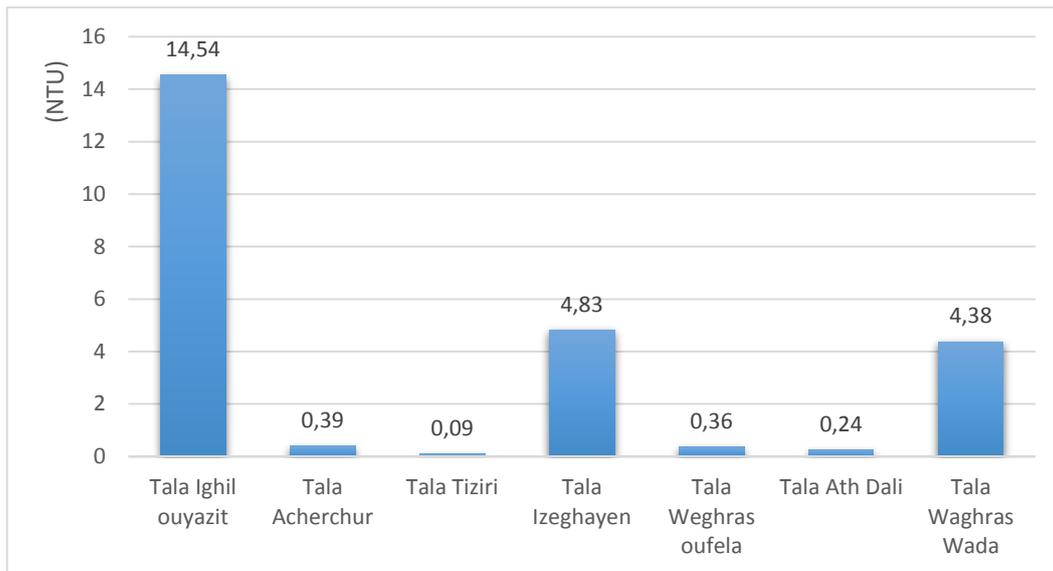


Figure III.4 : Variation de la turbidité des échantillons

Les différences de valeurs mesurées sur nos échantillons sont relativement basses allant de 0.09 à 4.83 NTU à l'exception de Tala Ighil ouyazit qui présente une valeur assez élevée de 14.54 NTU ce qui explique la couleur jaune de cette eau.

III.2.5. Les matières en suspension

Dans une eau, les particules fines en suspension sont soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels. Ces particules génèrent des effets mécaniques et chimiques néfastes, L'effet chimique est représenté par le fait de la constitution d'une réserve de pollution potentielle dans les sédiments.

Tableau III.6 : Variation de la matière en suspension des échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghrras Wada
MES (mg/l)	34.10	22.03	0.02	05.02	0.43	0.03	0.01

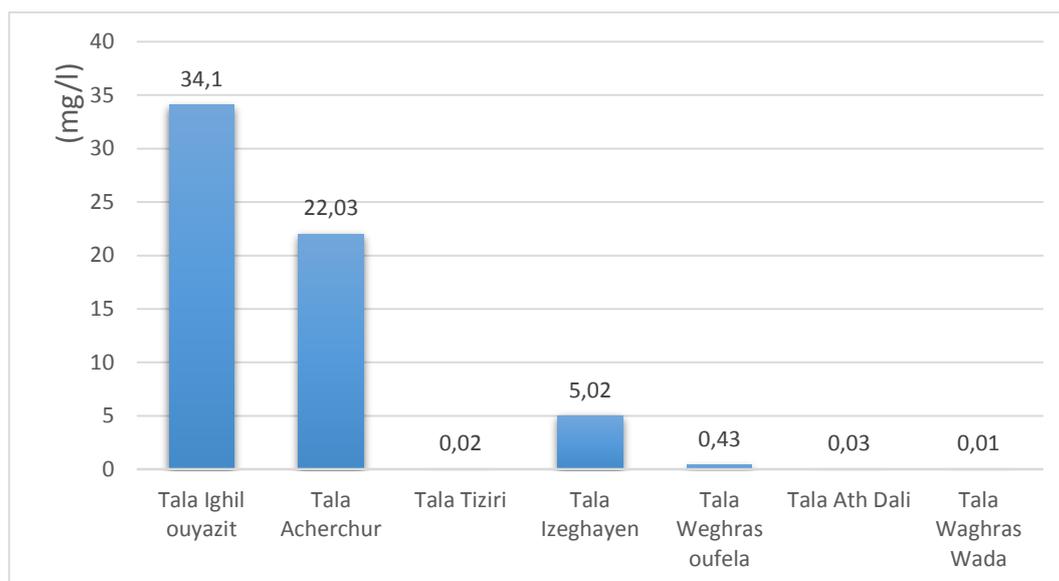


Figure III.5 : Variation de la matière en suspension des échantillons d'eau

Selon les normes de potabilité Algérienne et de l'OMS la valeur maximale admissible des matières en suspension est fixée d'une valeur de 25 mg/l [7].

D'après les résultats des analyses des échantillons d'eau six des échantillons sont conformes leurs valeurs sont comprises entre 0,01 et 22.03 mg/l. seule l'échantillon de tala Ighil ouyazit qui présente une valeur supérieure à la norme qui est de 34.10 mg/l.

III.3. Les paramètres chimiques

III.3.1. Alcalinité (TA- TAC)

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'hydrogénocarbonates (HCO_3^-), de carbonates (CO_3^{2-}), d'ions hydroxydes (OH^-) et d'une façon plus limitée. On distingue le titre alcalimétrique simple (TA) qui mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates alcalins caustiques, du titre alcalimétrique complet (TAC) qui correspond à la teneur en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates [15].

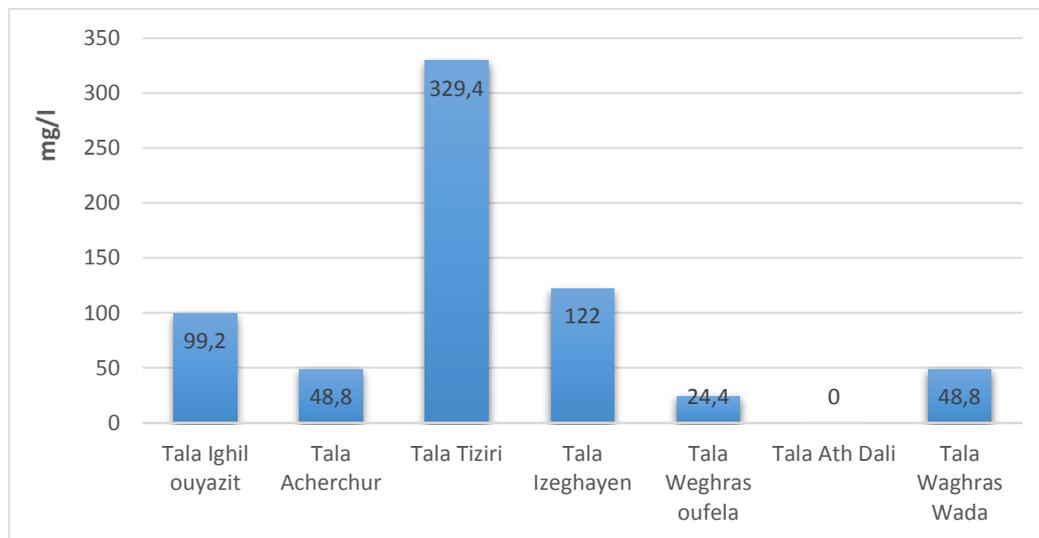
Les valeurs enregistrées de TA et TAC sont représentées dans les deux tableaux suivant :

Tableau III.7 : les valeurs de TA enregistré dans les échantillons

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghbras Wada
TA (°F)	00	00	02	00	00	00	00
TA (mg/l)	00	00	24.4	00	00	00	00

Tableau III.8 : les valeurs de TAC enregistré dans les échantillons

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghbras Wada
TAC (°F)	8	4	27	10	02	00	04
TAC (mg/l)	99.2	48.8	329.4	122	24.4	00	48.8

**Figure III.5** : la variation de TAC dans les échantillons

D'après les résultats obtenus, la valeur du TA dans les sept échantillons est nulle sauf dans l'échantillon 03 est égale à (02), ce qui nous permet de conclure que les eaux ne contiennent que des hydrogénocarbonates.

Cependant, le TAC enregistré dans l'ensemble des échantillons est important mais irrégulier. Il varie entre 00°F et 27°F, cette forte alcalinité est en relation avec l'augmentation de la minéralisation suite aux apports des eaux riches en cations et en anions.

III.3.2. Dureté totale ou Titre hydrométrique (TH)

La dureté totale au niveau des eaux souterraines est généralement plus élevée, due probablement à la mobilisation des sels solubles présents dans l'horizon superficiel du sol. La dureté est un caractère naturel et correspond au lessivage des terrains traverses. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à 7°F, est une eau très douce et très dure supérieure à 42°F [7].

Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1 g/L de CaCO₃ par contre les eaux en provenance de terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux auront des duretés très faibles [7].

Les résultats des analyses sur la dureté totale des échantillons sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.9 : les valeurs de la dureté mesurée des échantillons

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghras Wada
(°F)	10	05	24	15	11	42	09
Dureté (mg/l)	100	50	240	150	110	420	90

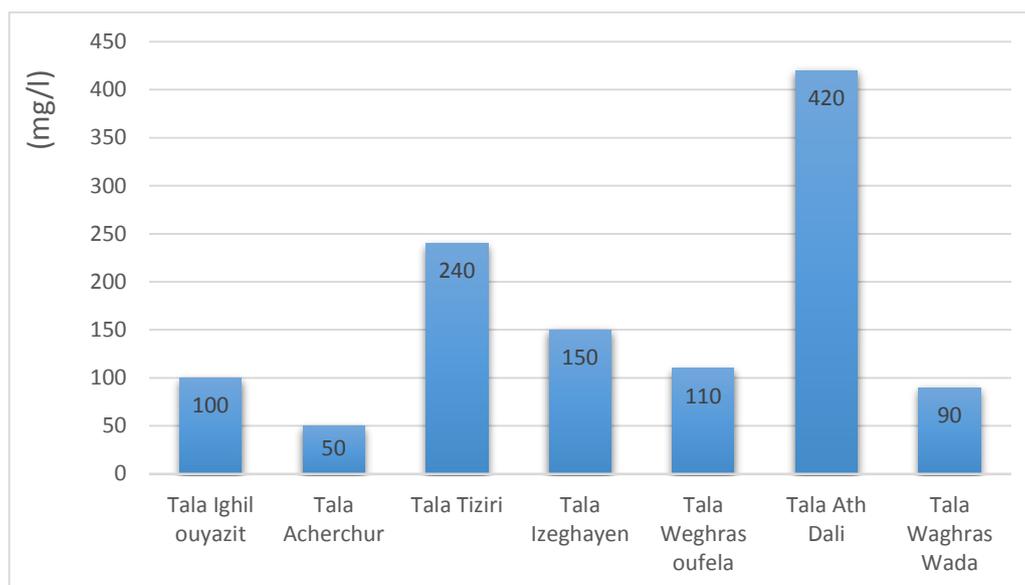


Figure III.6 : la variation de la dureté entre les échantillons

L'analyse des résultats obtenus montre une gamme assez large allant d'une source très douce, tala Acherchour, avec une valeur de TH de 5°F ; et trois sources douce, Tala Ighil ouyazit, Tala Weghras oufela et Tala Waghra Wada. Et les deux sources Tala Tiziri et Tala Izeghayen son moyennement dure, une source très dure, tala Ath Dali, avec une valeur de TH de 42°F.

III.4. Les éléments majeurs présentés dans l'eau

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par 8 ions, appelés couramment les majeurs. On distingue les cations : Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium, et les anions : Chlorure, Sulfate, Nitrate, et bicarbonate. Les indications présentées dans ce paragraphe sont utiles pour interpréter les résultats d'analyses courantes.

Tableau III.10 : Les normes chimiques fixées par l'OMS

Eléments chimiques	Concentrations	
	Maximale acceptable (mg/l)	Maximale admissible (mg)
Calcium Ca^{2+}	75	200
Magnésium Mg^{2+}	50	150
Sodium Na^+	20	150
Potassium K^+	10	10
Sulfates (SO_4^{2-})	200	400
Chlorures Cl^-	200	600
Bicarbonates (HCO_3^-)	Pas de normes	Pas de normes

III.4.1. Le calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés [18].

Tableau III.11 : Concentration de calcium dans les échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghra Wada
Ca ²⁺ (mg/l)	84.23	110.05	68.02	76.81	123.8	52.23	57.40

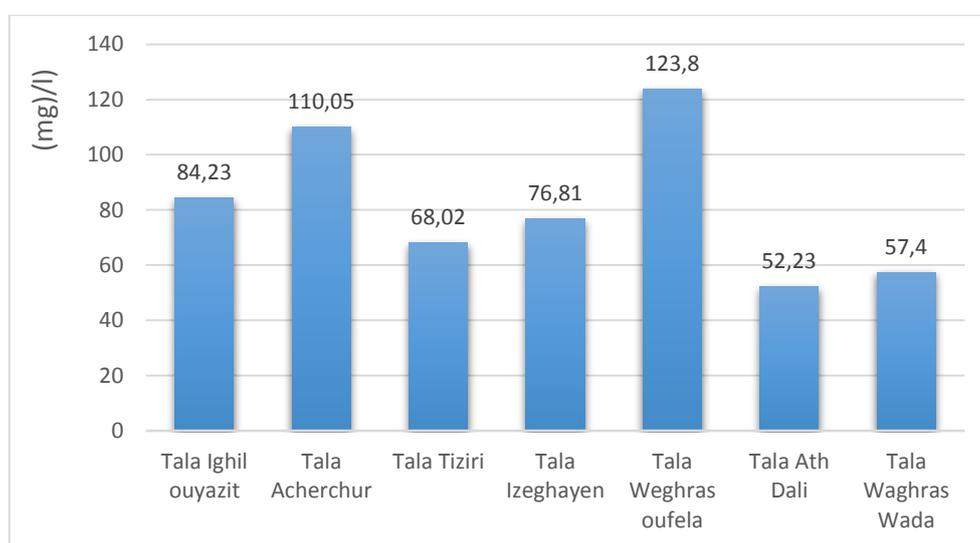


Figure III.7 : Variation de la teneur en calcium dans les échantillons d'eau.

D'après les normes de l'OMS pour l'eau potable, la valeur maximale admissible des teneurs en calcium est de 200 mg/l, en comparant avec les résultats des analyses des échantillons d'eau concernant la teneur en calcium sont toutes inférieures à la valeur de 200 mg/l, donc ils sont dans les normes de potabilité.

III.4.2. Magnésium

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre [7].

La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen). À partir d'une concentration de 100

mg/l. Le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques, les sels de magnésium et surtout les sulfates ont un effet laxatif à partir de 400 à 500 mg/L.

À titre indicatif, les anciennes directives du Conseil des communautés européennes indiquaient comme teneur du magnésium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 30 mg/L et une concentration maximal admissible de 50 mg/L. L'ancienne réglementation française retenait comme valeur limite 50 mg/L. Les réglementations actuelles ne préconisent pas de normes pour ce paramètre.

Tableau III.12 : Concentration de magnésium dans les échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghrras Wada
Mg ²⁺ (mg/l)	43.12	34.02	17.41	44.17	38.61	16.04	48.21

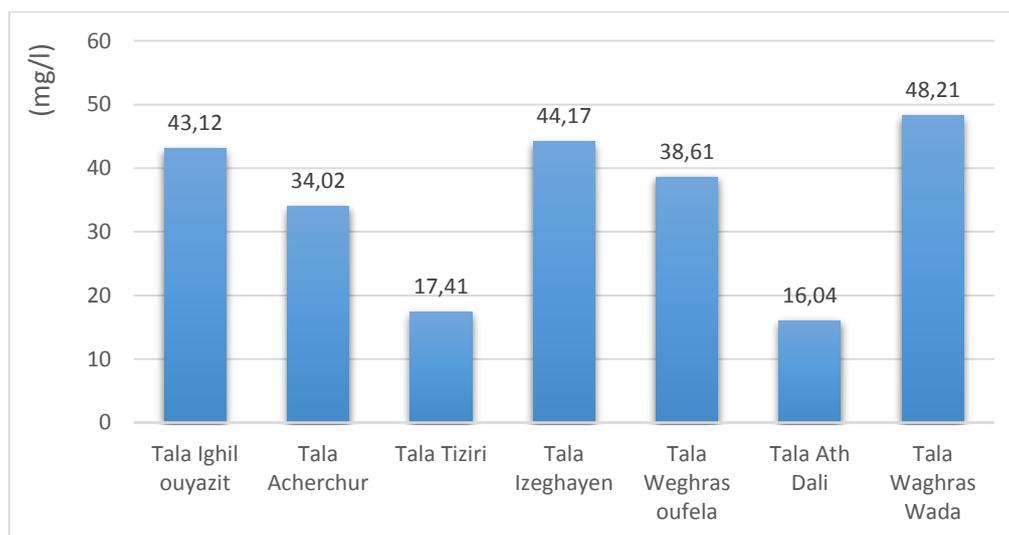


Figure III.8 : Variation de la teneur de magnésium des échantillons d'eau

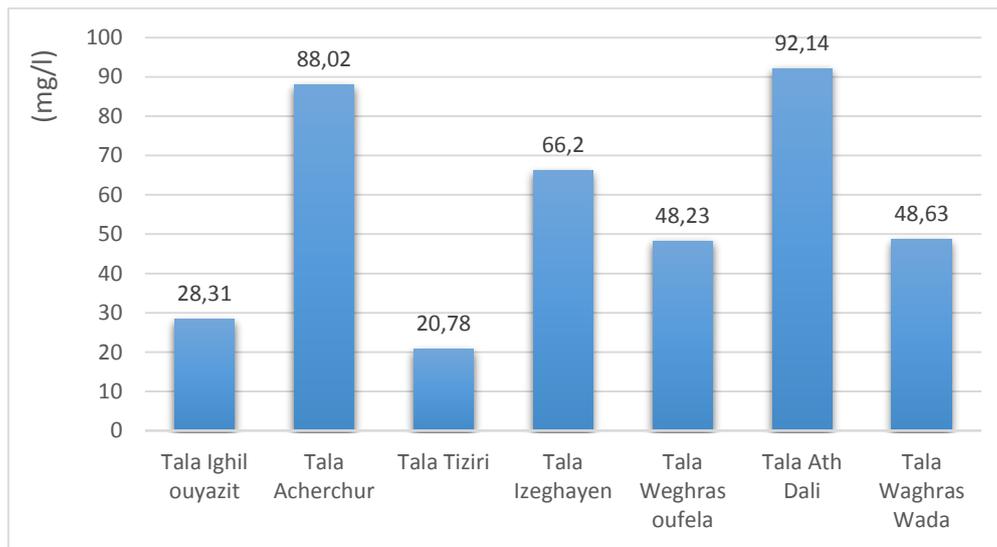
Les résultats d'analyses trouvés ils sont varié entre 16.04 (mg/l) à 48.21 (mg/l) alors ils sont toutes inférieures à la valeur de 50 mg/l, donc ils sont dans les normes de potabilité.

III.4.3. Le sodium

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà. L'OMS recommande une valeur limite de 150 mg/L, fixée d'après des critères gustatifs.

Tableau III.13 : Concentration de sodium dans les échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghrras Wada
Na ⁺ (mg/l)	28.31	88.02	20.78	66.70	48.23	92.14	48.63

**Figure III.9** : Variation de la teneur de Sodium des échantillons d'eau

Les résultats d'analyses trouvés ils sont varié entre 20.78 (mg/l) à 92.14 (mg/l) alors ils sont toutes inférieures à les normes, donc elles sont faiblement à modérément sodique.

III.4.4. Le potassium

Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/L. Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent comme teneur en potassium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 10 mg/l.

Tableau III.14 : Concentration de potassium dans les échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghrras Wada
K ⁺ (mg/l)	05.02	03.00	05.31	08.60	08.12	04.00	06.24

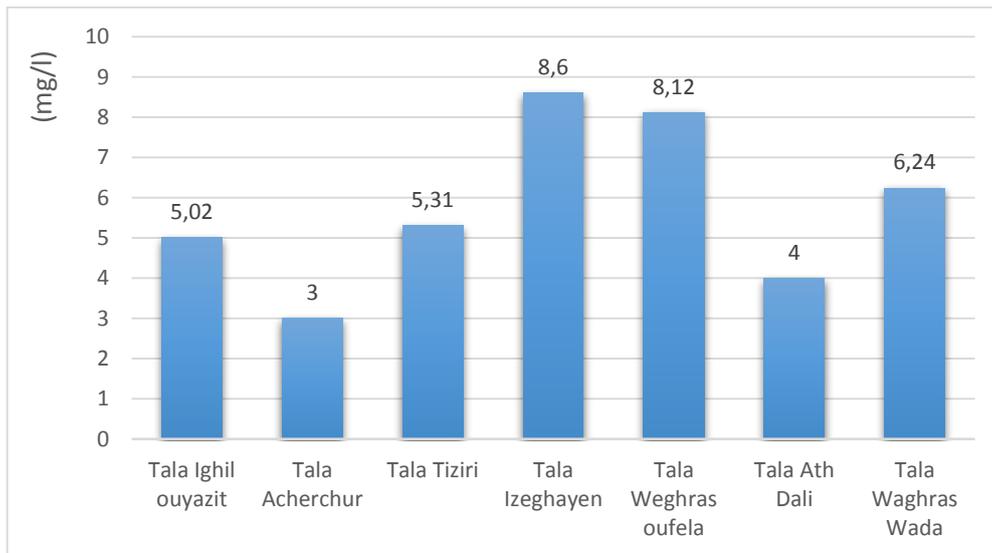


Figure III.10 : Variation de la teneur de potassium des échantillons d'eau

Les concentrations du K^+ varient de 03 (mg/l) à 08.60 (mg/L) ses valeurs sont faibles et par conséquent conformes aux normes.

III.4.5. Les chlorure

L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 200 mg/L pour des considérations gustatives et des risques de corrosion.

Tableau III.15 : Concentration des chlorures dans les échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghbras Wada
Cl^- (mg/l)	38.12	42.51	17.79	25.13	61.43	78.02	48.14

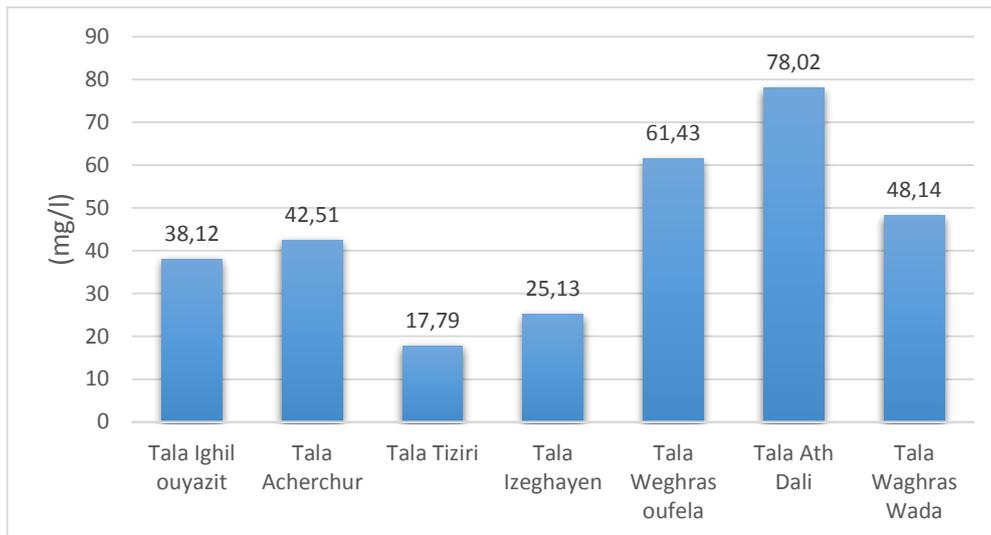


Figure III.11 : Variation de la concentration des chlorures des échantillons d'eau

Les analyses des échantillons d'eau prélevées ont révélées des quantités normales de chlorures allant de 17.79 (mg/l) à 78.02 (mg/l), selon les normes OMS de potabilité des eaux fixent une valeur maximale admissible de la teneur des chlorures égaux à 600 mg/l dans les eaux de consommation.

III.6. Les Bicarbonates

Les résultats des analyses sur les bicarbonates dans les échantillons sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.16 : Concentration des ions bicarbonates dans les échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghbras Wada
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	124.12	231.01	201.78	175.69	219.09	287.39	112.80

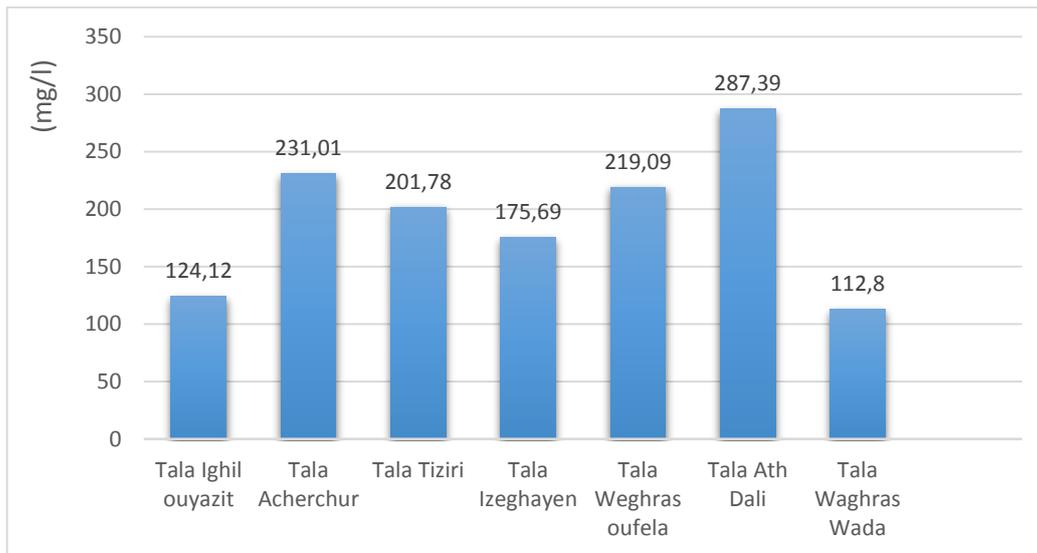


Figure III.12 : Variation de la concentration des ions bicarbonates des échantillons d'eau

Concernant les ions bicarbonates, il n'existe pas de concentration maximale admissible légale. Les eaux analysées de la nappe sont caractérisées par une concentration en bicarbonates variant entre 112.80 (mg/l) à 287.39 (mg/l).

III.4.7. Les sulfate

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande comme valeur limite 200 mg/L. Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française retiennent cette dernière valeur de 200 mg/L (SO_4). L'organisme est susceptible cependant de supporter des doses plus élevées, sans inconvénient majeur autre qu'une action laxative temporaire.

Tableau III.17 : Concentration des sulfates dans les échantillons d'eau

Echantillon	Tala Ighil ouyazit	Tala Acherchur	Tala Tiziri	Tala Izeghayen	Tala Weghras oufela	Tala Ath Dali	Tala Waghrras Wada
SO_4^- (mg/l)	64.25	112.49	73.56	56.12	59.81	174.33	81.24

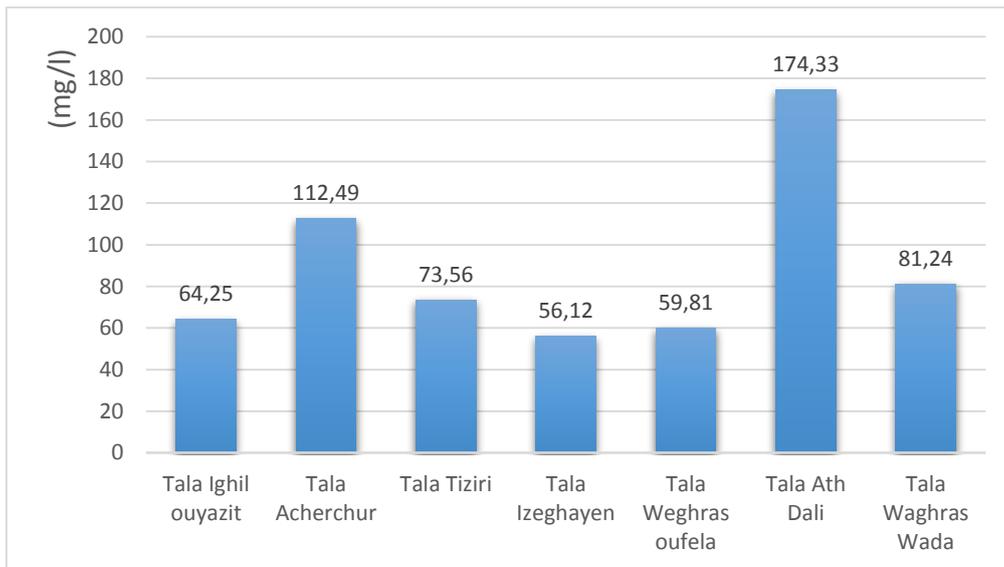


Figure III.12 : Variation de la concentration des sulfates des échantillons d'eau

Les résultats des analyses des échantillons d'eau concernant la teneur en chlorures sont toutes inférieures à la valeur de 200 mg/l, donc ils sont dans les normes de potabilité.

Tableau III.18 : résultats des analyses physico-chimiques des sources d'eau de Tala Hamza

Nom	T°C	PH	C25°c	MES [mg/l]	TH [°f]	TAC [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]	SO ₄ ⁻ [mg/l]	Mg/Ca	Ca/Mg
Tala Ighil ouyazit	25.0	6.93	315	34.10	10	08	84.23	43.12	28.31	05.02	38.12	124.12	64.25	0.844	1.185
Tala Acherchur	25.3	7.01	242.7	22.03	05	04	110.05	34.02	88.02	03	42.51	231.01	112.49	0.510	1.962
Tala Tiziri	25.5	7.47	1556	0.02	24	27	68.02	17.41	20.78	05.31	17.79	201.78	73.56	0.422	2.369
Tala Izeghayen	25.3	7.22	647	05.02	15	10	76.81	44.17	66.20	08.60	25.13	175.69	56.12	0.948	1.055
Tala Weghras oufela	24.9	5.60	474	0.43	11	02	123.80	38.61	48.23	08.12	61.43	219.09	59.81	0.514	1.944
Tala Ath Dali	25.1	2.69	1824	0.03	42	00	52.23	16.04	92.14	04	78.02	287.39	174.33	0.506	1.975
Tala Waghra Wada	24.9	6.33	311	0.01	09	04	57.40	48.21	48.63	06.24	48.14	112.80	81.24	1.385	0.722

III.5. Contrôle des résultats de l'analyse de l'eau

III.5.1. Caractérisation hydrochimiques

Pour interpréter les résultats d'analyses, nous avons utilisé logiciel **Diagrammes** :

III.5.2. Présentation logiciel d'Hydrochimie Diagrammes

Dans le but de bien identifier les différents faciès hydrochimiques des eaux de surface et souterraines et d'avoir une meilleure indication sur les éléments dissous et leurs répartition spatiales, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours aux diagrammes de **PIPER** et de **SCHOELLER BERKALOFF** en utilisant le logiciel **Diagrammes**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon).

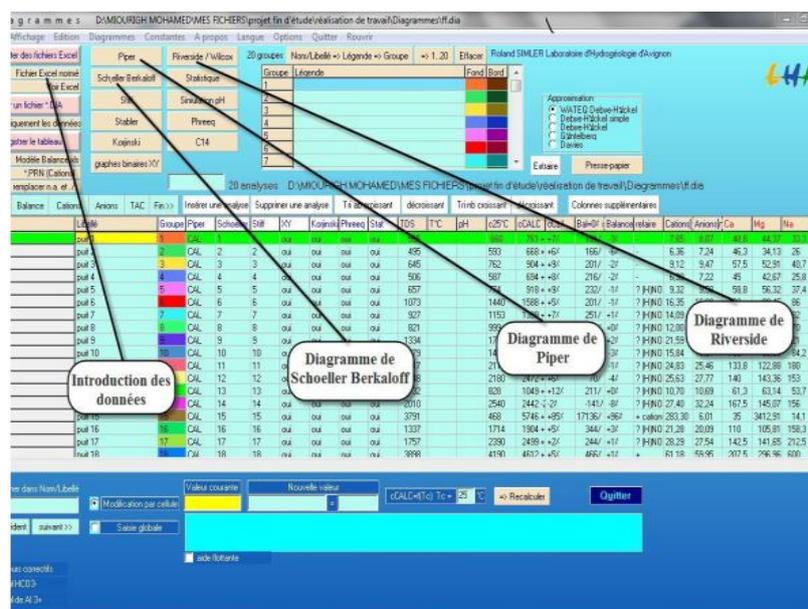


Figure III.13 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie

III.6. Classification des eaux

Les nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une eau, induisent l'utilisation des représentations graphiques. L'objectif principal est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques voisines

ou de proximité géographique. Les quatre graphiques de Piper, Stiff, Riverside et Schoeller-Berkaloff sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes.

III.6.1. Diagramme de piper

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Dans ce losange, le pôle haut correspond à 100% de sulfate et chlorure et 100% de calcium et magnésium, le pôle bas représentant 100% de carbonate et bicarbonate et 100% de sodium et potassium.

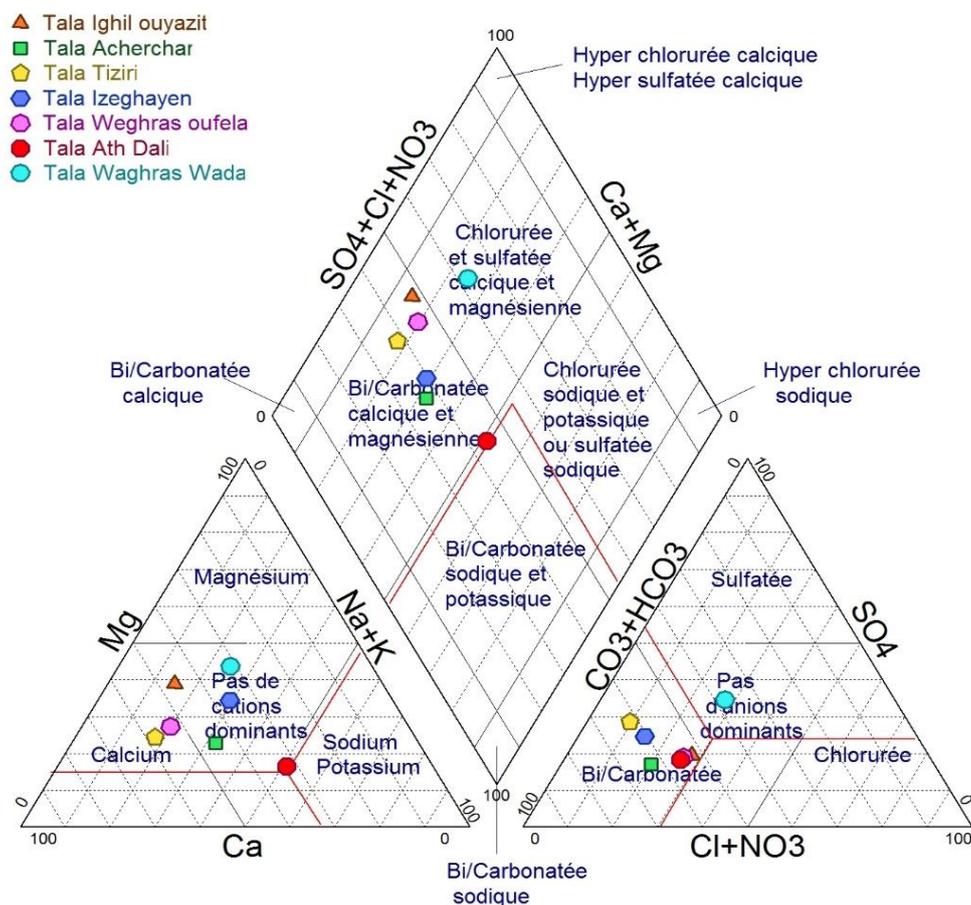


Figure III.14 : Diagramme de Piper des sources de Tala Hamza

D'après le diagramme de piper on constate que l'analyse chimique des prélèvements de l'eau des sources a révélé un faciès bicarbonate calcique et magnésienne pour l'ensemble des eaux avec une légère tendance de migration vers le faciès bicarbonates sodique et potassique

pour les eaux de la source (Tala Ath Dali). Cette évolution atteste d'une origine commune vraisemblablement par dissolution du calcaire. Et pour la source de (Tala Waghras Wada) révélé sur un faciès chlorurée et sulfatée, calcique et magnésienne, ce qui pourrait être à l'origine d'un apport superficiel des chlorures issus de lessivage de formations superficielles ou d'origine anthropique.

III.6.2. Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff présente les analyses de façon différente. Les cations présentés à gauche de l'axe vertical sont les ions sodium et potassium, le calcium et le magnésium. Les anions, présentés à droite de l'axe, sont les chlorures, les bicarbonates, les carbonates et les sulfates. L'axe horizontal exprime les concentrations en méq/L. Un polygone est dessiné en reliant les points correspondant aux différentes concentrations. Pour une eau équilibrée, l'aire de la partie droite (anions) devrait égaler celle de la partie gauche (cations).

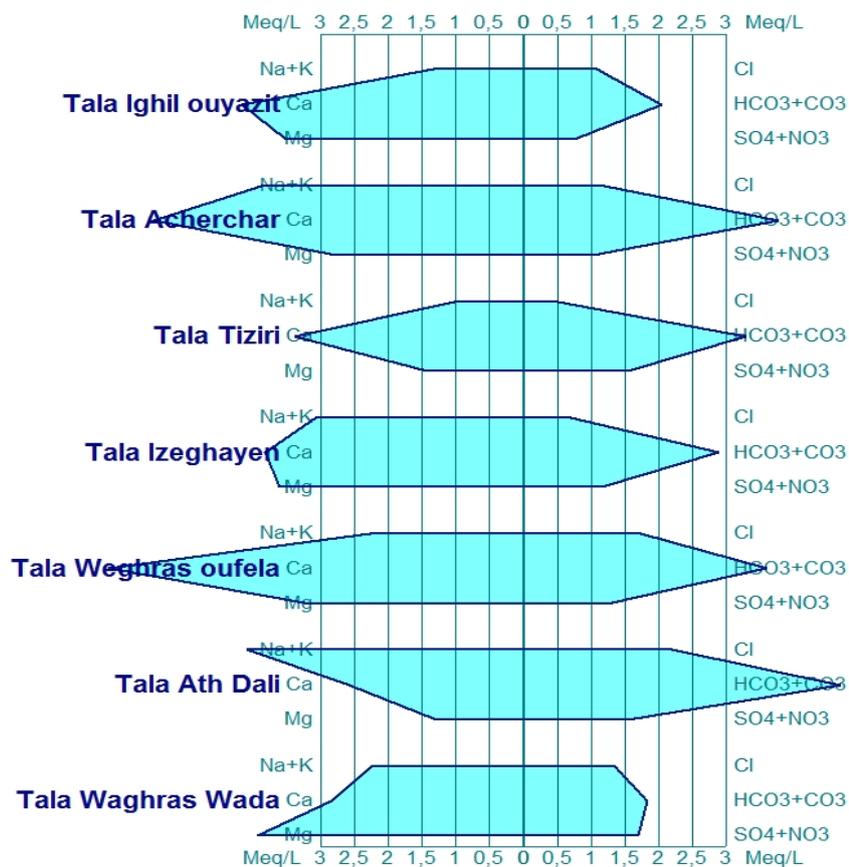


Figure III.15 : Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme Stiff

D'après le diagramme de Stiff les caractéristiques des échantillons analysés sont celles d'une eau à domaine bicarbonates calcique pour les sources Tala Acherchar, Tala Tiziri et Tala Weghras oufela, et pour Tala Ighil ouyazit et Tala Izeghayen et Tala Weghras Wada présenté des faciès calcique et magnésien. La source Tala Ath Dali présenté le faciès bicarbonates sodique et potassique.

III.6.3. Le diagramme de Schoeller Berkaloff

Le diagramme de Schoeller permet d'obtenir la qualité chimique des eaux en utilisant les concentrations des ions majeurs. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

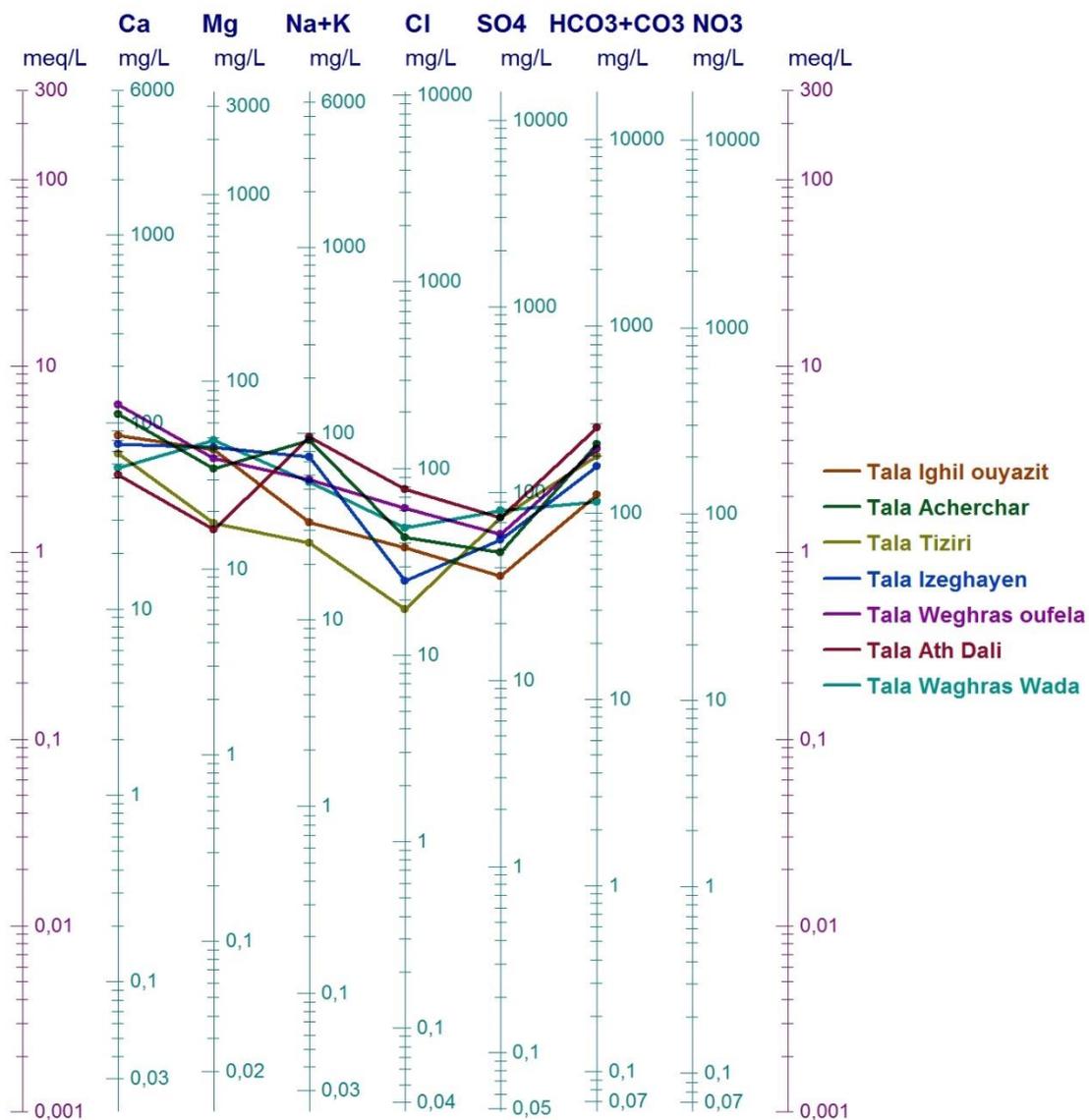


Figure III.16 : Représentation des résultats d’analyses selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Les eaux échantillonnées Tala Weghras oufela, Tala Acherchar, Tala Tiziri et Tala Izeghayen sont caractérisés par le faciès Bicarbonates-calcique et ceux qui prélevés au niveau Tala Ighil ouyazit, Tala Ath Dali et Tala Waghras Wada, présentent un faciès bicarbonaté sodique potassique. Ces faciès peuvent provenir de la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse.

Tableau III.19 : Les formules caractéristiques de classification des eaux

Point de prélèvement	Formules caractéristiques	Faciès chimique
Tala Ighil ouyazit	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$	Bicarbonates calcique
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	
Tala Acherchur	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$	
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	
Tala Tiziri	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$	
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	
Tala Izeghayen	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$	
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	
Tala Weghras oufela	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^-$	
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	
Tala Waghras Wada	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$	
	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	
Tala Ath Dali	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$	Bicarbonates sodique
	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$	

III.7. Résultats de l'SAA des échantillons

III.7.1. Les courbes d'étalonnage.

III.7.1.1. La courbe d'étalonnage de Zinc (Zn)

Une série de solutions filles a été préparée à partir d'une solution mère de nitrates de Zinc, en vue de l'établissement de la courbe d'étalonnage servant de support de comparaison pour notre dosage spectral. Cette dernière comprendra les concentrations suivantes : 0,5 mg/l, 1mg/l, 2mg/l, 2,5mg/l et 3.5mg/l de nitrates de Zinc.

L'analyse par spectrométrie d'absorption atomique à donner les résultats suivants :

Tableau III.20 : Les données de la courbe d'étalonnage du (Zn)

N°	Concentration en (mg/l)	Absorbance en (nm)
01	0.5	0.175
02	1	0.278
03	2	0.472
04	2.5	0.627
05	3.5	0.811

Ces résultats nous permettent de tracer la courbe suivant :

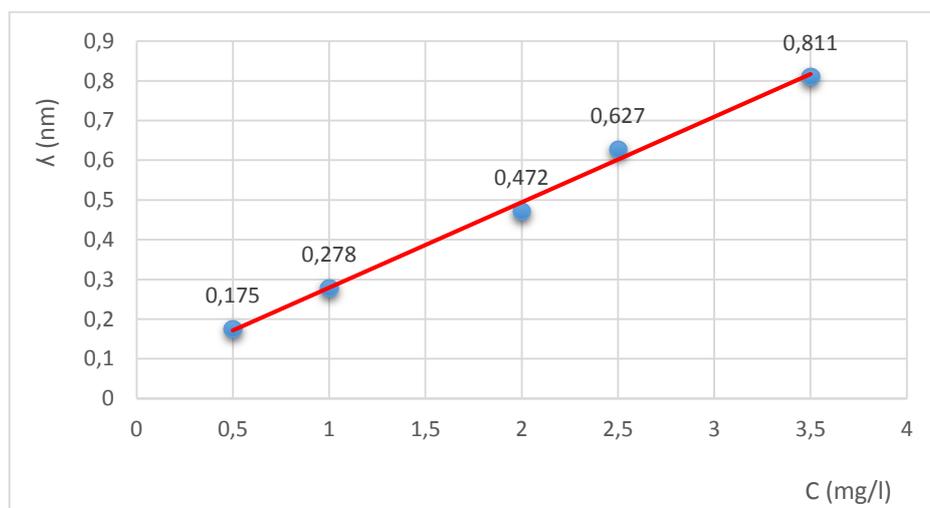


Figure III.17 : Courbe d'étalonnage de Zinc (Zn)

La forme linéaire de cette courbe donne l'équation suivante :

$$Y = a x + b \text{ ou : } a = 0.22274 ; b = 0.0398$$

$$\text{Alors on a : } Y = 0.22274 x + 0.0398$$

$$R^2 = 0.9948$$

III.7.1.2. La courbe d'étalonnage du plomb (Pb)

Une série de solution filles a été préparée à partir d'une solution mère de nitrates de Plomb, en vue de l'établissement de la courbe d'étalonnage servant de comparaison pour notre dosage spectral. Cette dernière comprendra les concentrations suivantes : 0.2mg/l, 0.5mg/l, 1.5mg/l et 2mg/l.

L'analyse par spectrométrie d'absorption atomique à donner les résultats suivants :

Tableau III.21 : Les données de la courbe d'étalonnage du Plomb (Pb)

N°	Concentration en (mg/l)	Absorbance en (nm)
01	0.2	0.004
02	0.5	0.013
03	1.5	0.041
04	2	0.055

Ces résultats nous permettent de tracer la courbe suivante :

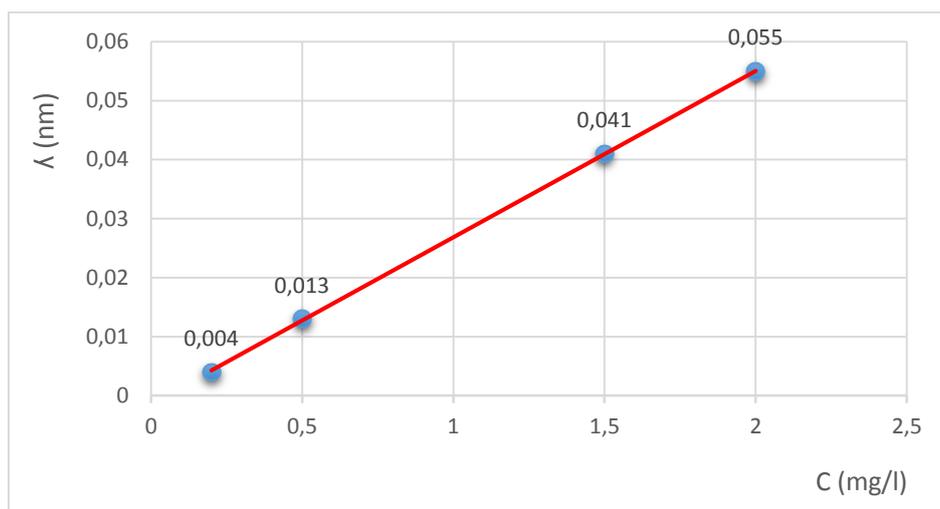


Figure III.18 : Courbe d'étalonnage de Plomb (Pb)

La forme linéaire de cette courbe donne l'équation suivante :

$$Y = a x + b \text{ ou : } a = 0.02764 ; b = 0.0006$$

Alors on a : $Y = 0.02764 x + 0.0006$

$$R^2 = 0.9994$$

III.7.1.3. Courbe d'étalonnage de cuivre (Cu)

Une série de solution filles a été préparée à partir d'une solution mère de nitrates de cuivre, en vue de l'élaboration de la courbe d'étalonnage servant de comparaison pour notre dosage spectral. Cette dernière comprendra les concentrations suivantes : 0,5mg/l, 1mg/l, 1,5mg/l, 2,5mg/l et 3mg/l.

L'analyse par spectrométrie d'absorption atomique à donner les résultats suivants :

Tableau III.22 : Les données de la courbe d'étalonnage du Cuivre (Cu)

N°	Concentration en (mg/l)	Absorbance en (nm)
01	0.5	0.059
02	1	0.102
03	1.5	0.141
04	2	0.190

Ces résultats nous permettent de tracer la courbe suivante :

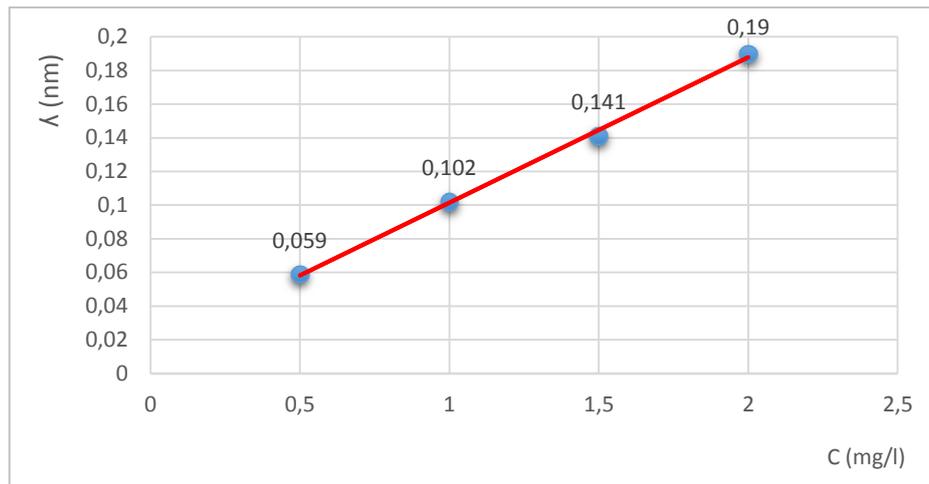


Figure III.19 : Courbe d'étalonnage de cuivre (Cu)

La forme linéaire de cette courbe donne l'équation suivante :

$$Y = a x + b \text{ ou : } a = 0.09468 ; b = 0.0019$$

$$\text{Alors on a : } Y = 0.09468 x + 0.0019$$

$$R^2 = 0.9982$$

III.7.2. Normes conventionnelles des teneurs tolérées

L'analyse par SAA est réalisée sur 07 échantillons de l'eau des zones différentes à proximité de gisement polymétallique de Tala Hamza, pour cela nous avons effectué le dosage de trois (03) métaux lourds à savoir : Zn, Pb, Cu.

Tableau III.22 : Les normes algériennes des rejets d'effluent liquides industrielles

Métaux	Zn	Pb	Cu
Concentration en mg/l	5	1	3

III.7.3 Résultats de la SAA des échantillons de l'eau des sources

Tableau III.24 : Résultats de la SAA des échantillons

Métaux Source	Zinc (Zn)		Plomb (Pb)		Cuivre (Cu)	
	C (mg/l)	λ (nm)	C (mg/l)	λ (nm)	C (mg/l)	λ (nm)
Tala Ighil ouyazit	0.5286	0.155	0.0564	0.003	-0.0174	-0.002
Tala Acherchur	0.4764	0.142	0.0221	0.003	-0.0317	-0.001
Tala Tiziri	1.5250	0.375	0.0229	0.002	-0.0320	-0.003
Tala Izeghayen	1.2301	0.105	0.0575	0.001	-0.0414	-0.005
Tala Weghras oufela	0.0236	0.041	0.0342	0.001	-0.0387	-0.007
Tala Ath Dali	0.1209	0.208	0.0450	0.002	0.1344	0.008
Tala Waghras Wada	0.0103	0.016	0.0071	0.001	0.0537	0.000

Interprétation des résultats de la SAA

D'après les résultats de la SSA pour les échantillons des eaux de sources, nous constatons que les concentrations pour les éléments dosés suivants Zn, Pb et Cu sont toutes au-dessous de la norme, ce qui est due à l'absence de contamination des eaux, via le sol voisin.

Conclusion

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons de l'eau des sources des Tala Hamza ont permis de distinguer le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique des eaux.

L'approche hydrochimique montre l'existence de deux faciès importants : Chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de Tala Weghras Wada et un faciès bicarbonates calcique pour les eaux des autres sources.

Au côté de la toxicité par des métaux lourde l'analyse par la spectroscopie par l'absorption atomique a montré l'absence de contamination des sources

Conclusion

Les eaux constituent une ressource économique et écologique de première importance. Toutefois, ces s'épuisent et leur qualité se dégrade sous l'effet des différentes activités humaines, par ailleurs, la demande en eau est à satisfaire non seulement de points de vu de quantité mais devant répondre surtout aux exigences de qualité.

L'étude de la qualité des eaux de la région de Tala Hamza est une étude hydrochimique qui vise à caractériser la qualité des eaux de cette région et à présenter un esquisse de de la détermination des origines et des comportements des éléments chimiques constituants dans l'eau des sources de Tala Hamza.

Les diverses tendances chimiques des eaux de la région d'étude ont été déterminées grâce au diagramme de PIPER, qui d'après lui, on distinguant deux familles d'eau selon leur faciès chimique : eau chloruré et sulfaté calcique et magnésien et bicarbonates calcique.

Et à côté de la recherche des métaux lourde on a appliqué la technique de d'absorption atomique pour suivi la traces des trois métaux (Zn, Pb et Cu). Et dans nos résultats on a prouvé l'résistance de ces métaux mais à faible teneur (très faible par rapport a les normes) qui est due à l'absence de contamination des eaux, via le sol voisin.

Le chimisme des eaux dépend essentiellement de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Donc l'influence de l'interaction eau-roche est importante sur les évènements majeurs (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^- , HCO_3^- et $\text{Cl}^- \dots$), et la concentration de l'eau dépend de divers facteurs naturels, paramètres climatiques, activité anthropique, temps de séjours dans les aquifère.

Les références

- [1] : **Terramin Australia 2009** dossier d'impact environnemental du projet de zinc de l'oued Amizour, Algérie. (Condition actuelles et évaluation de l'impact)
- [2] : **HAMOUNE Ferhat** et **SAADELI Lamia**, Analyse floristique de quelques groupements pré forestiers dans la région de Tala Hamza (Bejaia), université de béjaia 2016.
- [3] : **SOUIKI SOUHEILA**, Les argiles du bassin de Mila – Constantine : Composition minérale, chimique, caractéristiques géotechniques et répartition des gisements, mémoire de magistère université MENTOURI CONSTANTINE 2007
- [4] : **Terramin Australia 2010**. Dossier d'impact environnemental du projet de zinc de l'oued Amizour, Algérie : (Volume B : description et cadre politique, légal et admiratif du projet)
- [5] : V.AVROUTSKI, K. ALIKOLIVE, résultats des recherches géologiques au 1/50.000 exécutent par l'équipe des BABORS sur les feuilles Oued-Amizour, Béjaia-1974-
- [6] : **Terramin Australia 2010** : Dossier d'impact environnemental du projet de zinc de l'oued Amizour, Algérie : Volume A, document de synthèse.
- [7] : **Mr. BOUDIA ABDELKRIM, Mlle. BOUAMEUR ASMAA** : caractérisation hydrochimique et qualité des eaux souterraines de la nappe karstique de Saida, Mémoire en master UNIVERSITE DE SAÏDA, 2019/2017
- [8] : **Melle KHERZI Sabrina**, Etude Hydrochimique des eaux de l'Oued Djemâa Wilaya de BEJAÏA, mémoire de master, université de béjaia 2011.
- [9] : **THOMAS O.**, 1995 : Métrologie des eaux résiduaires, Ed. CEBE DOSPOL.
- [10] : **BAOU A. & SAADI Z.**, 2005 : Conséquences géographiques et socio-économiques des inondations dans la vallée de l'OURIKA (MAROC), Exemple des crues du 17/08/1995 et du 28/10/1999, Mémoire. de fin d'études. Université de CADI AYYAD, MAROC.
- [11] : **BOUANANI A.**, 2011 : Etude de quelques sous bassins de la TAFNA (NW- ALGERIE). Thèse de Doctorat d'état en géologie appliquée : Université ABOU BEKRBELKAID TLEMEN, ALGERIE.
- [12] : **GAAGAI A.**, 2009 : Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued El ARAB région Est de l'ALGERIE. Mémoire de Magistère en hydraulique, Université de BATNA.
- [13] : http://lda.lozere.fr/sites/default/files/upload/analyses_physico_chimiques_des_eaux_ok.pdf
- [14] : **TARDAT-HENRY M.**, 1984 : Chimie des eaux, Ed DOING.
- [15] : **Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et coll.** : L'Analyse de l'eau, **9e édition**
- [16] : <https://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html>

- [17] : **M. MIOURIGH MOHAMMED** ; « Evaluation de la qualité hydro chimique des eaux Souterraines de la vallée du M'Zab : Cas de l'Oued N'Tissa ». Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, Option Hydraulique agricole (2011).
- [18] : **Mr. BOUNAB RABIA, Mr. TAMZAIT KAMEL**, Caractérisation Hydrochimique des eaux souterraines et de surface vis-à-vis des métaux lourds, cas des Oueds Djemaa-Zitouna (Bejaia), mémoire de master, université béjaia. 2014
- [19] : **Melle : DJOUADI Ayah Melle : OUBELAID Aicha** : Etude hydrochimique des eaux de la région de Gourara (Timimoune) Algérie, mémoire de master Université Djilali Bounaama *Khemis Miliana* 2015
- [20] : **BENDADA Khiereddine et BOULAKRADECHE Mohamed Walid** : Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds, mémoire de Master (U.S.T.H.B). 2011
- [21] : <ftp://ftp.fsr.ac.ma/cours/chimie/El%20hajji/chap%20IV%20S4.pdf>
- [22] : **Schlicker S.A. and Cox D.H.** (1968) - Maternal dietary zinc, and development and zinc, iron, and copper content of the rat fetus. *J Nutr.*
- [23] : **Melle TISSOUKAI Hanane et Melle OUATMANI Meriem** : Dosage de quelques métaux lourds dans les régions de haute vulnérabilité du golfe de Béjaia, mémoire de master, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa 2013.
- [24] : **Sandifer R.D. and Hopkin S.P.** (1997) - Effects of temperature on the relative toxicities of Cd, Cu, Pb, and Zn to *Folsomia candida* (*Collembola*). *Ecotoxicol Environ Saf.*
- [25] : **Mr BELHADJI Abdelkader et Mr CHADELI Allaedine** : Etude d'impact environnementale cas des retombés poussiéreux de la carrière Torshi W de Jijel, mémoire de master, université béjaia 2018.

Annexe I :**Tableau 1 :** Répartition générale des terres

Commune	S.A.U. ha	Pacages Et Parcours	Terres Im produc. Des Exploit.	Superf. Forestières	Terres non affectées à l'Agriculture
TICHY	938	486	10	2692	1540
BOUKHLIFA	1606	1811	60	6808	1353
AMIZOUR	8621	329	164	760	1062
BARBACHA	3587	860	20	2856	1054
KENDIRA	1839	450	15	2040	212

Annexe II :**Tableau 2 :** Normes de potabilité des eaux pour les paramètres physiques selon l'organisation mondiale de la santé (OMS).

Paramètres	unité	OMS
Ph	–	6.5-9
Conductivité	µs/cm	–
Salinité	‰	0
T D S	mg/L	1200
Température	°C	20 – 30

Annexe III :

Tableau 3. Equivalents chimiques des principaux ions et composés chimiques en solution

Ion ou radical	symboles	Masse atomique	Equivalent chimique
Hydrogène	H ⁺	01	01
Sodium	Na ⁺	23	23
Potassium	K ⁺	39	39
Calcium	Ca ²⁺	40	20
Magnésium	Mg ²⁺	24	12
Aluminium	Al ³⁺	27	09
Fer Ferrique	Fe ³⁺	56.8	18.6
Fer Ferreux	Fe ²⁺	56.8	27.9
Stroncium	Sr ²⁺	87.6	43.8
Baryum	Ba ²⁺	137	68.7
Ammonium	NH ₄ ⁺	18	18
Hydroxyde	OH ⁻	17	17
Chlorure	Cl ⁻	35.5	35.5
Bromure	Br ⁻	80	80
Iodure	I ⁻	126.91	126.91
Fluorure	F ⁻	19	19
Sulfure	S ²⁻	32	16
Sulfate	SO ₄ ²⁻	96	48
Carbonate	CO ₃ ²⁻	60	30
Bicarbonate ou hydrogénocarbonate	HCO ₃ ⁻	61	61
Phosphate	PO ₄ ³⁻	95	31.7
Silicate	SiO ₃ ²⁻	76	38
Nitrate	NO ₃ ⁻	62	62
Nitrite	NO ₂ ⁻	46	4

Résumé

La présente étude porte sur l'hydrochimie des sources d'eaux situées à proximité du gisement polymétallique de Tala Hamza, Le choix de ce thème de recherche a été guidée par le souci de mieux comprendre les caractéristiques physico-chimiques, ainsi que les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants et leurs origines.

Le traitement et la représentation des données ont fait appel à l'usage d'outils modernes : système d'informations géographique, hydrochimie à travers l'évolution des éléments majeurs et traces pour la campagne d'échantillonnage ont été considérés comme l'évaluation hydrochimique des eaux de la zone d'étude a porté sur un total de (07) échantillons d'eau qui ont fait l'objet d'interprétation de leurs analyses chimiques. L'analyse des diagrammes nous a dégagée deux facies chimiques, un faciès Chlorurés sodique bicarbonate calcique et un autre faciès bicarbonates sodique et potassique.

Mots clés : Hydrochimique, Eléments majeurs, Métaux en trace, facies chimiques.

ملخص

تتعلق هذه الدراسة بالمصادر الهيدروكيميائية لمياه المنابع الموجودة على ضواحي احتياطي منجم تالة حمزة، ويهدف هذا العمل الى البحث في فهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية بشكل أفضل، وكذلك الفهم في القضايا البيئية، وأصل وجود الملوثات ومصادرها، وقد شملت معالجة البيانات استخدام الأدوات الحديثة: نظام المعلومات الجغرافية، والكيمياء المائية من خلال تطور العناصر الرئيسية والتقييم الهيدروكيميائي للمياه.

شملت هذه الدراسة مجموع سبعة (07) عينات للمياه تم تفسيرها في تحليلات كيميائية. وقد كشفت هذه التحليلات والرسومات البيانية على أن مجموعة من المياه تنتمي الى وجهة بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم، واخرى تنتمي الى وجهة بيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم.

كلمات مفاتيح : هيدروكيمياء، العناصر الأساسية، الجهات الكيميائية، أثر المعادن الثقيلة.

Abstract

This study focuses on the hydrochemistry of water sources located near the Tala Hamza polymetallic deposit. The choice of this research theme was guided by a concern to better understand the physico-chemical characteristics, as well as environmental issues, namely the presence of pollutants and their origins.

The data processing and representation used modern tools: geographic information system, hydrochemistry through the evolution of major elements and traces for the sampling campaign were considered as the hydrochemical assessment of the waters of the study area covered a total of (07) water samples that were interpreted in their chemical analyses. The analysis of the diagrams revealed two chemical facies, one Chlorinated sodium bicarbonate calcium facies and another sodium bicarbonate and potassium facies.

Keywords: hydrochemistry, major elements, chemical facies, heavy metals.