



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

جامعة الجليلي بونعامه خميس مليانة

Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana

كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

قسم علوم الأرض

Département des Sciences de la Terre

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

**En Sciences de la Terre et Univers**

Filière : Eau et Environnement

Option : Gestion des ressources en Eau et Environnement

### Thème

**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE  
ET BACTÉRIOLOGIQUE DES EAUX DE SOURCES DE LA RÉGION  
DU HAUT CHELIFF**

Présenté par :

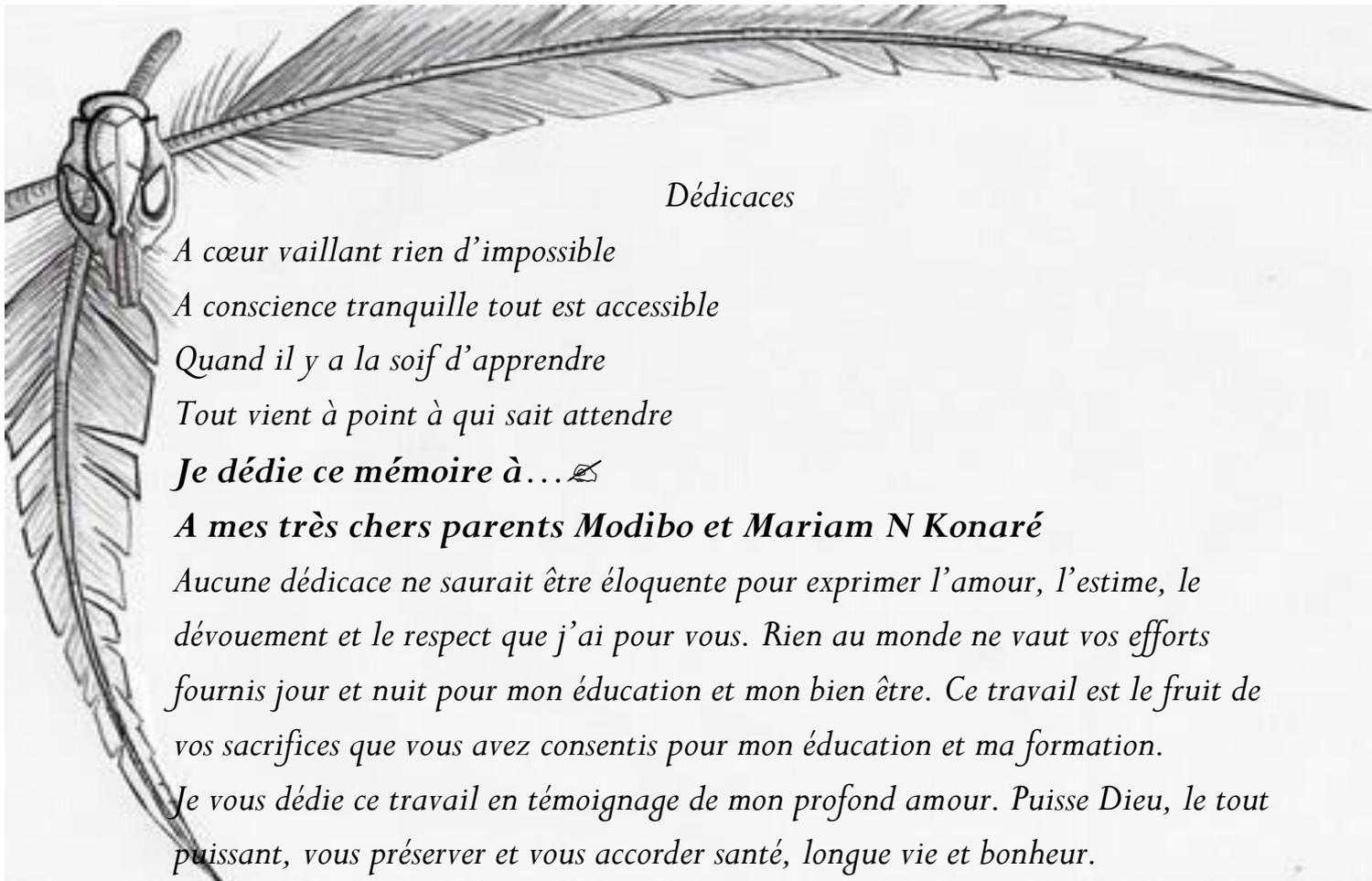
Diallo Mamadou

Kouadio Tanoh Marie France Danzi

Mémoire présenté et soutenu à Khemis Miliana devant le jury composé de :

Gharbi B.	MC (B) Université de Khemis Miliana	Président
Zedam M.	MC (A) Université de Khemis Miliana	Examineur
Chaouchi. M.	Responsable de laboratoire d'analyse	Examineur
Benali H.	Chef d'unité de l'ADE Ain Defla	Invité
Misselmi H.	Ingénieur D'Etat ANRH de Khemis Miliana	Co-promotrice
Touhari F.	MC (B) Université de Khemis Miliana	Promotrice

Année Universitaire : 2014 /2015



Dédicaces

*A cœur vaillant rien d'impossible*

*A conscience tranquille tout est accessible*

*Quand il y a la soif d'apprendre*

*Tout vient à point à qui sait attendre*

*Je dédie ce mémoire à... ✍*

***A mes très chers parents Modibo et Mariam N Konaré***

*Aucune dédicace ne saurait être éloquente pour exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai pour vous. Rien au monde ne vaut vos efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.*

***A mes très chers frères et sœurs Bakary, Abdoul, Assitan, Siga, et Alima***

*Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.*

*Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.*

***A tous mes oncles, tantes, cousins cousines et amis merci.***

***A la wadia family Ibrahim Traoré, M Lamine Abaya, Sega Sissoko, Boubacar Ahmed Koné***

*Plus que des amis vous êtes des frères pour moi, merci pour les bons moments et de m'avoir supporté au cours des cinq années passé ensemble. Je vous souhaite tous les bonheurs du monde et bonne chance dans tous vos projets futurs.*

***A Malek Amina*** tu as toujours été présente pour les bons conseils, ton affection et ton soutien m'ont été d'une grande aide le long de ces cinq années. Merci de m'avoir supporté je ne te remercierais jamais assez.

***A mon binôme Marie France*** ce fut un honneur pour moi de travailler à tes côtés. Je te souhaite d'avoir une vie heureuse avec ta famille.

*Khemis Miliana le 06 juin 2015*

*Diallo Mamadou*

# DEDICACE

*Appelle la sagesse ta sœur et l'intelligence ton amie : ces paroles qui m'ont permis de marcher la tête haute tout au long de mon cursus universitaire en Algérie. Ces avec elles que je te rends la Gloire Père Créateur de l'Univers. Merci de m'avoir accompagné jusqu'au terme.*

**Je dédie ce travail :**

## **Mes parents :**

**Mon père :** merci à toi pour le sacrifice opéré pour ma réussite et les différents conseils prodigués à ma personne qui m'ont forgés et ont contribué à la réalisation de ce travail. Que Dieu te récompense pour le travail bien accompli envers ma personne.

**Ma mère :** je te remercie pour toutes les prières et les paroles de bénédiction, le soutien que tu m'as apportée durant les moments difficiles que j'ai traversé tout au long de ma vie, merci également d'être à la fois une mère et une grand-mère attentionnée pour mon fils .j'espère que la réalisation de ce travail sera pour nous le début d'une existence meilleure et effacera toutes les larmes que j'ai pu occasionner dans ta vie.

**Mes frères et sœurs :** je vous remercie pour le soutien que vous m'aviez apporté chacun à votre manière.

## **Ma famille**

A mon fils **Wame Emmanuel Danzi RICARDO**, que le tout puissant bénisse le jour où tu es entré dans ma vie, tu es ma source de motivation que la réalisation de ce travail soit la marque d'excuse pour mon absence depuis tes deux semaines. Sache que la distance n'efface en aucune manière l'amour de la mère que suis.

**Moisés Ricardo** mon compagnon, mon ami, père de mon fils. Toi, qui malgré la distance ne cesse de me soutenir et m'encourager.

## **Ami(e)s et connaissances**

**Hamid Djidda, Fatime et Tapsoba Inès Carole, Eleonore N'goran ,Melissa Kouadio :** qui partager mes moments de tristesse et de rare joie, je remercie le bon Dieu de vous avoir mis sur mon chemin

**Mamadou Diallo** mon binôme : merci de partager ce modeste travail en ma compagnie, que le bon Dieu te comble de sagesse, d'intelligence et d'un futur prometteur.

**La communauté étrangère de Khémismiliana, La communauté ivoirienne en Algérie ainsi qu'à tous mes amis de la diaspora ivoirienne en France :** merci de m'avoir accepté dans vos différentes vies, et m'avoir permis de vivre en apprenant les valeurs d'une vie en société.

**Kouadio Tanoh Marie-France Danzi**

## Remerciements

Un grand merci, un petit merci, peu importe sa taille il n'a pas de dimension... c'est un petit mot tout simple mais qui pèse lourd quand il vient du fond du cœur.

Tout d'abord nous rendons grâce à Dieu qui nous a donné la force et le courage de mener à terme ce travail.

Nous remercions vivement notre promotrice Mme Touhari Fadhila pour nous avoir encadré, suivi et encouragé tout au long de ce travail.

Nos remerciements vont également à notre co-promotrice Mme Misselmi Hayette pour ses conseils, orientations et son assistance dans la réalisation de ce mémoire.

Merci à Mr Mehaïguene Madjid pour son aide notamment pour les échantillonnages et l'établissement des cartes ; merci également aux membres du jury pour votre temps consacré à évaluer ce travail qui nous accompagnera tout le long de notre vie professionnelle.

Toute fois nous adressons nos remerciements sincères à tout le système éducatif de l'Université de khémis-miliana qui s'est attelé corps et âme depuis le début de notre formation à faire de nous des ingénieurs aguerris.

Nos sincères remerciements vont à l'endroit de toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer ce document ainsi qu'aux agents de l'Algérienne Des Eaux de Ain Defla, en particulier Mr Ben Ali pour l'accueil chaleureux qu'il nous a réservé et qui n'a pas ménagé ses efforts pour nous aider à réaliser les analyses hydrochimiques au sein de leur laboratoire.

Nous remercions également les agents de L'Agence National des Ressources Hydraulique de khémis-Miliana pour leur accueil et pour nous avoir facilité l'accès aux données nécessaires pour notre étude.

Une mention spéciale pour Ibrahima Mamoudou Barry qui nous a été d'une aide incommensurable dans l'accomplissement de ce mémoire ; Merci à toi et que Dieu te le rende au centuple.

## Résumé

Cette étude concerne l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources de Djendel, Zougala et Djelida, localisées dans la région du Haut Cheliff par comparaison des teneurs avec les normes algérienne d'une part et à comprendre les processus de minéralisation impliqués dans leurs qualités chimiques d'autre part.

Plusieurs études ont été effectuées ; à savoir : climatique, géologique, et hydrogéochimique.

Le traitement et l'interprétation des résultats d'analyses ont été faites en utilisant différentes méthodes et outils (diagramme de Piper, de Schoeller, classification de Stabler, indices chloro-alkalin, diagrammes binaires, les indices de saturation, normes de potabilité).

Les analyses ont porté sur les ions les plus répandus et les plus abondants dans les eaux souterraines qui ont une relation directe avec les caractéristiques géologiques des terrains. L'échantillonnage et l'analyse des eaux ont été effectués en collaboration avec les services de l'ADE et de l'ANRH durant trois campagnes.

Un faciès hydrochimiques commun a été identifié lors de la deuxième et la troisième campagne à savoir bicarbonaté calcique au niveau des trois sources selon les diagrammes de Piper, de Schoeller et Stabler.

Le processus de minéralisation des eaux est influencé par la dissolution des minéraux évaporitiques et le phénomène d'échange d'ions entre les éléments chimiques alcalins et les alcalino-terreux.

L'étude de la potabilité des eaux a montré une bonne qualité physico-chimique des eaux durant les trois périodes et une qualité médiocre des paramètres bactériologiques.

**Mots clés :** Eaux de sources, Hydrogéochimie, Minéralisation, potabilité, Haut Cheliff.

## ملخص

تتعلق هذه الدراسة بتقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لمياه منابع جندل و زوغالا و جليدة، الواقعة في منطقة الشلف الأعلى وهذا بمقارنة النتائج مع المعايير الجزائرية من جهة وفهم الية التمعدن الناتجة عن النوعية الكيميائية من جهة أخرى.

وقد أجريت العديد من الدراسات. وهي: الجيولوجية والمناخية والهيدروجيوكيميائية. وقد تمت معالجة وتفسير نتائج التحاليل باستخدام طرق وأدوات مختلفة (مخططات Piper، Schoeller و Stabler، التمثيلات البيانية الثنائية، مؤشر التبادل الأيوني، مؤشرات التشبع، رسم الخرائط والتحليل الجيو-الإحصائي، معايير مياه الشرب)

وركزت التحليلات على الأيونات الأكثر شيوعا والأكثر وفرة في المياه الجوفية التي لها علاقة مباشرة مع الخصائص الجيولوجية للأرض. أجريت أخذ العينات وتحليل المياه بالتعاون مع الخدمات التي تقدمها مصالح ADE و ANRH على ثلاث فترات.

تتميز المياه الجوفية بنوعية هيدروكيميائية مشتركة وهي بيكربونات الكالسيوم فيالمنابع الثلاثة وفقا لمخططات Piper، Schoeller و Stabler

تتأثر عملية تمعدن المياه من خلال تحلل المعادن المتبخرة وظاهرة التبادل الأيونية بين العناصر الكيميائية القلوية والمعادن القلوية الترابية.

وقد أظهرت دراسة صلاحية المياه للشرب نوعية فيزيوكيميائية جيدة و نوعية بكتريولوجية سيئة في الفترات الثلاث.

**مفاتيح الكلمات:** مصادر المياه، هيدروجيوكيمياء، التعدين، صلاحية الشرب، الأعل والشلف.

## **Abstract**

This study concerns the evaluation of the physico-chemical and bacteriological quality of spring water of Djendel, Zougala and Djelida, localized in the Upper Cheliff area, by comparing the contents with the Algerian standards firstly and understand the process mineralization involved in their chemical qualities on the other.

Several studies have been performed; namely: climate, geological and hydrogeochemical.

The processing and interpretation of the results of analyzes were made using various methods and tools (Piper diagram, Schoeller, Stabler classification, chloro-alkaline indexes binary diagrams, saturation indices, drinking water standards).

Analyses focused on the most common and most abundant ions in groundwater that have a direct relationship with the geological characteristics of the land. Sampling and water analysis were carried out in collaboration with the services of the ADE and ANRH for three periods.

A common hydrochemical facies identified in the second and third campaign namely calcium bicarbonate in the three sources according to the Piper diagrams, Schoeller and Stabler.

The water mineralization process is influenced by évaporitique minerals dissolution and the ions trade phenomenon between chemical elements alkaline and alkaline-earthly

The study of water potability has shown a good physical-chemical water quality in the three periods and poor quality of bacteriological parameters.

Keywords: Water spring, Hydrogeochemistry, Mineralization, potability, upper Cheliff.

# Table des Matières

RÉSUMÉ.....	
SOMMAIRE.....	
LISTE DES TABLEAUX.....	
LISTE DES FIGURES.....	
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	
<i>Introduction Générale</i> .....	1
<i>Chapitre I</i> <i>Aperçu Bibliographique</i>	
I.1. INTRODUCTION.....	4
I.2. LES EAUX D'APPROVISIONNEMENT.....	4
I.2.1. EAUX DE SURFACE.....	4
I.2.2. EAUX SOUTERRAINES.....	4
I.3. LES SOURCES.....	4
I.3.1. DÉFINITION.....	4
I.3.2. NATURE ET LOCALISATION DES SOURCES.....	4
I.3.3. LES DIFFÉRENTS TYPES DE SOURCES.....	5
I.3.3.1. SOURCES D'AFFLEUREMENT.....	5
I.3.3.2. SOURCES DE DÉVERSEMENT.....	5
I.3.3.3. SOURCES D'ÉMERGEANCE OU ARTÉSIENNE.....	5
I.3.4. CONDITIONS D'ÉMERGENCE.....	5
I.3.5. CAPTAGES DE SOURCES.....	6
I.3.6. ENTRETIEN DES CAPTAGES.....	8
I.3.7. DÉBIT ET RÉGIME DES SOURCES.....	8
I.3.8. PARAMÈTRES DE QUALITÉ.....	10
I.3.8.1. PARAMÈTRES PHYSIQUES ET ORGANOLEPTIQUES.....	10
I.3.8.2. PARAMÈTRES CHIMIQUES.....	11
I.3.8.3. PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES.....	14
I.4. POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES.....	15
I.4.1. LES DIFFÉRENTES SOURCES DE POLLUTIONS.....	15
I.4.1.1. POLLUTION DOMESTIQUE ET URBAINE.....	15
I.4.1.2. POLLUTION INDUSTRIELLE.....	15
I.4.1.3. POLLUTION AGRICOLE.....	15
I.4.2. LUTTE CONTRE LA POLLUTION DES EAUX.....	16
I.4.3. LES MALADIES À TRANSMISSION HYDRIQUE.....	16
I.4.4. TRAITEMENT DES EAUX.....	17
I.5. CONCLUSION.....	17
<i>Chapitre II</i> <i>Présentation de la Région d'Étude</i>	
II.1. INTRODUCTION.....	19
II.2. SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	19
II.3. RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE.....	20
II.4. CLIMAT DU BASSIN DU HAUT CHELIFF.....	20
II.4.1. PLUVIOMÉTRIE.....	20
II.4.2. RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES PRÉCIPITATIONS.....	22
II.4.3. VARIATIONS SAISONNIÈRES DES PRÉCIPITATIONS.....	22
II.4.4. TEMPÉRATURE.....	23
II.4.5. ÉVAPOTRANSPIRATION.....	25
II.4.5.1. BILAN HYDROLOGIQUE SELON LA MÉTHODE DE THORNTHWAITE.....	25
II.5. CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....	27
II.5.1. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL.....	27
II.5.1.1. STRATIGRAPHIE.....	27

II.5.1.2. CARACTÈRES LITHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT ET PERMÉABILITÉ.....	31
II.5.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE LOCAL .....	32
II.5.2.1. SOURCE DE ZOUGALA (TALAOUCHIBA) .....	32
II.5.2.2. SOURCE DE DJENDEL (M'HARZA).....	34
II.5.2.3. SOURCE DE DJELIDA (OUGUENAY) .....	34
II.6. CONCLUSION .....	36

*Chapitre III*

*MATÉRIELS ET MÉTHODES*

III.1. INTRODUCTION.....	38
III.2. MÉTHODES D'ACQUISITION DES DONNÉES.....	38
III.2.1. ÉCHANTILLONNAGES .....	38
III.2.2. MODES DE PRÉLÈVEMENTS.....	38
III.2.3. MÉSURES IN SITU .....	38
III.3. LES ANALYSES.....	38
III.3.1. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES .....	39
III.3.2. EXAMENS BACTÉRIOLOGIQUES .....	39
III.4. MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX .....	39
III.4.1. L'ERREUR SUR LA BALANCE.....	39
III.4.2. MINÉRALISATION GLOBALE .....	40
III.4.3. FACIÈS CHIMIQUES .....	40
III.4.3.1. DIAGRAMME LOSANGIQUE DE PIPER .....	40
III.4.3.2. DIAGRAMME SEMI-LOGARITHMIQUE DE SCHOELLER BERKALOFF .....	40
III.4.3.3. FORMULE CARACTÉRISTIQUE DE STABLER.....	40
III.4.4. INDICE CHLORO-ALCALIN .....	40
III.4.5. DIAGRAMMES BINAIRES .....	41
III.4.6. INDICES DE SATURATIONS .....	41
III.4.7. POTABILITÉ DE L'EAU.....	42
III.4.7.1. NORMES DE POTABILITÉ DES EAUX DE CONSOMMATION .....	42
III.4.7.2. DURETÉ TOTALE.....	43
III.5. CONCLUSION .....	44

*Chapitre IV*

*RÉSULTATS ET DISCUSSIONS*

IV.1. INTRODUCTION .....	46
IV.2. ERREURS SUR LA BALANCE IONIQUE.....	46
IV.3. DÉTERMINATION DES PRINCIPAUX FACIÈS CHIMIQUES .....	46
IV.3.1. DIAGRAMME DE PIPER .....	46
IV.3.2. DIAGRAMME DE SCHOELLER .....	48
IV.3.3. CLASSIFICATION DE STABLER.....	50
IV.4. PROCESSUS DE MINÉRALISATION .....	51
IV.4.1. DAIGRAMMES BINAIRES .....	51
IV.4.2. INDICES CHLORO-ALCALINS .....	57
IV.4.3. INDICES DE SATURATIONS .....	57
IV.5. ÉTUDE DE LA POTABILITÉ DES EAUX.....	58
IV.5.1. PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES .....	58
IV.5.2. PARAMÈTRES BACTÉRIOLOGIQUES.....	62
IV.6. CONCLUSION.....	64
<i>Conclusion Générale et Recommandation .....</i>	<i>66</i>

*Références bibliographiques*

*ANNEXES*

## *Liste des tableaux*

---

---

<b>Tableau 1</b> : Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique .....	11
<b>Tableau 2</b> : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.....	11
<b>Tableau 3</b> : Caractéristiques des stations pluviométriques. ....	20
<b>Tableau 4</b> : Distribution saisonnière des précipitations. ....	22
<b>Tableau 5</b> : Bilan hydrologique de Thornthwaite pour le barrage de Harreza.....	26
<b>Tableau 6</b> : Présentation des différentes sources. ....	32
<b>Tableau 7</b> : Extrait des Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation .....	43
<b>Tableau 8</b> : Classification de l'eau selon la dureté. ....	43
<b>Tableau 9</b> : Faciès chimiques des eaux de sources. ....	51
<b>Tableau 10</b> : Indices chloro-alcalins des sources.....	57
<b>Tableau 11</b> : Indices de saturation des minéraux des trois sources pour les trois périodes. ....	57
<b>Tableau 12</b> : Résultats des analyses physico-chimiques des trois campagnes.....	59
<b>Tableau 13</b> : Classification des eaux selon leurs duretés .....	62
<b>Tableau 14</b> : Résultats d'analyses bactériologiques des trois campagnes .....	62

---

## *Liste des figures*

---

---

<b>Figure 1:</b> Localisation de l'exutoire d'un réservoir calcaire en fonction de la structure géologique et de la topographie. ....	5
<b>Figure 2:</b> Exemples de report d'émergence par un relai hydraulique frontal.....	6
<b>Figure 7:</b> Schémas types de captages ponctuels à la roche réservoir (a) et à la base d'un réservoir relais (b).....	7
<b>Figure 4 :</b> Carte topographique de la région d'étude.....	19
<b>Figure 5 :</b> Carte des étages bioclimatique du bassin Cheliff.....	20
<b>Figure 6:</b> Evolution des précipitations moyennes mensuelles des différentes stations (2000-2012). ....	21
<b>Figure 7:</b> Evolution des précipitations annuelles des différentes stations (2000-2012).....	21
<b>Figure 8 :</b> Pluviométrie moyenne inter-annuelle (période 1968-2001).....	23
<b>Figure 9 :</b> Représentation graphique des températures moyennes mensuelles des stations du Barrage Harreza et Miliana (2000-2012) .....	23
<b>Figure 10:</b> Diagramme ombrothermique du barrage de Harreza. ....	24
<b>Figure 11:</b> Diagramme ombrothermique de la station de Miliana. ....	25
<b>Figure 12 :</b> Carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana.....	28
<b>Figure 13 :</b> Colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologiques des différentes formations d'après le log stratigraphique établi par Perrodon, 1957. ....	29
<b>Figure 14:</b> Localisation des sources d'eau sur la carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana. ....	36
<b>Figure 15:</b> Diagramme de Piper, campagne décembre 2014. ....	47
<b>Figure 16:</b> Diagramme de Piper, campagne mars 2015. ....	47
<b>Figure 17:</b> Diagramme de Piper, campagne juin 2015.....	48
<b>Figure 18:</b> Diagramme de Schoeller, campagnes de Décembre 2014.....	49
<b>Figure 19:</b> Diagramme de Schoeller, campagnes de Mars 2015.....	49
<b>Figure 20:</b> Diagramme de Schoeller, campagnes de Juin 2015(b).....	50
<b>Figure 21:</b> Relations entre les principaux éléments majeurs Décembre 2014. ....	53
<b>Figure 22:</b> Relations entre les principaux éléments majeurs Mars 2015.....	55
<b>Figure 22:</b> Relations entre les principaux éléments majeurs Juin 2015.....	56

## *Liste des Abréviations*

---

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

**ADE** : Algérienne des eaux

**ETP**: Evapotranspiration Potentielle

**ETR**: Evapotranspiration Réelle

**EDTA**: Ethylène Diamine Tétra-Acétique

**HCL**: Chlorure d'hydrogène

**ICA** : Indice Chloro-Alcalin

**IEB** : indice d'échange de base

**IS** : Indice de saturation

**pH**: Potentiel Hydrogène

**TH**: Titre Hydrotimétrique

*Introduction*  
*Générale*

---

## Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à la vie et revêt de l'importance pour d'innombrables activités humaines. L'eau peut être rare à certains endroits, comme les zones arides et semi-arides, ou tout simplement d'une qualité médiocre à d'autres endroits. Cette richesse est menacée de nos jours par la pollution. La connaissance de la qualité de l'eau est une condition primordiale permettant l'instauration d'un système de gestion quantitative et qualitative qui contribuera à garantir l'approvisionnement en eau dans le futur.

Les eaux souterraines constituent un stock important d'eau pour l'humanité, leurs qualités irréprochables font d'elles les plus convoités pour l'approvisionnement en eau potable des collectivités.

Les eaux de sources qui constituent des exutoires naturelles des eaux souterraines généralement localisées dans les montagnes représentent des eaux de bonnes qualités, souvent utilisées à des soins médicaux ; elles ont pendant longtemps, été considérées comme « eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité mais néanmoins elles restent limiter et subissent divers pressions anthropiques tels que la surexploitation, les diverses sources de pollutions qui font d'elles des ressources vulnérables et nécessitent des suivies de leurs qualités et des protections.

Le thème que nous avons développé entre dans le cadre de la protection et la sécurité alimentaire, et notamment l'eau qui est le plus consommé par tous les êtres vivants.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique ainsi que le processus de minéralisation des eaux des trois sources d'eau suivantes: Djendel (M'harza), Zougala (Talaouchiba) et Djelida (Ouguenay), situées dans la région du Haut Chelif et qui constituent un moyen d'approvisionnement des populations riveraines.

La présente étude est structurée en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, une synthèse bibliographique sur les paramètres de qualité et la méthodologie d'étude des eaux de sources.
- L'analyse des principales conditions climatiques et hydrologiques (précipitations, températures et écoulements) de la région d'étude sont présentées dans le deuxième chapitre, ainsi que la localisation et les caractéristiques des formations géologiques rencontrées.
- Le chapitre trois expose les matériels et méthodes utilisés dans la présente étude, pour évaluer la qualité physico chimique et bactériologique des eaux échantillonnées.
- Le quatrième chapitre est consacré aux différents résultats et leurs interprétations.

Enfin, une conclusion générale et des recommandations seront données.

# *Chapitre I*

---

APERÇU

BIBLIOGRAPHIQUE

## **I.1. Introduction**

Les nappes d'eaux souterraines sont les résultats d'une accumulation des eaux dans un réservoir (aquifère) alimenté généralement par les eaux s'infiltrant de la surface du sol vers les profondeurs et atteignent les nappes à travers toute leur surface (libres) ou par des affleurements (captives), mais la restitution de l'eau infiltrée dans un massif est également très variable et répond à de nombreuses situations dictées par les caractéristiques intimes du milieu naturel. Elles peuvent être soumises à des pollutions et nécessitent un traitement avant leur utilisation.

## **I.2. Les eaux d'approvisionnement**

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières) (Sari, 2014).

### **I.2.1. Eaux de surface**

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement (Sari, 2014).

Les eaux de surface sont moins stables, et contiennent des matières minérales et organiques en suspension qui peuvent engendrer des désagréments olfactifs et gustatifs. Elles nécessitent un traitement physico-chimique parfois complexe dans des infrastructures importantes (Sari, 2014).

### **I.2.2. Eaux souterraines**

On trouve les eaux souterraines sous la plupart des terres émergées du globe. Leur origine est due à l'accumulation des eaux d'infiltrations dans le sol qui varie en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Les eaux souterraines sont généralement d'excellentes qualités physico-chimiques et bactériologiques (Cardot, 1999). Elles restent jusqu'à présent les meilleures ressources en eau potable (Margat, 1992).

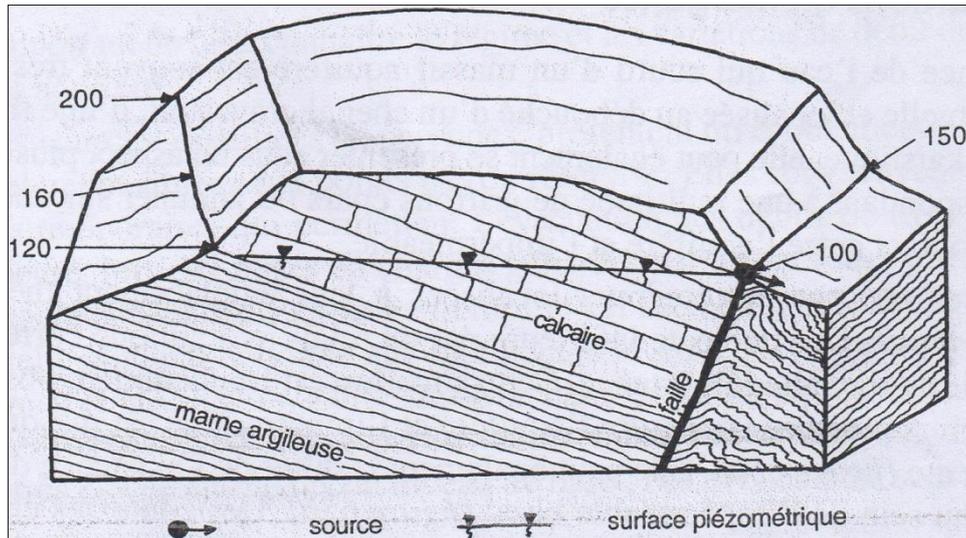
## **I.3. Les sources**

### **I.3.1. Définition**

Une source peut être définie comme l'apparition à la surface du sol de l'eau d'une nappe souterraine. Toute source est alimentée par une portion de la nappe qui lui a donnée naissance (Gomella et al, 1974).

### **I.3.2. Nature et localisation des sources**

La position des exutoires d'une nappe est conditionnée par la géométrie relative entre le réservoir aquifère, les imperméables bordiers et la surface topographique (Eric et al, 2008).



**Figure 1** : localisation de l'exutoire d'un réservoir calcaire en fonction de la structure géologique et de la topographie (Eric et al, 2008).

### I.3.3. Les différents types de sources

Les principaux types de sources sont les suivants :

#### I.3.3.1. Sources d'affleurement

Lorsque la couche imperméable inférieure d'une nappe affleure le sol d'une vallée, l'eau de cette nappe apparaît à la surface sous forme d'un chapelet de sources. Elles apparaissent surtout dans des terrains calcaires ou cristallins, les sources thermo minérales appartiennent à cette catégorie (Vilagines, 2000).

#### I.3.3.2. Sources de déversement

Ce type de sources se rencontre dans les terrains fissurés en surface, calcaires et surtout granites (le réseau de fissures vient rencontrer la surface du sol, avec une pente qui permet d'y conduire l'eau). Généralement leur débit est faible, pratiquement constant et peuvent facilement tarir. Aussi n'envisagera-t-on leur captage qu'en l'absence d'autres possibilités (Bonnin, 1982).

#### I.3.3.3. Sources d'émergence ou artésienne

Qui sont alimentées par la couche inférieure de la nappe (c'est sources sont plus susceptibles de tarissement). Leur débit est en principe uniforme et presque constant durant toute l'année, tandis que le rendement des autres types de sources dépend du niveau de la nappe et des précipitations saisonnières (Bouziani, 2006).

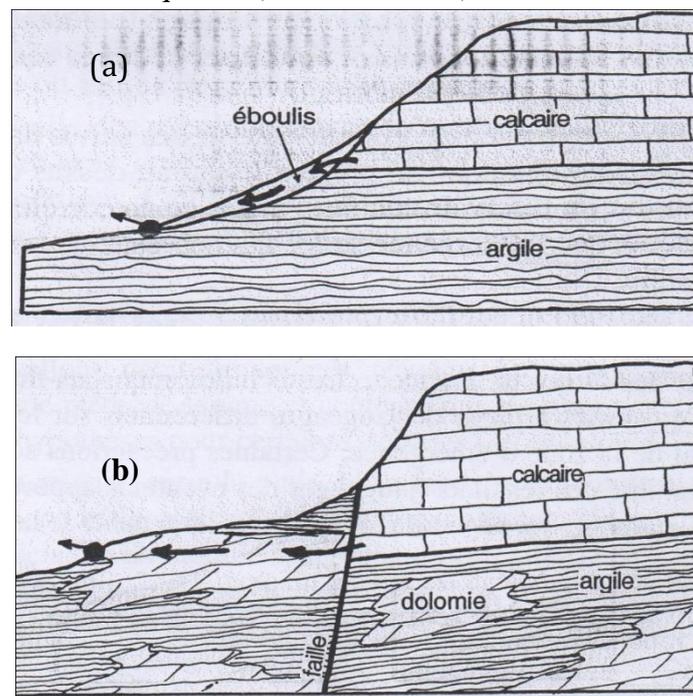
### I.3.4. Conditions d'émergence

L'émergence de l'eau qui sort d'un massif aquifère est souvent très variable. Parfois ponctuelle et localisée au débouché d'un chenal graveleux, d'une fracture ou d'une cavité karstique, elle peut également se présenter sous un aspect plus ou moins diffus, correspondant à une multitude de griffons épars ou journalier sur une certaine distance le contact entre l'aquifère et l'imperméable (Eric et al, 2008).

Les sources ne sont pas toujours localisées à leur emplacement théorique et peuvent être reportées à une côte inférieure par un relai hydraulique correspondant à un réservoir de moindre importance. Cette situation est fréquemment observée sur les versants lorsque le contact entre l'aquifère et l'imperméable est masqué par des éboulis de pente (figure 2a). Elle peut également résulter de l'existence de lentilles perméables au sein de l'imperméable basal (figure 2b). Des contextes encore plus complexes peuvent être rencontrés et nécessitent des investigations très précises pour identifier la côte réelle de l'exutoire du réservoir aquifère étudié (Eric et al, 2008).

Dans certains cas, les émergences d'un aquifère sont occultes, en particulier lorsqu'il s'agit de sources sous-lacustres ou sous fluviales. De même en est-il des sources sous-marines, lorsque la formation perméable plonge en mer.

Il convient enfin de citer les réservoirs aquifères dépourvus d'exutoire. Une telle situation ne peut être retenue qu'après avoir exploré toute les possibilités périphériques et signifie que la nappe est drainée par un autre aquifère (Eric et al, 2008).



**Figure 2 :** Exemples de report d'émergence par un relai hydraulique frontal (Eric et al, 2008).

### I.3.5. Captages des sources

Dans le cas d'un exutoire karstique issu d'une grotte de façon très concentrée, le captage se limite à un prolongement bétonné du lit de la rivière souterraine, souvent après édification d'un petit barrage frontal destiné à créer une réserve tampon, favorable à une dérivation vers un canal ou à l'immersion d'une crépine de prélèvement (Eric et al, 2008).

Lorsque l'émergence provient d'une fissure ou d'une fissure très localisée (réservoirs karstiques et fissurés), le site productif est chapeauté par un ouvrage de captage dont la géométrie dépend directement des caractéristiques locales. Celui-ci est suffisamment encastré dans le rocher, après dégagement de sa couverture meuble et de sa frange d'altération (figure 3a), ce qui limite

le risque de contamination des eaux exploitées par des apports superficiels de moindre qualité (Eric et al, 2008).

Si l'eau sort d'un matériau hétérogène, par exemple au droit d'un paléothalweg comblé d'éboulis (réservoir poreux), l'ouvrage de captage est totalement fermé et pourvu de barbacanes à la base de sa paroi amont. (Figure 3b) Il est descendu jusqu'au substratum imperméable, afin d'éviter des fuites sous son radier (Eric et al, 2008).

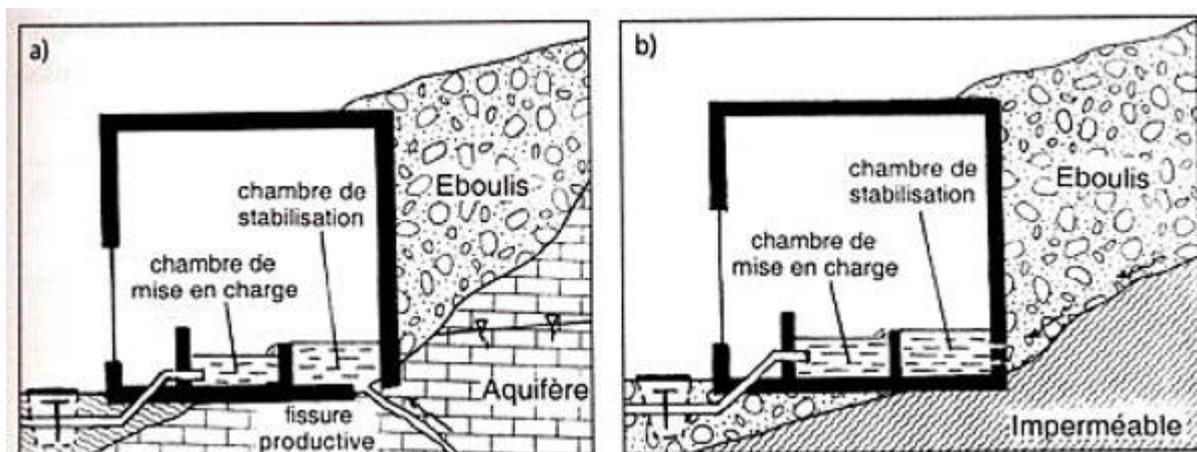
Dans tous les cas, l'ouvrage est équipé d'une chambre de stabilisation de l'eau, lui permettant de matérialiser son niveau naturel, et d'une chambre de mise en charge, alimenté par surverse.

On dit que la chambre de stabilisation joue également le rôle de décanteur et doit être pourvue d'une vidange de fond.

La chambre de mise en charge est munie d'un trop-plein latéral et d'une crépine immergée en tête de la canalisation de départ (Eric et al, 2008).

Ce que l'on peut reprocher le plus formellement au captage de source, c'est sa vulnérabilité à la pollution. Par définition, une source est le point de rencontre de l'eau souterraine et de la surface du sol. Très près d'une source, l'intrusion de substances polluantes est facile, notamment lors de leur entraînement par les eaux de surface. Un captage bien réalisé doit donc interdire les infiltrations superficielles et aller chercher l'eau en pénétrant aussi loin que possible dans la formation géologique, grâce à un drain ou à une galerie (Jean J, 2004).

Les sources, vulnérables à la sécheresse, par suite de leur position haute (elles sont en général à la surface de la nappe). Leur tarissement peut être précoce, alors que la nappe contient encore des réserves considérables en profondeur (Jean J, 2004).



**Figure 3** : Schémas types de captages ponctuels à la roche réservoir (a) et à la base d'un réservoir relais (b) (Eric et al, 2008)

### **I.3.6. Entretien des captages**

Il est fréquent que la productivité des ouvrages de captage présente une dégradation au cours du temps. Cette évolution est provoquée par un colmatage obstruant les voies d'eau et/ou par une corrosion des organes drainants d'un forage. Elle dépend des conditions d'exécution du captage, de la composition chimique de l'eau souterraine et du mode d'exploitation de l'ouvrage (Eric et al, 2008).

Dans le cas des captages de sources et des tranchées et galeries drainantes, la perte de débit résulte généralement d'un colmatage, dont les origines peuvent être diverses :

- physico-mécanique, lorsque c'est l'entraînement des particules fines du terrain qui diminue l'ouverture des barbacanes ou l'indice des vides du matériau drainant ;
- physico-chimique, lorsque l'obstruction est réalisée par un dépôt qui résulte de la précipitation de carbonates ou de sulfates de calcium ou de magnésium, ou encore d'hydroxydes de fer ;
- biochimique, lorsque le colmatage provient de boues gélatineuses résultant du cycle biologique de certains micro-organismes, en particulier lorsque les eaux contiennent des sels de fer (bactéries ferriques) (Eric et al, 2008).

Des améliorations sensibles peuvent généralement être obtenues par des entretiens réguliers, lorsque les ouvrages sont visitables. S'ils sont en majeure partie constitués par des massifs drainants dépourvus de regards, les possibilités d'intervention y sont réduites. Il est donc fondamental de prévoir les possibilités de son entretien ultérieur, lors de la conception d'un ouvrage. De même convient-il de ne pas végétaliser un champ de captage et d'y enlever régulièrement la végétation arbustive ou arborée qui s'y implante naturellement, car les racines offrent une très forte capacité de pénétration jusqu'aux barbacanes et aux massifs drainants, où elles facilitent en outre la précipitation de dépôts chimique (Eric et al, 2008).

### **I.3.7. Débit et régime des sources**

Il est très important de bien connaître le régime et les variations de débit des exutoires d'un massif aquifère.

Certaines sources, qualifiées de pérennes, présentent un écoulement permanent et sont généralement situées aux points bas du réservoir. Elles sont souvent associées à des sources temporaires qui permettent l'évacuation des débits de trop-plein à une côte supérieure, lors des mises en charges générées par les épisodes pluvieux. Dans certains cas, le dispositif d'exhaure naturelle est même complété par une source exceptionnellement qui ne fonctionne que rarement, à la suite de conditions pluviométrique extrêmes et prolongées. Cette situation caractérise les aquifères karstiques, où de véritables regards sur la nappe permettent la vidange brutale de débits importants à une côte très élevée au-dessus du niveau de base ; ces événements sont qualifiés de crevaisons (Eric et al, 2008).

La mesure des débits et leur suivi dans le temps nécessitent souvent la création d'équipements spécifiques qui peuvent être relativement contraignants et onéreux : concentration des différents

filets d'eau en écoulement unique édification d'un petit barrage fusible, construction d'un seuil définitif, mise en place d'un appareillage de mesure (Eric et al, 2008).

Lorsque les débits sont faibles, le remplissage chronométré d'un récipient étalonné peut permettre d'acquérir rapidement les données. Pour des valeurs supérieures, on peut aussi procéder par mesure de la vitesse du courant à l'aide de jaugeage au micro-moulinet ou par dilution d'une substance chimique (colorant repéré à l'œil nu, puis dosé au NaCl suivi par conductimètre), sous réserve que la section et la distance du ruissèlement généré par la source le permettent (Eric et al, 2008).

Dans les cas extrêmes (forts débits) et pour obtenir des suivis dans le temps, il est indispensable de mesurer la hauteur de la lame d'eau au-dessus d'un seuil sur une échelle limnimétrique ou à l'aide d'un limnigraphe et de corrélérer cette hauteur au débit par l'établissement d'une courbe de tarage qui nécessite de nombreux jaugeages à des époques variables (Eric et al, 2008).

Ces mesures ne sont évidemment pas possibles dans le cas des sources sous-lacustres ou sous-marines, où des techniques plus complexes et moins fiables peuvent néanmoins fournir des ordres de grandeur. Les écoulements sous-fluviaux peuvent en revanche être quantifiés à partir jaugeages différentiels sur le cours d'eau à l'amont et à l'aval de la zone d'émergence. Certaines précautions sont nécessaires pour garantir la fiabilité des résultats (jaugeage des éventuels apports et départs, le long du tronçon concerné), qui dépendra en outre très largement de la valeur relative entre le débit recherché et celui du cours d'eau (Eric et al, 2008).

Dans la pratique, trois actions distinctes et complémentaires peuvent être envisagées pour apprécier le fonctionnement du réservoir aquifère :

- la mesure instantanée du débit de l'ensemble des exutoires lors d'évènements hydrologiques extrêmes (étiage et crue, par exemple), afin de reconstituer le bilan schématique des eaux restituées par le massif ;
- l'évaluation du coefficient de variation du débit de chaque exutoire (correspondant à l'écart entre le débit d'étiage et le débit de crue), qui caractérise la perméabilité moyenne du réservoir et ses conditions de circulation souterraine. Ce coefficient peut varier de 5 pour les milieux isotropes et peu perméables à 100 pour les milieux karstifiés;
- le suivi dans le temps de chacun des exutoires pour juger des variations inter-saisonniers et interannuelles du débit et permettre des corrélations avec la pluviométrie et l'impluvium de l'aquifère (Eric et al, 2008).

Lorsque les délais de l'étude ou les contraintes budgétaires n'autorisent pas un niveau suffisant d'investigation, une enquête auprès des autochtones connaissant bien le milieu naturel peut permettre de cerner les principales caractéristiques des exutoires, et particulièrement leur régime et le coefficient de variation de leur débit (Eric et al, 2008).

### **I.3.8. Paramètres de qualité**

#### **I.3.8.1. Paramètres physiques et organoleptiques**

##### **a. Couleur**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier et al. ,2009).

##### **b. Odeur**

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel.

L'eau potable doit être sans odeur, non seulement au moment du prélèvement, mais encore après une période de 10 jours en vase clos à la température de 26°C. Les odeurs proviennent soit des produits chimiques, soit de matières organiques en décomposition, soit de protozoaires, soit d'organismes aquatiques (Rodier et al. ,2009).

##### **c. Goût et saveur**

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier et al. ,2009).

##### **d. Turbidité**

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou/et à diffuser la lumière. Elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, etc. Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers est relative : certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension : la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte) (Ghazali et al, 2013).

Il est recommandé d'effectuer la mesure de la turbidité aussi rapidement que possible après prélèvement ; sinon l'échantillon doit être conservé à l'obscurité pour une durée maximale de 24 h, toute conservation prolongée peut provoquer des modifications irréversibles de la turbidité. La turbidité se mesure en unité néphelométrique (NTU) (Ghazali et al, 2013).

##### **e. Température**

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Ghazali et al, 2013).

### f. conductivité électrique et minéralisation globale

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, elle est donc corrélable à la minéralisation de celle-ci. La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Ghazali et al, 2013).

La minéralisation globale correspond à la concentration en sels minéraux dissous.

La minéralisation de l'eau est en fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles.

Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sels dissous, semblent bien contribuer à l'homéostasie de l'homme et surtout de l'enfant ; cependant, elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes (Sari, 2014).

**Tableau 1.** Relation entre la minéralisation et de la conductivité électrique

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
$CE < 100 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation très faible
$100 < C.E < 200 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation faible
$200 < C.E < 333 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne
$333 < C.E < 666 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 < C.E < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation importante
$C.E > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation élevée

(Source: Kemmer, 1984)

**Tableau 2.** Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.

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

(Source : Touhari., 2015)

### I.3.8.2. Paramètres chimiques

#### a. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $\text{H}^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau, il représente une indication importante en ce qui concerne l'agressivité de l'eau (aptitude à dissoudre le calcaire) (Ghazali et al, 2013).

Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6,5 et 8,5 dans les eaux naturelles (Ghazali et al, 2013).

**b. Oxygène dissous**

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau, il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique (Ghazali et al, 2013).

**c. Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)**

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés. Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et  $\text{H}^+$ . Elle est souvent due aux ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux. On distingue la dureté carbonatée ou dureté temporaire qui provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonatée ou dureté permanente qui provient des sulfates et chlorures (Touhari, 2015).

Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés des détergents des lessives, savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau (Touhari, 2015).

Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb (Touhari, 2015).

**d. Calcium  $\text{Ca}^{2+}$** 

Le corps humain comprend une moyenne 1,2 kilogramme de calcium essentiellement dans le squelette (Sari, 2014).

Le calcium est libéré généralement par l'altération des roches, il provient des aluminosilicates, des silicates, des carbonates (calcite et calcite magnésienne) et les sulfates (gypse) (Sari, 2014).

L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/L de calcium (Sari, 2014).

Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations (Sari, 2014).

**e. Magnésium  $\text{Mg}^{2+}$** 

Éléments indispensables à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, leurs origines sont naturelles (dissolution des roches magnésites basaltes, argiles) ou industrielle (industrie de la potasse de cellulose, brasserie). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau (Sari, 2014).

**f. Sodium  $\text{Na}^{2+}$** 

C'est un métal alcalin. Son origine peut être :

- Naturelle (mer, terrain salé....) ;
- Humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ;
- Industrielle (potasse, industrie pétrolière).

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Sari, 2014).

**g. Potassium  $K^+$**

Le potassium règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules. Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature (Sari, 2014).

**h. Carbonates et Bicarbonates  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$**

L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action combinée du  $CO_2$  de l'atmosphère et des sols sur les minéraux silicatés et de la dissolution des minéraux carbonatés (Sari, 2014).

**i. Chlorures  $Cl^-$**

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (Sari, 2014).

**j. Sulfates  $SO_4^{2-}$**

Les origines naturelles des sulfates sont l'eau de pluie 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).

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimique et de lessive (Ghazali et al, 2013).

**k. Nitrates ( $NO_3^-$ ) et nitrites ( $NO_2^-$ )**

Présent à l'état naturel et soluble dans le sol, les nitrates pénètrent dans le sol et les eaux souterraines, se déversent dans les cours d'eau. Mais ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais. Ils sont l'une des causes de la dégradation de l'eau.

Transformés en nitrites par l'organisme, ils peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine en "méthémoglobine" et provoquer un mauvais transfert de l'oxygène vers les cellules. Cette pathologie peut affecter les nourrissons de moins de 6 mois. Le risque est très difficile à établir. Partant d'un principe de précaution, la norme de potabilité pour l'eau a été fixée à 50 mg/l. Au-delà de 100mg/l, l'eau ne doit pas être consommée.

Les nitrites sont considérés comme étant des ions intermédiaires entre les nitrates et l'azote ammoniacal, ce qui explique les faibles concentrations rencontrées en milieu aquatique (quelques micromoles par litre d'azote nitreux).

Une concentration supérieure à 0,10 mg/l ne devrait pas être dépassée dans une eau d'origine profonde (Ghazali et al, 2013).

### **I.3.8.3. Paramètres microbiologiques**

L'eau destinée à l'alimentation humaine contient une multitude de microorganismes pathogènes, agents d'infections humaines redoutables. Ce sont des bactéries, des virus, voire des champignons et des algues (Sari, 2014).

#### **a. Germes totaux**

Ce sont des germes qui se développent dans des conditions aérobies. Leur présence est indicatrice de pollution bactérienne. Leur dénombrement donne une information sur la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine.

Ainsi, ils renseignent sur le degré de protection des nappes souterraines d'où provient l'eau à analyser (Sari, 2014).

#### **b. Coliformes**

Les coliformes appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Le terme «Coliforme» correspond à organismes en bâtonnets, non sporogène, Gram-négatifs, oxydase négatif, aéro-anaérobies facultatif, capable de fermenter le lactose (et mannitol) avec production d'acide et gaz en 48 heures à des températures de 35 et 37 °C.

Les coliformes comprennent les genres : Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia, Sérratia (Sari, 2014).

Les coliformes totaux ne sont pas tous d'origine fécale. Ils ne sont donc pas indicateurs d'une pollution fécale. Leur recherche est cependant utile pour contrôler la qualité d'une eau après traitement.

#### **c. Coliformes fécaux ou Coliformes thermo- tolérants**

Les coliformes fécaux ou coliformes thermo tolérants correspondent à des sous-groupes de coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'Escherichia coli (E. coli) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres Citrobacter, Enterobacter et Klebsiella. La bactérie E. coli représente toutefois 80 à 90 % des coliformes thermotolérants détectés (Groupe scientifique sur l'eau, 2003).

Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire. Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux, ces derniers leur sont préférables pour cette fonction (Groupe scientifique sur l'eau, 2003).

#### **d. Streptocoques fécaux**

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries placées dans ce groupe peuvent être retrouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs de pollutions fécales et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution (Sari, 2014).

## **I.4.Pollution des eaux souterraines**

### **I.4.1. Les différentes sources de pollutions**

#### **I.4.1.1. Pollution domestique et urbaine**

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux des vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques, micro-organismes...).

Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées.

Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants (Touhari, 2015).

#### **I.4.1.2. Pollution industrielle**

Elle constitue la deuxième source de pollution des eaux de surface et souterraines et peut avoir des causes variées. Les plus fréquentes sont les dépôts de déchets, les bassins d'eau de lavage ou de traitement de l'industrie minière, métallurgique ou chimique, qui ont été placés sans précautions, à même le sol, sur des terrains trop perméables. Les installations de stockage ou de transport des produits et déchets des complexes chimiques, raffineries, papeteries, industries alimentaires, peuvent aussi donner lieu à des pollutions chroniques ou accidentelles (Touhari, 2015). Cette pollution est caractérisée par :

- des matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires)
- des hydrocarbures (raffineries)
- des métaux (traitement de surface métallurgique)
- des acides, bases et produits chimiques divers (industries chimiques)
- de l'eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques)
- des matières radioactives (centrales nucléaires) (Touhari, 2015).

#### **I.4.1.3. Pollution agricole**

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines, alors que les professionnels agricoles ont longtemps nie l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refuse la moindre contrainte (Touhari, 2015).

Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture (Touhari, 2015).

Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais (ou comme aliments...) (Touhari, 2015).

#### **I.4.2. Les maladies à transmission hydrique**

Les maladies à transmission hydrique constituent un groupe de maladies à allure épidémique, dont la symptomatologie est le plus souvent digestive (diarrhées, vomissements...) et dont la nature et la propagation sont liées à divers facteurs, comme la mauvaise qualité de l'eau, le manque d'hygiène et la pauvreté (Bouziani, 2006).

#### **Quelques maladies à transmission hydrique**

- **Choléra** : Maladie contagieuse d'origine bactérienne qui provoque des infections intestinales aiguës, dont les symptômes sont diarrhées fréquentes, vomissements incontrôlables, soif intense et une déshydratation rapide. Cette maladie peut entraîner la mort dans 80% des cas graves non traités (Sari, 2014).
- **Fièvre typhoïde** : Fièvre d'origine bactérienne qui entraîne de la fièvre, des maux de tête, de l'anorexie, un ralentissement du rythme cardiaque, une augmentation du volume de la rate, la formation de taches roses sur le corps, une toux sèche et de la constipation. Cette maladie, qui peut être bénigne et asymptomatique, peut entraîner la mort dans 1% des cas (Sari, 2014).
- **Fièvre paratyphoïde** : Maladie d'origine virale, cliniquement semblable à la fièvre typhoïde. Le taux de mortalité est toutefois plus faible (Sari, 2014).
- **Dysenterie** : Terme générique qui caractérise des maladies entraînant une diarrhée douloureuse et sanglante accompagnée de coliques, de nausées et de vomissements, dysenterie bacillaire ou shigellose (causée par diverses bactéries), dysenterie amibienne ou amibiase (causée par des amibes). Seule la shigellose peut entraîner la mort, les taux de mortalité peuvent atteindre 20% (Sari, 2014).
- **Diarrhées infectieuses**: Maladies causées par diverses bactéries et dont les symptômes sont des selles liquides, des vomissements et de la fièvre. En général, elles n'entraînent pas la mort (Sari, 2014).

#### **I.4.3. Lutte contre la pollution des eaux**

La protection de l'eau souterraine contre la pollution, laquelle s'intègre dans la préservation du milieu souterrain, poursuit trois objectifs :

- La prévention, assurée en priorité par une réglementation basée sur des recherches et expérimentation ;
- La détection et ou le contrôle par les réseaux de surveillance de la qualité de l'eau souterraines ;
- La parade des moyens techniques appropriés et la décontamination très difficile dans l'état des techniques actuel.

Ces trois actions nécessitent la prévision de la migration et de l'évolution des polluants dans le sol et dans le sous-sol. L'étude de comportement des polluants au cours de leur migration dans le circuit atmosphère\ sols\aquifère\écoulement, permet de déceler l'origine des contaminations et de prévoir leur évolution, donc de mettre en œuvre une prévention. L'outil le mieux adapté à la prévision, techniquement et économiquement, est le modèle mathématique de stimulation hydrodynamique et hydro chimique (Castany, 1982).

#### **I.4.4. Traitement des eaux**

L'objectif fondamental du traitement de l'eau est de protéger les consommateurs des micro-organismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé. Qu'elles soient d'origine souterraines ou superficielles, les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est souvent nécessaire de leur appliquer un traitement plus ou moins approprié (Valentin., 2000). Si une protection continue de la source ne peut être garantie, il sera impératif de procéder à une désinfection et de maintenir une concentration de chlore résiduel suffisante (Sari, 2014).

Les eaux de sources sont naturellement propres à la consommation humaine. Les seuls traitements qui sont permis d'être appliqués, afin d'éliminer les éléments instables (gaz, le fer et le manganèse) sont : l'aération, la décantation et la filtration (Sari, 2014).

#### **I.5. Conclusion**

Les eaux souterraines acquies de nombreux éléments chimiques au cours de leur trajets ce qui détermine leur caractéristiques et elles sont sujettes à des pollutions soit dans la nappe, soit à leur sortie, mais la décontamination étant très difficile il faut agir en priorité sur la prévention contre la pollution de l'eau souterraine.

# *Chapitre II*

---

PRÉSENTATION

DE LA

RÉGION D'ÉTUDE

## II.1. Introduction

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de pollution au niveau de la nappe. Dans ce chapitre nous allons nous intéresser à la description du bassin du Haut Cheliff, à l'étude des facteurs hydro-climatologiques et géologiques (Touhari, 2015).

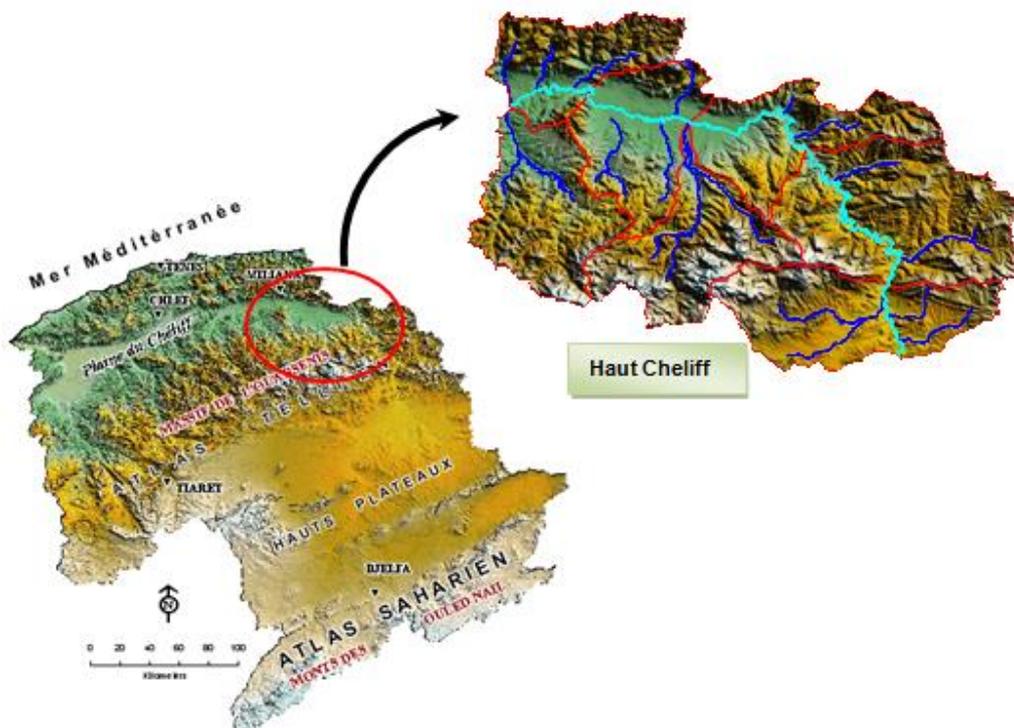
Le comportement des nappes aquifères et la variation du niveau piézométrique dépendent étroitement des précipitations et des prélèvements, car le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande. Il est important de signaler à cet effet que l'alimentation est régie par la fraction de pluie qui s'infiltré vers la zone saturée, constituant à moyen terme la véritable ressource mobilisable (Touhari, 2015).

## II.2. Situation géographique

La région d'étude correspond au bassin du Haut Cheliff, elle est située au Nord-Ouest de l'Algérie et fait partie du bassin hydrographique du Cheliff au Nord-Est de ce dernier (figure 4) (Touhari, 2015).

Elle est limitée naturellement :

- ✓ Au Nord par le bassin du Côtier Dahra.
- ✓ Au Sud par le bassin amont du Cheliff.
- ✓ A l'Est par le bassin hydrographique de l'Algérois.
- ✓ A l'Ouest par le bassin du Moyen Cheliff.



**Figure 4.** Carte topographique de la région d'étude (Touhari, 2015)

### II.3. Réseau hydrographique

Au point de vue hydrologie, le bassin versant du Haut Cheliff se draine par l'oued principal du Cheliff qui reçoit les affluents qui constituent les zones d'alimentation de la nappe alluviale. Il s'agit de l'Oued Souffay, Oued Raihene, Oued Boutane au Nord et Oued Deurdeur, Oued Massine, Oued Djelida et Oued Harreza dans la partie Sud du bassin versant. Elles sont collectées au centre de la plaine par l'Oued Cheliff qui draine toutes les eaux du bassin versant vers l'exutoire Seuil de Doui (Bettahar., 2012).

### II.4. Climat du bassin du Haut Cheliff

Le climat est un facteur déterminant de la disponibilité en eau. Ainsi, pour dégager l'individualité climatique de la région, l'approche la mieux indiquée est celle fondée sur l'étude des paramètres climatiques en rapport avec l'eau, en particulier la pluie, le bilan hydrique et l'évapotranspiration (Touhari, 2015).

La plaine du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences sahariennes en été et des influences méditerranéennes en hiver, caractérisée par deux saisons distinctes : un hiver froid et un été chaud. (Figure 5)



Figure 5. Carte des étages bioclimatique du bassin Cheliff. (Source Touhari, 2015)

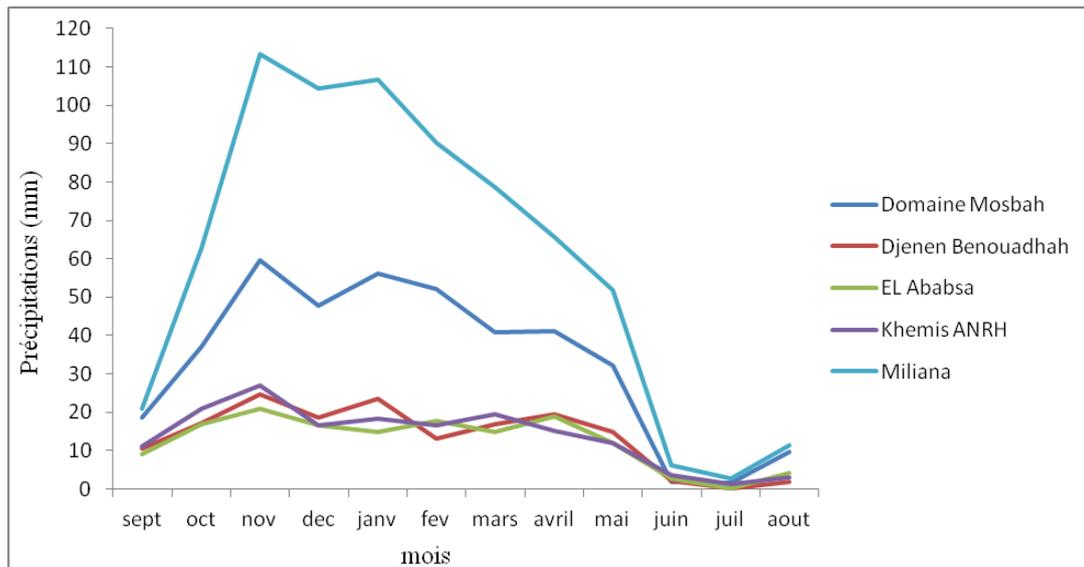
#### II.4.1. pluviométrie

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès des secteurs de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques Khemis Miliana, sous forme de tableaux des cumuls mensuels et annuels.

Les sous-bassins versants étudiés sont équipés de cinq stations pluviométriques dont les caractéristiques sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 3. Caractéristiques des stations pluviométriques

Code de station	Nom de Station	coordonnées		
		X	Y	Z
011510	Domaine Mosbah	469800	321550	313
011514	Djenen Benouadhah	475650	325200	320
011715	El Ababsa	443900	318500	313
011717	Khemis ANRH	456200	329000	300
011715	Miliana			

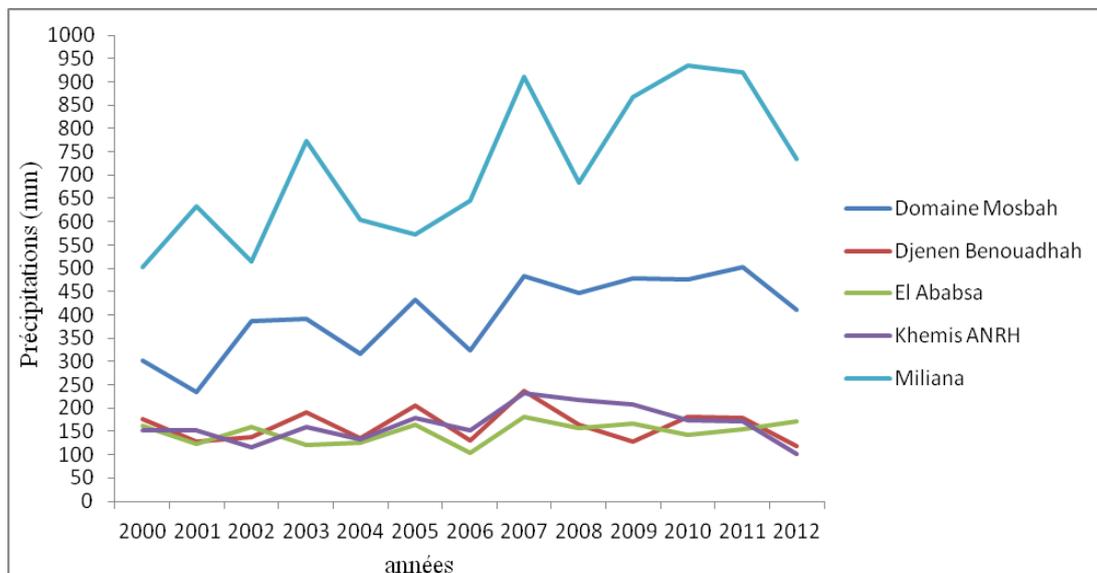


**Figure 6.** Evolution des précipitations moyennes mensuelles des différentes stations (2000-2012)

D'après la figure 6, les valeurs de précipitations les plus élevées sont enregistrées au mois de Novembre et les plus basses sont au mois de Juillet.

Les plus grandes valeurs de précipitation sont enregistrées au niveau de la station de Miliana puis au niveau du domaine Mosbah.

D'après le tableau 2 (annexe 1) la saison d'été (juin-août) est la moins arrosée avec un intervalle de 3 à 5% des précipitations moyenne annuelle au niveau des 5 stations, les pluies d'hivers (décembre-février) et printemps (mars-mai) représentent 59 à 69%.



**Figure 7.** Evolution des précipitations annuelles des différentes stations (2000-2012)

D'après la figure 7, la pluviométrie annuelle est assez variable d'une année à une autre. L'année hydrologique 2007-2008 est celle qui a enregistré la plus grande valeur pluviométrique au niveau des stations de Khemis, El Ababsa, Djeneb Benouadhah, mais pour la station de Domaine Mosbah c'est 2011-2012 et celle de Miliana c'est l'année 2010-2011, alors que les précipitations les plus basses enregistrées sont 2012-2013 dans les stations de Khemis et Djeneb Benouadhah, 2006-2007 pour la station d'El Ababsa, 2001-2002 pour celle de Domaine Mosbah et 2000-2001 pour celle de Miliana.

#### II.4.2. Répartition géographique des précipitations

Pour cerner la disposition des régions pluviométriques à travers le bassin et l'évaluation de la lame d'eau précipitée, il est nécessaire de passer de l'information ponctuelle, qui est l'observation des stations pluviométriques plus ou moins dispersées artificiellement dans le bassin, à une estimation valable de la tranche d'eau moyenne précipitée sur l'ensemble du bassin.

La carte des isohyètes, établie à partir des séries chronologiques de longue durée pour la période 1968/1969-2001/2002 (figure 8), montre une concentration des précipitations sur les versants Sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations 011803 Sidi Medjahed et 011806 El Anneb). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Haut Cheliff où elles varient entre 300 et 400 mm, et dans le sud du bassin où elles atteindraient plus de 500 mm. La disposition longitudinale des isohyètes en bandes plus ou moins parallèles et les valeurs décroissantes du Nord au Sud, est toutefois, altérée au niveau de la chaîne de l'Ouarsenis où intervient le rôle important de l'altitude ainsi que la dissymétrie pluviométrique entre les versants du Nord-Ouest au vent et les versants Sud-Est sous le vent. Ainsi, on remarque bien une augmentation de l'Ouest vers l'Est marquée aussi par l'augmentation du gradient altimétrique du bassin.

#### II.4.3. Variations saisonnières des précipitations

Comme le montre le tableau 4, les pluies d'hiver- printemps dans le bassin du Haut Cheliff représentent 62% du total annuel, alors que moins de 10 % seulement sont reçues en été (juin - Août).

**Tableau 4.** Distribution saisonnière des précipitations.

Bassin	Sept-nov (%)	Déc-Fevr (%)	Mars-Mai (%)	Juin-Aout (%)
Haut Cheliff	28,4	30,1	31,8	9,7

(Source Touhari, 2015)

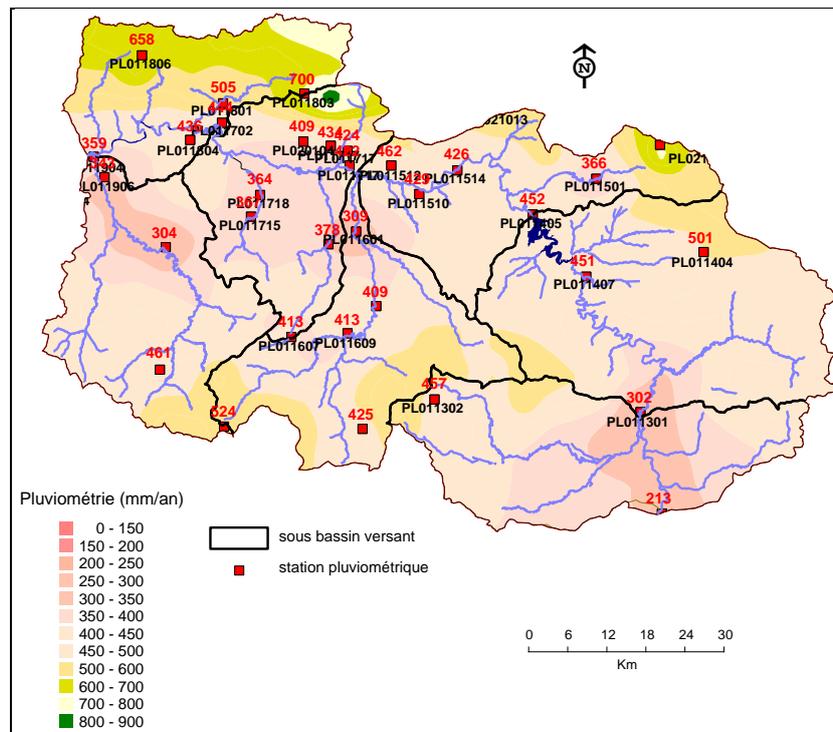


Figure 8. Pluviométrie moyenne inter-annuelle (période 1968-2001) (source : Touhari, 2015)

#### II.4.4. Température

La température est un facteur déterminant dans l'établissement d'un bilan hydrologique car les phénomènes de condensation et de l'évaporation sont intimement liés à la température. Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Les données de température proviennent de la station du barrage de Harreza et celle de Miliana (2000-2012).

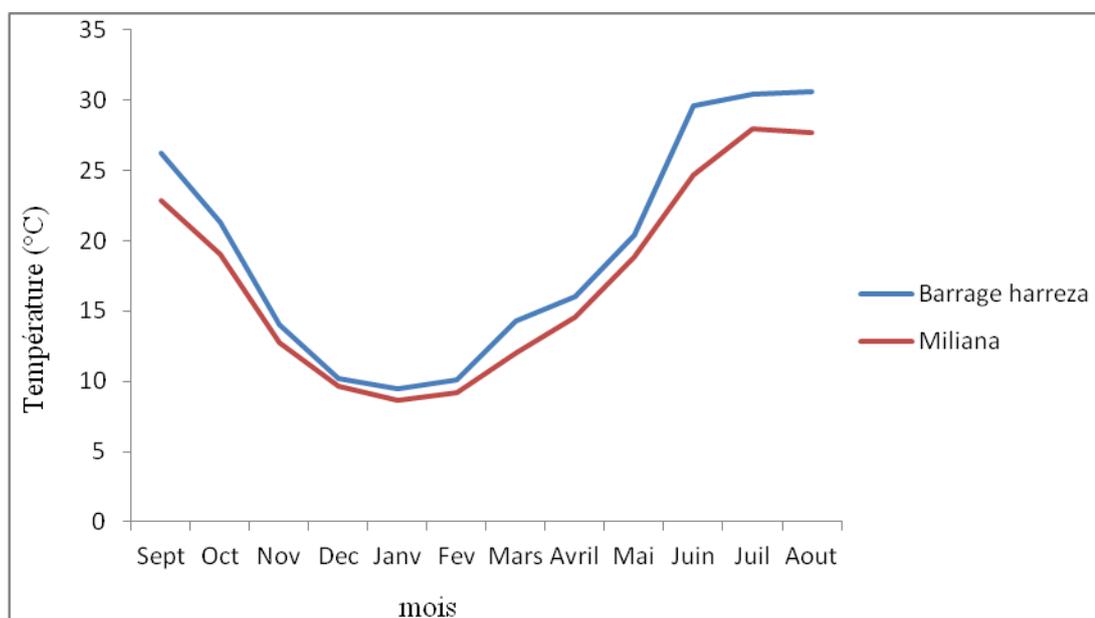


Figure 9. Représentation graphique des températures moyennes mensuelles des stations du Barrage Harreza et Miliana (2000-2012)

D'après la figure 9 on remarque une décroissance rapide de la température du mois de septembre au mois de janvier puis une croissance qui va du mois de février à Août avec une température minimale de 9.43°C, une maximale de 31°C et une moyenne annuelle de 19,4°C au niveau du barrage de Harreza ; la station de Miliana a enregistré une température minimale de 8.67°C et une maximale de 28°C avec une moyenne annuelle de 17,3°C.

Les valeurs de températures moyennes mensuelles supérieures à la moyenne annuelle sont enregistrées du mois de mai à octobre et celles inférieures à la moyenne vont de novembre à avril divisant ainsi l'année en deux saisons, l'une froide et l'autre chaude.

Les mois les plus froids sont Décembre, Janvier et Février. Alors que les mois les plus chauds sont juillet et Août.

### ➤ Diagramme ombrothermique

C'est la représentation graphique des précipitations et des températures moyennes mensuelles en un lieu donné.

A partir des figures n°10 et 11, on constate que la période humide correspond au mois d'octobre à mai, c'est la période où la barre des précipitations est au-dessus de celle des températures. Pour le reste on compte 5 mois (mai-octobre) où les températures sont supérieures aux précipitations qui correspond à la période sèche.

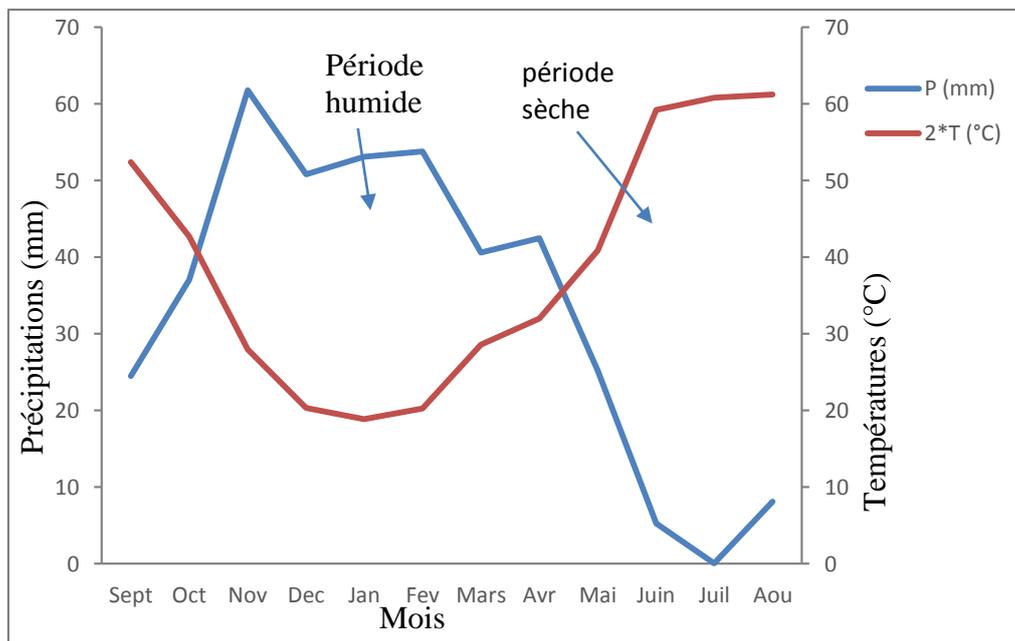


Figure 10. Diagramme ombrothermique du barrage de Harreza

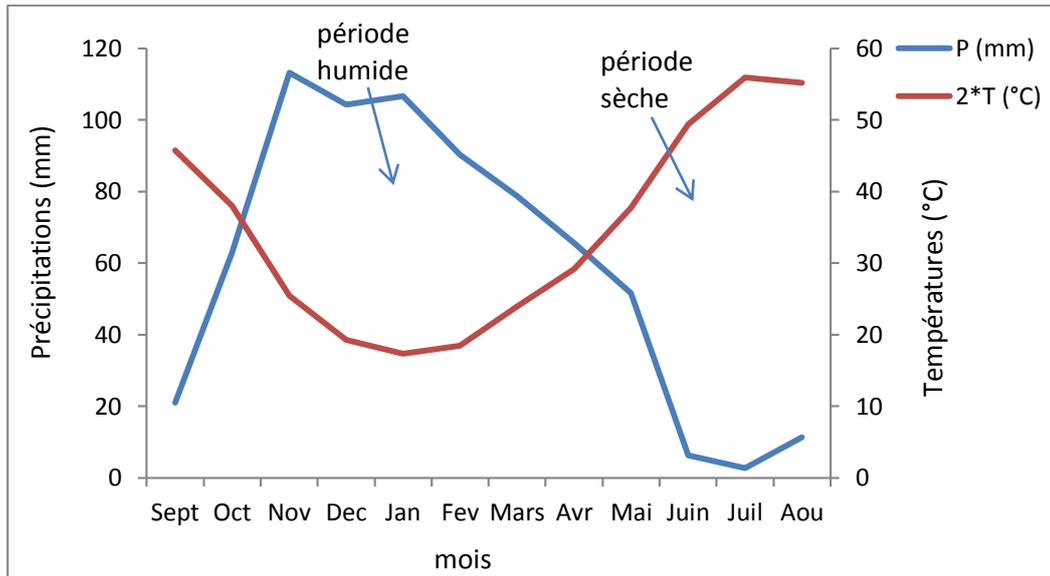


Figure 11. Diagramme ombrothermique de la station de Miliana

## II.4.5. l'évapotranspiration

### II.4.5.1. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la Hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum (Debiech 2002 et Touhari, 2015).

L'estimation de ce paramètre a été faite à l'aide de la formule de Thornthwaite.

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température T (°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation suivante :

$$ETP_{(\text{mois, corrigé})} = 1,6. (10 T / I)^a . \quad (1)$$

où :

$$I = \sum i \quad (2)$$

$$\text{et } i = (T / 5)^{1,514} \quad (3)$$

$$a = (1,6/100) I + 0,5 \quad (4)$$

avec :

ETP: Évapotranspiration potentielle (mm).

K : coefficient de correction mensuel qui dépend de la latitude du bassin et de la durée moyenne d'ensoleillement du jour.

I: Indice thermique annuelle.

i: Indice thermique mensuel.

T: Température moyenne mensuel en °C.

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- si pour un mois  $P \geq ETP$  on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste (P-ETR) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.
- si  $P < ETP$ , on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit : La valeur de  $ETR = P + \min(RFU, ETP - P)$ . Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole  $Da = ETP - ETR$ , ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation, c'est à dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

Les résultats de l'ETP obtenus par la formule de Thornthwaite sont représentés dans le tableau 5. Les températures et les précipitations moyennes mensuelles sont calculées sur une période de 12 ans (2000 à 2012) de la station de Harreza.

**Tableau 5.** Bilan hydrologique de Thornthwaite pour le barrage de Harreza

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Ann.
T (°c)	26,22	21,35	14	10,18	9,43	10,13	14,29	16	20,43	29,6	30,42	30,64	19,4
K	1,03	0,97	0,85	0,84	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,22	1,24	1,16	
P (mm)	24,5	37,1	61,8	50,8	53,1	53,8	40,6	42,5	25,2	5,25	0,09	8,12	402,86
ETP (mm)	125,2	76,7	27,8	14,1	12,5	14,2	35,2	47,2	87,3	191,1	205,6	195,3	1032,2
P-ETP (mm)	-100,7	-39,6	34	36,7	40,6	39,6	5,4	-4,7	-62,1	-185,85	-205,51	-187,18	
ETR (mm)	24,5	37,1	27,8	14,1	12,5	14,2	35,2	47,2	87,3	38,57	0,09	8,12	346,68
RFU (mm)	0	0	34	70,7	100	100	100	95,3	33,32	0	0	0	
WS (mm)	0	0	0	0	11,3	39,6	5,4	0	0	0	0	0	56,3
Da (mm)	100,7	39,6	0	0	0	0	0	0	0	152,53	205,51	187,18	685,52

WS: Excédent (mm). Da : Déficit agricole (mm)

D'après le tableau l'évapotranspiration réelle au niveau du barrage de Harreza est estimée à 346,68mm pour une précipitation moyenne annuelle de 402,86mm. Elle représente 86% des précipitations. Le reste constitue l'excédent (56,3 mm) qui représente la quantité d'eau qui s'infiltré et/ou s'écoule dans les oueds selon la formule suivante :

$$WS = R + I \quad (5)$$

Où WS: Excédent (mm).

R: Ruissellement (mm).

I: Infiltration moyenne annuelle (mm).

Pour déterminer l'infiltration on calcul d'abord le ruissellement

✓ **Détermination du ruissellement (R)**

Nous estimons le ruissellement selon la formule de Texeront- Berkaloff

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2} \quad (6)$$

Où

R : Ruissellement (m).

P : Précipitations moyennes mensuelles (m).

ETP : Évapotranspiration potentielle (m).

Nous aboutissons à  $R = 20,42$  mm le ruissellement représente 5% des précipitations.

✓ **l'infiltration (I)**

$$I = WS - R \quad (7)$$

L'infiltration serait donc de 35,88 mm environ 8,8% des précipitations.

## II.5.Contexte géologique

### II.5.1.Contexte géologique général

Le bassin versant du Haut Cheliff est situé dans le domaine du tell septentrional et correspond à un sillon intra montagneux subsidés, allongés grossièrement d'Est en Ouest, sur plus de 60km de long et moyenne de 25km de large, et localisé entre le massif de Boumaâd et les contreforts de l'Ouarsenis. Du point de vue lithostratigraphique, la dépression du Haut Cheliff est constituée dans son ensemble par des terrains d'âges Mio-Plio-Quaternaire.

Les terrains Quaternaires sont essentiellement représentés par des dépôts alluvionnaires de l'oued Chélif (Bettahar, 2012).

#### II.5.1.1.Stratigraphie

Dans cette étude on s'est essentiellement basé sur les caractéristiques lithostratigraphiques des différentes formations géologiques. La série stratigraphique s'étale du Primaire au Quaternaire (Bettahar, 2012).

##### a. Le Primaire

Le Primaire est constitué d'une alternance des schistes noirs graphiteux et de bancs de quartzites et argiles (Bettahar, 2012).

##### b. Le Trias

Le Trias est généralement constitué par des dolomies et des calcaires dolomitiques. Il affleure dans le massif de Doui et de Zaccar (Bettahar, 2012).

##### c. Le Jurassique

Le jurassique est constitué dans le massif de Zaccar par des calcaires massifs, compacts, fracturés, karstifiés et surmontés par des schistes gréseux et des marno-calcaires. L'ensemble de la série atteint une épaisseur de 700m environ (Bettahar, 2012).

##### d. Le Crétacé

Le crétacé affleure sur les bordures latérales de la plaine, il est représenté de la base au sommet par :

- Des argiles schisteuses de Néocomien d'une épaisseur de 900m environ au Nord et à l'Ouest de Zaccar.
- Des faciès flyschs de l'Abien qui se développe dans le massif de Boumaâd.
- Des marnes avec des intercalations de bancs de calcaire d'âges Sénonien (Bettahar, 2012).

**e. Le Miocène**

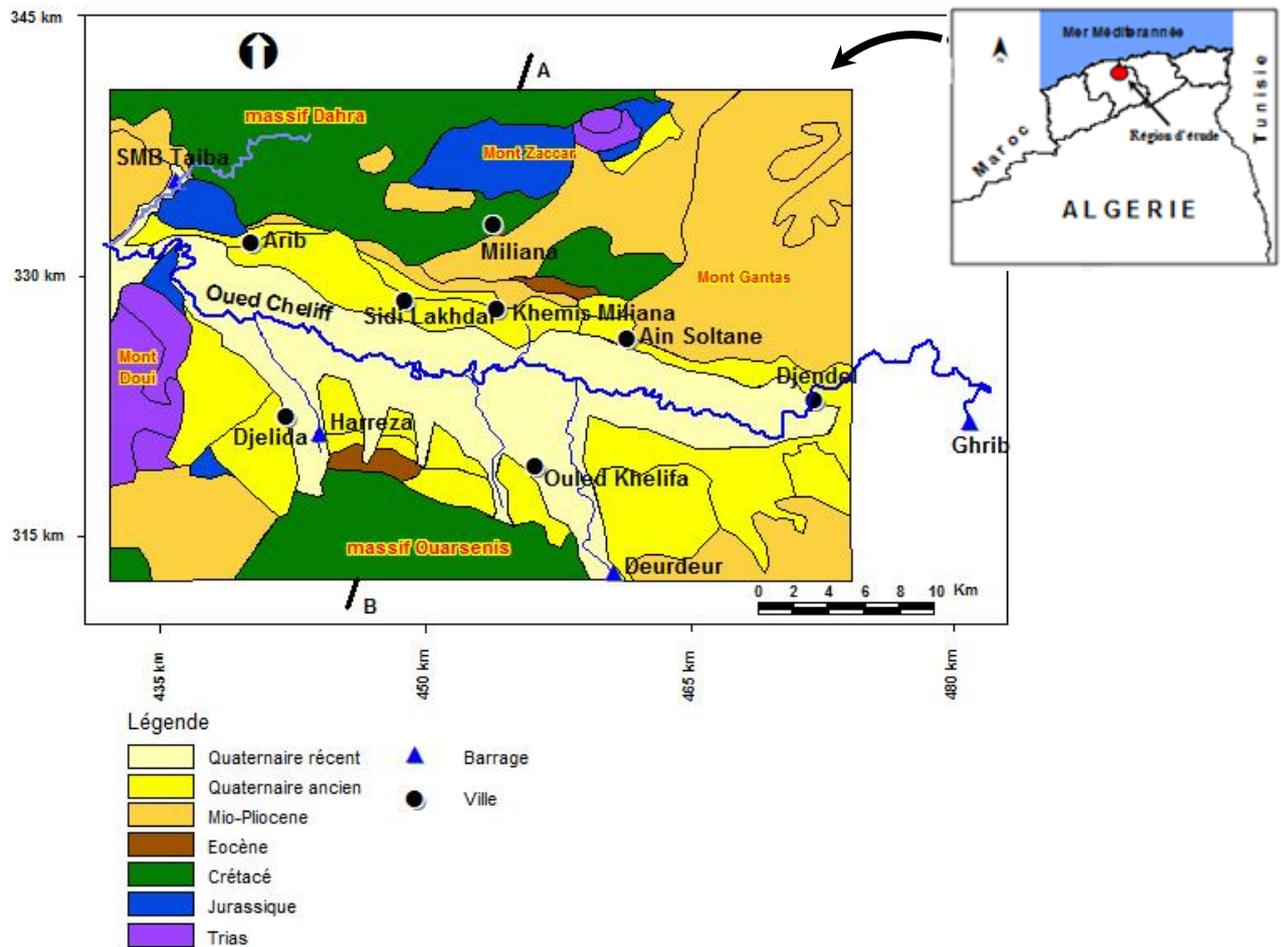
Le Miocène peu atteindre 1300m d'épaisseur et il est constitué de la base au sommet par :

- **Le Miocène inférieur (Burdigalien)**

Le Miocène inférieur repose sur des terrains plus anciens Eocènes et Crétacé et débute par une formation conglomératique d'épaisseur environ 1000m.

Cette formation est constituée essentiellement de conglomérats polygéniques à éléments de taille très variables, mal trié, avec des niveaux sableux ou gréseux mal stratifiés parfois gypsifères.

Au sommet, les niveaux conglomératiques deviennent plus fins et passent progressivement à des marnes gréseuses rouges à brunes verdâtres (Bettahar, 2012).



**Figure 12.** Carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana. (Source : Touhari, 2015)

Epaisseur (m)	Log	Lithologie	Age	Comportement Hydrogéologique
100		Limons Alluvions	Quaternaire	Perméable
100		Argiles Grès et conglomérats	Pliocène	Imperméable
100		Grès et poudingues		Perméable
200		Argiles Grès et poudingues	Miocène supérieur (Vindobonien)	Imperméable
?		Calcaire		Perméable
300		Marnes		Imperméable
1000		Grès et poudingues	Miocène inférieur (Burdigalien)	Perméable
20		Calcaires		
?		Grès quartzitiques Argiles et schistes	Eocène	Perméable Imperméable
?		Marnes et calcaires Marneux	Sénomien	Imperméable
50		Calcaires et marnes calcaire	Cénomaniens	Imperméable
1000		Schistes et bancs de quartzites	Albien	
900		Argiles schisteuses	Néocomien	Imperméable
1000		Calcaires	Jurassique	Perméable
?		Dolomies et calcaires dolomitiques	Trias	perméable
300		Schistes et quartzites	Permo - Trias	Imperméable

Figure 13. Colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologiques des différentes formations d'après le log stratigraphique établi par Perrodon, 1957. (source : Touhari, 2015)

- **Le Miocène supérieur (Vindobonien)**

Le Miocène supérieur est constitué par une série représentée de la base au sommet par :

Des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2m à ciment sablo-marneux, surmontés par un niveau marneux de couleur bleu d'une épaisseur environ 50m.

Des marnes blanches alternant avec quelques bancs siliceux couronnés par un dépôt de grès et de sable d'une épaisseur d'environ 100m.

Une formation marneuse de couleur bleue, représentant un faciès argileux parfois gypseux d'environ 90m d'épaisseur (Bettahar, 2012).

**f. Le Mio-Pliocène**

Il est constitué par des galets quartzeux, des conglomérats, des grès et des argiles détritiques ainsi que le travertin ancien déposer au niveau des sources du Zaccar (Bettahar, 2012).

**g. Le Pliocène :**

On distingue un Pliocène marin et un Pliocène continental :

- **Le Pliocène inférieur (Pliocène marin)**

Il est représenté par une série marneuse qui débute par des niveaux détritiques gréseux ou sableux et parfois conglomératiques, ensuite on a un passage progressif dans la partie supérieur à des marnes sableuses et sables argileux formant tous les termes de passage aux Astiens.

L'Astien est représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grès sont souvent à ciment calcaire localement passer à des calcaires gréseux (Bettahar, 2012).

- **Le Pliocène supérieur continental (Villafranchien)**

Le Pliocène continental est formé de conglomérats à éléments gréseux à grésocalcaires et des sables non consolidés.

Les dépôts sableux rouges à stratifications entre croisées qui succèdent aux conglomérats précédents appartiennent au Villafranchien.

Ces dépôts reposent le plus souvent sur les limons gris. Parfois les conglomérats du Pliocène supérieur n'existent pas et les formations rouges du Villafranchien se trouvent alors en contact des grès astiens ; d'ailleurs au Sud de Chélif sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire recouvre directement les calcaires gréseux du Miocène (Bettahar, 2012).

**h. Le Quaternaire**

Les dépôts quaternaires sont continentaux. On distingue un Quaternaire ancien et un Quaternaire récent (Bettahar, 2012).

- **Le Quaternaire ancien**

Il est représenté essentiellement par des alluvions conglomératiques : galets, graviers, et des sables. Les alluvions du quaternaire ancien sont observées au pied du massif de Zaccar et en particulier à l'Est de Sidi-Lakhder. Elles forment les vastes collines en bordure du Sud de la plaine d'El Khemis (Bettahar, 2012).

- **Le Quaternaire récent**

Le quaternaire récent est formé essentiellement de limons, dont l'épaisseur varie de 50 à 200m, on y distingue de bas en haut :

- Des limons bruns à rouges, les plus anciens sont discordants sur le Quaternaire ancien. Ces limons recouvrent la presque totalité de la dépression sous forme d'alternance sablo-gréseuse.
- Des grés visibles sur les berges des oueds, forment des accumulations de niveaux très fins dont les épaisseurs peuvent atteindre 5m. ce sont d'anciennes vases asséchées. Ces formations proviennent de l'érosion des reliefs avoisinants.
- Des alluvions actuelles formées de limons, de sables, de galets et de cailloutis au fond des talwegs et dans et dans les zones de confluence des oueds et des méandres abandonnées (Bettahar, 2012).

### **II.5.1.2. Caractères lithologiques du bassin versant et perméabilité**

#### **a. Principaux aquifères**

➤ **Calcaires jurassiques**

Les calcaires d'âge jurassique constituent un important réservoir qui se particularise par la présence des fissures représentatives d'un milieu approprié pour la circulation et le stockage de l'eau souterraine. Toutefois la densité et la répartition mal connues de ces fissures posent d'énormes problèmes pour l'implantation des puits de forages (Keita, et Bocoum., 2013).

➤ **Miocène**

Il se présente sous forme de conglomérats plus ou moins argileux et sableux. Les calcaires du miocène affleurent le long de la limite sud de la vallée.

L'observation de ces affleurements et les données de forages, suggèrent la présence d'espaces vides et de fissures internes ouverts. Cette situation est provoquée par dissolution des carbonates sous l'influence de l'infiltration de l'eau de pluie, particulièrement le long des surfaces de contact. L'aquifère s'est développé dans ces espaces vides (Keita, et Bocoum., 2013).

➤ **Le Pliocène**

Ce sont essentiellement les grés sableux jaunâtres de l'Astien, qui vont voir leurs sommets se transformer en sables dunaires à hélix. L'épaisseur est très variable atteignant quelquefois les 100m au centre de la plaine et quelques mètres aux affleurements (Keita, et Bocoum., 2013).

➤ **Alluvions quaternaires**

Elles forment les plaines du haut et du moyen Cheliff. C'est dans ces plaines et leurs piémonts les plus immédiats qu'ait été fait l'inventaire systématique des puits.

Les descriptions lithologiques des forages indiquent que plus de 20% des matériaux traversés sont décrits comme étant des sables, des graviers ou des grés. Ces données montrent également une gamme de profondeurs de forages qui va de 12 à 300m, avec une profondeur moyenne de 66m (Keita, et Bocoum., 2013).

L'examen des coupes lithologiques montre également :

-Qu'au-dessous de la zone des sols, on trouve une importante épaisseur de matériaux argileux (souvent décrits comme argile plastique ou compacte, argile limoneuse ou sableuse). Les épaisseurs moyennes et maximales enregistrées sont respectivement de 23m et 50m. Ce profil argileux épais se trouve dans une grande partie de la zone centrale de la vallée (Keita, et Bocoum., 2013).

-Une couche mince de sable fin de 1 à 3m d'épaisseur se trouve parfois à l'intérieur de la partie supérieure de ces sédiments argileux, généralement entre 9 et 15m de profondeur. Elle est invariablement rapportée comme contenant des eaux salées, la répartition de cette couche est irrégulière et semble être horizontalement discontinue (Keita, et Bocoum., 2013).

### II.5.2. Contexte géologique local

Notre étude est basée sur les trois sources d'eau situées dans la région du Haut Cheliff destinées à l'approvisionnement en eau de la population ; La première source de Djendel (Mharza) se situe dans le massif du Gountas à 396m d'altitude, la deuxième est celle de Zougala (Talaouchiba) située dans le massif du Zaccar à 507m. La troisième source de Djelida appelée (Oueguenay) se situe au pied du mont de Doui à 430m d'altitude. (Tableau n°6)

**Tableau 6.** Présentation des différentes sources

Sources	coordonnées		altitude	localisation
	X (km)	Y (km)	Z (m)	
Djendel (M'harza)	476.648	327.388	396	Gantas
Zougala (Talaouchiba)	457.45	332.822	505	Zaccar
Djelida (Ouguenay)	437.988	320.706	430	Doui

#### II.5.2.1. Source Zougala (Talaouchiba)

La source de Zougala est située sur les calcaires anciens du Travertin (figure 14), les formations qui affleurent en surface sont :

##### a. mésozoïque

- ❖ **Jurassique indéterminé (J)** : calcaire du Zaccar ; alternance de calcaires bleus, noirs ou gris, bien stratifiés en gros banc, de calcaires bleus en dalles minces et de calcaires feuilletés noirs. Ces calcaires azoïques, contiennent des grains de quartz et parfois des lentilles de quartzites. Parfois rubannés, ils sont souvent transformés par dolomitisation et métasomatose ferrugineuse. Ils contiennent des gites d'hématite, oligiste, etc... Ils sont parfois silicifiés. De belles brèches de métasomatose s'observent entre le col des Riras et Tazrout. La base de la série est parfois dolomitique ailleurs. Elles contiennent des conglomérats à blocs de taille variable (jusqu'à 20cm), généralement anguleux (Sharpstone-conglomérat) avec des débris du primaire sous-jacent. Ces calcaires sont discordants sur la série primaire. Leur épaisseur variable peut atteindre 1000m dans le Zaccar Rherbi. Ils sont datés par analogie avec les calcaires du Doui, du Djurdjura, des Atlas de Blida et du Bou Maad (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).

- ❖ **Série jurassique du Zaccar (Js) :** qui comprend :
  - Des schistes plus ou moins quartziteux, de teinte variable (gris, bleuâtre, jaunâtre), azoïques affleurant au Nord du Zaccar Rherbi.
  - Série schisto-quartzeuse à Radiolaires, développées principalement au Nord, à l'Ouest et à l'Est du Zaccar Rherbi (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).
- ❖ **Les séries jurassiques de littré (Jx) :** cette série mal datée constitue un équivalent latéral de la série du Zaccar et des calcaires Zaccar. Autour de littré on observe, au-dessous des schistes bleus néoconmiens :
  - Un ensemble de calcaire bleu-noir analogues aux calcaires du Zaccar, intercalés de marnes à leurs bases : 100m environs.
  - Une série monotone de schistes satinés sériciteux, à grains de quartz anguleux.
  - Des brèches recouvrant en discordance et reprenant l'éruptif du Doui (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).
- ❖ **Albien (C<sup>2-1</sup>) :** série à faciès flysch, très plissée et ravinée. Schistes gris ou brunâtres, noduleux, alternant avec de petits bancs quartzeux. Atteint des épaisseurs de 100m. On note d'épaisses intercalations de quartzite surtout au sommet de série. L'Albien repose en discordance sur le Jurassique et le Primaire dans le Zaccar. Il est concordant avec le Crétacé inférieur (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).

## b. cénozoïque

- ❖ **Travertins anciens calcaires (T) :** déposés par les sources du Zaccar, très épais autour de Miliana. Souvent bréchoïdes à la base ils contiennent par places (par exemple le long de la route de Miliana à Levacher) des empreintes végétales (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).
- ❖ **Mio-pliocène (mp) :** grès et poudingues. Formation discordante sur le Vindobonien, plongeant sous les alluvions anciennes de la plaine du Haut Cheliff, entre Affreville et Littré. Cette série comprend des cailloutis à galets quartzeux, des conglomérats, grès et argiles détritiques. Sous la plaine du Cheliff, elle a été traversée sur plus de 100m par des sondages dans la partie Est de la feuille et sur la feuille de Lavierie (Vesoul-Benian). Elle date sans doute de la même phase de remblaiement que les cailloutis mio-pliocènes du sahel d'Alger (série de maison-carrée) (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).
- ❖ **Alluvions anciennes (q') :** niveaux inférieurs. Ces alluvions dominant les cônes de déjection et la plaine sont généralement mieux cimentés que les produits des cônes de déjection (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).

### II.5.2.2. Source de Djendel (M'harza)

Elle est située sur les argiles et les grès d'âge miocène (figure 14), les formations qui affleurent en surface sont :

- ❖ **Argile helvétiques (m<sup>2</sup>)** : argiles grises puissantes très développées sur les deux versants du Gontas et vers Médéa ; leur épaisseur peut atteindre 250m. Très déliquescentes, ces argiles constituent un sol instable remarquable par sa nudité et la forme ondulée des contreforts (Notice carte géol Djendel).
- ❖ **Argiles et grès (m<sup>2e</sup>)** : à Ostreocrassissima. Assise constante à la base de m<sup>3b</sup>; très développée sur les flancs du Gontas et autour du plateau de Sidi-Ali, en s'étendant vers le Sud dans la région d'Amoura. L'Ostreocrassissima est ici le seul fossile ; mais dans la région d'Inkermann, c'est à ce niveau qu'a été rencontrée une belle faune helvétique à Tudiclarusticula et Cardita Darwini (Notice carte géol Djendel).
- ❖ **Grès (m<sup>3b</sup>) et Poudingues du Gontas (Tortonien) (m<sup>3p</sup>)**: Assise puissante de plus de 100m d'épaisseur de grès sableux intercalés de poudingues. L'Ostreocrassissima s'y rencontre à tous les niveaux. Cette formation est transgressive sur le crétacé un peu à l'ouest de la feuille (Miliana). Elle passe dans la région d'Orléansville aux calcaires à lithohamium et dans celle de Mascara à des marnes à faune tortonienne (Notice carte géol Djendel).

### II.5.2.3. Source de Djelida (Ouguenay)

Elle est située sur les cônes de déjection du quaternaire ancien (figure 14), les formations qui affleurent en surface sont :

- ❖ **Séries éruptives primaire ( $\alpha^a$ ,  $\alpha^b$ ,  $\varepsilon$ )** interstratifiée entre des schistes primaires et le Permo-Trias dans le Zaccar. Dans le Doui, elle affleure sous le Permo-Trias. Elle comprend dans les deux massifs des roches intrusives holocristallines, des roches d'épanchement vitreuses et des tufs volcaniques.

Les roches intrusives du Zaccar sont constituées principalement par des dolérites andésitiques à pyroxènes ouralitisés et épidote et des roches très modifiées et albitisées, des rhyolitoïdes très cristallines et à aspect fluidal, des verres pauvres en cristaux ayant parfois l'aspect de pyromérides et des andésites ou dacitoïdes.

Enfin on observe des tufs volcaniques formés des débris des roches précédentes associés à des fragments de roches sédimentaires (grès, schistes), des cristaux de quartz, de plagioclases, de magnétites avec un ciment sériciteux, chloriteux, calcaire ou argileux. Ces tufs, interstratifiés dans les schistes attribués au primaire, passent latéralement à des microbrèches sédimentaires et à des schistes analogues à ceux dit primaires (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).

- ❖ **Primaire indéterminé ( $\alpha$ )** sous la série éruptive et, semble-t-il en concordance avec elle, on voit dans le Zaccar Chergui :
  - Une alternance de schistes noir graphiteux  $\alpha^d$  et de banc de quartzites  $\alpha^c$  contenant encore au sommet des lentilles de tufs éruptifs blancs. Au-dessus des quartzites blancs intercalé de schistes  $\alpha^a$  semblent reposer les schistes verts légèrement métamorphiques  $\alpha^b$ .

- Des débris de plantes ont été recueillis dans des grès associés aux schistes graphiteux. Cette série présente des analogies avec le Dévono-Carbonifère du Chenoua (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).
- ❖ **Permo-Trias (rt)** série azoïque, datée par comparaison avec les faciès analogues de la zone de Kabylies et du Maroc. On y observe de haut en bas :
  - Schistes (500m) de teinte plus ou moins violacée, alternant avec des quartzites rose d'allure lenticulaire, surtout bien développés au sommet de la formation, où ils se présentent parfois en bancs de 50m d'épaisseur(Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).
- ❖ Conglomérat type verrucano avec galets de quartz blanc ou rose et élément arrachés aux séries sous-jacentes. Ces conglomérats passent au sommet à des grès grossiers. Ils reposent sur la série éruptive et, par place, sur les schistes (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).
- ❖ **Cônes de déjection (q)** des torrents descendant des massifs montagneux. Se formant encore actuellement. (Notice carte géol Miliana 2<sup>ème</sup> édition).



**Photo 1.** Captage de la source de Zougala



**Photo 2.** Captage de la source de Djendel



**Photo 3.** Captage de la source de Djelida

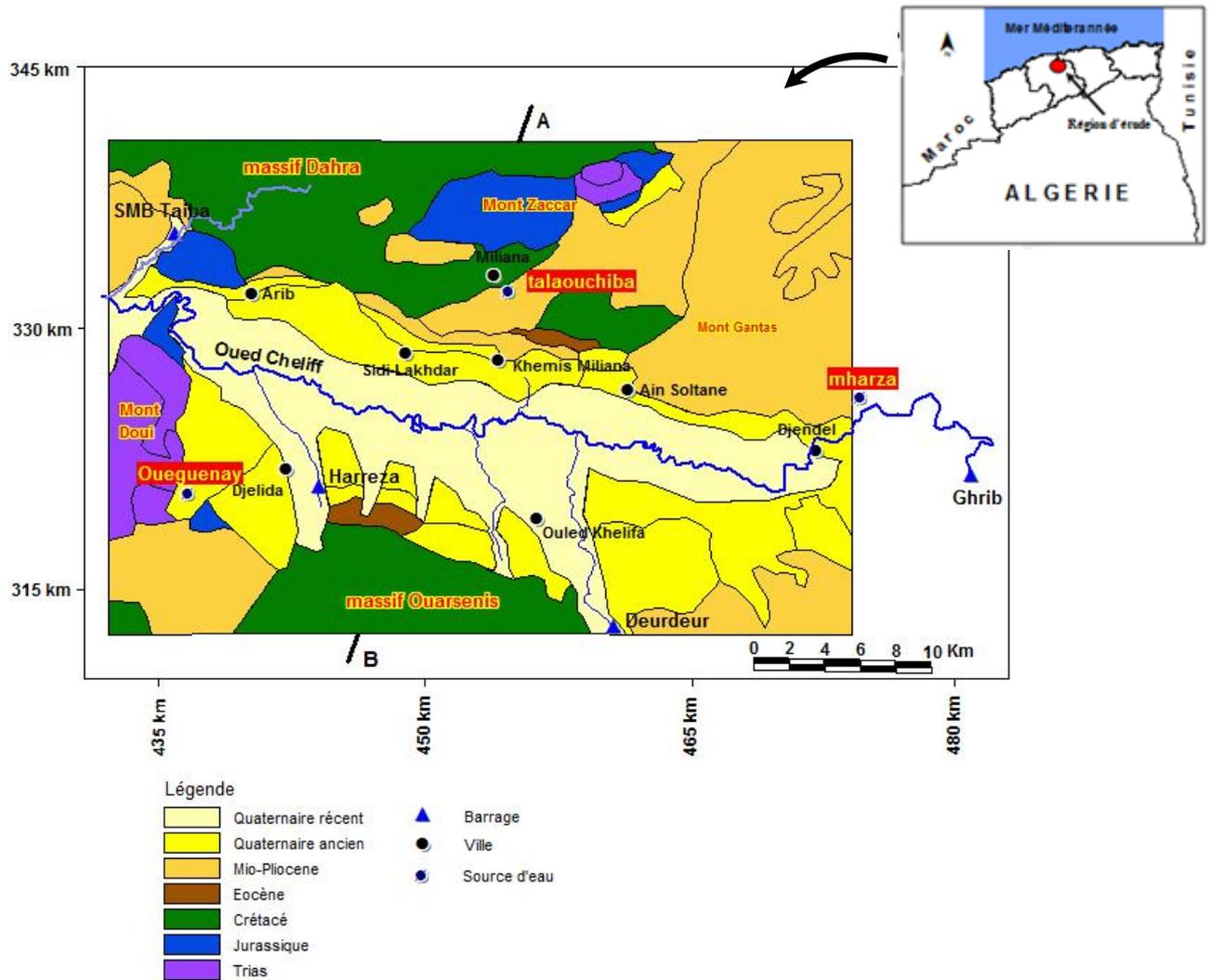


Figure 14. Localisation des sources d'eau sur la carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana.

## II.6. Conclusion

En conclusion nous pouvons dire que notre zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride doté d'une période douce et humide (hivers) et d'un été chaud et sec où l'évaporation est intense avec des températures moyennes pouvant dépassées les 30°C.

L'examen de l'échelle stratigraphique, a permis de définir les formations susceptibles d'être aquifères qui sont entre autres :

- Les calcaires jurassiques des massifs, intensément fissurés et karstifiés.
- Les formations conglomératiques basales du miocène inférieur et du miocène supérieur.
- Les formations pliocènes avec en particulier les grès et sables (Astien-Villafranchien).
- Les formations alluvionnaires du quaternaire (alluvions fines en surface, alluvions grossières en profondeur).

Les argiles et les grès du miocène sont les plus représentées dans la zone d'affleurement de la source de M'harza. Les affleurements calcaires du jurassique constituent les plus grands réservoirs d'eaux et alimentent la source de Talaouchiba. Les formations les plus abondants dans la zone d'affleurement de la source d'Ouguenay sont celles du primaire constituées principalement par les formations éruptives et du permo-trias formé de schistes noires et de conglomérats de type verrucano.

# *Chapitre III*

---

MATÉRIELS

ET

MÉTHODES

### **III.1.Introduction**

Le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la Composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  .....).

Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence :

- En agriculture : apports de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ .
- Rejets des eaux usées : apports de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  et quelques métaux lourds. Notre étude a portée sur l'analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux de trois sources : Djendel (M'harza), Zougala (Talaouchiba) et Djelida (Ougueney).

L'étude de la qualité des eaux de sources comporte trois étapes :

- Prélèvements, échantillonnages ;
- Analyses ;
- Interprétations.

### **III.2. Méthodes d'acquisition des données**

#### **III.2.1. Echantillonnages**

Dans la présente étude, nous avons effectués trois campagnes de mesure en collaboration avec l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Khemis Miliana La première campagne a été effectuée au mois de décembre (10/12/2014), la deuxième au mois de mars (21/03/2015) et la troisième au mois de juin (08/06/2015).

#### **III.2.2. Modes de Prélèvements**

Dans tous les prélèvements les démarches suivantes ont été respectées :

Les échantillons ont été prélevés dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés pour les échantillons qui font objet d'une analyse bactériologique et des bouteilles en P.E.T (Poly Éthylène) de 1 litre pour l'analyse physico-chimique.

Les bouteilles sont rincées 3 fois avec l'eau à analyser, puis remplies jusqu'au bord et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air.

Une fois les bouteilles remplies, elles étaient conservées dans une glacière, pour maintenir une température basse ( $4^\circ\text{C}$ ) qui éviterait le dégazage de l'eau et la précipitation de certains éléments chimiques. On note que deux échantillons ont été prélevés pour chaque source, les analyses ont été réalisées au bout de 24 heures après la prise d'échantillons.

#### **III.2.3. Mesure in situ**

À la sortie de l'eau de chacune de trois sources, on a mesuré la température, le pH et la conductivité électrique à l'aide d'un appareil multi-paramètre portatif.

### **III.3. Les analyses**

Les échantillons ont été analysés au sein du laboratoire de l'ADE de Ain Defla, qui nous a offert tous les moyens pour effectuer les mesures physiques et les dosages chimiques nécessaires à l'étude.

Les analyses effectuées concernaient deux types de paramètres.

### III.3.1. Paramètres physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont porté sur les ions les plus courants et les plus abondants dans les eaux souterraines. Il s'agit de quatre cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et quatre anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). La température, le pH et la conductivité électrique ont été mesurés au laboratoire à l'aide d'un appareil multi-paramètre, pour pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux mesurés in situ. (Annexe 2)

La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre en utilisant des cuves en verre bien nettoyées et bien séchées, remplies avec de l'eau à analyser. (Annexe 2)

Les techniques d'analyses utilisées sont celles décrites par (Rodier et al., 2009).

La dureté ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) a été dosée par titrage. Le calcium, le magnésium, les chlorures et les bicarbonates par dosage volumétrique. Pour les sulfates, les nitrates, le sodium et le potassium ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique et à flamme. (Annexe 2)

### III.3.2. Examens bactériologiques

Quatre paramètres bactériologiques ont été analysés dont les germes totaux par la méthode d'ensemencement dans la masse, les coliformes totaux, fécaux et streptocoque fécaux par la méthode de filtration sur membrane. (Annexe 3)

## III.4. Méthodes d'évaluations de la qualité des eaux

### III.4.1. L'erreur sur la balance ionique

Quelle que soit la méthode utilisée, le laboratoire d'analyses d'eau donne des résultats bruts. Ainsi, les résultats de l'analyse comportent toujours, en dépit des précautions prises par l'opérateur, une certaine marge d'incertitude (Touhari, 2015).

Avant d'interpréter les valeurs obtenues au cours des mesures, il convient d'analyser la fiabilité des dosages effectués. La méthode utilisée est appelée balance ionique.

La balance ionique (différence entre les charges positives et négatives) permet de définir les analyses chimiques correctes. Il faut rappeler qu'en théorie, lors du dosage d'une eau, la somme (en équivalent chimique) des charges cationiques devrait être égale à celle des charges anioniques (en équivalent-chimique) (Aboubakar, 2012).

En pratique, cette égalité n'est presque jamais obtenue. De façon générale, la différence est attribuée à la présence de certains ions non dosés ou à des erreurs d'analyse. Une balance ionique  $< 0$  traduit un excès d'anions, et une balance ionique  $> 0$  traduit un excès de cations.

Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise (Aboubakar, 2012). pour le calcul de l'erreur de la balance ionique, en prenant le rapport entre la somme des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et la somme des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) pour chaque échantillon d'eau, doit être dans la gamme d'acceptabilité ( $\pm 10\%$ ) utilisée dans la plupart des laboratoires (Touhari, 2015).

$$\varepsilon (\%) = \frac{\Sigma[r+] - \Sigma[r-]}{\Sigma[r+] + \Sigma[r-]} * 100 \quad (8)$$

La somme des cations ( $\Sigma r+$ ) et des anions ( $\Sigma r-$ ) est exprimée en meq/l.

### **III.4.2. Minéralisation globale**

La minéralisation correspondant à la quantité de sel dissout, elle a été calculée par la somme des concentrations en mg/l des ions majeurs.

### **III.4.3. Faciès chimiques**

Des diagrammes particuliers ont été développés pour représenter les résultats d'analyses hydrochimiques et en tirer des renseignements particuliers. L'emploi de ces diagrammes s'avère précieux, car il rend simple et directe l'interprétation d'analyses riches et difficiles à interpréter de but en blanc. Ces diagrammes toutefois n'emploient pas tous les éléments analysés et sont parfois utilisés pour un objectif spécifique (reconnaître le faciès d'une eau souterraine ou repérer des processus de salinisation par exemple) (Bettahar, 2012).

#### **III.4.3.1. Diagramme losangique de piper**

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global.

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants (Touhari, 2015).

#### **III.4.3.2. Diagramme semi-logarithmique Schoeller-Berkaloff**

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi logarithmique qui permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux.

Sur ce diagramme, les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. Ainsi, l'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées.

Toutefois, cette visualisation des faciès hydrochimiques est moins aisée qu'avec le diagramme de Piper (Aboubakar, 2012).

#### **III.4.3.3. La formule caractéristique de Stabler**

La classification des eaux consiste à comparer les quantités en réaction des cations et des anions exprimées en pourcentage (%) par rapport à la concentration totale des eaux en utilisant d'une part la formule caractéristique de Stabler et de classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant pour déterminer les faciès chimiques et d'autre part la représentation graphique de ces éléments sur le logiciel diagrammes (Touhari, 2015).

### **III.4.4. Indices Chloro-Alcalin**

Au cours leur trajet souterrains, les eaux entrent en contact avec divers substances qui ont la propriété d'échanger ces ions contre ceux de l'eau. Les substances échangées peuvent être des minéraux argileux, l'hydroxyde ferrique et les substances organiques. La capacité d'échange de base varie avec la nature du minéral argileux.

L'indice Chloro-Alcalin (I.C.A) ou Indice d'Echange de Bases (I.E.B), défini par Schoeller 1977, est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau (Touhari, 2015).

Il est donné par l'expression suivante :

$$I.C.A = r \frac{cl^- - (Na^+ + K^+)}{cl^-} \quad (9)$$

Toutes les valeurs sont exprimées en meq/l. Cet indice définit le sens d'échanges ioniques entre l'eau et les terrains encaissants, si :

- ❖ I.C.A = 0 pas d'échanges ;
- ❖ I.C.A < 0 Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> de l'eau sont échangés par Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> des formations encaissantes;
- ❖ I.C.A > 0 Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> de l'eau sont échangés par Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> des formations encaissantes.

#### III.4.5. Diagrammes binaires

Les espèces dissoutes et leurs relations les unes avec les autres peuvent révéler l'origine de solutés et les processus qui ont généré la composition observée de la nappe phréatique.

L'établissement des diagrammes binaires consiste à représenter sur un graphique 2D l'évolution d'un élément ou d'un rapport ionique en fonction d'un autre élément souvent supposé conservatif. Ils sont établis en utilisant la version gratuite du logiciel diagrammes (Simler, 2009).

#### III.4.6. Indices de saturations

L'indice de saturation calculé exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche. Il est calculé en utilisant le PHREEQC qui peut être utilisé via la version gratuite du logiciel Diagrammes (Simler, 2009). Les indices de saturation (IS) de minéraux sont calculés en utilisant les concentrations des principaux ions dans le système. L'indice de saturation d'un minéral est obtenu à partir de l'équation :

$$IS = \log (PAI / KT) \quad (10)$$

Où : PAI est produit de l'activité ionique de l'élément chimique dans la solution.

KT : est la constante d'équilibre de la réaction considérée à la température T (K).

Lorsque :

IS < 0, l'eau est sous-saturée par rapport au minéral en question.

IS = 0, signifie l'eau est en équilibre avec le minéral,

IS > 0 signifie une solution sursaturée par rapport à la matière minérale en question.

Les indices de saturation des minéraux sont très utiles pour l'évaluation dans la mesure par laquelle la chimie de l'eau est contrôlée par l'équilibre des phases solides (Touhari, 2015).

PHREEQC a été utilisé pour calculer les indices de saturation des minéraux de l'eau suivants : calcite (CaCO<sub>3</sub>), dolomite CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, anhydrite (CaSO<sub>4</sub>), gypse (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) et halite (NaCl) dans les trois périodes d'analyses.

**III.4.7.Potabilité de l'eau**

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres, divisés en différents groupes : les qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur), les éléments microbiologiques (virus, bactéries), les substances indésirables (nitrate, fluor), toxiques (chrome, plomb), les pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, taux de calcium,...) (Sari, 2014).

Les normes de potabilité sont l'ensemble des critères organoleptiques, physiques, chimiques, toxiques, éléments indésirables et bactériologiques que doit respecter une eau pour pouvoir être offerte à la consommation humaine (Sari, 2014).

**III.4.7.1.Norme de potabilité des eaux de consommation****➤ La réglementation Algérienne**

Ces textes sont tirés du journal officiel de la république Algérienne (N°3517-Aoul Safar 1419/27 Mai 1998) (annexe 4).La présente norme Algérienne NA 6360-1992 est inspirée des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directives de la communauté Économique Européenne (CEE).

**➤ Objet et domaine d'application**

La présente norme a pour objet de fixer les spécifications organoleptiques, bactériologiques, physico-chimiques et toxicologiques des eaux destinées à la consommation.

Le tableau n°07 montre les concentrations maximales admissibles des paramètres physico-chimiques et bactériologiques pour les eaux de consommation aux quelles seront comparés nos résultats.

**Tableau 7.** Extrait des Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation

➤ Paramètres physico-chimiques				
Paramètres	Unité	Niveau Guide	Concentration max. admissible	Observations
pH		6,5 à 8,5	-	
conductivité	μS / cm à 20°C	-	2280	
Dureté Totale (TH)	°F	10	50	
calcium	mg/l	75	200	
magnésium	mg/l	-	150	
Sodium	mg/l	-	200	
Potassium	mg/l	-	10	
Sulfates	mg/l	200	400	
Chlores	mg/l	200	500	
nitrates	mg/l	-	50	
bicarbonates	mg/l	-	-	
➤ Paramètres bactériologiques				
Coliformes fécaux	Nombre/100ml	-	0	Avertir la population de javelliser ou faire bouillir l'eau au cas où l'on n'arrive pas à respecter les valeurs indicatives
coliformes	Nombre/100ml	-	0	
Germe totaux 37°C/48H	Nombre/1ml	10	-	Pour une eau traitée le dénombrement des "germes totaux" effectué à l'extrémité réseau de distribution ne doit pas excéder le taux obtenu en début de réseau dans 90% des échantillons analysés au cours de l'année
Streptocoques fécaux	Nombre/100ml	-	0	-

**III.4.7.2.Dureté totale**

Elle représente la somme des concentrations en cation de calcium et de magnésium et s'exprime par le titre hydrométrique (TH). L'unité du titre hydrométrique est le milliéquivalent par litre (ou le degré français °F).

$$TH = r [Ca^{2+}] + r [Mg^{2+}] \quad (11)$$

**Tableau 8.** Classification de l'eau selon la dureté totale (d'après De Fulvio et olori, 1976)

DHT (°F)	0 à 7	7 à 14	14 à 22	22 à 32	32 à 54	> 54
Dureté de l'eau	Très Douce	Douce	Modérément douce	Assez Dure	Dure	Très dure
Usage Domestique	Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

(Source : Touhari., 2015)

**III.5. Conclusion**

A l'issue de ce chapitre nous pouvons dire qu'un mauvais dosage ou une mauvaise conservation des échantillons peuvent fausser les résultats, donc la manipulation nécessite une minutieuse attention.

Les analyses faites au laboratoire ont été effectuées par les méthodes volumétriques et spectrophotométriques pour les paramètres physico-chimiques et la méthode par filtration sur membrane et ensemencement dans la masse pour les paramètres bactériologiques.

L'utilisation du logiciel diagramme a permis la détermination des différents faciès chimiques ainsi que les relations entre les éléments chimiques par un suivi de l'évolution des processus de minéralisation pour les trois sources.

# *Chapitre IV*

---

RÉSULTATS

ET

DISCUSSIONS

## IV.1. Introduction

Les analyses ont pour but d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau des trois sources. La composition minérale des eaux dépend généralement des terrains traversés, principalement des différentes couches géologiques ainsi que la charge physico-chimique et biologique des eaux d'infiltrations.

En ce qui concerne les eaux étudiées, les analyses ont permis de révéler les résultats ci-dessous qui seront comparés aux normes Algérienne de potabilité des eaux de consommations.

## IV.2. Erreur sur la balance ionique

Le contrôle de la qualité des analyses par la balance ionique a donc systématiquement été appliqué à toutes les analyses réalisées.

Il en résulte que : les échantillons présentent un équilibre ionique durant les trois campagnes à l'exception de l'échantillon de la source de Zougala lors de la deuxième campagne (mars 2015) qui présente un écart supérieur à  $\pm 10\%$  qui révèle un résultat médiocre. Cet écart est probablement dû à une mauvaise manipulation lors les analyses ou à la présence d'un élément non représenté dans l'échantillon dont la présence peut perturber l'équilibre chimique.

## IV.3. Détermination des principaux faciès hydrochimiques

Les faciès hydrochimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en  $\text{m\acute{e}q/l}$ ), et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique). Pour identifier correctement les faciès hydrochimiques et pour donner une indication des aspects qualitatifs de l'eau de sources, la représentation graphique des résultats d'analyse est un outil incontournable (Touhari, 2015). Pour atteindre cet objectif, les données hydrochimiques ont été traitées par le diagramme Piper, le diagramme de Schoeller-Berkaloff et la classification de Stabler par utilisation du logiciel Diagrammes (Simler, 2009).

### IV.3.1. Diagramme de Piper

D'après le positionnement des points sur le diagramme de Piper (figure 15, 16, 17), il en ressort que les eaux des trois sources font apparaître plusieurs familles de faciès hydrochimique basés sur les proportions des cations et des anions dominants.

#### a. Campagne du mois de décembre 2014

La projection des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper a fait apparaître les principaux familles de faciès des trois sources étudiées à savoir (figure n°15) : le chloruré et sulfaté calcique et magnésienne pour les eaux de sources Djendel et Zougala, et le bicarbonaté sodique et potassique pour la source de Djelida.

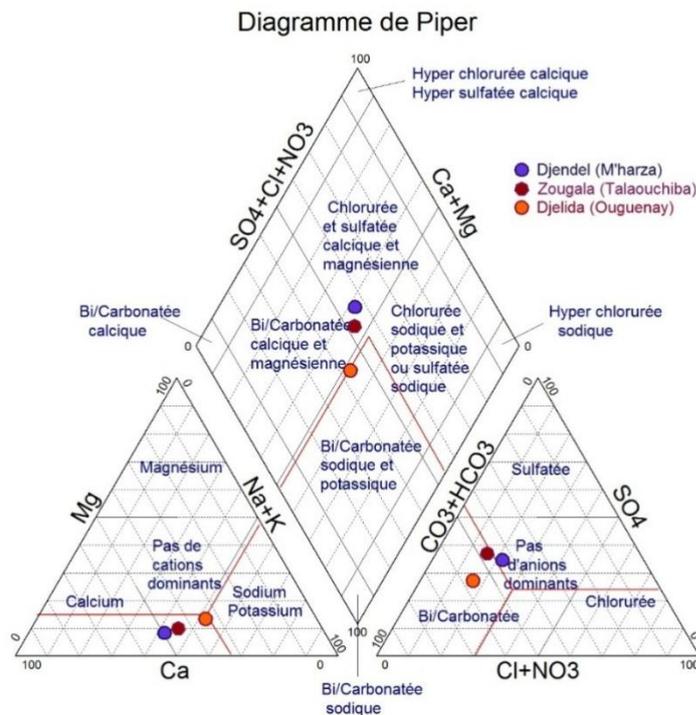


Figure 15. Diagramme de Piper, campagne décembre 2014

**b. Campagne du mois de mars 2015**

Durant cette campagne, on remarque que les eaux des trois sources étudiées présentent le même faciès hydrochimique qui est le bicarbonaté-calcique et magnésienne. On remarque d'après ces résultats que les eaux ont changés leurs comportements hydrochimiques.

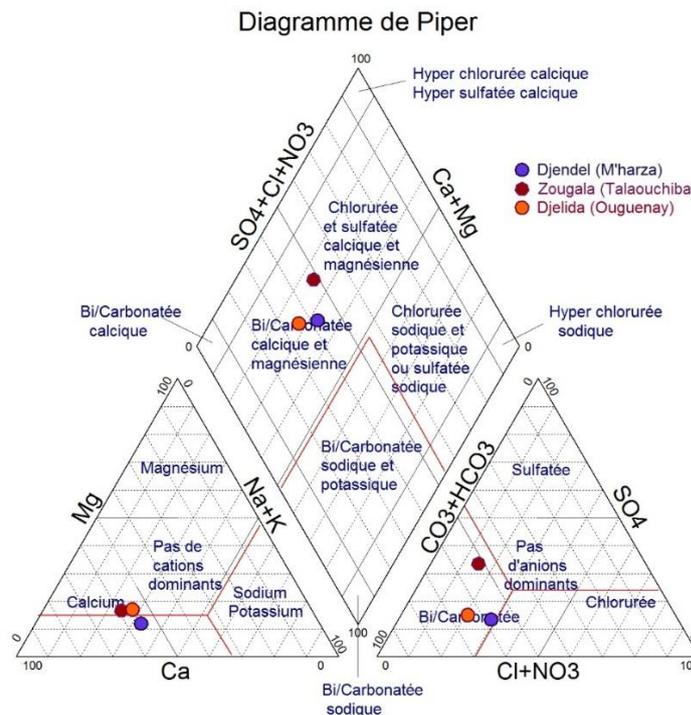


Figure 16. Diagramme de Piper, campagne mars 2015

### c. Campagne du mois de Juin 2015

La projection des résultats d'analyses de la troisième campagne (juin 2015) sur le diagramme de Piper, permet de dire que les eaux des trois sources gardent le même faciès qui est le bicarbonaté-calciqque et magnésienne. Ces résultats sont similaires à celle de la campagne précédente. (Figure 17)

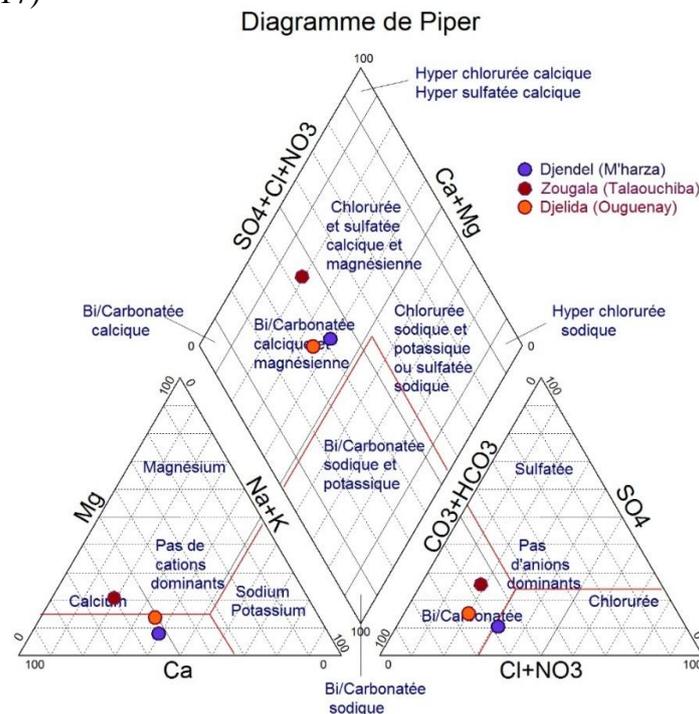


Figure 17. Diagramme de Piper, campagne juin 2015

Cependant, le diagramme de piper présente l'inconvénient de ne pas séparer les chlorures et les nitrates, le pole chloruré étant représenté par la somme des chlorures et des nitrates (Aboubakar., 2012).

### IV.3.2. Diagramme de Schoeller

Cette représentation graphique est révélée utile en tant que méthode complémentaire du diagramme de Piper. La projection des différents résultats d'analyses des eaux des trois sources étudiées sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff a permis de déterminer les différents faciès hydrochimiques durant les trois campagnes des mesures.

#### a. Campagne du mois de décembre 2014

Les diagrammes logarithmiques (figure 18) ont permis d'identifier trois faciès différent à savoir : le sulfaté calcique pour la source de Djendel (M'harza), le bicarbonaté calcique pour la source de Zougala (Talaouchiba) et le bicarbonaté sodique pour la source de Djelida (Ouguenay)

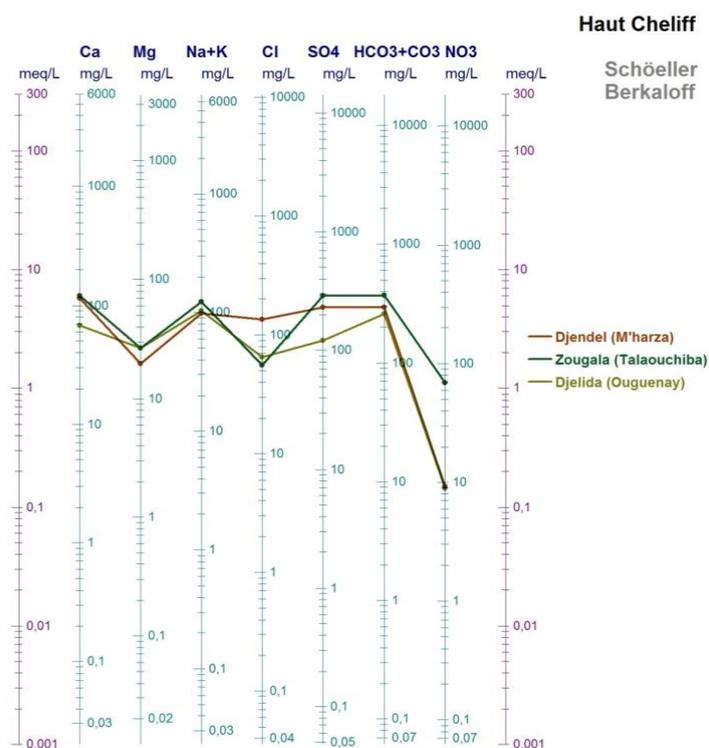


Figure 18. Diagramme de Schoeller, campagnes de Décembre 2014

**b. Campagne du mois de Mars 2015**

D'après la figure 19, on remarque que les sources Djendel et Djelida ont changé leurs faciès hydrochimique contrairement à la campagne précédente, elles présentent un faciès bicarbonaté calcique. Cependant, la source de Zougala garde le même faciès.

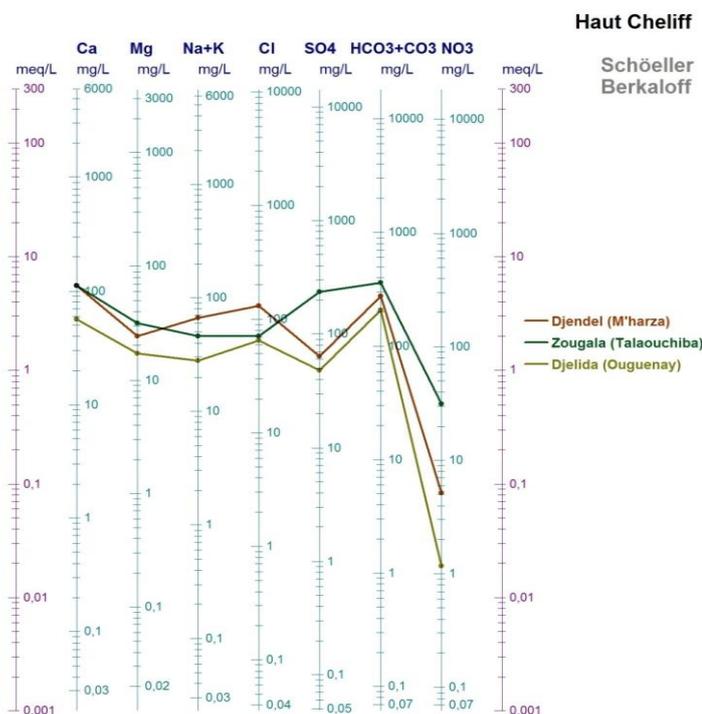


Figure 19. Diagramme de Schoeller, campagnes de Mars 2015

### c. Campagne du mois de Juin 2015

Durant cette campagne, les eaux des trois sources ont conservées le même faciès hydrochimique qui est le bicarbonaté calcique.

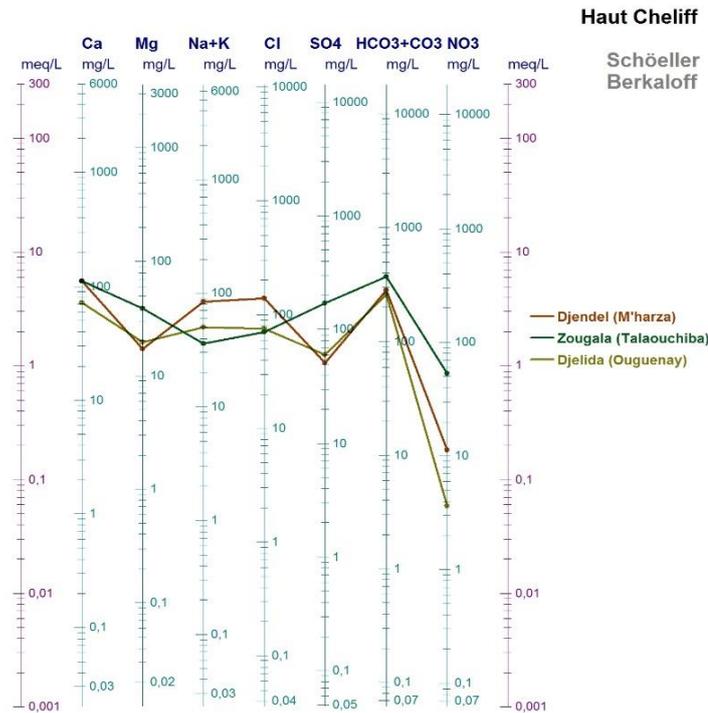


Figure 20. Diagramme de Schoeller, campagnes de Juin 2015

### IV.3.3. Classification de Stabler

La classification de Stabler, basée sur les quantités en réaction est la méthode la plus utilisée pour caractériser les faciès chimiques et de confirmer les résultats obtenus par les diagrammes de Piper et Schoeller.

Cependant, Les eaux de trois sources présentent des faciès chimiques identiques que celles obtenus par le diagramme de Schoeller- Berkaloff durant les trois campagnes de mesures.

#### a. Campagne du mois de Décembre 2014

Au niveau de la source de Djendel, on observe une dominance de l'ion sulfate côté anions et l'ion calcium côté cations ce qui révèle un faciès sulfaté calcique. La source de Zougala présente un faciès bicarbonaté calcique alors que la source d'Ouguenay est caractérisée par un faciès bicarbonaté sodique.

#### b. Campagne du mois de Mars 2015

Pour cette campagne, on remarque que les bicarbonates dominent du côté anions et le calcium dominant le côté cations au niveau des trois sources, d'où on obtient un faciès commun qui est bicarbonaté calcique.

#### c. Campagne du mois de juin 2015

La troisième campagne présente des faciès identiques à ceux observés durant la deuxième pour les trois sources comme le montre le tableau 9

**Tableau 9.** Faciès chimiques des eaux de sources

campagnes	Sources	Faciès	Diagrammes
10/12/2014	Djendel (m'harza)	Sulfaté calcique	
	Zougala (talaouchiba)	Bicarbonaté calcique	
	Djelida (Oueguenay)	Bicarbonaté sodique	
22/03/2015	Djendel (m'harza)	Bicarbonaté calcique	
	Zougala (talaouchiba)	Bicarbonaté calcique	
	Djelida (Oueguenay)	Bicarbonaté calcique	
09/06/2015	Djendel (m'harza)	Bicarbonaté calcique	
	Zougala (talaouchiba)	Bicarbonaté calcique	
	Djelida (Oueguenay)	Bicarbonaté calcique	

#### IV.4. Processus de minéralisation

##### IV.4.1. Digrammes binaires

Les espèces dissoutes et leurs relations les unes avec les autres peuvent révéler l'origine des solutés et les processus qui ont généré la composition observée de la nappe. (Touhari., 2015)

##### a. Campagne du mois de Décembre 2014

- **Rapport  $Na^+/Cl^-$**

La représentation graphique de l'évolution du  $Na^+$  en fonction de  $Cl^-$  (figure 21f) a montré un excès des teneurs en  $Na^+$  durant la campagne du mois de décembre au niveau des trois sources, qui s'explique par l'existence d'une autre origine pour les ions sodiques (autre que la halite). L'augmentation des teneurs en  $Na^+$  qui a accompagné les faibles teneurs en  $Cl^-$  est due au phénomène d'échange de base, car les formations encaissantes peuvent libérer des ions  $Na^+$  après avoir fixé le  $Ca^{2+}$ .

- **Rapports  $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$**

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de chaque concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme des eaux.

Nous avons représenté le calcium en fonction du magnésium, des bicarbonates et des sulfates (figures 21a, 21b, 21c). L'analyse de ces graphes montre un net enrichissement de  $\text{Ca}^{2+}$  par rapport au  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  au niveau des trois sources, à l'exception de la source de Zougala où on a une évolution proportionnelle des  $\text{SO}_4^{2-}$  par rapport au  $\text{Ca}^{2+}$  ce qui laisse suggérer la dissolution du gypse.

Les excès de calcium par rapport aux bicarbonates, sulfates et magnésium indiquent que l'origine de  $\text{Ca}^{2+}$  n'est pas seulement la dissolution de la calcite et de gypse.

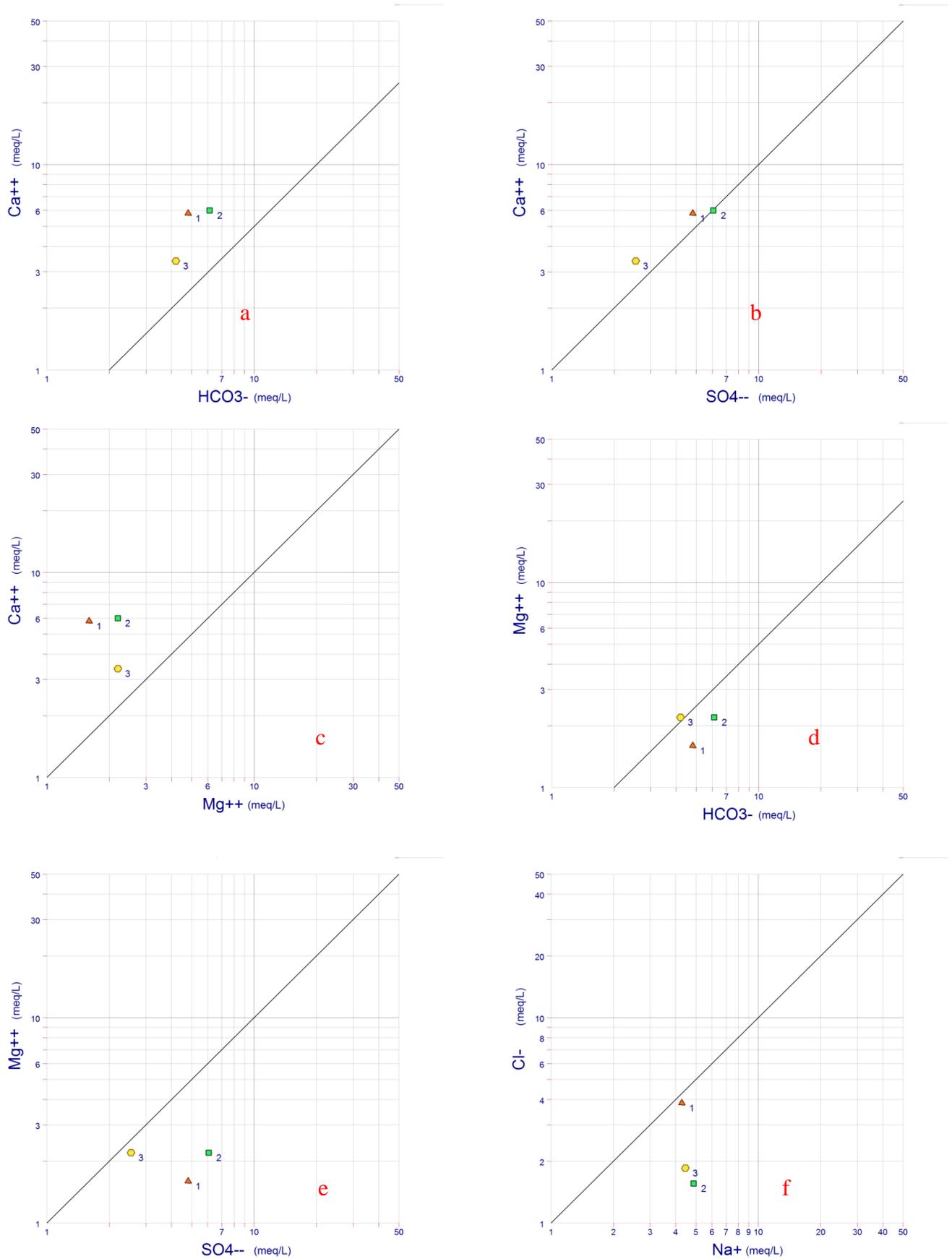
- **Rapport  $\text{Mg}^{2+}/\text{HCO}_3^-$**

La relation entre l'ion  $\text{HCO}_3^-$  et le  $\text{Mg}^{2+}$  montre un excès de  $\text{HCO}_3^-$  pour les sources de Djendel et Zougala et le cas inverse pour la source Ouguenay c'est-à-dire un excès de  $\text{Mg}^{2+}$  par rapport aux  $\text{HCO}_3^-$ . (Figure 21d)

Ces excès traduisent des origines autres que la dissolution de la dolomite pour ces deux éléments.

- **Rapport  $\text{Mg}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$**

L'ion sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) montre une prédominance par rapport aux  $\text{Mg}^{2+}$  dans les eaux des trois sources indiquant pour cet ion (sulfate) une autre source que la dissolution d'un sulfate de magnésium probablement lié à un apport d'origine agricole (utilisation d'engrais) ou des eaux résiduelles (réseau de collecte défectueux ou absence). (Figure 21e)



**Figure 21.** Relations entre les principaux éléments majeurs Décembre 2014 (1 : Djendel, 2 : Zougala, 3 : Ouguenay)

### b. Campagne des mois de Mars et Juin 2015

L'analyse des rapports entre les éléments au cours des deux dernières campagnes (figure 22, 23) montre des résultats similaires hormis l'ion magnésium qui passe d'un état déficitaire au mois de mars à un état excédentaire en juin par rapport aux bicarbonates dans les eaux de la source de Zougala.

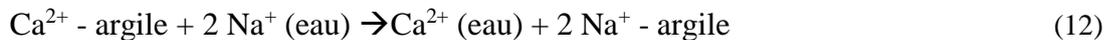
- **Rapport Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup>**

On observe un excès de Cl<sup>-</sup> par rapport aux Na<sup>+</sup> pour les trois sources ce qui indique une origine anthropique de cet élément (figure 22f, 23f). En effet, les eaux usées urbaines sont rejetées sans traitement dans l'environnement et peuvent atteindre les eaux souterraines par infiltration.

L'augmentation des teneurs en Cl<sup>-</sup> qui a accompagné les faibles teneurs en Na<sup>+</sup> est due au phénomène d'échange de base car les formations encaissantes peuvent libérer des ions Ca<sup>2+</sup> après avoir fixé le Na<sup>+</sup>.

- **Rapports Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Ca<sup>2+</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**

Les figures (22a, 22b, 22c, 23a, 23b, 23c) montrent les relations entre les teneurs en Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et Ca<sup>2+</sup> - SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Ces diagrammes montrent un excès de Ca<sup>2+</sup> par rapports à ces trois éléments ce confirme ainsi l'hypothèse d'une contribution de Ca<sup>2+</sup> par échange d'ions la réaction basique, telle que :



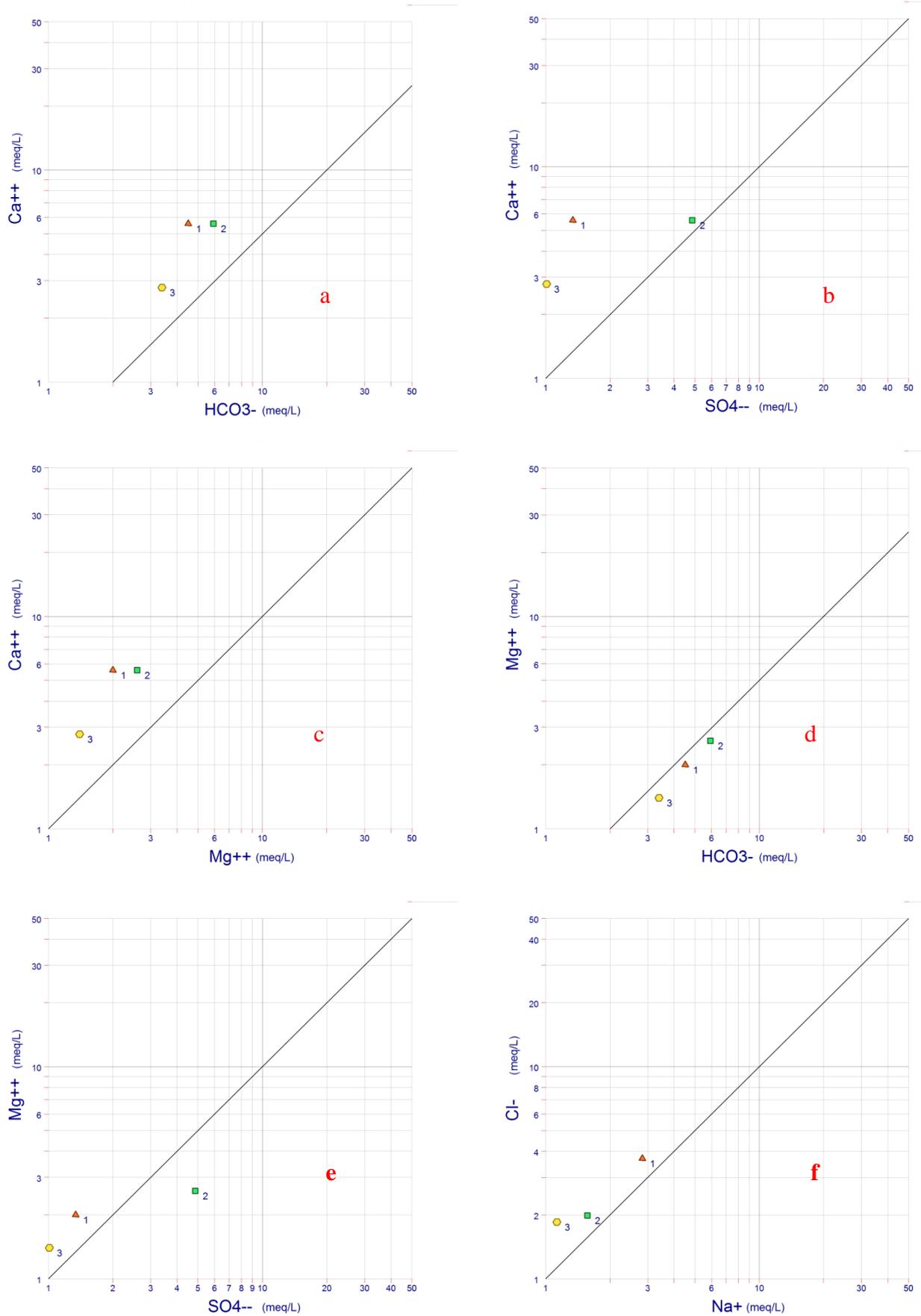
L'ion Na<sup>+</sup> peut échanger des ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> adsorbés sur les sites échangeables de minéraux argileux, ce qui entraîne l'augmentation de Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> et la diminution de Na<sup>+</sup> dans les eaux souterraines. Au cours de ce processus, les roches encaissantes sont les principales sources de matières dissoutes dans l'eau. (Touhari, 2015).

- **Rapport Mg<sup>2+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Les trois sources étudiées présentent un excès de l'ion bicarbonate par rapport à l'ion magnésium pour la campagne du mois de mars et juin pour les eaux de sources de Djendel et Djelida, ce qui indique que la dolomite n'est pas la seule source de bicarbonate dans les eaux.

- **Rapport Mg<sup>2+</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**

Les deux sources Djendel et Ouguenay présente une dominance de Mg<sup>2+</sup> par rapport au SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, ce qui signifie que les Mg<sup>2+</sup> ont une autre source que la dissolution du sulfate de magnésium ; ces excès de Mg<sup>2+</sup> pourraient s'expliquer par les échange chloro-alkalin. On note que la source de Zougala garde toujours la dominance des SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> par rapport à Mg<sup>2+</sup>. (Figure 22e, 23e)



**Figure 22.** Relations entre les principaux éléments majeurs Mars 2015 (1 : Djendel, 2 : Zougala, 3 : Ouguenay)

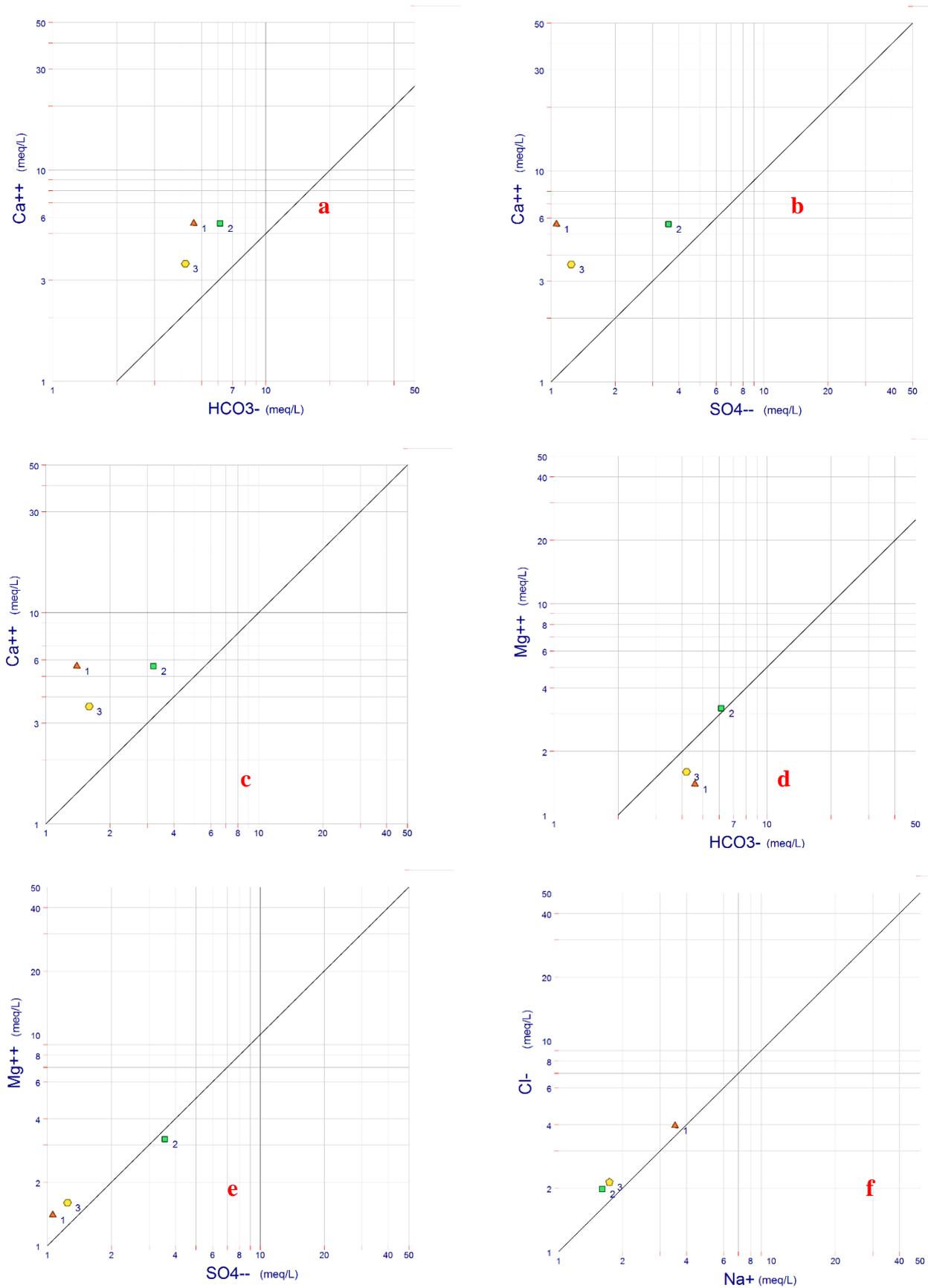


Figure 23. Relations entre les principaux éléments majeurs Juin 2015 (1 : Djendel, 2 : Zougala, 3 : Ouguenay)

## IV.4.2. Indices Chloro-Alcalins

Tableau 10. Indices Chloro-alkalins

	Djendel (M'harza)			Zougala (Talaouchiba)			Djelida (Ouguenay)		
	Déc 2014	Mars 2015	Juin 2015	Déc 2014	Mars 2015	Juin 2015	Déc 2014	Mars 2015	Juin 2015
<b>ICA</b>	-0,118	0,223	0,104	-2,282	0,085	0,068	-1,425	0,361	0,166

Les valeurs des indices d'échange de base (IEB) sont négatives au niveau des trois sources durant la première campagne, c'est à dire que le calcium et le magnésium des eaux sont échangés par le sodium et le potassium des formations encaissantes.

Lors de la deuxième et troisième campagne, les IEB sont positifs, ce qui indique un échange d'ions ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ) de l'eau par les ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) des roches.

Ce rapport est positif quand la teneur en sodium et en potassium est faible. En d'autres termes quand l'eau a été faiblement en contact avec des minéraux capables de céder facilement ces cations interchangeable. Ce rapport est négatif quand la teneur en sodium et en potassium est élevée, c'est-à-dire que l'eau a été fortement en contact avec des minéraux capables de céder facilement ces cations interchangeable. (Abderamane, 2012)

Les variations des IEB (négatif à positif) peuvent être interprétés en partant du principe que pendant la période de basses eaux les eaux sont restées longtemps en contact avec l'encaissant alors qu'en période de hautes eaux les débits sont importants donc un temps de séjour court. (Michel., 2013).

## IV.4.3. Indices de saturations

L'indice de saturation (IS) a également été évalué pour interpréter l'hydrogéochimie des eaux souterraines, en utilisant le PHREEQC V.2, qui peut être utilisé via la version gratuite du logiciel Diagrammes (Simler, 2009). PHREEQC a été utilisé pour calculer les indices de saturation des minéraux de l'eau suivants : calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et halite ( $\text{NaCl}$ ) dans les trois périodes. Les résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11. Indices de saturation des minéraux des trois sources pour les trois périodes

Minéraux	Djendel (M'harza)			Zougala (Talaouchiba)			Djelida (Ouguenay)		
	Déc 2014	Mars 2015	Juin 2015	Déc 2014	Mars 2015	Juin 2015	Déc 2014	Mars 2015	Juin 2015
Anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ )	0,38	-0,05	-0,14	0,41	0,34	0,24	0	-0,3	-0,19
Calcite ( $\text{CaCO}_3$ )	2,18	2,26	2,28	2,24	2,22	2,26	1,98	1,93	2,07
Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	3,73	4,03	3,91	3,97	4,04	4,22	3,71	3,5	3,73
Gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	0,59	0,16	0,07	0,62	0,45	0,45	0,21	-0,09	0,02
Halite ( $\text{NaCl}$ )	-3,83	-3,98	-3,86	-4,17	-4,55	-4,53	-4,1	-4,65	-4,42

Les calculs ont montré que les minéraux carbonatés ont différents degrés de saturation. En supposant que l'état d'équilibre se situe entre -0.5 et 0.5, la dolomite et la calcite indique une sursaturation des eaux par rapport à ces deux minéraux au niveau des trois sources et ce pour les trois campagnes, ce qui indique que la charge saline n'est pas influencée par l'interaction eau-minéraux carbonatés.

Les minéraux évaporitiques montrent des degrés de saturation inférieure à celle des minéraux carbonatés :

- Les eaux des trois sources présentent une sous saturation des eaux par rapport à l'halite dont la dissolution contribue à l'acquisition de la salinité.
- Les indices de saturations du gypse et de l'anhydrite indiquent un état d'équilibre dans les eaux des trois sources durant les trois campagnes.

## **IV.5. Etude de la potabilité des eaux**

### **IV.5.1. Paramètres physico-chimiques**

#### **➤ Température**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers, elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). La température des eaux analysées est presque constante au cours des trois campagnes pour les trois sources. Les valeurs de températures mesurées au laboratoire varient entre (15-21°C), (14,8-17,9°C) respectivement pour les eaux de la source de Djendel et Zougala, et (14,7-22°C) pour la source d'Ouguenay.

#### **➤ Conductivité**

La conductivité des eaux naturelles fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment.

Les eaux analysées présentent des valeurs comprises entre (1005-1123µs/cm) pour la source de Djendel, (1017-1063µs/cm) pour la source de Zougala et 690µs/cm, ce qui est conformes à la norme algérienne (2880 µs/cm à 20°C).

#### **➤ Turbidité**

La turbidité traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...etc.). Les valeurs de la turbidité des eaux de sources étudiées varient entre (0.15-0.19) à Djendel, (0.081-0.23) à Zougala et (0.11-0.41) à Djelida donc ces valeurs restent inférieures à la norme admissible [5NTU].

C'est-à-dire que les eaux analysées sont des eaux claires ; ceci est dû à l'infiltration de l'eau dans le sol.

Tableau 12. Résultats des analyses physico-chimiques des trois campagnes

Paramètres	Normes algériennes	Djendel (M'harza)						Zougala (Talaouchiba)						Djelida (Ouguenay)					
		10/12/2014		21/03/2015		08/06/2015		10/12/2014		21/03/2015		08/06/2015		10/12/2014		21/03/2015		08/06/2015	
		In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo
T (°C)		19,1	15	20,3	16,7	-	21,8	18,3	14,8	18,5	16,83	-	17,9	16,6	14,7	18	17,36	-	22
pH	6,5-8,5	7,41	6,92	7,95	6,97	-	6,7	7,48	7,06	8,26	7,24	-	6,9	7,32	6,85	8,02	7,02	-	6,9
C (µS/cm)	2280	990	1123	953	-	-	1005	996	1063	971	-	-	1017	644	690	953	-	-	691
Débits (l/s)		0,33		0,41		-		0,69		0,67		-		0,32		0,25		-	
Turbidité (NTU)	5	0,15		0,19		0,15		0,15		0,23		0,081		0,11		0,41		0,13	
Balance ionique (%)	-	7		4		4		5		13		9		7		7		1	
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	200	116		112		112		120		112		112		68		56		72	
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	150	19,44		24,3		17		26,73		31,59		39		26,73		17,01		19	
Na <sup>+</sup> (mg/l)	200	98		65		81		112		36		37		102		26		40	
K <sup>+</sup> (mg/l)	10	1		1,6		1		10		9,9		9		1,6		1,9		1	
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	500	136,1		131,06		140		55,45		70,57		70		65,53		65,53		76	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	400	230,5		64,27		51		290,25		233,61		171		122,5		48,61		60	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	-	292,8		274,5		281		372,1		359,9		372		256,2		207,4		256	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	50	9,23		5,20		11,3		68,92		31,42		53		8,84		1,18		3,6	
TDS (mg/l)		903,07		678		696		1055,45		875		853		651,4		424		537	
Dureté totale mg/l CaCO <sub>3</sub>	500 (mg/l)	363,5		380		350		403,5		410		440		276		210		260	

➤ **Potentiel d'hydrogène (pH)**

C'est l'un des paramètres parmi les plus importants pour la qualité de l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés (Rodier et al, 2009). Le pH obtenu pour nos échantillons n'excède pas les limites des normes Algériennes [6.5 - 8.5].

➤ **Minéralisation globale**

Les eaux analysées présentent des minéralisations différentes. Au niveau de la source de Djendel la minéralisation varie entre (678-903.07 mg/l), (853-1055 mg/l) et (424-651 mg/l) respectivement pour les sources de M'harza, Talaouchiba et Ouguenay en période de basses eaux, mais ces teneurs diminuent en période de hautes eaux pour atteindre des valeurs de 678 mg/l, 875 mg/l et 424 mg/l. En juin on a des teneurs de 696 mg/l, 853 mg/l et 537 mg/l. Ces variations sont les résultats d'une dilution due aux apports des précipitations entre les périodes et au temps de séjour des eaux.

➤ **Calcium**

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les teneurs en calcium des eaux de sources échantillonnées pendant les trois périodes sont conformes aux normes algériennes fixées à [200mg/l].

➤ **Magnésium**

Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen) (Rodier et al, 2009). Les concentrations obtenues au cours des analyses sont inférieures à la teneur admissible [150 mg/l].

➤ **Sodium**

Les sodiums dans les eaux proviennent généralement du lessivage des formations géologiques et de la dissolution de l'halite. Pour les eaux analysées les ions sodiums présentent des teneurs conformes aux normes [200mg/l].

➤ **Potassium**

La réglementation des normes Algérienne fixe une teneur de [10mg/l] comme limite, les échantillons analysés ont des proportions inférieurs ou égal à [10mg/l], donc ces eaux répondent aux normes.

➤ **Chlorures**

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés.

L'inconvénient majeur des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/l.

La teneur en chlorure des eaux analysées sont en dessous du seuil de potabilité admissible fixé à [500 mg/l].

➤ **Bicarbonates**

La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversés. Les normes algériennes ne fixent aucune concentration limite pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée. Tous les échantillons analysés présentent des teneurs supérieures à [200mg/l].

➤ **Sulfates**

Les teneurs des sulfates obtenues pour les échantillons analysées au cours des trois campagnes sont satisfaisantes elles sont inférieures à la concentration maximale admissible fixée à [400 mg/l].

➤ **Nitrates.**

Les teneurs de nitrates obtenues au cours des trois campagnes sont inférieures aux normes, à l'exception de la source de Zougala qui présente des teneurs supérieures au seuil de potabilité [50mg/l], avec des concentrations de [68,92mg/l] et [53mg/l] lors de la première et troisième campagne respectivement. Les fortes teneurs en nitrates peuvent être expliquées par l'activité des vergers occupant une partie de la superficie qui bénéficie de l'apport abusif d'engrais, pesticides, fumiers et les rejets d'eaux usées des collectivités. Ces eaux nécessitent un traitement avant leurs utilisations en AEP.

➤ **Dureté totale**

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium.

La dureté totale des échantillons analysés présente des teneurs inférieures au seuil admissible [500mg/l], celles-ci répondent aux normes indiquées par la réglementation Algérienne.

Les échantillons ont été classés en fonction de leur dureté (De Fulvio et oleri, 1976). Le tableau 13 montre que les sources de Djendel et Zougala présentent des eaux dures et une potabilité médiocre à mauvaise avec des teneurs qui varient entre 35-44 °F, la source d'Ouguenay présente une eau assez douce (21-28°F) avec une potabilité passable.

**Tableau 13.** Classification des eaux selon leurs duretés

D.H.T (en °F)		0-7	7-14	14-22	22-32	32-54	>54
Qualification de l'eau		Très douce	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
<b>M'harza</b>	10/12/2014					✓	
	21/03/ 2015					✓	
	08/06/ 2015					✓	
<b>Talaouchiba</b>	10/12/2014					✓	
	21/03/ 2015					✓	
	08/06/ 2015					✓	
<b>Ouguenay</b>	10/12/2014				✓		
	21/03/ 2015			✓			
	08/06/ 2015				✓		
<b>Usage Domestique</b>		Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

#### IV.5.2. Les paramètres bactériologiques

**Tableau 14.** Résultats d'analyses bactériologiques des trois campagnes

Paramètres		coliformes totaux (colonies/100 ml)	coliformes fécaux (colonies/100 ml)	Streptocoques fécaux (colonies/100 ml)	Germes totaux (colonies/1 ml)
<b>Normes Algériennes</b>		<b>00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
<b>M'harza</b>	10/12/2014	115	2	2	59
	21/03/ 2015	>200	>200	00	00
	08/06/ 2015	14	00	00	02
<b>Talaouchiba</b>	10/12/2014	41	1	1	1
	21/03/ 2015	25	5	2	00
	08/06/ 2015	00	00	00	00
<b>Ouguenay</b>	10/12/2014	16	3	1	1
	21/03/ 2015	17	00	00	02
	08/06/2015	00	00	00	10

**➤ Les germes totaux**

Le dénombrement des germes totaux est considéré comme un type d'indicateurs beaucoup plus général, vis-à-vis de toute pollution microbiologique; celui-ci détermine la totalité de la charge bactérienne. La stabilité des dénombrements bactériens est donc un bon signe de protection (Sari, 2014). Les échantillons analysés répondent aux normes dont la valeur ne doit pas dépasser 10 colonies dans 1ml d'eau, à l'exception de la première campagne pour la source de Djendel avec 59 colonies/1ml à 37°C.

Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé, mais sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique. Leur absence est un signe d'efficacité de la filtration naturelle.

**➤ Coliformes totaux**

On note la présence de coliformes totaux dans les échantillons analysés des trois sources. La source de Djendel où le nombre de colonies est passé de 115 en décembre 2014 à plus 200/100ml en mars 2015, celles de Zougala et Ouguenay présente des valeurs de 41 et 16 colonies/100ml pour la première campagne et 25 et 17/100ml pour la deuxième indiquant la présence de micro-organismes dans les eaux. En juin on note 14 colonnies/1ml à la source de Djendel et une absence dans les échantillons des sources de Zougala et Ouguenay.

Les coliformes totaux se trouvent généralement dans la nature associés à la matière organique en décomposition. Pour qu'une eau soit considérée potable, la norme algérienne pour les eaux de sources recommande une absence totale de colonies dans 100 ml.

Si le dénombrement de ceux-ci est supérieur à 200 colonies par 100 ml (le cas de la source de Djendel), l'eau est considérée impropre à la consommation et une désinfection d'eau doit être effectuée. La contamination par les coliformes totaux dans ce cas, peut provenir d'une infiltration d'eau de surface.

**➤ Coliforme fécaux**

Les coliformes fécaux sont des bactéries d'origine fécale qu'on retrouve dans le tube digestif des humains et des animaux, elles sont considérées comme étant des organismes indicateurs de pollution.

La réglementation Algérienne exclue impérativement la présence des coliformes fécaux dans 100 ml.

Les analyses des coliformes fécaux ont montré une augmentation du nombre de colonies entre décembre et mars pour les sources de Djendel (de 2 à plus de 200/100ml), Zougala (de 1 à 5/100ml) et une absence en juin. Pour la source d'Ouguenay où on observe 3 colonies/100ml lors de la première campagne et une absence totale pour les deux dernières.

La présence des coliformes fécaux en nombre élevé démontre une détérioration de la qualité de l'eau. Le dénombrement de ceux-ci est supérieur à 200 colonies /100 ml dans l'échantillon de la source de Djendel, cela peut signifier que l'eau de cette source est considérée impropre à la consommation et une désinfection d'eau doit être effectué. Leur présence dans les eaux témoigne d'une contamination fécale, probablement dû à un problème d'aménagement des sources, d'une installation septique défectueuse ou d'activités à proximité générant une pollution fécale comme l'épandage de fumier.

➤ **Streptocoques**

La même exigence pour les coliformes fécaux est portée sur les Streptocoques fécaux. Les échantillons analysés présentent des valeurs inférieure ou égale à 2 colonies par 100ml qui donne une indication d'une pollution fécale d'origine anthropique. Ils témoignent d'une contamination fécale ancienne tandis que les coliformes fécaux témoignent d'une contamination d'origine fécale récente ([www.laease.com](http://www.laease.com)).

#### **IV.6. Conclusion**

Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper a permis de déterminer les familles de faciès. Le diagramme Schoeller et la classification de Stabler ont permis d'avoir une précision sur les faciès hydrochimique des sources étudiées et mis en évidence trois faciès qui sont sulfaté calcique, le bicarbonaté sodique et le bicarbonaté calcique pour les trois sources respectivement lors de la première campagne. Ces eaux ont changés leurs faciès chimiques lors de la deuxième et la troisième campagne et donnent un faciès commun qui est le bicarbonaté calcique.

La minéralisation des eaux souterraines est due à la nature des terrains traversés et au processus des dissolutions des formations évaporitiques. L'échange d'ions affecte de manière significative la composition chimique des eaux souterraines.

Les valeurs des différents paramètres physico-chimiques analysés respectent les normes excepté les nitrates à la source de Zougala pour la première et troisième campagne. Concernant les paramètres bactériologiques, ne respectent pas les normes pour les deux premières campagnes mais lors de la troisième campagne la source de Zougala et Ouguenay présentent des eaux de bonnes qualités sur le plan bactériologique.

*Conclusion Générale*

*et*

---

*Recommandations*

## Conclusion générale

La présente étude, qui a pour objectif de déterminer et de quantifier la pollution minérale et bactérienne des eaux de sources situées dans la région du Haut Cheliff a abouti aux conclusions suivantes :

Cette étude a permis d'abord de faire une synthèse géologique et hydrogéologique de la région d'étude

L'étude hydrogéochimique des eaux des trois sources permet de dire que :

La représentation des ions majeurs sur les diagrammes de Piper, de Schoeller et par la classification de Stabler a permis d'identifier plusieurs faciès hydrochimiques au niveau des trois sources : sulfaté calcique (Djendel), bicarbonaté calcique (Zougala) et bicarbonaté sodique (Djelida) lors de la première campagne. Ces eaux ont changés leurs faciès lors de la deuxième et la troisième campagne et nous donnent un faciès commun qui est le bicarbonaté calcique. Ce changement de faciès des eaux est influencé par la composition chimique des formations géologiques et les phénomènes d'échanges ions entre les eaux et les roches encaissantes.

La minéralisation des eaux souterraines est due à la nature des terrains traversés et au processus des dissolutions des formations évaporitiques. L'échange d'ions affecte de manière significative la composition chimique des eaux souterraines.

D'après nos analyses et selon les paramètres indicateurs de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation, les eaux de sources montrent :

- Les deux sources Djendel (M'harza) et Zougala (Talaouchiba) présentent des minéralisations importantes contrairement à la source Djelida (Ouguenay) qui a une minéralisation moyenne. Ces teneurs sont influencées par les conditions climatiques
- Des eaux dures pour les sources de djendel (M'harza) et Zougala (Talaouchiba) et assez douce pour la source Djelida (Ouguenay),
- les paramètres physico-chimiques analysés sont conformes aux normes algériennes de potabilité, à l'exception des nitrates qui dépassent le seuil fixé à 50mg/l pour la source de Zougala lors de la première et la dernière campagne.
- L'examen bactériologique durant les trois campagnes de mesure, montre la présence de germes indicateurs de pollutions tels que les germes totaux coliformes totaux et fécaux ainsi que les streptocoques fécaux dans les échantillons. Leur présence peut être due à une infiltration des eaux résiduaires à travers des fosses septiques défectueuses ou aux activités génératrices de pollution autour du captage des sources. Ces résultats font que, les eaux des trois sources durant les deux premières campagnes (décembre et mars) présentent une mauvaise qualité bactériologique qui les rend impropres à la consommation humaine. Au mois de juin les eaux ont subi un traitement de désinfection ce qui explique l'absence de micro-organismes dans les échantillons analysés.

La surveillance de la qualité des eaux et la lutte contre les pollutions doivent être menées afin de satisfaire aux normes de qualité fixés par l'Etat Algérien et pour garantir une eau de bonne qualité aux citoyens.

Pour protéger ces sources contre la pollution diverses recommandations semblent être nécessaires:

- identification les sources de pollution dans le bassin versant qui draine la source ;
- installation des périmètres de protections autour de l'émergence de l'eau, réglementer et surveiller les activités menées sur la surface drainée par les nappes qui alimentent les sources ;
- entretien périodique des captages des sources ;
- une surveillance accrue ponctuée par un contrôle rigoureux et régulier de cette matière sensible, tout au long de l'année. Ceci permet de préserver la qualité des eaux de ces sources et de se prémunir contre toutes formes de pollution ;
- étude isotopique portant sur l'utilisation des isotopes pour une meilleure compréhension du temps de transit des eaux ;
- effectuer un traitement de désinfection au niveau des sources pour suspendre la pollution biologique surtout en période d'été, en préservant la santé des citoyens contre les maladies à transmission hydriques ;
- organiser des campagnes de sensibilisations des populations au respect des règlements et à stopper toutes activités génératrices de pollution à proximité des captages.

# *Références Bibliographiques*

---

## **Références bibliographiques**

**Abderamane H., (2012) :** Étude du fonctionnement hydrogéochimique du système aquifère du Chari Baguirmi (République du Tchad) ; Thèse Doctorat, Université de Poitiers. France.

**Aboubakar M., (2012) :** Caractérisation d'un système aquifère volcanique par approche couplée hydrogéochimique et modélisation numérique. Exemple de l'aquifère des basaltes de Dalha, sud-ouest de la République de Djibouti [Enligne]. Thèse Terres solides et enveloppe superficielle. Poitiers : Université de Poitiers. Disponible sur Internet <http://theses.univ-poitiers.fr>

**Bettahar S., (2012) :** Synthèse hydrogéologique de la nappe alluviale du Haut Cheliff, Mémoire de Master en Eau et Environnement, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.

**Bonnin J., (1982) :** Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Edition. Eyrolles.

**Bouziani M., (2006) :** L'eau dans tous ses états, Editions Dar El Gharb, PP : 31,113.

**Cardot C., (1999) :** Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus : génie de l'environnement. Edition Elipses. P71.

**Castany G., (1982) :** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod, Paris. PP : 231-233.

**Charfadine I, Abakar M A., (2011) :** Etude de la qualité Physico-chimique des eaux souterraines de la plaine du Haut Cheliff, Mémoire de Master en Eau et Environnement, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.

**De Fulvio S, Olori L., (1976):** Definitions and classification of naturally soft and naturally hard waters. In: Proc. Hardness of drinking water and public health. European Scientific Colloquium, Luxembourg 1975, Pergamon Press, New York, 95 p.

**Debieche T H., (2002) :** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. (Application à la basse plaine de la Seybouse – Nord-est Algérien). Thèse Doctorat ; université de Franche-Comté. France. 235 p.

**Eric G., Christian M., Jacques M., (2008) :** Hydrogéologie objets, méthodes, applications, 2<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris, PP : 76-82,112-115, 168, 169, 172,173.

**Ghazali D., Zaid A. / (2013) :** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes –Maroc), Larhyss Journal, 12, PP : 25-36.

**Gomella G., Guerree H. et Neveux Marc, 1974.** La distribution de l'eau dans les agglomérations urbaines et rurales. Edition Eyrolles.

**Groupe scientifique sur l'eau, (2003) :** Fiche Coliformes fécaux, Institut national de santé publique du Québec.

**Jean-Jacques C., (2004) :** Les eaux souterraines connaissance et gestion, Hermann, Editeur des Sciences et des Arts, 6Rue de la Sorbonne, 75005, Paris. PP : 17, 37, 47, 49.

**Keita M., Bocoum A Y., (2013) :** Etude des variations hydroclimatiques du bassin versant du moyen et haut Cheliff dans le cadre du changement climatique, Mémoire de Master en Eau et Environnement, Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana.

**Kemmer F.N., (1984) :** « Nalco-Manuel de l'eau ». Édition : Paris : Technique et Documentation Lavoisier, (4<sup>e</sup> tirage revu, 1983). Livre, ISBN/ISSN/EAN : 978-2-85206-220-7.

**Margat J., 1992 :** L'eau dans le bassin méditerranéen. Situation et perspective. Edition : Harmattan.

**Michel Bakalowicz, (2013) :** Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources, Université Montpellier 2.

**Rodier J., Legube B., Merlet M., Brunet R., (2009) :** L'analyse de l'eau. Ed. Dunod, Paris, 1600 p.

**Sari H., (2014) :** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Attar (Tlemcen), Mémoire de Master en sciences des aliments, Université Abou-BekrBelkaid Tlemcen 59p.

**Simler R., (2009):** Diagrammessoftware. Downloadable at <http://www.lha.univavignon.fr/LHA-Logiciels.htm>.

**Touhari Fadhila.,** Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique(2015).

**Valentin N., (2000) :** Gestion des eaux : Alimentation en eau assainissement. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris.

**Vilagines R., (2000) :** Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie, édition : Tec et Doc. Lavoisier.

#### **Cartes géologiques :**

**Notice carte géologique de Miliana n°84 2<sup>ème</sup> édition,** disponible à la bibliothèque de l'université de Khemis Miliana.

**Notice carte géologique de Djendel n°85,** disponible à l'ANRH de Khemis Miliana.

#### **Sites internet :**

**[www.laease.com/eau-streptocoques.htm](http://www.laease.com/eau-streptocoques.htm)**

# *Annexes*

---

## Annexe 1 : Données hydroclimatologiques

Tableau 1 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm) pour chaque station période 2000-2012 (ANRH)

stations\mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	Aout	annuelle
Domaine Mosbah	18,74	37,05	59,73	47,85	56,15	52,1	40,76	41,06	32,25	1,91	1,68	9,59	398,92
DjenedBenouadhah	10,43	17,02	24,77	18,6	23,6	13,2	16,73	19,36	14,97	2,2	0,25	1,76	162,95
El Ababsa	9,13	17,01	20,79	16,66	14,86	17,62	14,88	18,84	11,83	2,71	0,03	4,23	148,66
Khemis ANRH	11,14	20,85	27,04	16,646	18,38	16,53	19,37	15,16	11,96	3,62	1,39	3,04	165,17
Miliana	21	62,92	113,30	104,30	106,76	90,38	78,69	65,61	51,69	6,30	2,69	11,30	714,94

Tableau 2 : Pourcentage des précipitations saisonnières pour chaque station

stations\saisons	Automne	Hivers	Printemps	Eté
Domaine Mosbah	29%	39%	29%	3,3%
DjenedBenouadhah	32%	34%	31%	3%
El Ababsa	32%	33%	31%	5%
Khemis ANRH	36%	31%	28%	5%
Miliana	32%	42%	27%	3%

Tableau 3 : Précipitations moyennes annuelles en (mm) des stations(ANRH)

années\stations	Domaine Mosbah	DjenedBenouadhah	El Ababsa	Khemis ANRH	Miliana
2000	301,40	177,30	161,50	152,40	502
2001	234,60	128,80	123,40	152,70	633
2002	385,80	138,60	159,90	115,80	514
2003	390,30	191,50	120,90	160,00	774
2004	316,30	134,70	125,30	133,80	603
2005	433,20	205,20	165,10	178,80	573
2006	324,40	131,30	103,80	151,90	644
2007	483,80	237,90	181,30	231,30	912
2008	447,50	165,00	157,60	216,60	684
2009	479,50	127,70	166,00	207,20	867
2010	474,90	182,40	141,50	174,10	934
2011	502,90	180,00	154,30	171,50	920
2012	411,40	118,00	172,00	101,20	735

Tableau 4 : Température moyenne mensuelle en (°C)

Stations	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	an
Barrage harreza	26,22	21,35	14	10,18	9,43	10,13	14,29	16	20,43	29,6	30,42	30,64	19,39
Miliana	22,86	19	12,73	9,63	8,67	9,22	11,98	14,6	18,86	24,7	27,99	27,65	17,32

Tableau 5 : Précipitations et températures moyennes mensuelles

Stations		Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
Barrage harreza	P (mm)	24,5	37,1	61,8	50,8	53,1	53,8	40,6	42,5	25,2	5,25	0,09	8,12
	T (°c)	26,22	21,35	14	10,18	9,43	10,13	14,29	16	20,43	29,6	30,42	30,6
Miliana	P (mm)	21	62,92	113,3	104,3	106,7	90,38	78,69	65,61	51,69	6,30	2,69	11,30
	T (°c)	22,86	19	12,73	9,63	8,67	9,22	11,98	14,6	18,86	24,7	27,99	27,6

## Annexe 2 : Matériels et méthodes d'analyses physico-chimiques

### A. Mesure de la température, pH, conductivité électrique et turbidité

La température, le pH et la conductivité électrique ont été mesurés à l'aide d'un appareil multi-paramètre de marque « HACH », la mesure de la turbidité a été faite à l'aide d'un turbidimètre de la même marque « HACH ».



Photo1 : Multi paramètre



Photo 2 : Turbidimètre

### B. Calcium et magnésium

#### • Principe

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T.A à pH entre 12 et 13.

Ce dosage se fait en présence du Murexide, l'E.D.T.A réagi tout d'abord avec les ions calcium libres puis avec les ions calcium combinés avec l'indicateur coloré qui vire alors de la couleur rouge au violet.

#### • Réactifs

- Solution d'EDTA N/50 ( $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$ ) ; ( 0.02N ou 0.01M)
- Solution d'hydroxyde de sodium (Na OH) 2N
- Solution d'hydroxyde d'ammonium ( $NH_4OH$ ) pH=10.1
- Noir d'eriochrome T

#### • Mode opératoire :

(V1)  $Ca^{2+}$  : Prendre 50ml d'eau à analyser

Ajouter 2ml de Na OH à 2N

Ajouter du murexide

Et titrer avec l'EDTA jusqu'au virage (violet)

(V2)  $Ca^{2+}$   $Mg^{2+}$  : prendre 50ml d'eau à analyser

Ajouter 2ml de  $NH_4OH$  (10.1)

Ajouter noir eriochrome

Et titrer avec l'EDTA jusqu'au virage (bleu)

P.E : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage)

F : facteur de dilution

- **Expression des résultats**

La détermination du mg/l de calcium est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Ca}^{2+}] \text{ en mg/l} = \frac{V_1 \times N_{\text{EDTA}} \times F \times M_{\text{Ca}^{2+}}}{\text{PE}} \times 1000$$

D'où

$V_1$  : volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : concentration molaire d'EDTA (0.01 M/l)

$M_{\text{Ca}^{2+}}$  : masse molaire du calcium en g.

P.E : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage)

F : facteur de dilution

Donc  $[\text{Ca}^{2+}] = V_1 \cdot 0.01 \cdot f \cdot 40.08 \cdot 1000 / 50$

$$[\text{Ca}^{2+}] = V_1 \cdot F \cdot 8.016 \text{ (mg/l)}$$

La détermination du mg/l de magnésium est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{2+}] \text{ en mg/l} = \frac{(V_2 - V_1) \times N_{\text{EDTA}} \times F \times M_{\text{Mg}^{2+}}}{\text{PE}} \times 1000$$

D'où :

$V_2$  : volume total d'EDTA

$V_1$  : volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : concentration molaire d'EDTA (0.01M/L)

$M_{\text{Mg}}$  : masse molaire du magnésium en g.

P.E : prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : facteur de dilution

Donc :  $\text{Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = (V_2 - V_1) \cdot 0.01 \cdot F \cdot 24.3 \cdot 1000 / 50$

$$[\text{Mg}^{2+}] = (V_2 - V_1) \cdot F \cdot 4.86 \text{ (mg/l)}$$

## C. Chlorure

- **Principe :**

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

- **Réactifs**

- Solution de nitrate d'argent 0.01N : 0.6987g d'AgNO<sub>3</sub> 1000ml d'eau distillée
- Indicateur coloré K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> à 10% : 10g de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> Q.S.P 100ml d'H<sub>2</sub>O distillée.
- Solution de chlorures à 71mg/l : 0.107g de NH<sub>4</sub>Cl... 1000ml d'eau distillée.

- **Mode opératoire**

- Prendre 5ml d'eau à analyser
- Ajouter 2 gouttes de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> (coloration jaunâtre)

- Titrer avec l'AgNO<sub>3</sub> à 0.01N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

- **Expression des résultats**

$$[\text{Cl}^-] \text{ en mg/l} = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times M_{\text{Cl}^-}}{\text{PE}} \times 1000$$

$$[\text{Cl}^-] = V_{\text{AgNO}_3} * 71 * F \text{ (mg/l)}$$

V<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> : volume d'AgNO<sub>3</sub> nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

N<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> : normalité d'AgNO<sub>3</sub>

M<sub>Cl<sup>-</sup></sub> : Masse molaire des chlorures.

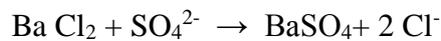
F : facteur de correction du titre d'AgNO<sub>3</sub>,=0.71

PE : prise d'essai.

## D. Sulfate

- **Principe :**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de Ba Cl<sub>2</sub>.



- **Appareil**

Spectrophotomètre UV visible de marque « HACH »



Photo 3 : Spectrophotomètre à UV

- **Mode opératoire**

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Passer au spectrophotomètre  $\lambda = 420 \text{ nm}$ .

- **Réactifs**

Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 Peser 1,479 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ..... 1000 ml d'eau distillée.

Solution stabilisante :

Acide chlorhydrique (c) ..... 60 ml.  
 Ethanol ..... 200 ml.  
 Chlorure de sodium ..... 150 g.  
 Glycérol ..... 100 ml.  
 Eau distillée ..... Q.S.P. 1000 ml.

Solution de chlorure de baryum :

Chlorure de baryum ..... 150 g.  
 Acide chlorhydrique ..... 5 ml.  
 Eau distillée ..... Q.S.P. 1000 ml.

- **Expression des résultats**

[SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] mg/l = la valeur lue sur le spectrophotomètre x facteur de la dilution.

### E. Bicarbonate

- **Principe :**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

- **Réactifs :**

- Solution d'HCL à 0.1N :
- d'HCl à 1N..... 100ml
- H<sub>2</sub>O distillée ..... q.s.p 1000ml.

**Electrode :** électrode PH

- **Mode opératoire :**

- Prendre 100ml d'eau à analyser
- Noter son PH puis titrer avec HCl à 0.1N jusqu'à obtention d'un PH de 4.3.

- **Expression des résultats :**

$$[\text{HCO}_3^-] \text{ mg/l} = \frac{V_A \times 61 \times M \text{ HCO}_3^- \times 1000}{\text{P.E}}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = V_{A1} * 61 \text{ (mg/l)}$$

V<sub>A</sub> : volume d'acide versé.

N<sub>A</sub> : normalité d'acide versé.

MHCO<sub>3</sub><sup>-</sup> : masse molaire de bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

P.E : prise d'essai.

## F. Nitrates

- **Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosionate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

- **Réactifs :**

- Solution de salicylate de sodium à 0.5% (renouveler toutes les 24h.).  
0.5gramme de salicylate de sodium dans 100ml d'eau distillée.
- Solution d'hydroxyde de sodium 30%.  
30gramme de NaOH dans 100ml d'eau distillée.
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.
- Tartrate double de sodium et potassium  
Hydroxyde de sodium NaOH.....400g.  
Tartrate de sodium.....60g.  
Eau distillée.....qsp 1000ml.
- Laisser refroidir avant de compléter à 1000cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000mg/l.
- Nitrate de potassium anhydre....0,722g.  
Eau distillée.....1000ml.  
Chloroforme.....1ml.
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5mg/l.

- **Appareillage.**

Étuve, Spectrophotomètre U.V visible de marque « HACH »

- **Mode opératoire :**

Prendre 10ml de l'échantillon à analyser.

Ajouter 2 à 3 gouttes de Na OH à 30%.

Ajouter 1ml de salicylate de sodium.

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88°C.

(Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.

Reprendre le résidu avec 2ml. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> laisser reposer 10mn.

Ajouter 15ml d'eau distillée.

Ajouter 15ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre au 415nm.

- **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 420 nm.

## G. Sodium potassium

- **Mode opératoire :**

Appareil spectrophotomètre à flamme de marque (JENWAY)

Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton "fuel" jusqu'à ce que la couleur devienne bleue violacée.
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de  $\text{Na}^+$  ou de  $\text{K}^+$  à 10 mg/l.
- Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de " $\text{Na}^+$ " ou de " $\text{K}^+$ " à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de " $\text{Na}^+$ " ou de " $\text{K}^+$ " à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.
- A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran soit stable (3 essais pour chaque échantillon).

A la fin du dosage et par mise de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

- **Expression des résultats :** Le résultat est donné directement en mg/l



Photo 4 :Spectrophotomètre à flamme

## **Annexe 3 : Matériels et méthodes d'analyses bactériologiques**

### **A. Coliformes totaux et fécaux**

- **Matériel**

- Rampe de filtration
- Pompe à vide un flacon aspirateur
- Boîte de pétri
- Membrane filtrante (pore 0.45um)
- Pince
- Bec benzène
- Gélose Endo
- Gelose TSI

- **Méthode**

- Flamber la surface supérieure de la rampe de filtration ainsi que la plaque poreuse (en ouvrant le robinet pour aspirer la flamme) et le réservoir.
- Laisser refroidir
- Prélever une membrane de son emballage à l'aide de pince stérile (flambée et refroidie).
- La poser sur la plaque poreuse de la rampe de filtration
- Agiter soigneusement le flacon a analysé.
- Verser stérilement 100ml d'eau
- Ouvrir le robinet pour laisser l'eau s'écouler.
- Dès que la membrane paraît sèche enlever le réservoir et prélever la membrane avec une pince stérile en la saisissant par son extrême bord.
- Déposer la membrane sur le milieu sélectif (gélose Endo) en prêtant attention à ne pas piéger de bulles d'air.
- Incuber à 37°C les boîtes pétries pour les coliformes totaux et 44°C pour les coliformes fécaux, le couvercle vers le bas.
- La lecture se fait après 24h d'incubation. Toutes les colonnes suspectes lactose positif sont comptées puis repiquer sur le milieu TSI pour confirmer.
- L'utilisation du lactose et le dégagement de gaz caractère principale des coliformes.

- **Expression des résultats**

Le résultat est donné en nombre de germe par 100ml

### **B. Streptocoques fécaux**

- **Matériel**

- Rampe filtrante
- Pompe à vide
- Flacon aspirateur
- Boîte pétri

- Membrane filtrante (pore 0.45um)
- Pince
- Bec benzène gélose Slanetz + TTC (chlorure de triphényl-2.3.5-tétrazolium)

- **Méthode**

- Placer le filtre sur la membrane
- Déverser dans l'entonnoir gradué (placer sur la rompe) 100ml d'eau à analyser
- Mettre en marche la pompe à vide pour vider l'eau
- Retirer le filtre et les disposer dans la boîte pétrie

Après filtration, les membranes sont déposées sur le milieu puis incubé à 37°C pendant 48h.

Les colonies roses à marrons avec un diamètre de 0.5mm à 2mm seraient celles des streptocoques fécaux.

Toutes ces colonies sont comptées puis consignées sur un registre.

- **Expression des résultats**

Les résultats sont donnés en nombre de germe par 100ml.

### **C. Germe totaux**

Elle consiste en une estimation du nombre total des germes présents dans l'eau

- **Matériel**

- Gélose TGEA( Gélosetryptone glucose Agar)
- Boîtes de pétri.
- Eau distillée stérile en tube de 9ml.
- Bain marie.
- Pipette graduée

- **Consigne**

- Utiliser un échantillon témoin dans le but de contrôler la gélose
- Pour chaque échantillons utiliser 2ou 3 boîtes
- La moyenne des résultats obtenus représentera le résultat de notre travail
- Dans notre cas nous avons utilisé 2 boîtes

- **Méthode**

- Prélever 1ml d'eau a analysé à l'aide d'une pipette graduée
- Les disposer par goutte dans la boîte pétrie (20gouttes) par boîte
- Ajouter 15ml de la gélose TGEA
- Agiter sous forme de 8 (circulaire)
- Mettre dans l'incubateur à 37°C.
- Lire les résultats après 48h

#### **Remarque**

Les boîtes sont incubées à l'envers pour éviter une déshydratation de la gélose. La lecture se faire après 48h à une température de 37°C.

- **Expression des résultats**

Le résultat est donné en nombre de germe par ml.

### Remarque

Les pipettes sont utilisées par échantillon (une pipette pour un échantillon précis). Pas d'échantillon pour la boîte témoin.



Photo 5 : boîtes de pétrie



Photo 6 : Rampe filtrante et bec benzène



Photo 7 : Etuve

## Annexe 4 : Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation (NA 6360-1992)

### ➤ Facteurs organoleptiques

Paramètres	Unité	niveau Guide	Concentration max. admissible	Observations
Odeur	Seuil de perception à 25°C	00	4	Au bout de quatre dilutions successives aucune odeur ne doit être perçue
Saveur	Seuil de perception à 25°C	00	4	Au bout de quatre dilutions successives aucune saveur ne doit être perçue
Couleur	mg/l' échelle PT/Co	00	25	/
Turbidité	NTU Néphelométrique Turbidité Unité	-	5	/

### ➤ Facteurs physico- chimiques

Paramètres	Unité	Niveau Guide	Concentration max. admissible	observations
pH		6,5 à 8,5		
Conductivité	µS / cm à 20°C	-	2280	
Résidu sec	mg/l après séchage a 105°		2000	En correspondance avec la normalisation des eaux
Dureté totale	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100	500	
Calcium	mg/l	75	200	
Magnésium	//	-	150	
Sodium	/	-	200	
Potassium	//	-	10	
Sulfates	//	200	400	
Chlorures	//	200	500	
Nitrates	//	-	50	
Nitrites	//	-	0,1	
Ammonium	//	0,05	0,5	
Phosphates	//	-	0,5	
Oxydabilité (KMnO <sub>4</sub> )	//		3	Mesure faite à chaud et en milieu acide
O <sub>2</sub> dissous	//	5	8	
Aluminium	//	-	0,2	

➤ Paramètres bactériologiques

Paramètres	Unité	Niveau Guide	Concentration max. admissible	Observations
<b>1- Eau traitée à l'entrée du réseau</b>				
Coliformes fécaux	Nbre/100ml	-	0	Turbidité (1NTU), pour la désinfection au chlore, il est préférable que le pH=6,8
Coliformes	Nbre/100ml	-	0	Chlore libre résiduel 2,2 à 0,5mg/l après 30Mn (minimum) de contact
<b>2- Eau de boisson en bouteille</b>				
Coliformes fécaux	Nbre/100ml	-	0	La source doit être exempte de contaminant fécal
Coliformes	Nbre/100ml	-	0	
<b>3- Eau potable de source</b>				
Coliformes fécaux	Nbre/100ml	-	0	Avertir la population de javettiser ou faire bouillir l'eau au cas où l'on n'arrive pas à respecter les valeurs indicatives
Coliformes	Nbre/100ml	-	0	
Germes totaux 37°C/48h	Nbre/ lml	10	-	Pour une eau traitée le dénombrement des germes totaux effectué à l'extrémité réseau de distribution ne doit pas excéder le taux obtenu en début de réseau dans 90% des échantillons analysés au cours de l'année
	Nbre/ lml	100	-	
Streptocoques Streptocoques fécaux	Nbre/100ml	-	0	-
Clostridium sulfite réducteurs	Nbre/20ml	-	0	

➤ Facteur indésirables ou toxiques

Paramètres	Unité	Niveau Guide	Concentration max. admissible	observations
Argent	mg/ l	-	0,05	
Arsenic	//	-	0,05	
Baryum	//	-	1	
Cadmium	//	-	0,01	
Cyanures	//	-	0,05	
Chrome	//	-	0,05	
Cuivre	//	0,05	1,5	
Fer	//	-	0,3	
Fluor	//	0,3	2	
Manganèse	//	-	0,5	
Mercuré	//	-	0,001	
Plomb	//	-	0,05	
Hydrogène Sulfuré	//	-	0,02	Non détectable organologiquement
Sélénium	//	-	0,01	
Zinc	//	-	5	
Pesticides et produit apparentés Au total par substance individualisée		-	0,5 0,1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• des insecticides</li> <li>- organochlorés</li> <li>- persistants</li> <li>- organophosphorés</li> <li>- carbonates</li> <li>• herbicides</li> <li>• fongicides</li> <li>• PCB/PCB</li> </ul>
Détergent ABS	µg/l	-	0,2	Chloration
Phénols	Mg/l		2	S'il ya chloration à l'exclusion des phénols naturels qui ne réagissent pas au chlore
Hydrocarbures dissous	µg/l	-	10	