

الجزائرية الديمقراطية الشعبية الجمهورية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

جامعة الجبلاي بونعامة بخميس مليانة

Université DjillaliBOUNAAMA de Khemis Miliana

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض

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

قسم علوم الأرض و الكون

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master

En Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie appliquée

Option : Ressources en Eau et Géo Environnement

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA QUALITE PHYSICO-
CHIMIQUE DES EAUX DE SOURCES DU ZACCAR**

Présenté par :

Mr. Bouzara Said

Mr. Smail Djillali

Date de soutenance: 07/07 /2021

Devant les Membres de Jury :

Président : Mr. Gharbi B.MCBUDBKM

Encadreur : Mr. Bensaada M. MCBUDBKM

Examinateur : Mr. Sadeuk Ben Abbes A.MCBUDBKM

Année Universitaire : 2020 /2021

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à...

A mes très chers parents que la paix soit sur leurs âmes

A mes très chers frères et sœurs

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 ma femme et mes enfants ; Sid Ahmed, Rayen et Anes..Je vous souhaite tous les bonheurs du monde et bonne chance dans tous vos projets futurs.

A toute la promotion du Master 2 Géo-environnement.

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

Khemis Miliana le 01 juin 2021

BouzaraSaid

DEDICACE

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à Ma femme , mes garçons Mohamed Wassim, et Wael , Mon frère karim, et mes sœurs.

je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude.

A mon cher binôme « SAID » et a toute sa famille.

SMAIL Djilali

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 promoteur monsieur **BENSAADA Mohamed** pour nous avoir encadré, suivi et encouragé tout au long de ce travail.

Merci également aux membres du jury Mr **GHARBI Benyoucef et Sadeuk Ben Abbes AEK** pour le temps consacré à évaluer ce travail qui nous accompagnera tout le long de notre vie professionnelle.

Toute fois nous adressons nos remerciements sincères à tous les enseignants de l'Université de khemis-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 Lamamri Radwane 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 l'ingénieur chargé pour les traitements des sources à la commune Miliana pour leur accueil et pour nous avoir facilité l'accès aux données nécessaires pour notre étude.

Résumé

Cette étude concerne l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de sources Sidi khelil (Azaz), El Houachem, Tamobordjia, Ain safra qui sont localisées dans la région du Zaccar 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.

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-alcalin, et 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 durant la campagne du prélèvement.

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

L'étude de la potabilité des eaux a montré une bonne qualité physico-chimique des eaux durant la période.

Mots clés : Eaux de sources, faciès Hydrochimique, Minéralisation, potabilité, Zaccar.

ملخص

تتعلق هذه الدراسة بتقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية لمياه منابع سيدي خليل، الهواشم، تمبورجية و عين الصفراء الواقعة فيمنطقة زكار وهذا بمقارنة النتائج مع المعايير الجزائرية من جهة وفهالية التمعدين الناتجة عن النوعية الكيميائية من جهة أخرى.

وقد تمت معالجة وتفسير نتائج التحاليل باستخدام طرق مختلفة (مخططات Piper

،Stabler وSchoeller، التمثيلات البيانية الثنائية، مؤشر التبادل الأيوني ومعايير مياه الشرب)

وركز التحليلات على الأيونات الأكثر شيوعا والأكثر وفرة في المياه الجوفية التي لها علاقة مباشرة مع الخصائص

الجيولوجية للأرض . أجرى تأخذ العينات وتحليل المياه بالتعاون مع مصالح ADE بعرب.

تتميز المياه الجوفية بنوعية هيدروكيميائية مشتركة وبيكربونات الكالسيوم في المنابع المدروسة وفقا لمخططات

،Piper وSchoeller،Stabler.

وقد أظهرت دراسة صلاحية المياه للشرب بنوعية فيزيوكيميائية جيدة لفترة العينات.

مفاتيح الكلمات: مصادر المياه، هيدروكيميا، التعدين، صلاحية الشرب، زكار.

Abstract

This study concerns the evaluation of the physico-chemical and bacteriological quality of spring water of Sidikhelil (Azaz), El Houachem, Tamobordjia, Ainsafra localized in the Zaccar area, by comparing the contents with the Algerian standards firstly and understand the process mineralization involved in their chemical qualities on the other.

The processing and interpretation of the results of analyzes were made using various methods and tools (Piper diagram, Schoeller, Stabler classification, chloro-alkaline indexes and 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 ADE of Arib for the period.

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

The study of water potability has shown a good physical-chemical water quality in the period.

Keywords: Water spring, Hydrochemistry, Mineralization, potability, Zaccar.

Table des Matières

Introduction générale	13
I.1. Introduction.....	15
I.2. Les eaux d’approvisionnement.....	15
I.2.1. Eaux de surface.....	15
I.2.2. Eaux souterraines.....	15
I.3.1. Les sources.....	15
I.3.1. Définition.....	15
I.3.2. Nature et localisation des sources.....	15
I.3.3. Les différents types de sources	16
I.3.3.1. Sources d'affleurement.....	16
I.3.3.2. Sources de déversement.....	16
I.3.3.3. Sources d'émergence ou artésienne.....	16
I.3.4. Conditions d’émergence	16
I.3.5. Captages des sources.....	17
I.3.6. Entretien des captages	19
I.3.7. Débit et régime des sources.....	19
I.3.8. Paramètres de qualité	21
I.3.8.1. Paramètres physiques et organoleptiques	21
I.3.8.2. Paramètres chimiques	22
I.4. Pollution des eaux souterraines.....	25
I.4.1. Les différentes sources de pollutions	25
I.4.1.1. Pollution domestique et urbaine.....	25
I.4.1.2. Pollution industrielle	25
I.4.1.3. Pollution agricole	25
I.4.2. Les maladies à transmission hydrique	26
I.4.3. Lutte contre la pollution des eaux	26
I.4.4. Traitement des eaux	27
I.5. Conclusion	27
II.1. Situation géographique	29
II.2. Climat du bassin du Haut Cheliff	30
II.3. Pluviométrie et température.....	31
II.4. Contexte géologique	33
II.4.1. Contexte géologique général	33
II.4.2. Stratigraphie.....	33

II.4.3. Caractères lithologiques.....	37
II.4.4. Contexte géologique local	38
II.4.4.1. Sources étudiées.....	38
II.4.4.2. Le massif de Zaccar	39
II.4.4.2.1. Zaccar Gharbi	40
III.1. Méthodes d'acquisition des données.....	43
III.1.1. Échantillonnages	43
III.1.2. Modes de Prélèvements	43
III.1.3. Mesure in situ.....	43
III.2. Analyses.....	44
III.2.1. Paramètres physico-chimiques.....	44
III.3. Méthodes d'évaluations de la qualité des eaux	45
III.3.1. L'erreur sur la balance ionique	45
III.3.2. Minéralisation globale	46
III.3.3. Faciès chimiques.....	46
III.3.3.1. Diagramme losangique de piper	46
III.3.3.2. Diagramme semi-logarithmique Schoeller-Berkaloff.....	46
III.3.3.3. La formule caractéristique de Stabler.....	46
III.3.4. Indices Chloro-Alcalin.....	46
III.3.5. Potabilité de l'eau	47
III.3.5.1. Norme de potabilité des eaux de consommation.....	47
III.3.5.2. Dureté totale.....	48
IV. 1. Erreur sur la balance ionique	50
IV. 2. Détermination des principaux faciès hydrochimiques.....	50
IV.2.1. Diagramme de Piper	50
IV.2.2. Diagramme de Schoeller	51
IV.2.3. Classification de Stabler	52
IV.3. Indices Chloro-Alcalins.....	53
IV.4. Etude de la potabilité des eaux	54
IV.4.1. Paramètres physico-chimiques	54
Conclusion générale	59
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Relation entre la minéralisation et de la conductivité électrique	22
Tableau 2 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.	22
Tableau 3 : Coordonnées de la station pluviométrique de Miliana	31
Tableau 4 : Présentation des différentes sources	38
Tableau 5 : Extrait des Normes algériennes de potabilité des eaux de consommation	48
Tableau 6 : Classification de l'eau selon la dureté totale (d'après De Fulvio et oleri, 1976)	48
Tableau 7 : Indices Chloro-alkalins durant la campagne de mesure Mars 2021.	54
Tableau 8 : Résultats des analyses physico-chimiques des quatre sources	55
Tableau 9 : Classification des eaux selon leurs duretés	57

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de l'exutoire d'un réservoir calcaire en fonction de la structure géologique et de la topographie (Eric et al, 2008).	16
Figure 2 : Exemples de report d'émergence par un relai hydraulique frontal (Eric et al, 2008).	17
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).	18
Figure 4 : Localisation des sources étudiées.	30
Figure 5 : Carte des étages bioclimatique du bassin Cheliff (Source Touhari, 2015)	31
Figure 6 : Pluviométrie moyenne inter-annuelle (période 1968-2001) (source : Touhari, 2015)	32
Figure 7 : Evolution de précipitations mensuelles moyennes et de température observées à la station Miliana.	32
Figure 8 : Carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana. (Source : Touhari.2015)	33
Figure 9 : Colonne litho stratigraphique synthétique et comportement hydrogéologiques des différentes formations d'après le log stratigraphique établi par Perrodon, 1957.	35
Figure 10 : Prélèvement des eaux d'un Captage des sources étudiées.	38
Figure 11 : Extrait de la carte géologique de Miliana (Mattaour, 1958).	39
Figure 12 : Coupes géologiques de Zaccar Gharbi (1/50.000°) Koulomzine, 1935	41
Figure 13 : Prélèvement in-situ des eaux de sources étudiées.	44
Figure 14 : Diagramme de Piper, campagne Mars 2021.	51
Figure 15 : Diagramme de Schoeller, campagne de Mars 2021.	52
Figure 16 : Faciès chimiques des eaux de sources selon la classification de Stabler.	53

Liste des Abréviations

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

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. **Abderamane H., (2012)**

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. **Abderamane H., (2012)**

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. **Charfadine (2011)**

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 ainsi que le processus de minéralisation des eaux des quatre sources d'eau suivantes: Sidi khelil (Azaz), El Houachem, Tamobordjia et Ain safra, situées dans la région du Zaccar et qui constituent un moyen d'approvisionnement des populations riveraines. Nous signalons que les analyses bactériologiques n'ont pas été faites au niveau du laboratoire ADE.

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 des eaux échantillonnées.
- ✓ Le quatrième chapitre est consacré aux différents résultats et leurs interprétations.

Enfin, une conclusion générale et des recommandations seront exposées.

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 (Eric et al, 2008).

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.3.1. 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 (Gomellaet 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).

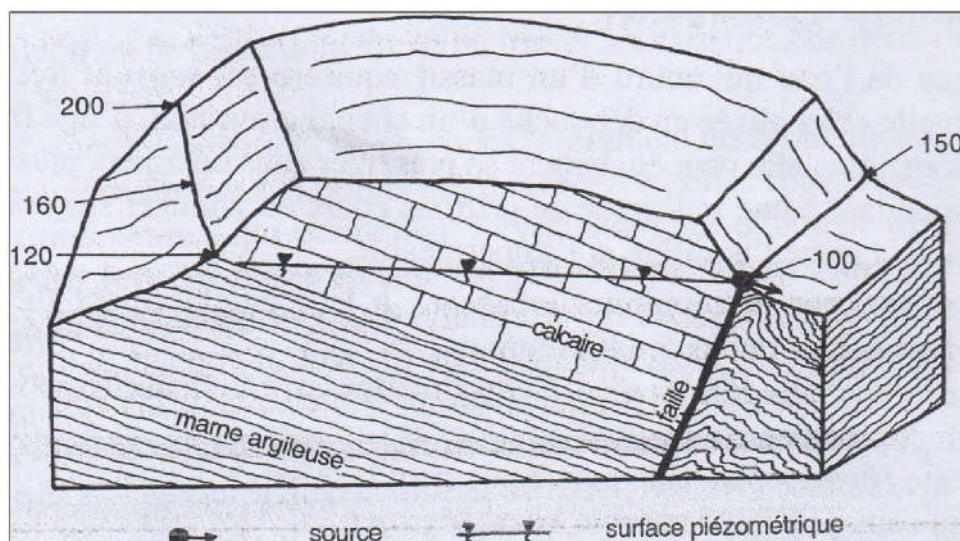


Figure 1 : Localisation de l'exutoire d'un réservoir calcaire en fonction de la structure géologique et de la topographie (Eric et al, 2008).

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).

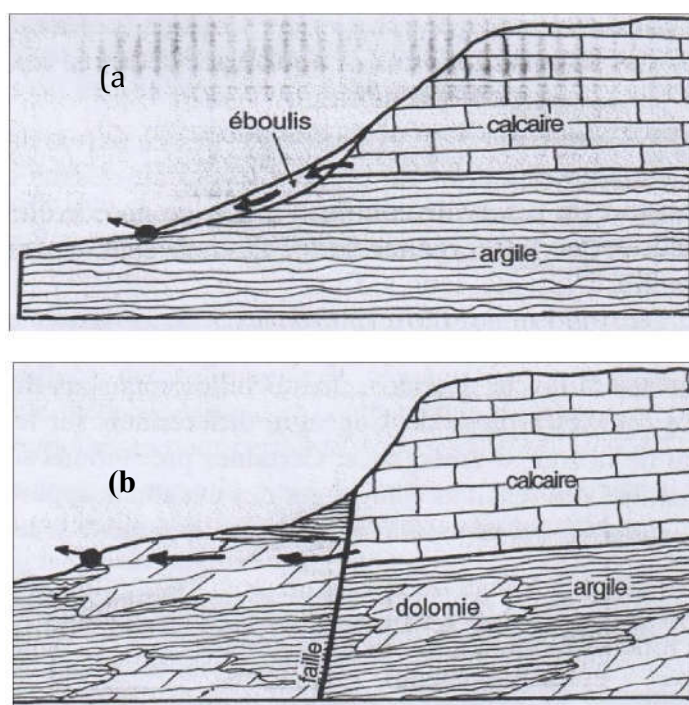


Figure 2 :Exemples de report d'émergence par un relai hydraulique frontal (Eric et al, 2008).

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).

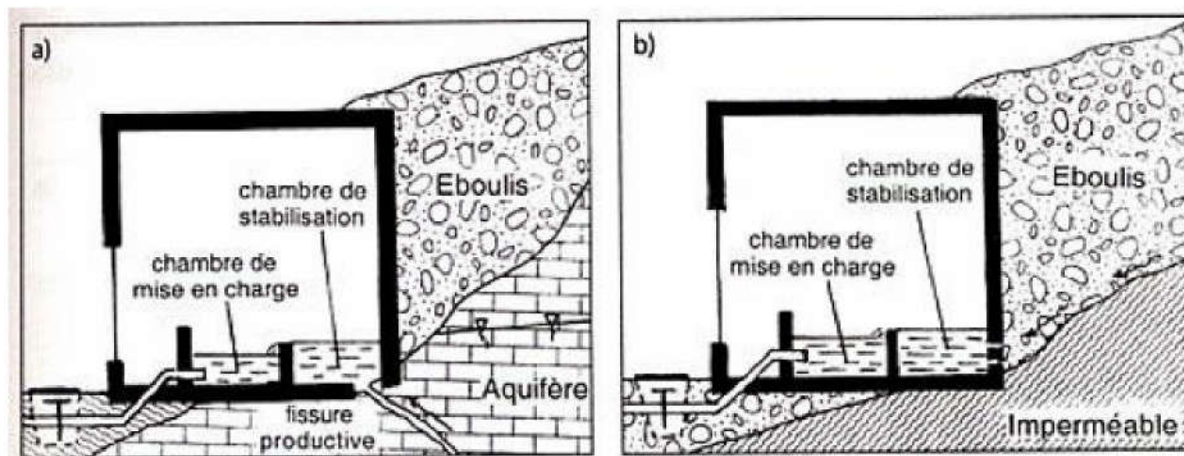


Figure 3 : Schémas types de captages ponctuels à la roche réservoir (a) et à la base d'un réservoir relais (b) (Eric et al, 2008)

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 conducti-mètre), 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-saisonnières 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 (tableau 01). 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 (tableau 02), 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 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 (Na^+ , K^+) et H^+ . Elle est souvent due aux ions Ca^{2+} et 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 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 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 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 , 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.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, détergents, 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 (Bouziyani, 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 baser 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.

PRESENTATION

DE LA

REGION D'ÉTUDE

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.1. Situation géographique

La région d'étude correspond au Massif du Zaccar (des quatre sources d'eau suivantes: Sidi khelil (Azaz), El Houachem, Tamobordjia et Ain safra), elle est située au Nord-Ouest de l'Algérie et fait partie du bassin hydrographique du Haut Cheliff au Nord-Est de ce dernier (figure 4).

Elle est limitée naturellement :

- Au Nord par le bassin du Côtier Dahra.
- Au Sud par la plaine du haut Cheliff.
- A l'Est par le bassin hydrographique de l'Algérois.
- A l'Ouest par les monts du Dahra.



Figure 4 :Localisation des sources étudiées.

II.2. 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 (Charfadine2011).

Le 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.3. Pluviométrie et température

Les principaux facteurs climatiques qui régissent les régimes hydrologiques sont les précipitations et les températures, ce sont les deux facteurs qui interviennent dans le bilan hydrique. La connaissance du bilan hydrique dans la région semi aride implique l'évaluation de la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

Les données pluviométriques et de températures ont été recueillies auprès l'office national météorologique (ONM), sous forme de tableaux des cumuls mensuels et annuels au niveau de la station météorologique de Miliana sur une période de 1990 à 2012.

La station de Miliana se situe sur les contreforts du mont de Zaccar (fig. 5). Le tableau 3 nous renseigne sur les coordonnées géographiques de la station étudiée.

Tableau 3 : Coordonnées de la station pluviométrique de Miliana

Nom de Station	coordonnées		
	X	Y	Z
Miliana	2° 14'E	36° 18'N	721

La pluviométrie moyenne varie de 400 à 700 mm ; elle est concentrée sur les versants sud des monts de Dahra et du Zaccar (figure 06), avec une moyenne maximale de 700 mm dans la station de Miliana. Les précipitations diminuent dans la vallée du Cheliff où elles atteignent 400 mm. La région d'étude est une région très ensoleillée ; l'insolation atteint son maximum en période estivale.

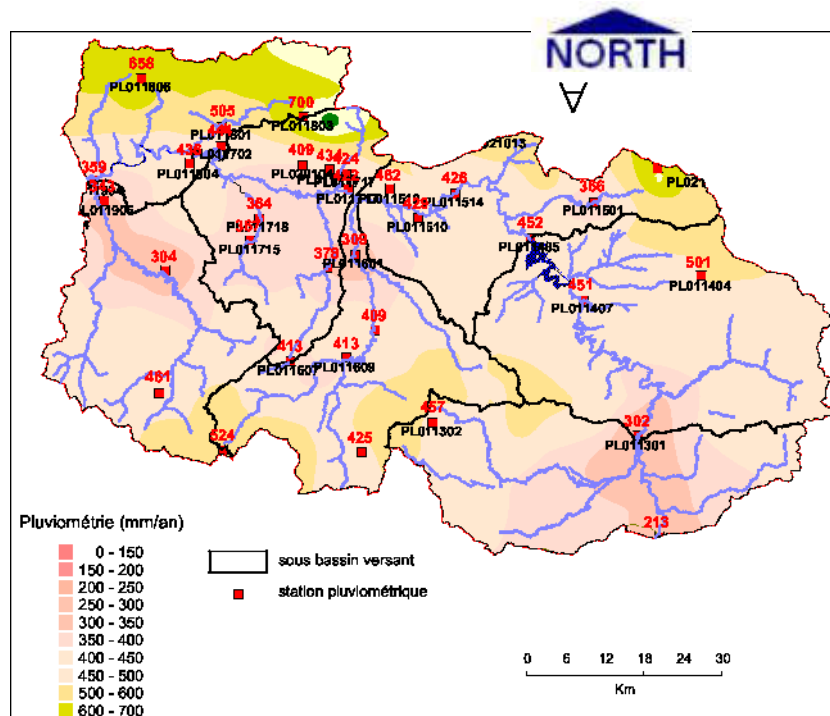


Figure 6 :Pluviométrie moyenne inter-annuelle (période 1968-2001) (source : Touhari, 2015)

La zone d'étude est une zone au climat méditerranéen, climat relativement froid en hiver et chaud en été. L'analyse du diagramme (figure 07) permet de visualiser une période pluvieuse qui s'étend généralement du mai d'octobre à la fin d'avril et une période sèche pour le reste de l'année. Toutefois les mois de juin, juillet et août demeurent les mois les plus secs.

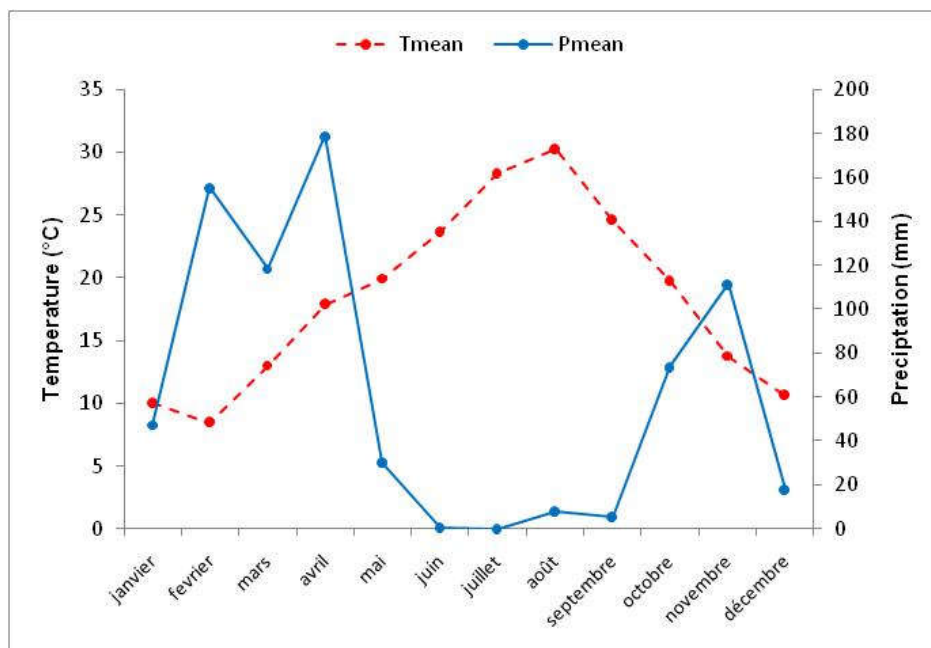


Figure 7 :Evolution de précipitations mensuelles moyennes et de température observées à la station Miliana.

II.4. Contexte géologique

II.4.1. 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 (fig 08), 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 (Touhari, 2015).

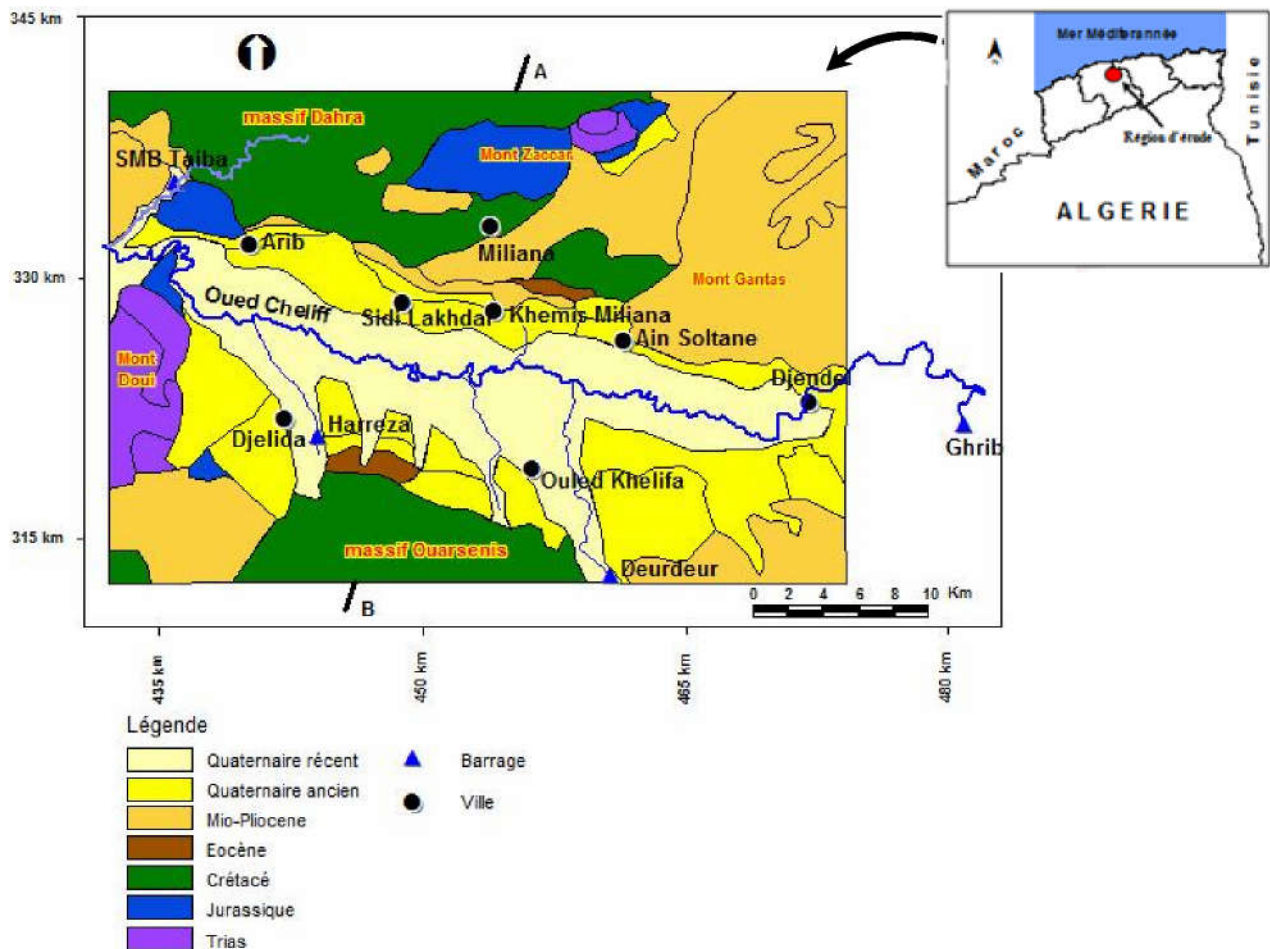


Figure 8 : Carte géologique simplifiée d'après le 1/50.000 de Miliana. (Source : Touhari.2015)

II.4.2. Stratigraphie

Dans cette étude on s'est essentiellement basé sur les caractéristiques lithostratigraphiques des différentes formations géologiques. La série stratigraphique (fig. 09) 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 peut 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 triés, 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).

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	Miocène inférieur (Burdigalien)	Imperméable
1000		Grès et poudingues		Perméable
20		Calcaires		
?		Grès quartzitiques Argiles et schistes	Eocène	Perméable
?		Marnes et calcaires Marneux	Sénonien	Imperméable
50		Calcaires et marnes calcaire	Cénomannien	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 9 : 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.4.3. Caractères lithologiques

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.4.4. Contexte géologique local

II.4.4.1. Sources étudiées

Les quatre sources étudiées sont situées sur les calcaires anciens du Travertin (figure 11), les formations qui affleurent en surface sont situées au sud du l'aquifère massif de calcaire du Zaccar Gharbi un contact schiste- calcaire qui passe au sud est au contact calcaire-marne du Miocène (Fig.11).

Notre étude est basée sur les quatre sources d'eau situées dans la région du Zaccar destinées à l'approvisionnement en eau de la population (figure 10) ; La première source de Sidi khelil (Azaz) se situe dans le massif du Zaccar à 700 m d'altitude, la deuxième est celle de El Houachem située à 534m. La troisième et la quatrième source de Tamobordjia et Ain safra se situent au à 457m et 445m d'altitude respectivement (Tableau 4).

Tableau 4 :Présentation des différentes sources

Lieu de prélèvement	Nature	Coordonnées (x) Degré	Coordonnées (y) Degré	(z) metre	Débit Q (l/s)
Sidi khelil (Azaz)	source	2,131	36,1807	700	3,32
El Houachem	source	2,136	36,1727	534	1,19
Tamobordjia	source	2,1313	36,172	457	0,55
Ain safra	source	2,1335	36,1722	445	0,55



Figure 10 :Prélèvement des eaux d'unCaptage des sources étudiées.

II.4.4.2. Le massif de Zaccar

Le massif de Zaccar est constitué par un puissant ensemble calcaire attribué au Lias. Sa structure est celle d'un anticlinorium. Sur les flancs Nord, Est et Ouest, les calcaires sont recouverts par des schistes liasiques imperméables. La superficie de cet affleurement de calcaire est de 30 Km². (fig. 11)

Les bombements du Zaccar Gharbi et Chergui culminent à 1579 m. Ils sont formés de calcaires, de schistes métamorphisés et de roches éruptives. Profondément entaillés par les ravins abrupts, ils sont couverts de chênes-verts et de quelques boisements de pins.

Les formations schisteuses secondaires et tertiaires ont un aspect morphologique assez différent du massif primaire et jurassique. Elles atteignent 957 m dans le prolongement de l'axe anticlinal du Zaccar et s'enfoncent au sud sous la plaine du Chélif avec des altitudes inférieures à 250 m.

Un chevelu de ravineaux souvent étroit encombrés d'éboulis découpe les schistes et les quartzites du Crétacé souvent couverts de broussailles. Le Crétacé est parfois complètement dénudé sauf dans les régions forestières. Les marnes miocènes constituent avec la plaine du Chélif les régions cultivées.

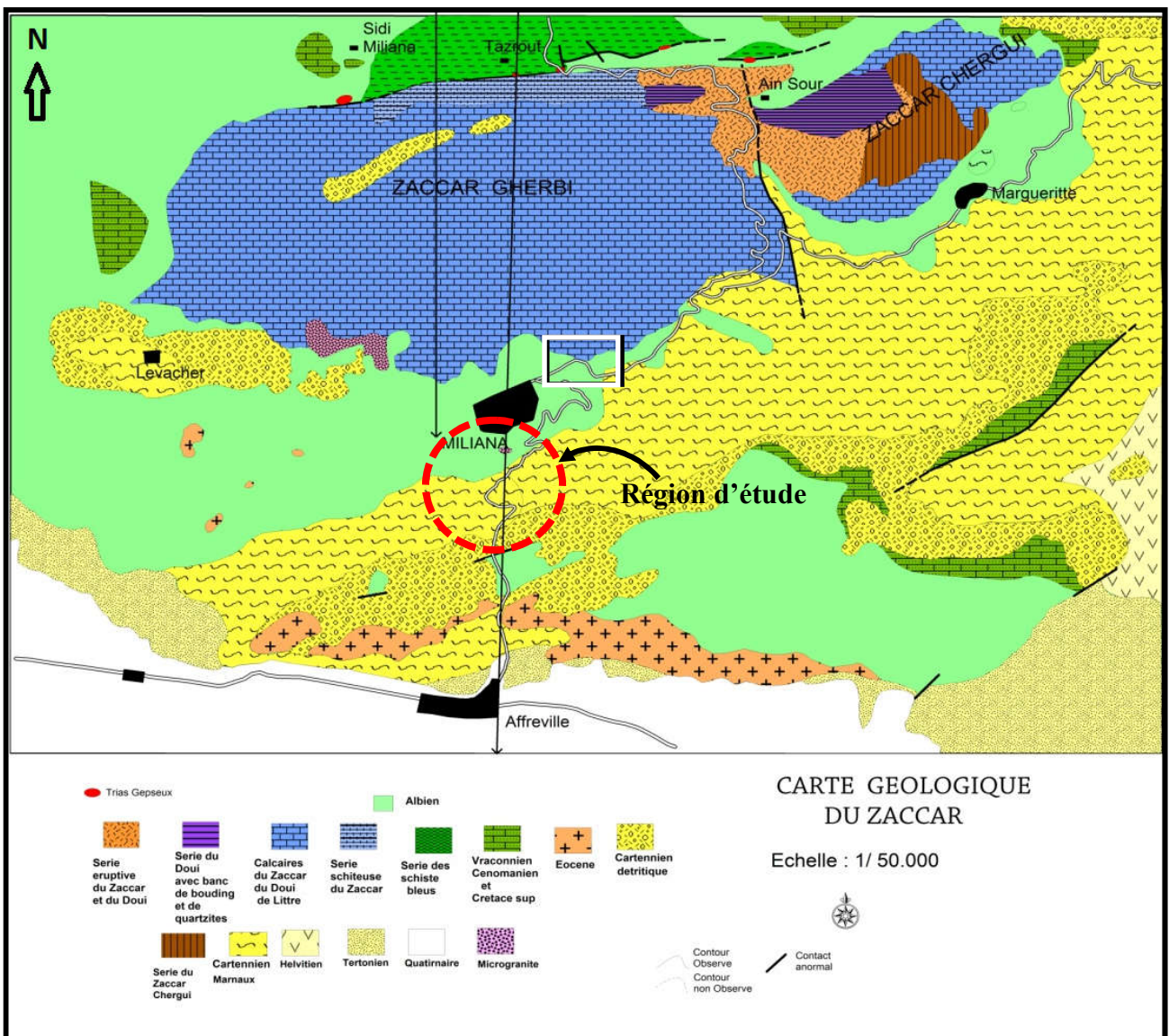


Figure 11 : Extrait de la carte géologique de Miliana (Mattaour, 1958).

Zaccar est localisé sur la carte au 50.000° de Miliana, il se trouve à 100 km à l'Ouest d'Alger et à 30 km au sud de la cote. Cette feuille se trouve à cheval sur la plaine du Chélif et sur les massifs montagneux de Doui et Bou Maad qui bordent cette dépression.

Le massif du Zaccar est limité au Nord par le massif du Bou Maad à l'Est par le massif de Blida et à l'Ouest par le massif de Doui et au Sud par le massif de l'Ouarsenis.

Le massif de Zaccar est divisé en deux parties très importantes Zaccar Gharbi et Zaccar Chergui.

II.4.4.2.1.Zaccar Gharbi

Le Zaccar Gharbi est un massif de calcaire d'âge jurassique avec des intrusions de microgranites tertiaires et un affleurement de Miocène (galets de quartzites disséminés sur les sommets du Zaccar Gharbi et gris avec des poudingues d'âge aquitanien).

✓ Lithologie et stratigraphie

Le Zaccar Gharbi, qui compote notre secteur d'étude, est formé essentiellement de calcaire. Cette formation n'affleure que dans les parties élevées du massif, on ne le rencontre plus au-dessous de la cote 730.(fig.12)

Ce calcaire est une roche excessivement perméable, tellement perméable que dans les ravins de la partie supérieure du Zaccar l'eau ne coule jamais. Même pendant les averses des hivers pluvieux, Koulomzine eu l'occasion de travailler sur le Zaccar pendant les mois de novembre et 1929 et Pendant les mois de novembre et décembre 1929 .

Ainsi toute l'eau de pluie qui tombe sur les parties hautes du Zaccar est, soit évaporée, soit percolée, c'est-à-dire dans le massif. Nous reviendrons plus loin avec plus de détails sur ces phénomènes.

Le calcaire du Zaccar présente des variations d'origine sédimentaire et variations d'origine métamorphique. L'existence de très nombreuses lentilles de schistes et de grés disséminées un peu partout dans le, massif calcaire ;

Les lentilles atteignent des dimensions considérables, plusieurs centaines de mètres de long et plus de 50 mètre d'épaisseur, Des études très détaillées, faites au 1/1.000° ou au 1/ 2.000° démontrent qu'il ne peut pas être question-là de morceaux de roches pincés par des plissements.

Ce sont bien des changements au moment de la sédimentation qui sont à l'origine de ces lentilles.

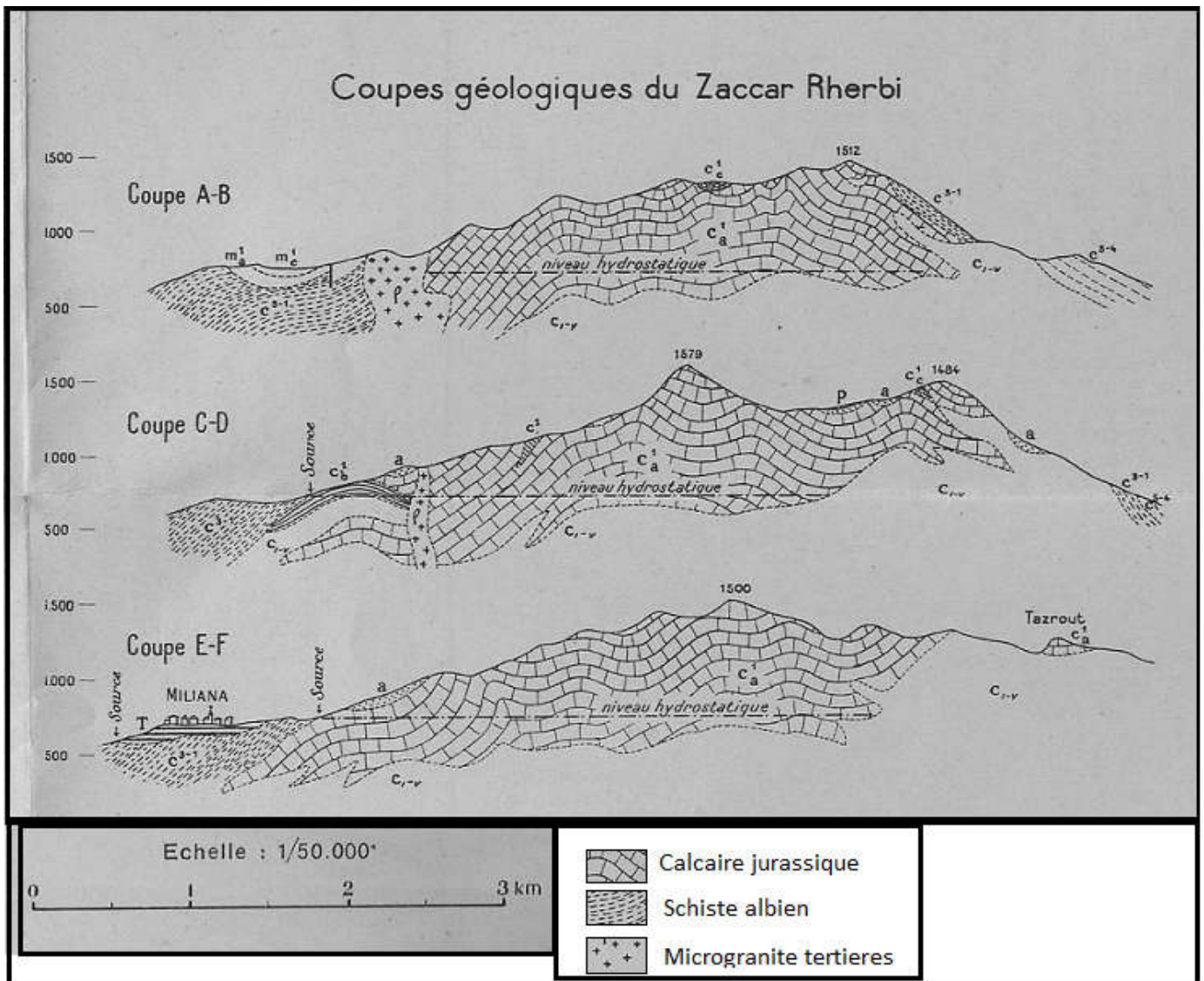


Figure 12 : Coupes géologiques de Zaccar Gharbi (1/50.000^e) Koulomzine, 1935

Chapitre III

ET

MATERIELS

METHODES

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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , 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 K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et PO_4^{3-} .
- Rejets des eaux usées : apports de Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- et quelques métaux lourds. Notre étude a portée sur l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de quatre sources : Sidi khelil (Azaz), El Houachem, Tamobordjia et Ain safra).

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

- Prélèvements, échantillonnages ;
- Analyses ;
- Interprétations.

III.1. Méthodes d'acquisition des données

III.1.1. Échantillonnages

Dans la présente étude, nous avons effectués une campagne de mesure qui a été effectuée au mois de Février (10/02/2021).

III.1.2. Modes de Prélèvements

Dans tous les prélèvements les démarches suivantes ont été respectées :

Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles d'eau en plastique de 1,5 litre pour l'analyse physico-chimique (figure 13).

Les bouteilles sont rincées 3 fois avec l'eau à analyser, puis remplies jusqu'au bord et fermés. Une fois les bouteilles remplies, elles étaient conservées dans une glacière, pour maintenir une température basse (4°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.1.3. Mesure in situ

À la sortie de l'eau de chacune de quatre sources (figure 13), on a mesuré la température, le pH et la conductivité électrique à l'aide d'un appareil multi-paramètre portatif.



Figure 13 : prélèvement in-situ des eaux de sources étudiées.

III.2. Analyses

Les échantillons ont été analysés au sein du laboratoire de l'ADE situé à la station de traitement des eaux de barrage Arib de Ain Defla, qui nous a permis d'effectuer les dosages chimiques nécessaires à l'étude.

Les analyses effectuées concernent le type de paramètres physico-chimiques. Alors que les analyses bactériologiques n'ont pas été faites pour des raisons de non disponibilité des certains réactifs au niveau du laboratoire.

III.2.1. 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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et quatre anions (Cl , HCO_3^- , SO_4^{2-} , 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. Méthodes d'évaluations de la qualité des eaux

III.3.1. 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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et la somme des anions (Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , 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.

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.

III.3.2. 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.3.3. 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.3.3.1. 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.3.3.2. 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.3.3.3. 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.3.4. 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 :

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

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^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés par Na^+ et K^+ des formations encaissantes;
- I.C.A > 0 Na^+ et K^+ de l'eau sont échangés par Ca^{2+} et Mg^{2+} des formations encaissantes.

III.3.5. 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.4.5.1. Norme de potabilité des eaux de consommation

- **La réglementation Algérienne**

Ces textes sont tirés du journal officiel de la république Algérienne (N° 3517-27 Mai 1998) (annexe 3). 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 5 montre les concentrations maximales admissibles des paramètres physico-chimiques et bactériologiques pour les eaux de consommation aux quelles seront comparés nos résultats.

Tableau 5 :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/1 00ml	-	0	-

III.3.5.2. Dureté totale

Elle représente la somme des concentrations en cation de calcium et de magnésium (tableau 06) 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 6 :Classification de l'eau selon la dureté totale (d'après De Fulvio et oiori, 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)

RESULTATS

DISCUSSIONS

Chapitre IV

ET

Les analyses ont pour but d'évaluer la qualité physico-chimique 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 des eaux d'infiltrations (Simler 2009, Aboubakar 2012, Abderamane H., 2012)

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. 1. 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 la campagne qui présente un écart inférieur à $\pm 7\%$ qui révèle un bon résultat.

IV. 2. 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 $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q}/\text{l}$), 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 (Simler 2009, Abderamane 2012, 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.2.1. Diagramme de Piper

D'après le positionnement des points sur le diagramme de Piper (figure 14), 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.

❖ Campagne du mois de Mars 2021

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 14) : le **bicarbonaté calcique** pour les trois sources d'eaux : Sidi khelil (Azaz), Tamobordjia, Ain safra et **bicarbonaté magnésienne** pour la source d' El Houachem.

On remarque d'après ces résultats que les eaux ont changés leurs comportements hydrochimiques

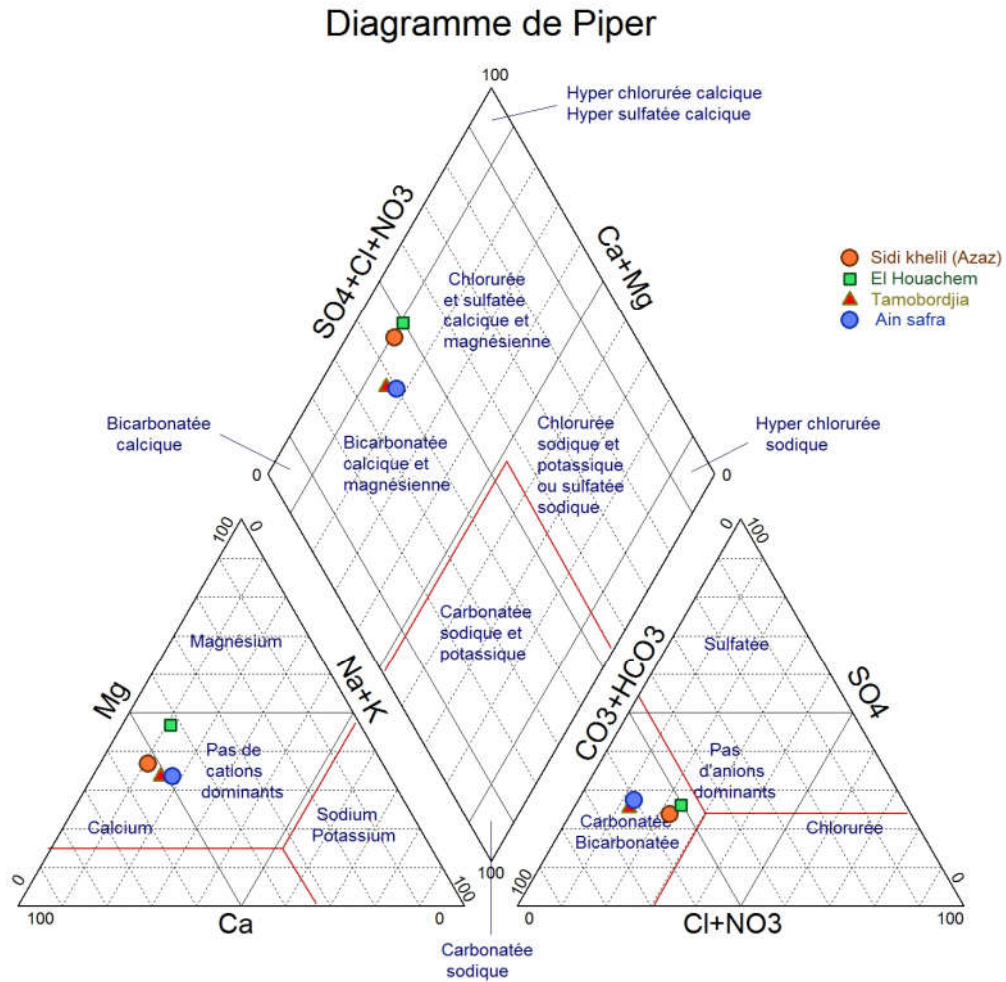


Figure 14 :Diagramme de Piper, campagne Mars 2021.

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

IV.2.2. 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.

❖ Campagne du mois de Mars 2021

Les diagrammes logarithmiques (figure 15) ont permis de constater que les eaux des quatre sources ont conservées le même faciès hydrochimique qui est le bicarbonaté calcique pour les sources de Sidi khelil (Azaz), Tamobordjia, Ain safra et le bicarbonaté magnésien pour la source d' El Houachem.

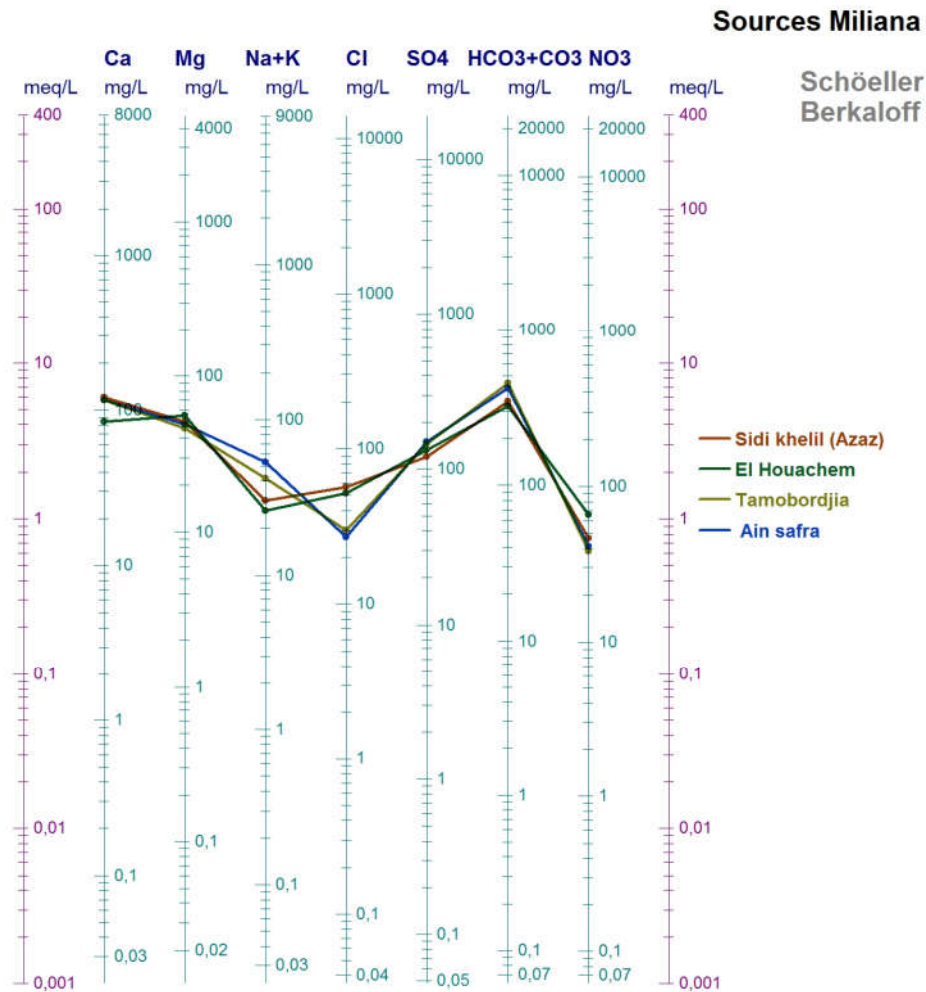


Figure 15 :Diagramme de Schoeller, campagne de Mars 2021.

IV.2.3. 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 quatre sources présentent des faciès chimiques identiques que celles obtenus par le diagramme de Schoeller- Berkaloff durant la campagne de mesure.

❖ Campagne du mois de Mars 2021

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 pour les trois sources (de Sidi khelil (Azaz), Tamobordjia, Ain safra) comme le montre la figure 16.

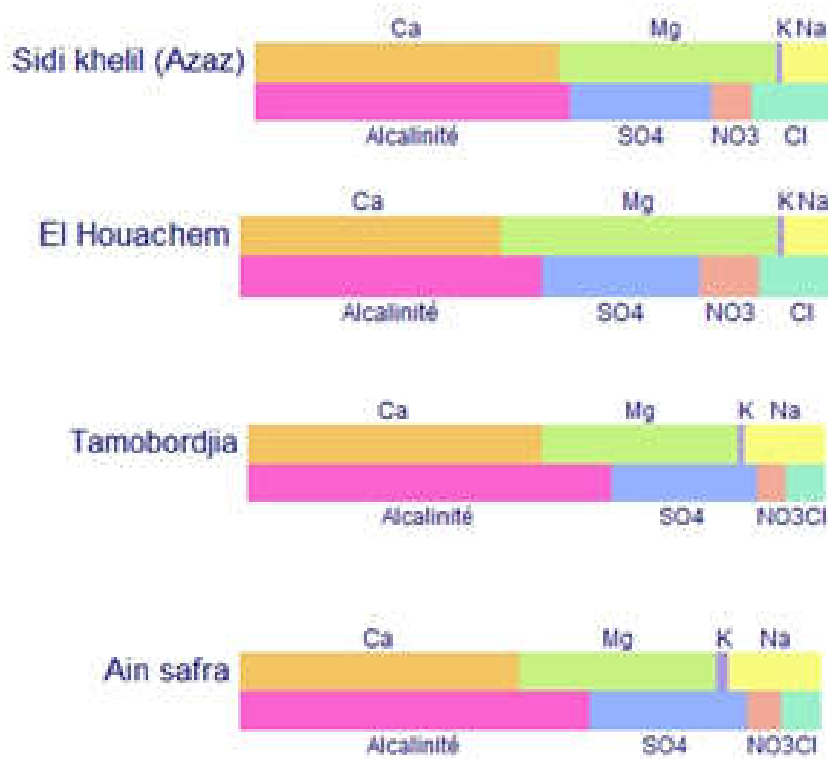


Figure 16 : Faciès chimiques des eaux de sources selon la classification de Stabler.

IV.3. Indices Chloro-Alcalins

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 interchangeables (Abderamane, 2012).

Les valeurs des **Indices Chloro-Alcalins (ICA)** ou des **indices d'échange de base (IEB)** sont négatives au niveau des deux sources (Tamobordjia et Ain safra) durant la campagne de mesure de Février 2021 (tableau 7), c'est à dire que le calcium et le magnésium des eaux sont échangés par le sodium et le potassium des formations encaissantes.

Alors que pour les deux autres sources (Sidi khelil et El Houachem) les IEB sont positifs, ce qui indique un échange d'ions (Na^+ et K^+) de l'eau par les ions (Ca^{2+} , Mg^{2+}) des roches.

Tableau 7 :Indices Chloro-alcalins durant la campagne de mesure Mars 2021.

Lieu de prélèvement	Indice Chloro-alcalin ICA
Sidi khelil (Azaz)	0,217
El Houachem	0,263
Tamobordjia	-1,038
Ain safra	-1,797

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. Etude de la potabilité des eaux

IV.4.1. 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 de la campagne pour les quatre sources. Les valeurs de températures mesurées au laboratoire varient entre (17,3°C), (16,9°C), (16,7 °C) et (16,7°C) respectivement pour les eaux de sources de Sidi khelil (Azaz), El Houachem Tamobordjia et Ain safra (tableau 08).

▪ 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 (tableau 08) entre (883 μ s/cm) à la source de Sidi khelil (Azaz), (902 μ s/cm) à la source El Houachem et (1321 μ s/cm) à la source Tamobordjia et 1303 μ s/cm à la source Ain safrace qui est conforme à la norme algérienne (2880 μ s/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 (tableau 08) varient entre (0,79) à Sidi khelil, (0,84) à El Houachem et (0,74) à Tamobordjia et (0,76) à la source Ain safradonc 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 8 : Résultats des analyses physico-chimiques des quatre sources

Paramètres	Normes Algériennes	Sidi khelil (Azaz)		El Houachem		Tamobordjia		Ain safra	
		23/03/2021		23/03/2021		23/03/2021		23/03/2021	
		In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo	In situ	labo
T (°C)		19,1	17,3	20,3	16,9	19,7	16,7	18,5	16,7
pH	6,5-8,5	7,41	7,49	7,95	7,21	7,48	6,98	8,26	7,04
C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2280	990	883	953	902	996	1321	971	1303
Débits (l/s)	-	3,32		1,19		0,55		0,55	
Turbidité (NTU)	5	0,79		0,84		0,74		0,76	
Balance ionique (%)	-	4		-3		-2		2	
Ca ²⁺ (mg/l)	200	120,03		84,04		116,25		116,29	
Mg ²⁺ (mg/l)	150	51,03		55,89		46,17		48,6	
Na ⁺ (mg/l)	200	26,5		22,5		36,5		43,5	
K ⁺ (mg/l)	10	3,6		3,4		5,5		9,5	
Cl ⁻ (mg/l)	500	56,4		51,3		30,1		27,1	
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	400	120,14		132,18		144,50		150,17	
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-	347,7		323,3		451,4		420,9	
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	46,9		65,4		38,5		41,6	
TDS (mg/l)		772,3		738,01		868,92		857,66	

▪ 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 (tableau 08) n'excède pas les limites des normes Algériennes [6.5 - 8.5].

▪ Minéralisation globale

Les eaux analysées présentent des minéralisations similaires. Elles varient entre (772,3 mg/l), (738,01 mg/l) et (868,92 mg/l) et (857,66 mg/l) respectivement pour les sources de Sidi khelil (Azaz) El Houachem Tamobordjia et Ain safra en période de basses eaux (Mars 2021). 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] (tableau 08).

▪ 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 (tableau 08) 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 [300mg/l].

▪ Sulfates

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

▪ Nitrates

Les teneurs de nitrates obtenues au cours la campagne sont inférieures légèrement aux normes, à l'exception de la source El Houachem qui présente des teneurs supérieures au seuil de potabilité [50mg/l], avec des concentrations de [65,4mg/l]. Les fortes teneurs en nitrates [46,9mg/l] peuvent être expliquées par l'activité des vergers occupant une partie de la superficie qui bénéficie de l'apport abusif 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.

Les échantillons ont été classés en fonction de leur dureté (De Fulvio et oiori, 1976). Le tableau 09 montre que les quatre sources de Sidi khelil (Azaz), El Houachem, Tamobordjia et Ain safra présentent des eaux dures et une potabilité médiocre à mauvaise avec des teneurs qui varient entre 44-51 °F.

Tableau 9 :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
Sidi khelil (Azaz)	23/03/ 2021					✓	
El Houachem	23/03/ 2021					✓	
Tamobordjia	23/03/ 2021					✓	
Ain safra	23/03/ 2021					✓	
Usage Domestique		Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper a permis de déterminer deux 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 le bicarbonaté calcique pour trois sources respectivement lors de la campagne et bicarbonaté magnésienne à la source El Houachem.

La minéralisation des eaux souterraines est due à la nature des terrains traversés et au processus des dissolutions des formations évaporitiques.

Les valeurs des différents paramètres physico-chimiques analysés respectent les normes excepté les nitrates en particulier à la source El Houachem.

Conclusion Générale

et

Recommandations

Conclusion générale

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

La 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 grés et sables (Astien-Villafranchien).

Les affleurements calcaires du jurassique constituent les plus grands réservoirs d'eaux et alimentent les sources étudiées.

Les analyses faites au laboratoire ADE de Aribont été effectué par les méthodes volumétriques et spectrophotométriques pour les paramètres physico-chimiques. 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 quatre sources.

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

- Les quatre sources présentent des minéralisations moyennes. Ces teneurs sont influencées par les conditions climatiques.
- Des eaux dures pour toutes les sources de Sidi khelil (Azaz), El Houachem, Tamobordjia et Ain safra.
- 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 quasiment toutes les sources lors de la campagne.

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:

- Entretien périodique des captages des sources ;
- Identification les sources de pollution dans le bassin versant qui draine la source ;
- Installation des périmètres de protections autours de l'émergence de l'eau, règlementer et surveiller les activités menées sur la surface drainée par les nappes qui alimentent les 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 ;
- 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) ;pp : 100-150. 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](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 Dj ilaliBounaama 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^{ème} 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.

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.

Journal officiel de la république Algérienne : (N° 3517- 27 Mai 1998)

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^e tirage revu, 1983). Livre, ISBN/ISSN/EAN : 978-2-85206-220- 7.

Koulomzine Th. (1935) : Les sources de Miliana. Essai d'hydrogéologie précise. Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie. 3eme série géologie appliquée. Documents sur l'hydrologie souterraine de différentes régions de l'Algérie 3^{ème} fascicule. 31p. Alger 1935.

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): Diagramme software. Downloadable at. http://www.lha.univavignon.fr/L_HA-Logiciels.htm.

Touhari Fadhila (2015) : 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^{ème} édition, disponible à la bibliothèque de l'université de Khemis Miliana.

Annexes

Annexe 1 : Données climatiques

Tableau 1 : Précipitations et températures moyennes mensuelles période 1990- 2012

Stations		Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou
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 ».



Photo 1 : 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 réagit 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 0.01 M) -
- Solution d'hydroxyde de sodium (Na OH) 2N
- Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) pH=1 0.1
- Noir d'eriochrome T

● Mode opératoire :

- ❖ 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)

- ❖ $\text{Ca}^{2+}\text{Mg}^{2+}$: 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_{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'AgNO₃ / 100ml d'eau distillée
- Indicateur coloré K₂CrO₄ à 10% : 10g de K₂CrO₄ Q.S. / 100ml d'H₂O distillée.
- Solution de chlorures à 71mg/l : 0.107g de NH₄Cl... / 1000ml d'eau distillée.

✓ **Mode opératoire**

- Prendre 5ml d'eau à analyser
- Ajouter 2 gouttes de K₂CrO₄ (coloration jaunâtre)
- Titrer avec l'AgNO₃ à 0.01N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

• **Expression des résultats**

$$[\text{Cl}^-] \text{ en mg/l} = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times \text{MCl}}{\text{PE}} \times 1000$$
$$[\text{Cl}^-] = V_{\text{AgNO}_3} \times 71 \times F \text{ (mg/l)}$$

V_{AgNO₃}: volume d'AgNO₃ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

N_{AgNO₃}: normalité d'AgNO₃

MCl : Masse molaire des chlorures.

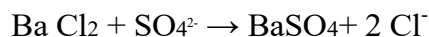
F : facteur de correction du titre d'AgNO₃. = 0.71

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 Cl₂.



- **Appareil** Spectrophomètre 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_2SO_4

Peser 1,479 g de Na_2SO_4 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** $[\text{SO}_4^{2-}] \text{ mg/l} =$ 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 $\text{pH} = 8.3$ 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_2O distillée q.s.p1000ml.

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 :**

$V_A \times 61 \times M \text{HCO}_3 \times 1000$

$[\text{HCO}_3] \text{ mg/l} = \frac{\quad}{\quad}$

P.E

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

V_A : volume d'acide versé.

N_A : normalité d'acide versé.

M_{HCO_3} : masse molaire de bicarbonates (HCO_3).

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_2SO_4 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 1 000mg/l. -

 - Nitrate de potassium anhydre... .0, 722g.

 - Eau distillée.....1000ml.

 - Chloroforme 1ml.

- Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5mg/l.

- **Appareillage.** Etuve, 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_2SO_4 laisser reposer 10mn.

Ajouter 15ml d'eau distillée.

Ajouter 15ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectrophotomètre au 41 5nm.

- **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 Na^+ ou du 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 " Na^+ " ou de " 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 " Na^+ " ou de " 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 : 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 ₃	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 ₄)	//		3	Mesure faite à chaud et en milieu acide
O ₂ dissous	//	5	8	
Aluminium	//	-	0,2	