



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE «ABBES LAGHROUR KHENCHELA»

INSTITUT DE SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département d'Ecologie et Environnement



N°:

Mémoire de Fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT
Option : PROTECTION DES ECOSYSTEMES

Intitulé :

**Etude Hydrogéochimique des eaux thermales
de Hammam Djaarir de Khenchela**

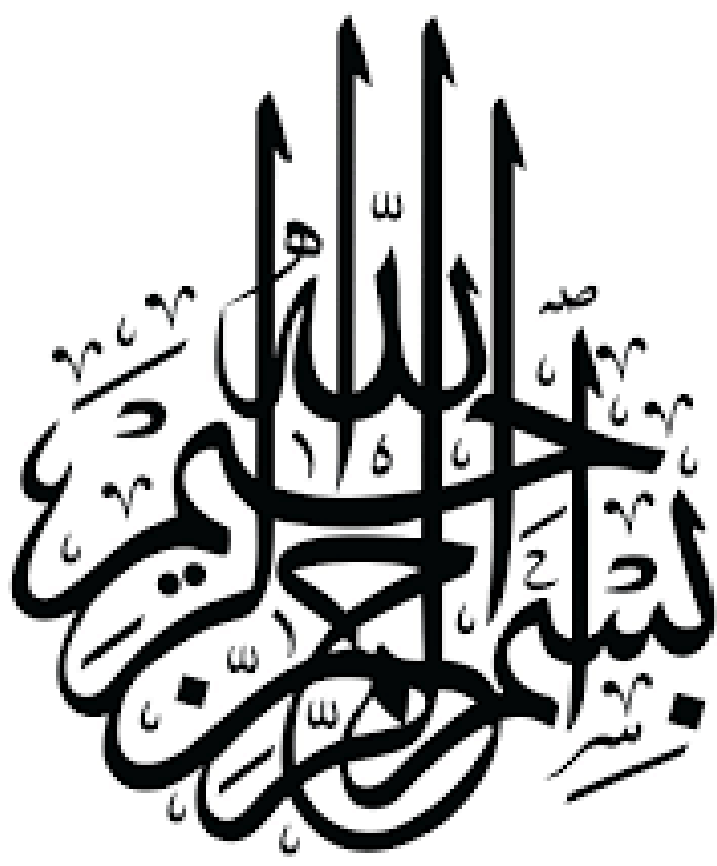
Réalisé par :

-Hakkar Zaima
- Krazi Nadjat

Membres de jury :

Mezhoud Amel	MAA	Présidente
Berkani Cherifa	MCB	Examinatrice
Lakhderi Soumia.....	MAA	Promotrice

Année universitaire : 2020/2021



Remerciements

En premier lieu, nous remercions ALLAH le tout puissant d'avoir nous donné le courage, la volonté et la santé pour terminer ce travail.

Je tiens à remercier, Mme Lakhdari Soumia notre directrice de mémoire, pour tout le soutien, l'aide, l'orientation, ainsi que pour ses précieux conseils et ses encouragements lors de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont aux membres du jury.

Mme Mezhoud Amel et Mme Berkani Cherifa qui ont fait honneur d'évaluer notre travail.

Dédicace

A mes exemples éternels, mes soutiens moral et source de joie et de bonheur, qui sont toujours sacrifiés pour me voir réussir, à vous mes parents.

A la lumière de mes jours, source de mes efforts, la flamme de mon cœur, de ma vie et de mon bonheur qui ne cessait de m'encourager à prier pour moi-même ; Ma mère, que Dieu ait pitié d'elle, que j'adore. Bien qu'elle soit absente de moi dans mon quotidien, elle est présente dans mon cœur et me soutient à chaque étape.

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A toute ma famille je vous dédie ce travail avec toute mon affection et ma plus grande estime.

A tous mes amis en souvenir de ces moments agréables passé ensemble Surtout mes amis de la promo de l'année 2021

Je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de mon estime et mon profond

Krazi Nadjat

Résumé :

Résumé :

La wilaya de Khenchela est située à l'Est d'Algérie, ce dernier est riche en ressources thermales qui distribuée dans différentes régions de la wilaya. Bouhmama, c'est une commune de Khenchela qui est riche en ressources en eau naturelle on situe Hammam djaarir.

Le but de ce sujet consiste à étudier l'hydrogéochimie des eaux de cette place, après quelques visites de la zone d'étude nous avons effectué des prélèvements pour l'analyse, aussi en faire une étude des précipitations, la température, le climat, les indices d'aridité annuelle (I), les indices d'aridité mensuelle (i), évapotranspiration potentielle (ETP), évapotranspiration réelle (ETR), méthode de Thornthwaite, les ruissellements, l'infiltration. Cette source thermale utilisée par la population de Bouhmama comme un traitement pour différentes maladies de la peau.

Mots clés : Hammam djaarir, thermalité, géologique.

Abstract:

The wilaya of Khenchela, is located in the east of Algeria, The latter is rich in thermal resources that distributed among different region of the wilaya. Bouhmama, it is a commune of Khenchela which is rich in natural water resource, one located Hammam Djaarir, the purpose of this subject is to study the hydrogeochemistry of the water of this place. After some visits to the study area we took samples for the analysis, also to do a study of precipitation, temperature, climate, annual aridity indices (I), monthly aridity indices (i), potential evapotranspiration (ETP), real evapotranspiration (ETR), method of Thornthwaite, runoff, infiltration. This thermal source used by the population of Bouhmama as a treatment for different skin diseases.

Key words: Hammam Djaarir, Thermality, geological.

الملخص:

تقع ولاية خنشلة شرق الجزائر. هذه الأخيرة غنية بمصادر لمياه طبيعية الحارة الموزعة في مختلف مناطق هذه الولاية. بوحمامة، هي إحدى بلديات خنشلة الغنية بمصادر للمياه الطبيعية نذكر منها: حمام جعرير، الهدف من الموضوع هو دراسة الهيدروكيمياء الخاصة بمياه هذه المنطقة، بعد زيارة المكان أخذنا عينات من أجل التحاليل و أيضا قمنا بدراسة التساقطات، الحرارة، المناخ، التبخر المتوقع، والتبخر الحقيقي طريقة تورنت وايت، التدفق، الترشيح طريقة تورنت وايت. هذا المصدر الطبيعي يستخدم من قبل سكان بلدية بوحمامة كعلاج لمختلف الأمراض الجلدية.

الكلمات المفتاحية: حمام جعرير، المياه المعدنية الحارة، جيولوجيا.

Liste des Tableaux :

Liste des figures :

Figure	Titre
01	Carte géographique de Khenchela.
02	Carte de la commune bouhmama.
03	La source djaarir.
04	Analyse pétrographique et sédimentologie.
05	Carte géographique de l'Aurès.
06	Carte des sols algériens
07	Les précipitations moyennes mensuelles pour période de 21 ans (1998-2018)
08	Les précipitations moyenne annuelle pour période de 21 ans (1998-2018)
09	Températures moyennes mensuelles a la station d'Al Hamma (1998-2018).
10	Températures moyennes annuelle à la station d'Al Hamma (1998-2018)
11	Courbe pluviothermique. (1998-2018).
12	Bilan hydrologique moyen (1998-2018) de la station de khenchela par la méthode de thornthwait
13	spectrométrie à flamme
14	filtration de l'eau de la source djaarir.
15	préparation des solutions.
16	Carte du gradient géothermique de l'Algerie du Nord
17	Carte du gradient géothermique de l'Algerie du Nord
18	Représentation sur diagramme de Piper
19	Diagramme de Schoeler Berkaloff
20	Diagramme de wilcox

Liste des Tableaux :

Liste des Tableaux :

Tableau	titre
01	Répartition de la population de bouhmama.
02	Les coordonnées géographiques de la station d'Al Hamma
03	Bilan hydrologique moyen (1998-2018) de la station de kenchela par méthode de thornthwaite
04	Travaux in situ et appareillage
05	Caractéristiques physico-chimique
06	La relation entre la conductivité et la minéralisation
07	Les propriétés physico-chimiques des eaux Jaarir entre 2015 et 2021.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Liste des figures...i

Liste des tableauxii

Introduction Général1

PREMIERE PARTIE : PARTIE THEORIQUE2

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE3

Introduction :4

1. Situation géographique de Khenchela :4

 1.1. Situation Géographique De Bouhmama :5

 1.2. Situation Géographique de la région d'étude :6

2. Etude geologique7

Introduction7

 2.1. La stratigraphie :7

 2.2. Le quaternaire :7

 Les formations secondaires :7

 a. Le Crétacé :7

 a.1. Crétacée supérieure (Le coniacien et santonien)8

 a.2. Le Crétacé moyen :8

 a.2.1. Le Turonien :8

 a.2.2. Le Cénomaniens supérieur :8

 a.2.3. Le Cénomaniens moyen :8

 a.2.4. Le Cénomaniens inférieur :8

 a.3. Les Crétacé inférieur :9

 a.3.1. L'Albien :9

 a.3.2. L'Aptien :9

 a.3.3. Le Barrémien :9

 a.4. Le Trias :9

3. Cadre Structurale de Bouhmama :11

4. Les caractères pédologiques :12

5. Végétation et l'activité humaine :13

Liste des Tableaux :

6. Réseau hydrographiques :	13
7. La population :	13
CHAPITRE II : ETUDE HYDROCLIMATIQUE	14
Introduction :	15
1. Données climatiques	16
1.1. Les précipitations :	16
1.1.1. Précipitations moyennes mensuelles :	16
1.1.2. Les Précipitations annuelles et leurs variabilités :	17
1.2. Les températures :	17
1.2.1. Variations des températures moyennes mensuelles :	18
2. Caractérisation du climat :	19
2.1. Diagramme pluviothermique :	19
2.2. Indice de Martonne :	20
3. Le bilan hydrique :	21
3.1. Estimation de l'évapotranspiration :	21
3.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP) :	21
3.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR) :	22
3.2. Le bilan hydrologique selon Thornthwaite :	23
3.3. Interprétation du bilan hydrique :	24
4. ruissellement superficiel et l'infiltration :	25
Conclusion :	26
DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE	27
Chapitre I : Matériels et méthodes	29
Introduction :	29
1. Les travaux de terrain :	29
2. Les travaux du laboratoire :	29
2.1. Mesure des paramètres chimiques :	30
a. les cations :	30
a.1. Calcium :	30
a.2. Le sodium :	30
a.3. le potassium :	31
a.4. Magnésium : par la méthode titrimétrique à l'EDTA.	33
b. Les anions :	33

Liste des Tableaux :

b.1. chlorure : en utilisant la méthode de Mohr.....	33
b.2. bicarbonate alcalinité : par la méthode titrimétrique de dosage TAC :.....	34
b.3. sulfate	35
b.4. nitrate (NO_3^-) :.....	35
Chapitre II : les résultats & discussions.....	38
1. Etude analytique des paramètres physiques :	38
Introduction	38
1.1. Température :	38
1.1.1. Définition de la thermalité :.....	38
1.1.2. Origine de la thermalité :.....	39
1.1.3. Anomalie géothermique dans l'Algérie du Nord :.....	39
1.1.4 . Perte de chaleur :.....	40
1.1.5. Classification thermique des eaux :.....	41
1.1.6. Perte de chaleur :.....	41
1.1.7. Classification thermique des eaux :.....	41
1.1.8. La température mesurée :	42
1.2. Le potentiel hydrogène (pH) :.....	42
1.3. Conductivité électrique (CE) :.....	43
2. Etude analytique des paramètres chimiques :	43
Introduction :	43
2.1. Eléments majeurs.....	44
2.1.1. Le magnésium Mg^{+2} :.....	45
2.1.2. Le sodium Na^+ :	45
2.1.3. Le potassium K^+ :	46
2.1.4. Les chlorures Cl^- :.....	46
2.1.5. Les Sulfates SO_4^{-2}	46
2.1.6. Les bicarbonates HCO_3^- :.....	47
2.1.7. Nitrates (NO_3^-) :.....	47
3. Paramètre organoleptique odeur :.....	47
4. Les facies chimiques :.....	47
4.1. Diagramme de Piper :.....	47
4.2. Diagramme de Schoeller Berkloff :.....	48
4.3. Qualité des eaux pour l'irrigation selon Wilcox :	49

Liste des Tableaux :

5. Les propriétés physico-chimiques des eaux thermales Jaarir entre 2015 et 2021.	51
Conclusion	52
CONCLUSION GENERALE	53
Conclusion générale.....	54
Références bibliographiques	56

Introduction Général

L'histoire géologique de la terre débutée il y a quelque 4,6 milliards d'années et les plus vieilles roches sédimentaire ont 3,8 milliard d'années (Groenland). Puisque la présence d'eau est requise pour la formation de roches sédimentaires, nous pouvons sans risque affirmer qu'il ya eu de l'eau sur la terre depuis au moins 3,8 milliards d'années (Berner, E.K.et R .A Berner, 1996).

L'eau est une richesse de notre planète. Environ 71%de la surface de la terre est recouverte d'eau (Wehner et Gehring, 1992, 1996). Elle prend plusieurs formes solides, liquides, gazeuses. Et sa qui conduit à la présence des eaux thermales en différent places de notre planète.

L'Algérie est riches en ressources des eaux thermales, ont chacune des propriétés différent, on particulier Hammam Djaarir. Ce dernier située dans la commune de Bouhmama est appartenne à la wilaya de Khenchela. En plus L'importance de ces eaux thermale dans l'usage médical et thérapeutique, A partir de cette idée ont faire une recherche pour connu asque cette source est buvable ou non.

Pour mieux aborder cette recherche, nous adopté la méthodologie suivant :

Une partie bibliographique, contienne :

Chapitre 1 : présentation de la zone d étude.

Chapitre 2 : étude hydroclimatique.

Une partie pratique concernée :

Chapitre1 : matériels et méthodes

Chapitre 2 :les résultats et discussion.

Ce travail est permis de :

- Connaitre le faciès chimique de Hammam Djaarir.
- Déterminée leur géologie.
- Connaitre la composition chimique des eaux de Hammam Djaarir.

**PREMIERE PARTIE : PARTIE
THEORIQUE**

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Introduction :

Le premier chapitre en parle sur la situation géographique de la wilaya de Khenchela, puis en précise la commune de Bouhmama, est dernièrement on parle sur la source Djaarir qui est notre étude.

1. Situation géographique de Khenchela :

La wilaya de Khenchela est située à l'Est de l'Algérie, au contrefort des mots des Aurès, dans l'air géographique compris entre 6° 32' et 7° 34' de longitude Est entre 35° 7' et 35° 38' de longitude nord. La wilaya de Khenchela est limitée par :

- ✓ au Nord, par la wilaya d'Oum El Bouaghi.
- ✓ au Nord-Ouest par la wilaya de Batna.
- ✓ au sud-ouest, par la wilaya de Khenchela.
- ✓ au Sud, par la wilaya d'El Oued.
- ✓ à l'Est, par la wilaya de Tébessa. (Belmekki Mohamed Elkamel 2013).

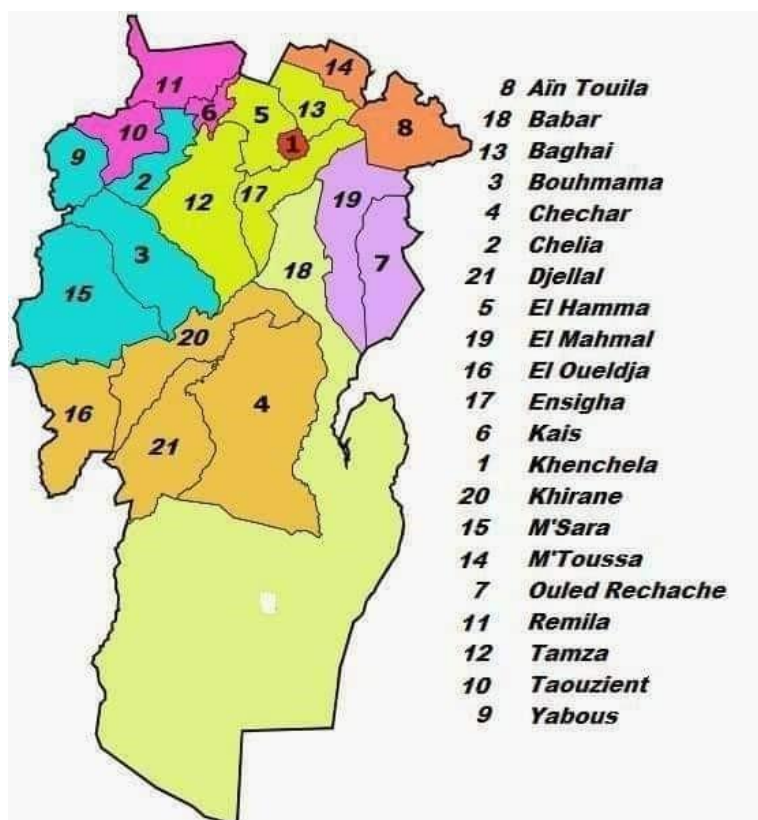


Fig. 1 : Carte géographique de Khenchela

1.1.Situation Géographique De Bouhmama :

La commune de Bouhmama est située dans le partie nord –ouest de Khenchela (dans la partie Est des Aurès) est située selon les cordonnés suivants $30^{\circ} 06' 25''$ et $39^{\circ} 30' 35''$ (l'altitude Nord) est $4^{\circ} 86'10''$ et $5^{\circ} 1' 75''$ (l'altitude Est). Presque complètement entourée d'une chaîne de montagne (Ouldammam et chourfia 2012).

- Nord-ouest : massif de chelia
- Nord : contreforts de massif chelia
- Est : massif ben Imloul
- Sud Est : gorges de mellagou

La commune de Bouhmama est siégée de Daïra qui comprend :

- La commune de Msara : à 20 km sud ouste de la Daira
- La commune de Chelia : 7 Km Nord Est de la Daira
- La commune de Yabous : à 27 Km nord de la Daira

La commune de Bouhmama a une superficie totale de 409 ha.



Fig. 2 : Carte de la commune Bouhmama.

1.2.Situation Géographique de la région d'étude :

La source thermal djaarir est située à l'Est de la commune de Bouhmama, entre l'air géographique comprise entre $6^{\circ} 47' 23$ longitude Est, et entre $35^{\circ} 16' 45$ Nord leur altitude (CH berkani, B Houha 2017), c'est la deuxième source thermal dans la wilaya de Khenchela, il entourée par les plantes épineuses et les roches, en raison de la négligence malgré les bienfaits pour la santé que contient cette eau.

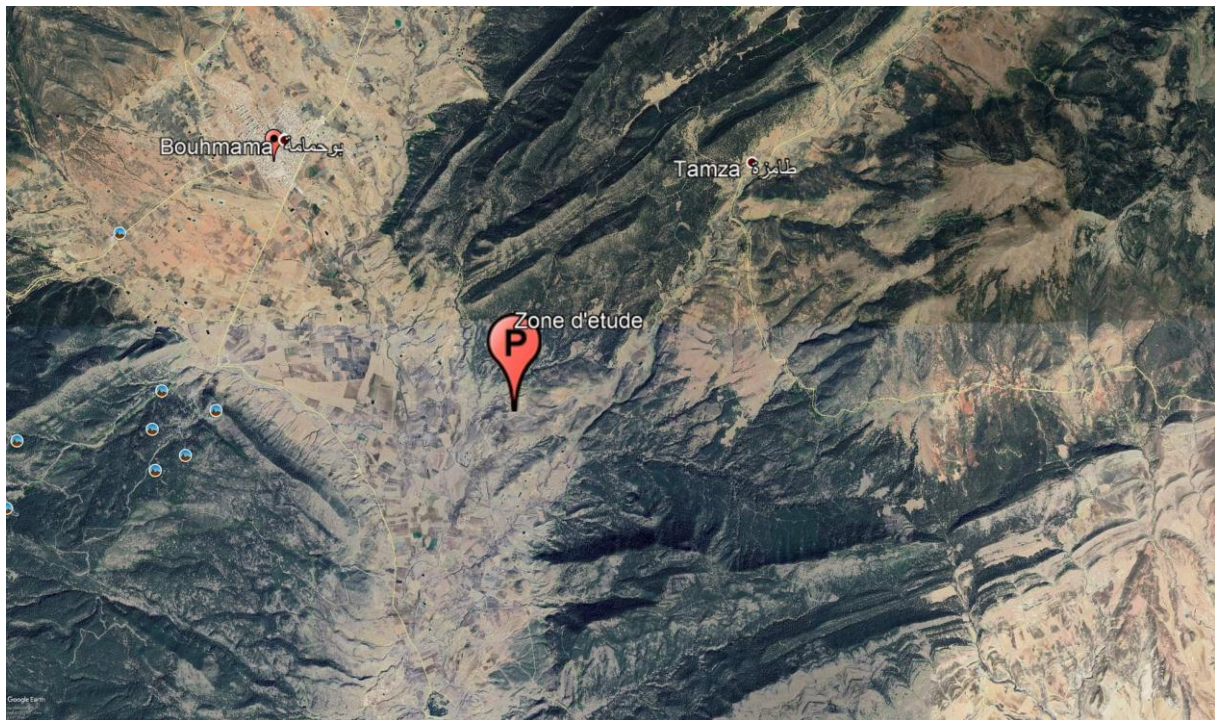


Fig. 3 : Hammam Djaarir.

2. Etude géologique

Introduction

Dans ce chapitre on parle sur la stratigraphie de la commune de Bouhmama, et le cadre structurale, la pédologie, réseau hydrographique, la végétation et l'activité humaine.

2.1. La stratigraphie :

Stratigraphie de la commune de Bouhmama se caractérise par la présence des terrains secondaires et des terrains quaternaires, tout fois elle appartient à la stratigraphie de l'Aurès et après plusieurs études sur la géologie par les géologues en précise **R Laffitte** on a :

2.2. Le quaternaire :

Les dépôts quaternaires représentés par des dépôts colluvio-alluvionnaires sont développés au débouché des zones de relief sous forme de cônes de déjections par des éboulis de gravité sur les terrains accidentés et en contrebas des escarpements et des corniches tel que Kef El Ahmeur.

A noter aussi également, la présence de formations alluvionnaires argilo-limono-sablo-conglomératiques, développées sur les terrasses de l'Oued Mellagou et de ses principaux affluents.

Les formations secondaires :

L'histoire géologique des terrains mésozoïques de cette région débute par les terrains triasiques et se termine par le Crétacé supérieur en passant par les formations crétacées inférieure et moyenne et tous se terminent par le quaternaire.

a. Le Crétacé :

Hormis, les sédiments quaternaires et les deux époinçements triasiques, l'ensemble des terrains composant le territoire communal de Bouhmama appartient à la période crétacée. Ainsi, la quasi-totalité des affleurements secondaires étudiés de la commune va du Crétacées inférieure au Crétacée supérieur avec des faciès très variés allant des marnes aux calcaires en passant par les marno-calcaires et les grès.

a.1. Crétacée supérieure (Le coniacien et santonien)

Cet ensemble est composé de marnes avec, à la base et au sommet, quelque barres de marno-calcaire. Cette formation affleure dans la zone déprimée comprise entre Djebels Tebak et Kanouf. C'est la partie qui joue le rôle de jonction entre Mellagou et cette formation est délimitée dans sa partie occidentale par une faille parcourant la rive droite, de l'Oued avec une direction Nord-Ouest/Sud –Est. On retrouve aussi cette affleurement dans la zone localisée au Sud /Sud –Est de Ktef souda.

a.2. Le Crétacé moyen :**a.2.1. Le Turonien :**

Cette formation est composée par une alternance de marnes grises et de calcaire zoogénique noduleux d'une épaisseur de 150m et sa base quelque mètre de marno calcaire blanchâtres en plaquettes fines a cassures noirâtres bitumineuses. Elle représente plus de 50 % de la superficie du territoire communal.

a.2.2. Le Cénomaniens supérieur :

La partie supérieure de cet et âge est constituée de calcaires sous la formes d'une barre avec cassures écailleuses et au sommet se retrouve un niveau de nodules de pyrite constituant un repère constant dans la région. L'épaisseur de cette formation est de 30 m.

a.2.3. Le Cénomaniens moyen :

C'est une puissante formation de 650m de marnes grises a micrites gris blanchâtre a fins teste de lamellibranches.

a.2.4. Le Cénomaniens inférieur :

Il s'agit des marnes grises à bio micrites argileuses grises avec des niveaux de glauconies d'empreintes d'ammonites et ayant une épaisseur de 100 m. L'ensemble de la formation cénomaniens affleure entre les Djebels Tafrennt et Taourirt à L'ouest et Kef El Ahmeur et Djebel Taafist à l'Est.

a.3. Les Crétacé inférieur :**a.3.1. L'Albien :**

Cette formation affleure sur le versant Sud et Sud-Est du Chelia juste en contre bas des terrains aptiens. Elle entoure régulièrement le Djebel Chelia en formant une ceinture continue au-dessus de l'Aptien. Ayant une épaisseur de 160 m. Elle est composée, essentiellement, d'une alternance de grés et de marnes grises, de dolomies et d'argiles.

a.3.2. L'Aptien :

Cette formation affleure sur le versant Sud et Sud-Est de Chelia juste en contre bas des terrains barrémiens. Elle est composée essentiellement de bas en haut par :

- Des calcaires marneux.
- Des grés blancs.
- De marnes grises.

Cet étage se distingue par des calcaire fortement minéralisés ayant une épaisseur totale de 330 m.

a.3.3. Le Barrémien :

Il affleure au Sud-Ouest du versant du Djebel Chélia sur une distance d'environ 11km. Il est délimité dans sa partie supérieure par la ligne de crête entre Timchtaouine et le Nord-Ouest du lieu-dit ferme Moussa El Ayat en passant par Tala Bergés. Sa lithologie est constituée, essentiellement, des matériaux détritiques (gris, calcaires gréseux, conglomérat et marnes verts ou rouges).

a.4. Le Trias :

Le trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification, dans lesquels divers éléments sont reconnaissables tels que des cargneules jaunâtres, des dolomies noires, des calcaires, des gypses marneux et fibreux. Tous ces éléments sont englobés dans une masse argileuse de couleur verte.

Ses roches triasiques forment, en général, des diapirs marqués par un contact anormal avec les formations les plus récentes. Les seuls époinçements triasiques du territoire communal

de Bouhmama se localisent au Djebel El Kanouf plus précisément à 2km à l'Est-Sud-Est du lieu-dit Marabout.

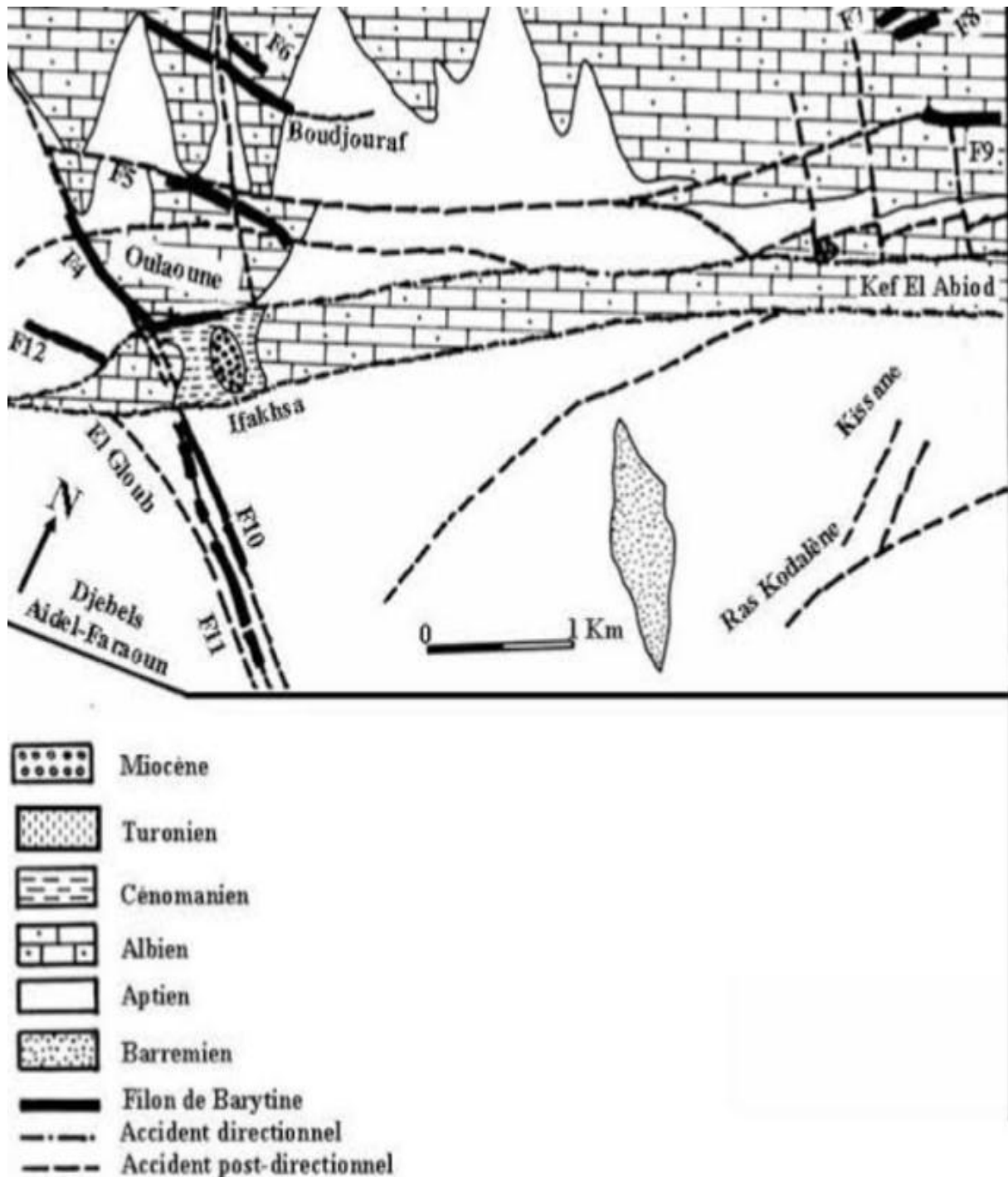


Fig. 4 : Analyse pétrographique et sédimentologie de la région d'étude.

3. Cadre Structurale de Bouhmama :

La diversité des structures et morphologiques dans cette région des Aurès, marquées, à la fois, par ses massifs montagneux imposants tels que le Djebel de Chelia, ses zones de piémont sur lesquels se sont développés d'importants cônes de déjection marquant le passage entre le domaine de montagne et de plain, la structure géologique reste dans son ensemble assez simple :

- Des anticlinaux et synclinaux balisant le domaine de montagnes et de piémonts organisés dans leur ensemble selon une direction NE-SW.
- Des plaines et des vallées évasées résultantes, soit de la dynamique érosive et /ou de l'évolution géologique et qui correspondent, soit à des synclinaux perchés, soit à des anticlinaux évidés ou à des structures plus complexes (Siad et Nezzar 2016).

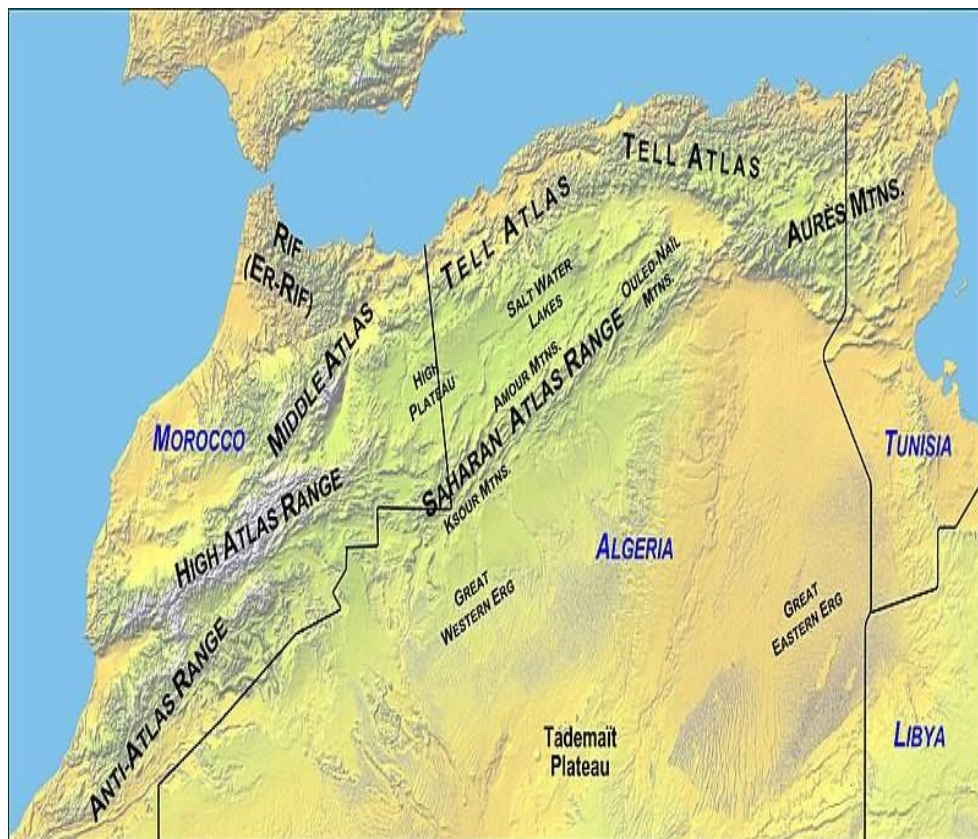


Fig. 5 : La carte géographique de l'Aurès

4. Les caractères pédologiques :

La région d'étude est caractérisée par un sol brun calcaire avec un texture argileux-limoneux- sableux, le taux d'argile augmente avec la profondeur.

Le pH varie entre 7,4 à 7,5 (légèrement alcalin). La capacité au champ pour profondeur de 0à1m est de 350 mm ou 250 mm, facilement utilisable pour la région. La conductivité hydraulique et la quantité d'infiltration sont élevées dans les premières 90 cm.

Le sol a tendance, donc à très peu d'érosion s'il y a irrigation. Les horizons plus profonds que 90 cm sont des corps de renflement lorsque de grande quantité d'eau de drainage sont nécessaire suite à la mauvaise quantité d'eau d'irrigation (Saïd 2016).

Le sol est très riche en calcaire avec un maximum à la surface. Lors de dessèchement avec le climat local donnent des pores important. (Saïd et Nezzar 2016)

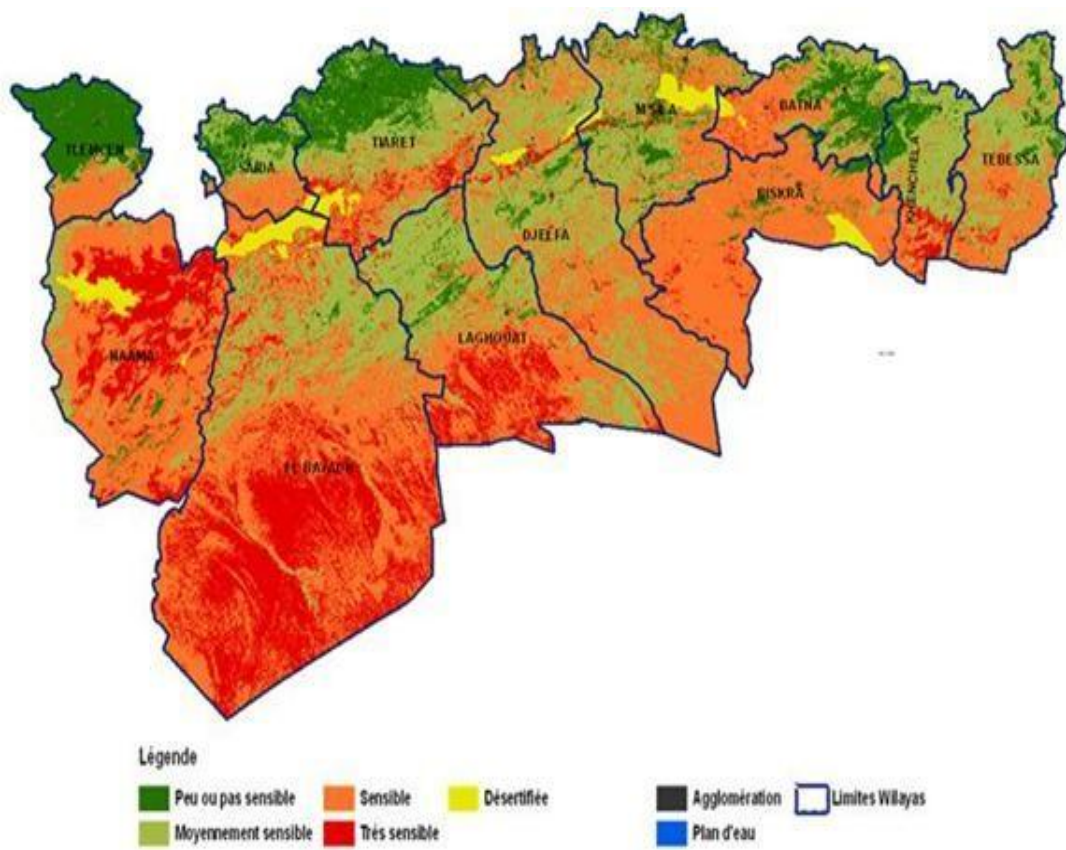


Fig. 6 : Carte des sols algériens.

5. Végétation et l'activité humaine :

La commune de Bouhmama contient une superficie importante de végétation spontanée, présentée dans deux grands massifs :

- Forêts de Béni Imloul, avec une superficie de 42912 ha, classé parmi les plus importantes forêts de pin d'Alep en Algérie, (Saïd et nezzer2016), on a aussi des espaces secondaire comme le chêne vert, genévrier, l'oxycèdre.
- Forêt de Béni Oudjana, avec un arpentage de 32000ha, caractérisée par la présence de cèdre atlantique plus de sa il y a le chêne vert et le genévrier. On trouve l'activité humaine de cette région basée sur les arbres fruitière (pommier, abricotier), compte tenu de climat qui prévaut dans la région des conditions environnementales appropriées.

6. Réseau hydrographiques :

Le réseau hydrique de la commune de Bouhmama est appartenir aux les massifs de l'Aurès, ce dernière est le moteur à eau de Bouhmama, car il y a des lignes de partages entre eux à travers les bassins versant. Cet écoulement est dite endoréique par exemple Oued El Arab, qui converger à Oued Mellagou et Oued El Abiod, qui prend leur source de Djebble Chélia et Djebble Aidel, les deux se trouvant à l'Est de la commune. En plus de sa la commune est riche en ressource thermale, on peut citer Hammam djaarir.

7. La population :

La population de la commune Bouhmama a connu, de manière général, une faible évolution par rapport à la croissance général de la population de la wilaya (Bouali et Berkane, 2015). Durant la période 2008-2015 la commune connu un très faible accroissement démographique sa population totale est passée 10520 habitants en 2008 à 14670 en 2015.

Tableau 1 : Répartition de la population

Année	2010	2008	2011	2012	2013	2014	2015
Population totale	10520	11224	11635	12031	12864	13820	14670
Population urbaine	7435	8014	8094	8871	9580	10042	10846
Population rurale	3035	3810	3541	3116	3284	3778	3824

Source : service technique, Bouhmama.



**CHAPITRE II : ETUDE
HYDROCLIMATIQUE**

Introduction :

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir de la précipitation. Elle repose sur l'interprétation des données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différents composants du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants : (précipitation, température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissèlement) qui conditionnent ce bilan (Reminiéras,1986).

Le cycle souterrain de l'eau et le climat sont étroitement liés. L'évolution du climat a une influence déterminante sur la variation de l'ensemble des réserves et les fluctuations des nappes d'eau souterraines qui s'alimentent par infiltration directe et se décharge par évaporation au cours de la saison en pays aride et semi-aride. Le climat intervient par sa composition hydrique (pluviométrie), qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles.

Le climat algérien est un climat de transition. Il varie du type méditerranéen et semi-aride dans le Nord au type désertique dans le Sahara. Du fait de son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie du Nord est soumise à des conditions hydro climatiques défavorables, caractérisées par :

- Des précipitations irrégulières avec des variations interannuelles importantes
- Une forte irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements (Aouidane,2017).

L'étude des données climatiques permettant d'analyser les facteurs du climat de la région d'étude qui nous renseignera sur :

- Le type du climat
- Le comportement hydro climatologique
- Le bilan hydrologique.

Ces paramètres sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures, évaporation) soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I).

1. Données climatiques

La Région caractérisée par un climat semi-aride avec un été chaud et sec et l'hiver pluvieux froid et humide se caractérise également par gamme thermique large, et une variation pluviale d'une année à l'autre (D.H.W., 1987).

Pour étudier le climat de la zone d'étude, nous avons exploité les données climatiques qui ont été recueillies au niveau de la station météorologique d'El-hamma (khenchela) les coordonnées de station est représentées dans le tableau 2

Tableau 2 : Les coordonnées géographiques de la station d'Al Hamma

coordonnées	Longitude	altitude	latitude	Période d'observation
D'El Hamma	7°05'E	35°28'N	928.5 m	1998-2018

Source : Station Météorologique d'El Hamma

1.1. Les précipitations :

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

1.1.1. Précipitations moyennes mensuelles :

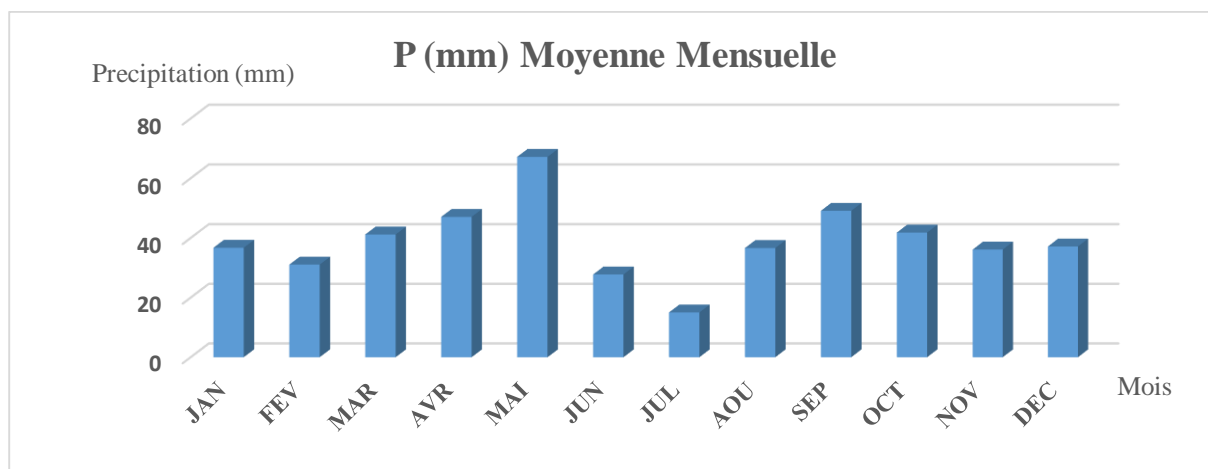


Fig. 7 : Les précipitations moyennes mensuelles pour période de 21 ans (1998-2018)

Les données pluviométriques mentionnées dans la figure 7, montrent que la moyenne mensuelle est environ 41,80 mm, le mois le moins pluvieux est Juillet avec 15,02 mm. Le mois le plus pluvieux est Mai avec 67,16 mm.

1.1.2. Les Précipitations annuelles et leurs variabilités :

Les Précipitations annuelles et leurs variabilités sont représentées dans la figure 8.

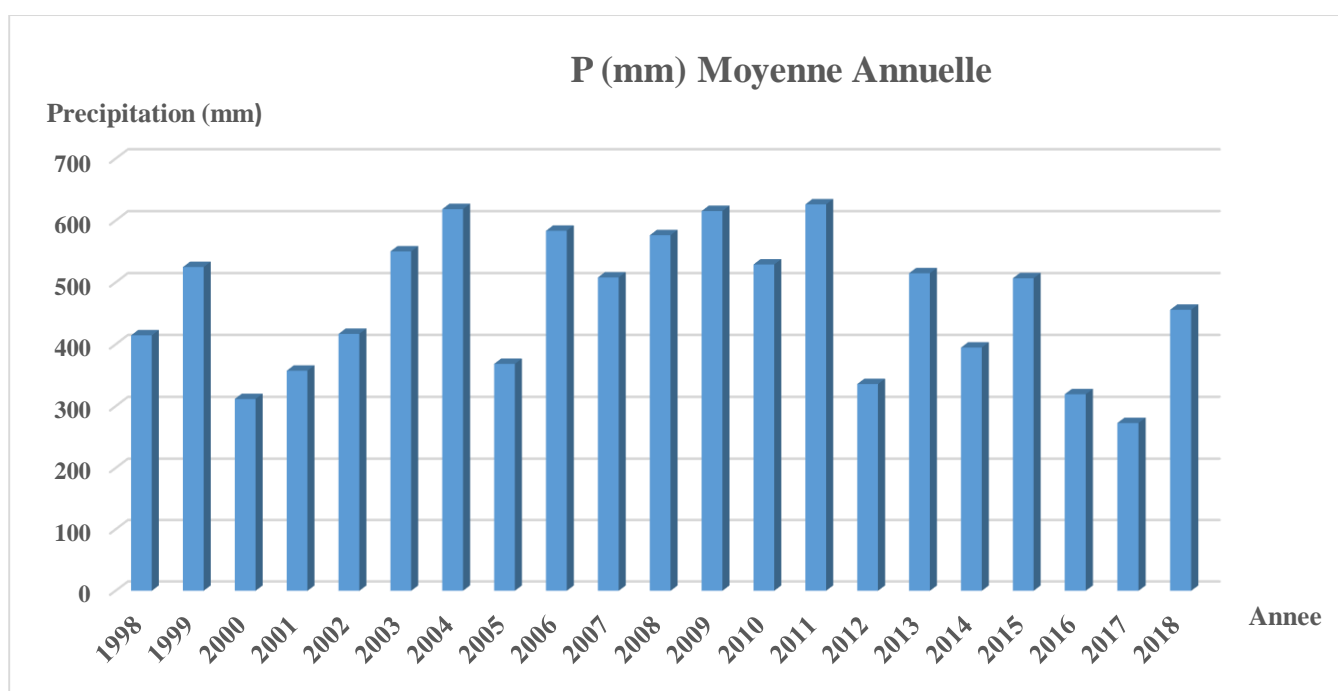


Fig. 8 : Les précipitations moyennes annuelles pour période de 21 ans (1998-2018)

Nous remarquons que les cumules annuelles des précipitations durant la période d'étude varient d'une année à une autre avec un maximum de 626 mm atteints en 2011 et un minimum de 273 mm atteints en 2017. Ceci va surement influencer sur le régime hydrologique.

1.2. Les températures :

L'étude des températures est d'un grand intérêt, car elle permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions des aquifères profonds et la concentration des sels dissous dans leurs eaux et de préciser les limites de la thermalité.

La température est l'un facteur aussi qui caractérisent le climat d'une région. Les données de la température durant la période (1998-2018) sont présentées sur les histogrammes de variation de la moyenne mensuelle et annuelle de température.

1.2.1. Variations des températures moyennes mensuelles :

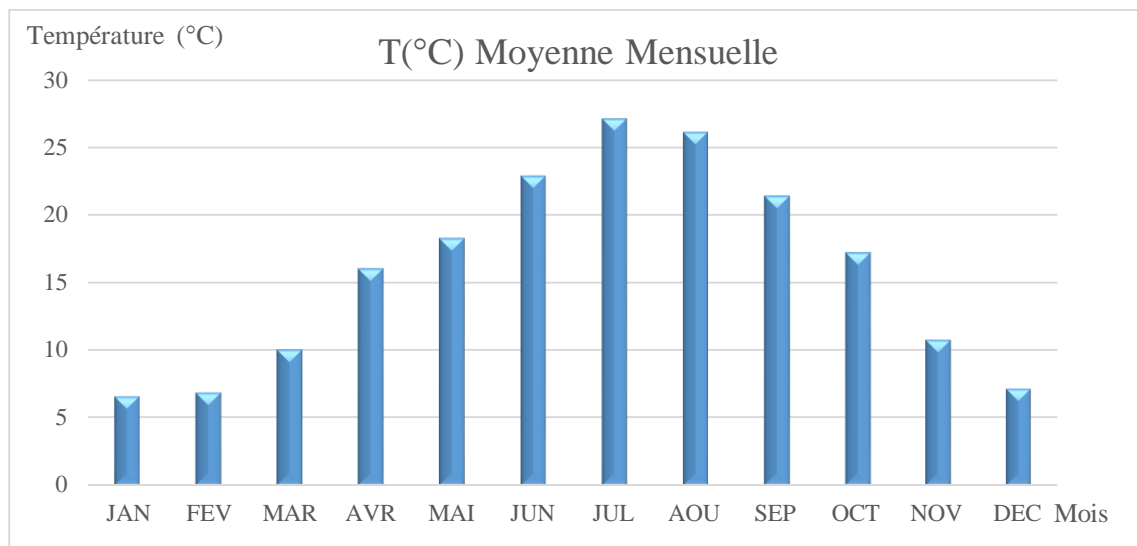


Fig. 9 : Températures moyennes mensuelles à la station d'Al Hamma (1998-2018).

Les températures moyennes mensuelles présentes de très variations saisonnières elle atteint leur minima au mois de janvier avec 6,6 °C qui est le mois le plus froid de l'année, par contre le mois de juillet est le plus chaud par une valeur maximale de la température moyenne mensuelle de 27,1 °C.

1.2.2. Variations des températures moyennes annuelles :

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température , montre que l'année la plus chaude est l'année 2017 avec une moyenne annuelle de 20.1°C, et l'année la plus froide est l'année 2016 , avec une moyenne de 15,2°C. Signalons que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 16 °C.

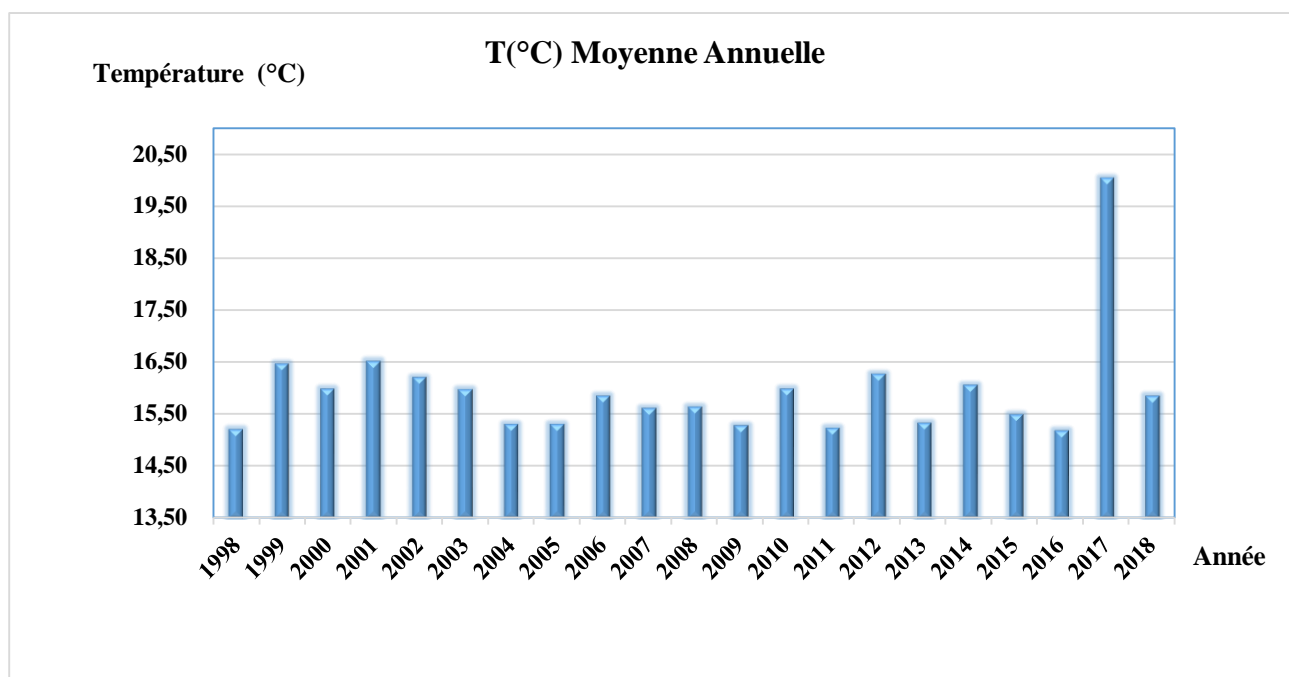


Fig. 10 : Températures moyennes annuelle à la station d'Al Hamma (1998-2018).

2. Caractérisation du climat :

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques : la température et les précipitations permettent de déterminer les périodes sèches et humides bien définie d'une région donnée à l'aide du Diagramme pluviothermique (ANRH, 2002).

2.1. Diagramme pluviothermique :

Le Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gausson met en évidence la notion des saisons humides et sèches, comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ($P \leq 2T^\circ$).

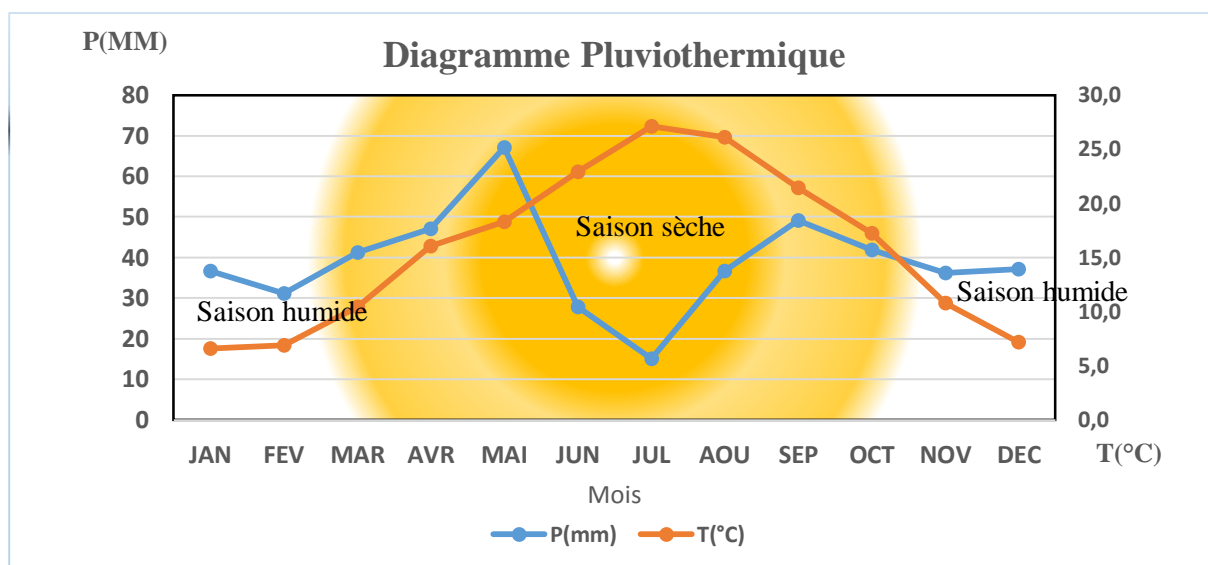


Fig. 11 : Courbe pluviothermique (1998-2018).

Nous constatons que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gaussen permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de septembre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'août.

2.2. Indice de Martonne :

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (I a). Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude. (ANRH, 2002)

Cet indice est calculé par la relation suivante : $I = \frac{P}{T+10}$ (Martonne, 1925).

Où :

I : indice d'aridité.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C.

Application :

P : 466,7862 mm.

T : 15.88 °C.

Ce qui donne : I = 18.03.

Suivant les valeurs de (I) De Martonne a établi la classification suivante :

$I < 5$: climat hyperaride

$5 < I < 7,5$: climat désertique

$7,5 < I < 10$: climat steppique

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$I < 30$: climat tempéré.

La zone d'étude bénéficie d'un climat *semi-aride à tendance tempérée*.

3. Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique est le suivi de l'ensemble des entrées et des sorties d'un système donné (lac, réservoir) (Anctil et al., 2012). L'équation générale d'un tel bilan peut s'écrire :

$$P = ETR + R + I.$$

Avec :

P : Précipitation annuelle en mm ;

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle en mm ;

R : Ruissellement en mm ;

I : Infiltration annuelle en mm (Kergreis et Claude, 1991).

3.1. Estimation de l'évapotranspiration :

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (Jacob et al 2002).

3.1.1. Évapotranspiration potentielle (ETP) :

Thornthwaite, en est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, dans un contexte de classification du climat : « Il y a une distinction entre le volume d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était disponible. Lorsque la disponibilité en eau augmente, l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat.

Calcul l'ETP selon Thornthwaite

La formule utilisée est :

ETP (mm/mois) = 16(10T/I)^a (Lambert, 1996).

Où :

T : La température moyenne mensuelle en °C ;

I : indice thermique annuelle, somme des 12 indices mensuels i ; et $I = \sum i$ et $i = (t/5)^{1,514}$;

a : Coefficient constant pour un même lieu et ne dépendant que de i ;

$$a = 0.016 I + 0,5$$

ETPc = ETP × K

Où :

ETPc : l'évapotranspiration potentielle corrigée (mm)

K : le facteur de correction en fonction de la durée d'ensoleillement.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau n : avec $I = 73.44$ et $a = 1.67$

3.1.2. L'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle c'est la quantité d'eau réellement évaporée. Elle représente la quantité de vapeur d'eau relativement dégagée vers l'atmosphère par les sols et les végétaux.

Des méthodes peuvent être proposées :

- La méthode de Turc.
- La formule de Coutagne.
- La méthode de Thornthwaite

Formule de L.TURC annuelle

$$ETR = P / \sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}$$

ETR : L'évapotranspiration réelle, en (mm) ;

P : La précipitation annuelle, en (mm) ;

T : La température moyenne annuelle en °C ;

L : Un paramètre calculé en fonction de la température selon la formule :

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \text{ (Lambert, 1996).}$$

Application numérique :

$$P = 466,7862 \text{ mm}$$

$$T = 15,88 \text{ C}^\circ \text{ ce qui nous donne } L = 879,23.$$

3.2. Le bilan hydrologique selon Thornthwaite :

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la effectués par les précipitations.

Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration. Le bilan est évidemment positif lorsque la différence est positive ou que le rapport est supérieur à un. On choisit l'un ou l'autre expression en fonction de commodités ou de diverses. L'écoulement à partir d'une unité de surface sera compté dans les pertes. L'infiltration est considérée comme une mise en réserve sous forme de nappes souterraines ou d'eau capillaire dans le sol.

La détermination de l'ETR en fonction de L'ETP et de la quantité d'eau disponible (pluie+RFU).

ETR peut être évalué par l'établissement du bilan comme par l'application de certaines formules empiriques .ce paramètre peut être calculé d'après Thornthwaite en utilisant les conditions suivantes :

- Si : $ETP=P$; il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifie pas et aucune infiltration est produite en direction de nappe. $RFU=0$.
- Si : $ETP >P$; on a $ETR=P+RFU$.un déficit apparait une partie de l'RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETR .l'évapotranspiration agit donc sur le sol.
- Si : $ETP <P$; alors $ETR=ETP$.RFU pourra atteindre son maximum au-delà duquel, il y aura une infiltration vers la nappe.

L'application de la méthode de Thornthwaite pour l'année moyenne, l'année la plus humide et l'année la plus sèche a donné les résultats qui sont consignés dans le tableau suivants :

Tableau 3 : Bilan hydrologique moyen (1998-2018) de la station de kenchela par méthode de thornthwaite

	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	jun	jlt	Aou	total
P	49,10	41,82	36,13	37,15	36,71	31,08	41,17	47,06	67,16	27,76	15,01	36,64	466,79
T	21,40	17,20	10,80	7,20	6,60	6,90	10,10	16,00	18,30	22,90	27,10	26,10	190,60
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETP	98,94	64,65	26,32	13,05	11,68	12,30	28,18	64,38	89,46	130,17	175,37	155,31	869,82
P-ETP	- 49,84	- 22,83	9,81	24,10	25,03	18,78	12,99	- 17,32	- 22,30	-102,41	-160,36	-118,67	
RFU	-	-	9,81	25,00	25,00	25,00	12,99	-	-	-	-	-	97,80
ETR	49,10	41,82	45,94	62,15	61,71	56,08	54,16	47,06	67,16	27,76	15,01	36,64	564,58

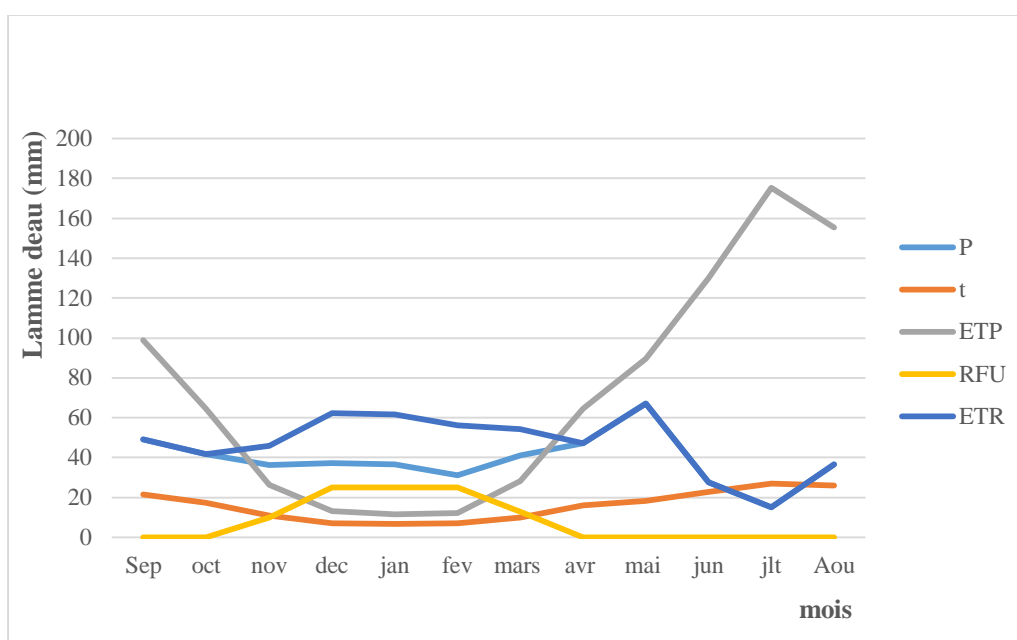


Fig. 12 : Bilan hydrologique moyen (1998-2018) de la station de kenchela par la méthode de thornthwaite

3.3. Interprétation du bilan hydrique :

L’observation du bilan hydrologique du graphe du bilan hydrologique nous permet de dire qu’il existe deux périodes :

- **La première** est déficitaire ou l ETP est importante à partir de mois d’avril jusqu’ au mois d’octobre, avec des valeurs atteignant les 175,37mm au mois de juillet ; dans cette période les sols sont sec leur niveau de réserve hydrique est nul, rendant la nécessité de l’irrigation
- **La deuxième** période est humide qui commence à partir du mois d’octobre ou les précipitations couvrent les besoins de l’évapotranspiration potentielle et permettent la reconstitution du stock

qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum (25mm) entre les mois décembre et février.

Toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s'infiltré et rejoint la zone saturée.

Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu' a l'épuisement de stock

Le bilan hydrologique permet dévaluer la répartition des précipitation entre les différents composants de ce bilan, l'écoulement , l'infiltration et l'évapotranspiration .

Le bilan est établi selon la formule suivante : $P=ETR+R+I$

Ou :

P : la précipitation moyenne annuelle en (mm).

ETR : l'évapotranspiration réelle en (mm)

R : ruissellement en (mm)

I : l'infiltration en(mm)

4. ruissellement superficiel et l'infiltration :

Il estime à partir de la formule de **TIXERONT –BERKALOFF** qui est la suivante :

$$R=P^3/3(ETPc)^2$$

L'application numérique donne le résultat suivant : 44.81m

L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol, il est exprimé par la formule suivante : $P=ETR+R+I \rightarrow I=P-(ETR+R)$ est égale - 10.22 mm

On constate que l'infiltration directe à partir du sol est pratiquement nulle pour la station étudiée.

Conclusion :

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de six mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec.

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 21 ans (1998-2018), sont estimées à 466,78 mm, La température moyenne annuelle est de **16°C**. Leurs répartitions mensuelles montrent deux grandes saisons bien distinctes, le premier est humide, qui s'étend du mois de Novembre à Mai. La deuxième est sèche, qui s'étale sur les mois de Juin et Aout,

L'évapotranspiration potentielle et réelle est respectivement de **869,82** et **432.2mm**. Le ruissellement est de **44.81mm** et l'infiltration est de **- 10.22mm**. L'excédent en eau est de **34.58 mm**. Les pluies sont généralement insuffisantes, irrégulières et inégalement réparties dans le temps, l'effet de saisonnalité n'est pas respecté. Le déficit agricole est de **437,52 mm**, le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire.

**DEUXIEME PARTIE : PARTIE
PRATIQUE**



**CHAPITRE I : MATERIELS ET
METHODES**

Chapitre I : Matériels et méthodes

Introduction :

L'eau dans son cheminement se charge par un certain nombre d'éléments minéraux en liaison avec la nature des terrains traversés, en plus par les rejets industriels et agricoles. L'étude chimique de l'eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité pour voir la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages.

L'interprétation des analyses a pour but d'identifier le faciès chimique, de mettre en évidence les différents éléments pouvant jouer un rôle primordial dans leur répartition et par conséquent d'établir l'origine des éléments chimiques rencontrés.

1. Les travaux de terrain :

Pour aboutir aux résultats souhaités, nous avons tout d'abord effectué le 26 mai 2021 une visite de reconnaissance de point d'eau chaude dans la zone concernée, le ensuite nous avons effectué une campagne d'échantillonnage.

L'échantillon a été recueilli dans un flacons stériles de 500 ml, selon les normes transportés au laboratoire dans une enceinte isotherme à 4°C et analysés dans les 48 huit heures qui suivent le prélèvement.

Les mesures effectuées in situ et les appareils utilisés pour ces fins sont donnés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Travaux in situ et appareillage.

Paramètres mesurés	Appareil utilisé
Température (°C)	Thermomètre digital.
pH, Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Salinité (mg/l)	Multi paramètre à 6 paramètres marque C535T.

2. Les travaux du laboratoire :

Les travaux du laboratoire ont concerné les analyses chimiques aussi bien des éléments majeurs que des oligo-éléments.

2.1. Mesure des paramètres chimiques :

Les cations : sodium, potassium, calcium, par la méthode spectrométrie à flamme.

Les anions : les chlorures, par la méthode de Mohr, et bicarbonate alcalinité par la méthode titrimétrique de dosage du TAC

Les analyses chimiques des eaux et la détermination de leur teneur sont d'une grande importance car elles permettent d'avoir une idée sur la nature des formations géologiques traversées par ces eaux et la dynamique de ces derniers.

a. les cations :

- Le principe :

La méthode de dosage de calcium et potassium et sodium par la spectrométrie d'émission de flamme est souvent suffisant pour les eaux naturelles, la faible concentration sont mesurable par la spectrométrie d'absorption atomique et spectrométrie d'émission à l'aide d'un générateur indicatif de plasma, car ils sont sensibles, rapide et précis (Rodier et al., 2009).

a.1. Calcium :

✓ Les réactifs utilisés :

- Acide nitrique.
- Solution mère étalon de calcium à 100g /l.
- Solution fille étalon de calcium à 1g/l.

✓ Mode opératoire :

Nébuliser l'eau de notre source Djaarir dans un bécher, on effectuée le lecteur sur le spectromètre.

a.2. Le sodium :

✓ Les réactifs utilisés :

- Acide nitrique.
- Solution mère étalon de sodium à 100g/l.
- Solution fille étalon de sodium à 1mg /l.

- ✓ **Mode opératoire :** Le même mode de calcium.

a.3. le potassium :

- ✓ **Les réactifs utilisés :**
 - Acide nitrique.
 - Solution mère étalon de potassium à 100g/l.
 - Solution fille étalon de potassium à 2 mg/l.

- ✓ **Mode opératoire :**

Nébuliser l'eau de la source Djaarir dans un bécher, et effectuée le lecteur sur le spectromètre à flamme.



Fig. 13 : Spectromètre à flamme.



Fig. 14 : filtration de l'eau de la source Djaarir.



Fig. 15 : préparation des solutions.

a.4. Magnésium : par la méthode titrimétrique à l'EDTA.**-Le principe :**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique à pH = 10. La disparition des dernières traces d'élément libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation de magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions de calcium et magnésium (Rodier et al., 2009).

Les réactifs nécessaires :

- Solution d'EDTA 0,02 N : dissoudre 3,721 g de sel di sodique cristallisée dans 1 litre (1000 ml) d'eau déminéralisée.
- Solution tampon pour le maintien du pH à 10
- Noir d'Eriochrome
- Solution de NaOH 1N

Mode opératoire et la dilution :

Verser 5 ml d'eau à analyser et compléter par l'eau déminéralisée jusqu'à 100 ml. Verser 5 ml de solution de tampon pour maintenir le pH à 10 et une pincée de noir d'Eriochrome. Bien mélangé, la quantité d'EDTA nécessaire pour le virage au bleu est de 5 ml.

b. Les anions :**b.1. chlorure : en utilisant la méthode de Mohr.****✓ Réactifs :**

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium 10%.
- Solution de nitrate d'argent (0,1).

✓ Mode opératoire :

Introduire 5 ml d'eau de notre source, ajouter 2 ou 3 gouttes d'acide nitrique, une pincée de carbonate de calcium (0,2 g), et 3 gouttes de chromate de potassium.

Puis en verser à l'aide d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition de teinte rougeâtre.

b.2. bicarbonate alcalinité : par la méthode titrimétrique de dosage TAC :**✓ Les réactifs :**

- ❖ Acide sulfurique 0,02 N.
- ❖ Solution de méthyle orange.
- ❖ Eau déminéralisée.
- ❖ Solution de phénolphthaléine dans l'alcool à 0,5%.

✓ Mode opératoire :**✚ Détermination du TA (titre alcalimétrique)**

A 5 ml d'eau à analyser, ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. L'absence d'une coloration rose indique que le TA est nul, ($\text{pH} < 8,3$). Verser ensuite avec précaution quelques gouttes d'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète (Photo 14) de la solution $\text{pH} 8,3$ et obtention de la couleur jaune.

✚ Détermination du TAC (Titre alcalimétrique complet)

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthyle orange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé ($\text{pH} = 4,3$). Le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage.

b.3. sulfate○ **Principe :**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20 ou de polyvinyle – pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre (Rodier et al., 2009).

○ **Réactif :**

- Solution d'acide chlorhydrique au 1/10 :
- Solution de polyvinyl-pyrrolidique ou de Tween 20 à 25% ou 2ml.
- Solution de chlorure de baryum stabilisée.

○ **Mode opératoire :**

-A 5ml d'eau à analyser, introduire successivement : 1ml d'acide Chlorhydrique au 1/50, 5ml de solution de chlorure de baryum stabilisée + 1 g de Chlorure de Baryum.

-Préparée dans les mêmes conditions un tube témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau déminéralisée, agiter énergiquement et laisser reposer 15 minutes. Agiter de nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'ondes de 650nm. Lier la valeur au spectromètre, se reporter à la courbe d'étalonnage.

b.4. nitrate (NO₃⁻) :○ **Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique (Rodier et al., 2009).

○ **Les réactifs :**

- Solution de salicylate de sodium à 10 g /l à renouveler toutes les 24H
- Acide sulfurique de sodium
- Solution d'hydroxyde de sodium
- Solution d'azoture de sodium
- Solution mère étalon d'azote nitrique à 100 mg/l
- Solution fille étalon d'azote nitrique à 5 mg/l

○ **Mode opératoire :**

Introduire 5ml d'eau dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs en azote nitrique supérieure à 10 mg/l, opérer à une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Pour suivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparée de la même façon un témoin avec 5 ml d'eau déminéralisée. Effectuée les lectures au spectromètre à la longueur d'onde $\lambda = 415$ nm. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

CHAPITRE II :
LES RESULTATS &
DISCUSSION

Chapitre II : les résultats & discussions

1. Etude analytique des paramètres physiques :

Introduction

En provenance de source, venant à émergence au sol ou le plus souvent de captages, parfois très profonds, les eaux thermales sont de températures et surtout de compositions minérales très variables. Les sources ordinaires de bonne qualité ont une température constante égale à la température moyenne annuelle de l'air du lieu où elles jaillissent. Elles sont donc plus chaudes que l'air ambiant en hiver et plus fraîches en été.

Les sources thermales ont, elles aussi, une température stable mais toujours supérieure à la température moyenne de l'air du lieu où elles émergent. Alors que l'eau pure est sans saveur. Les eaux thermales ont fréquemment un goût parfois salé qui traduit la présence de substances dissoutes. Cette présence est confirmée en général par un dépôt de concrétions plus ou moins importantes au point d'émergence et par les analyses. Dans certaines localités où l'eau est chargée en calcaire, certaines sources prennent l'aspect de fontaines pétifiantes, citant l'exemple du Hammam Debagh à Guelma.

Aussi les sources thermales sont parfois accompagnées de dégagements gazeux qui les font bouillonner, notamment d'anhydride carbonique, d'azote, d'hydrogène sulfuré, voire d'Hélium ou de Radon. Le gaz qui s'en échappe est le plus souvent du gaz carbonique inodore, plus rarement un gaz soufré (Athhmena , 2006).

1.1. Température :

1.1.1. Définition de la thermalité :

Différentes définitions ont été données pour une eau thermale, nous retiendrons la définition de H. Schoeller qui considère comme thermales *les eaux dont la température à l'émergence est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air plus 4°C au lieu de l'émergence.*

1.1.2. Origine de la thermalité :

On sait depuis longtemps, grâce aux exploitations minières que la température augmente avec la profondeur. Une température élevée est donc, à priori, un indice d'origine profonde. On explique la relation entre la température et la profondeur par le terme de gradient géothermique.

Par définition le gradient géothermique (degré géothermique), est la profondeur de pénétration dans le sol, exprimée en mètres, nécessaire pour que la température augmente de 1°C. Variable suivant les endroits et la profondeur ; sa valeur est en moyenne de 30 à 35 m. Elle augmente dans les massifs granitiques (60 à 80 m) et diminue dans les régions volcaniques (10 à 15 m). Le gradient géothermique est fonction du flux de chaleur terrestre et de la conductibilité calorifique des roches. Dans une région considérée ; une valeur plus au moins élevée du gradient géothermique traduira l'intensité de ce flux de chaleur.

Les activités volcaniques récentes, la proximité d'un batholite ou la remontée du manteau seront aussi à l'origine d'anomalies positives, dans ce cas un gradient géothermique particulièrement élevé peut être observé. D'un autre cote, les mouvements orogéniques peuvent produire de l'énergie calorifique liée aux déformations mécaniques et surtout aux frottements qui s'effectuent le long de grands accidents.

Enfin les réactions physico-chimiques exothermiques résultant de la réduction des sulfates, de l'oxydation des sulfures de fer et de la transformation de l'anhydrite en gypse et la désintégration des minéraux radioactifs peuvent aussi engendrer une élévation considérable de la température des eaux.

1.1.3. Anomalie géothermique dans l'Algérie du Nord :

La carte du gradient géothermique établie par N. Kazi Tani en 1974 à l'aide des diagraphies thermométriques continues et des relevés de températures donne une approche globale du gradient géothermique de l'Algérie du Nord (Figure 16). Cette carte met en évidence deux secteurs à forte anomalie géothermique :

- le premier concerne le littoral oranais et la plaine de Macta;
- le second concerne tout le secteur compris entre Skikda et Annaba et qui se poursuit vers le Sud jusqu'à Tébessa.

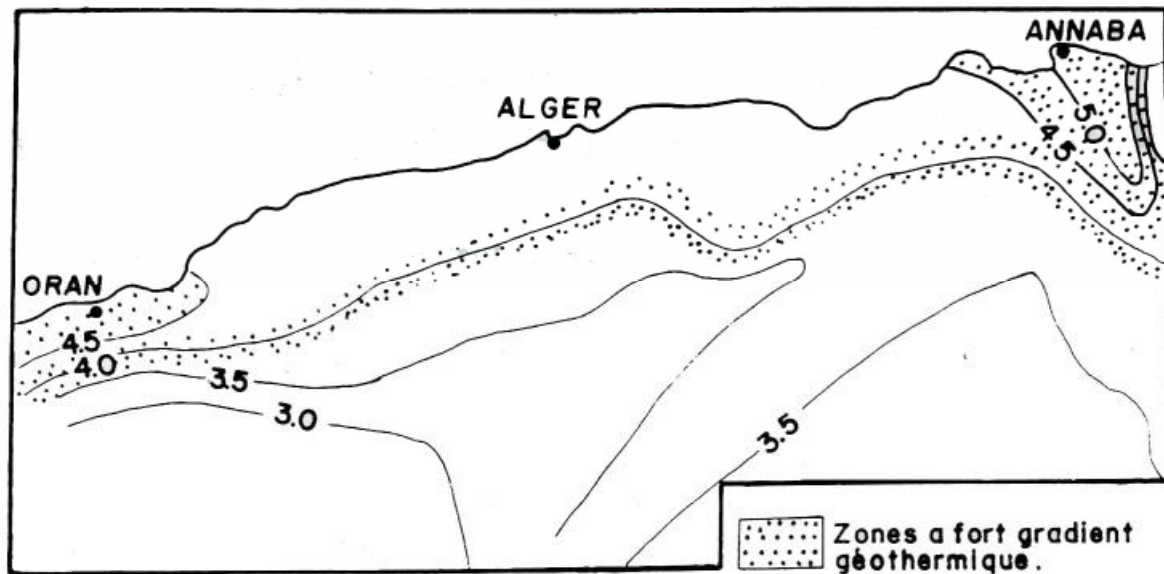


Fig.16 : Carte du gradient géothermique de l'Algérie du Nord d'après N. Kazi Tani (1974). (HOUHA, 2007)

En raison de l'influence de la boue de forage sur l'appréciation de la valeur du gradient géothermique, A. Issaâdi et F.Z Haouchine (1994) ont procédé à la correction des données de base fournies par les sondages pétroliers utilisés pour évaluer le gradient géothermique. En effet, les résultats obtenus ont permis de dresser la carte du gradient géothermique moyen à travers l'Algérie du Nord (figure 4.2). L'examen de cette carte permet de définir:

- à l'Est, un gradient qui évolue entre 2,68 °C/100 m et 4,22 °C/100 m;
- au centre, au droit de la zone bibasique un gradient supérieur à 5 °C/100 m;
- à l'Ouest, le manque de données n'a pas permis à ces deux auteurs d'apporter les précisions souhaitées. Toutefois on peut observer des valeurs relativement élevées dans le bas du Chlef.

1.1.4 . Perte de chaleur :

Il est important de signaler que la température mesurée à l'émergence n'est pas forcément représentative de la température réelle du griffon, un refroidissement des eaux thermales ayant pu se produire au cours de leur remontée vers la surface par dégazage, échanges thermiques avec les parois du circuit hydrothermale, ou par mélange avec les eaux froides en surface ou en profondeur.

1.1.5. Classification thermique des eaux :

Nous retiendrons avec P. Verdeil (1986) et A. Issaâdi (1992), la classification des eaux thermales, selon leur température d'émergence, suivante :

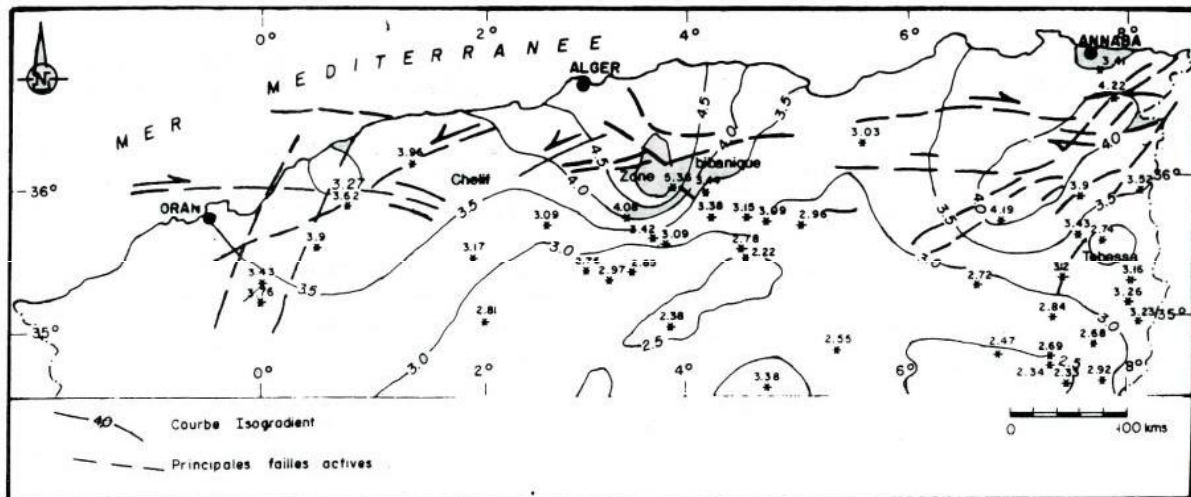


Fig. 17 : Carte du gradient géothermique de l'Algérie du Nord d'après A. Issaadi et F.Z. Haouchine (1994).

1.1.6. Perte de chaleur :

Il est important de signaler que la température mesurée à l'émergence n'est pas forcément représentative de la température réelle du griffon, un refroidissement des eaux thermales ayant pu se produire au cours de leur remontée vers la surface par dégazage, échanges thermiques avec les parois du circuit hydrothermal, ou par mélange avec les eaux froides en surface ou en profondeur.

1.1.7. Classification thermique des eaux :

Nous retiendrons avec P. Verdeil (1986) et A. Issaâdi (1992), la classification des eaux thermales, selon leur température d'émergence, suivante :

- **Eaux hypo thermales** : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est inférieure à celle de la partie supérieure de la zone d'homothermie ou à la température moyenne interannuelle du lieu d'émergence plus 4°C.

- **Eaux métriothermales** : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est inférieure à 30 °C mais supérieure à celle des eaux hypothermales.

- **Eaux méso thermales** : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est entre 30 °C et 50 °C.

- **Eaux hyperthermales** : ce sont des eaux dont la température à l'émergence est supérieure à 50 °C et inférieure à 100 °C. (Athhmena , 2006)

1.1.8. La température mesurée :

La température des eaux étudiée est de 32.7 °C, on peut dire que pour Hammam Djaair est une eau mesothermale. Dans la zone d'étude, nous avons remarqué que cette température est très supérieure à la température annuelle moyenne de la région, (VILA, 1977), Ce déséquilibre thermique entre l'atmosphère et l'aquifère indique que les eaux ont une origine très profonde.

1.2. Le potentiel hydrogène (pH) :

Le pH varie en fonction de la concentration des ions HCO_3^- ou H^+ , les normes algériennes le fixent entre 6 ,05 et 9 ,5. Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé (Dussart, Bermond *et al.* 966).

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique du développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 alors que dans les eaux tièdes, celui-ci est compris entre 5 et 9 (HCEFLCD, 2007). Il exprime l'activité des ions H^+ d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique :

- Pour un milieu neutre (H^+) = (OH^-) ou pH = 7 ;
- Pour un milieu acide (H^+) > (OH^-) ou pH < 7 ;
- Pour un milieu basique (H^+) < (OH^-) ou 7 < pH < 14. *

Le pH des eaux mesure a hammam Djaair est de 7, 60

Les eaux est voisin de la neutralité

1.3. Conductivité électrique (CE) :

Par définition, la conductivité électrique est la propriété qu'à une eau pour conduire le courant électrique, elle dépend à la fois de la température des eaux et des espèces ioniques dissoutes. Sa mesure donne une indication sur la salinité des eaux. La conductivité donne une idée sur la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (HCEFLCD, 2006). L'unité de la conductivité est le Siemens par mètre (S/m): $1\text{S /m} = 10\ \mu\text{S/cm}$. Le tableau 5 montre la relation entre la conductivité et la minéralisation.

Tableau 5 : La relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J., 1999).

Conductivité ($\mu\text{S /cm}$)	Minéralisation (mg /L)
Conductivité < 100	Très faible
100 < Conductivité < 200	Faible
200 < Conductivité < 333	Moyenne
333 < Conductivité < 666	Moyenne accentuée
666 < Conductivité < 1000	Importante
1000 > Conductivité	Elevée

La valeur de la conductivité électrique est élevée pour l'eau étudiée. Elle est de $1500\ \mu\text{S /cm}$. La valeur mesurée de la conductivité indique une minéralisation élevée car elle est par la nature géologique des terrains traversés et par la dissolution des formations évaporitiques riches en sels. Ces valeurs indiquent que l'eau thermale de Hamam Djaarir proviennent du lessivage des terrains triasiques gypso-salifères et sont caractérisés par une forte concentration liée à la grande solubilité des sels (NaCl , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4 et Na_2SO_4).

2. Etude analytique des paramètres chimiques :

Introduction :

C'est en circulant dans les micros fissures des roches que les eaux en dissolvent certains composants. La dissolution est facilitée par la chaleur ambiante et par la durée du contact entre l'eau et la roche. Quant au gaz carbonique, accompagnateur fréquent des eaux thermales, il provient des zones profondes de l'écorce ou du manteau terrestre, à quelques dizaines ou centaines de kilomètres sous nos pieds. Dans ces profondeurs, le gaz carbonique est présent à

l'état d'inclusions dans les cristaux des roches. Les mouvements géologiques, en déformant ou en écrasant celles-ci, libèrent le gaz qui monte alors vers la surface pour se dissiper dans l'atmosphère. Au cours de sa migration, il peut rencontrer l'eau thermique, et s'y dissoudre jusqu'au moment où, quand la pression diminue, il commence à se dégager sous forme de bulles, contribuant ainsi à l'accélération de la remontée de l'eau. En d'autres endroits, il chemine seul en empruntant des failles et les drains secs.

Les eaux thermales proviennent de ces précipitations infiltrées dans le sol mais elles se distinguent des eaux de source par un trajet souterrain beaucoup plus long et beaucoup plus profond qui leur a permis d'acquérir la température et la composition chimique unique qui lui donne à chacune son originalité (houha,2007).

2.1. Eléments majeurs

Les éléments chimiques dits majeurs correspondent aux anions et cations qui constituent de façon prépondérante la minéralisation des eaux. Les résultats d'analyses chimiques en éléments majeurs effectuées sur l'échantillon prélevé d'eau de la zone d'étude sont reportés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques physico-chimique

Ions (mg/l)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
résultat	140	44.6	370	13	1248.40	371	195.2	6

Les analyses chimiques effectuées sur l'eau de la zone d'étude, montrent des teneurs variables des différents éléments dosés

2.1.1. Le calcium Ca⁺²

Le calcium est un élément de la dureté, il est généralement l'élément dominant dans les eaux naturelles. La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées ($\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$), soit la dissolution des formations gypseuses [$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O}) = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2(\text{H}_2\text{O})$].

Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables. Par contre une teneur élevée en calcium provient de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite. (Rodier, 2005)

Dans cette analyse, la valeur trouvée est de 140 mg/l. Les normes algériennes recommande une concentration de 75 mg/L et 200 mg/L comme concentration maximum. Ces concentrations indiquent que ces eaux sont influencées par la dissolution des formations carbonatées et les formations gypseuses contenues dans les terrains salifères du Trias.

La concentration très élevé dans la source étudiée est due au sol calcaire humifère caractérisant la région de Bouhmmama.

2.1.1. Le magnésium Mg^{+2} :

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, magnésite : $MgCO_3 \rightarrow Mg^{+2} + CO_3^{-2}$ Quand la dolomie est attaquée, il n'y a pas de solubilité sélective, il y a autant de calcium que de magnésium. Si toutefois la quantité du calcium dépasse celle du magnésium, l'eau aurait obtenu sa minéralisation du calcaire. Par contre une teneur élevée en magnésium peut faire penser à une contamination d'eau de mer ou du lessivage des minéraux magnésiens.(Houha, 2007).

La teneur de l'ion magnésium trouvée pour les eaux étudiées est de 213.00 mg/L, les normes algériennes donnent une concentration maximum de 150 mg/L de Mg^{2+} . Donc la teneur mesurée ne respecte pas les normes. On pense ici que les apports en magnésium proviennent de la dissolution des formations évaporitiques, ces concentrations indiquent que ces eaux sont influencées par la dissolution des formations carbonatées et les formations gypseuses. (Houha, 2007).

2.1.2. Le sodium Na^+ :

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine. La plus importante source de sodium se trouve dans les évaporites (halite $NaCl$, mirabilite $Na_2SO_4 (10(H_2O))$) dans les bassins endoréiques. (Rodier, 2005)

La teneur de l'ion sodium trouvée pour les eaux étudiées est de 370.00 mg/L. Ces concentrations témoignent d'un apport salifère à partir des formations évaporitiques et du Trias.

2.1.3. Le potassium K^+ :

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées, des argiles potassiques. (Rodier, 2005). En général le potassium dépasse rarement les 10 ou 20 mg/l dans les eaux thermales sur notre terrain les teneurs en potassium est de 13.00 mg/l.

2.1.4. Les chlorures Cl^- :

L'origine de cet élément est comme pour le cas du sodium, liée principalement à la dissolution des formations salifères. Les évaporites constituent la source principale de cet élément. L'effet de la salinité marine, les bassins endoréiques (Chotts, Sebkhas), les eaux fossiles, le salage des routes peuvent aussi être à l'origine de cet élément Le chlore est présent dans les eaux naturelles bien qu'il soit en faible quantité. Dans l'eau de pluie il avoisine les 4 mg/l et dans l'eau de mer les 18,98 g/l. La teneur du chlore dans les eaux continentales peut être maximum sur les zones côtières et moindres en s'éloignant de la mer. Généralement les eaux riches en chlore sont riches en sodium, parfois le calcium remplace le sodium en cas d'échange de base.

Le teneur en chlorure de point d'eau analysé est très élevé (1248.40) mg/l. Ce teneur présente une valeur importante par rapport à celle du sodium, à cause des caractéristiques spéciales de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimique, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui est très mobile. Ces concentrations indiquent l'existence d'apports salifères à partir des formations évaporitiques et au Trias.

2.1.5. Les Sulfates SO_4^{2-}

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses (gypse, anhydrite) et à la dégradation de la matière organique dans le sol de nombreuses activités humaines peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine : application d'engrais sulfatés, précipitations chargées en dioxyde de soufre, eaux usées industrielles, eaux de percolation de décharges de déchets, gravats (déchet inerte), etc. Ainsi qu'à l'apport anthropique (origine agricole). (Berkani, 2017)

Le teneur en sulfate de point d'eau analysé est très élevé (371.00 mg/l). Donc la présence des sulfates est beaucoup plus liée aux formations gypseuses.

2.1.6. Les bicarbonates HCO_3^- :

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable. Le teneur en bicarbonate de point d'eau analysé est de 195.2 mg/l

2.1.7. Nitrates (NO_3^-) :

Toutes les formes d'azote que ce soit organique, ammoniacale, ou nitrite, sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine de l'eau (Rodier et al., 2005).

Dans ce travail, une concentration en nitrates de 6 mg/l. Cette teneur est acceptable par rapport aux normes OMS et aux normes algérienne qui sont de l'ordre de 50 mg/l.

3. Paramètre organoleptique odeur :

L'eau de la source possèdent une odeur nauséabonde rappelant celle du soufre. Selon Detay (1993), les valeurs importantes de la solubilité du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'anhydride sulfureux (H_2S) permettent d'expliquer pourquoi les eaux thermominérales sont souvent pétillantes ou sentent le soufre.

4. Les facies chimiques :

4.1. Diagramme de Piper :

C'est une ancienne classification aussi qui s'appuie sur un diagramme qui donne la représentation le point étudié en fonction de leur faciès sur un même plan. Ce diagramme à l'inconvénient d'utiliser une représentation en pourcentage qui risque de conduire à des interprétations erronées.

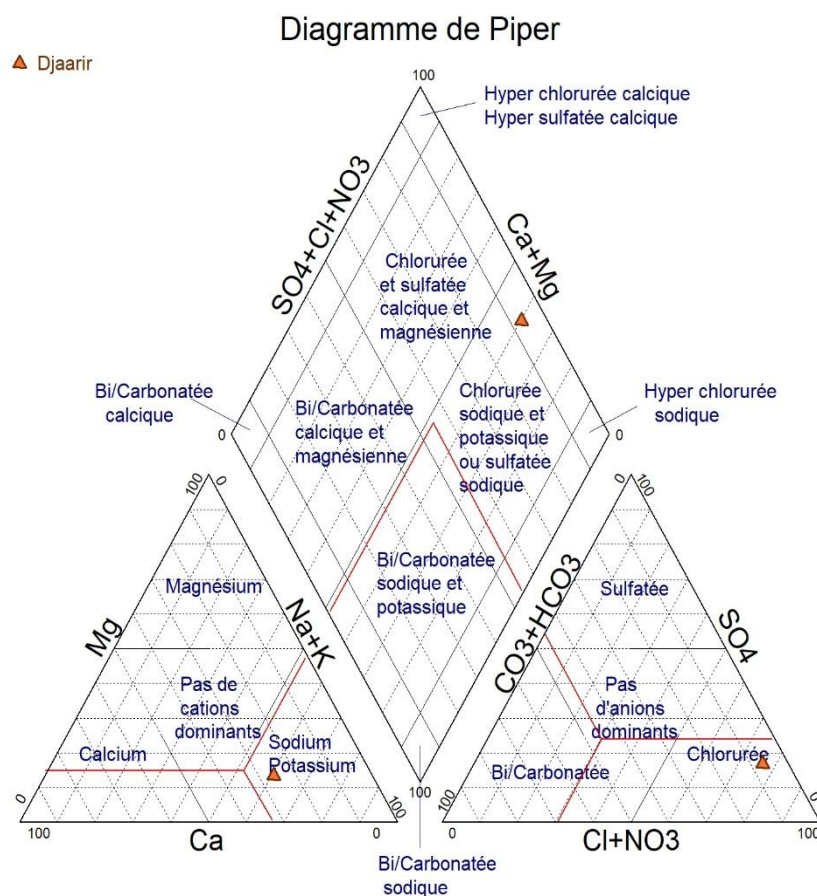


Fig. 18 : Représentation sur diagramme de Piper

Le diagramme triangulaire de Piper permet de visualiser simplement le faciès hydrochimique d'échantillon mesuré, en donnant les abondances relatives (en pourcentage) de chacun des éléments majeurs dissous. Nous avons ainsi représenté l'échantillon de Hammam Djaairir. diagramme de Piper (Eigure 18) appliqué aux eaux montre que le faciès chimique vers des eaux **chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique** dans la source.

4.2. Diagramme de Schoeler Berkaloff :

L'interprétation des résultats des analyses chimiques repose sur la représentation graphique. Le diagramme de Schoeler Berkaloff donne un faciès hydrochimique **chlorurée sodique et potassique**, (figure 19)

De la disposition des droites sur le diagramme il semblerait que les eaux auraient une origine commune, c'est à dire qu'ils proviennent d'un même gisement hydrothermal,

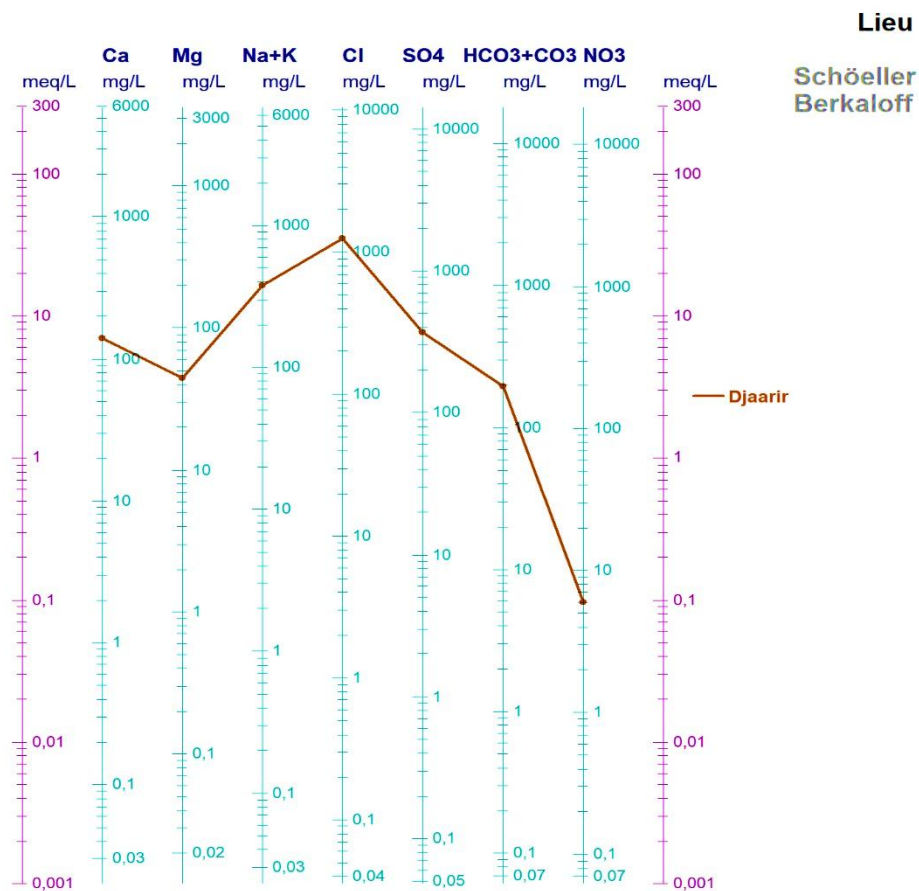


Fig. 19 : Diagramme de Schoeler Berkaloff

4.3. Qualité des eaux pour l'irrigation selon Wilcox :

L'aptitude des eaux à l'irrigation est ici définie en se basant sur le diagramme de Wilcox, qui permet d'indiquer les zones où les eaux sont utilisables pour l'irrigation selon un critère fondé sur la conductivité et sur le SAR.

Lorsque le SAR est supérieur à 10, le taux de fixation de sodium sur le complexe adsorbant est élevé ce qui provoque une dispersion des argiles. Le sol devient alors compact, imperméable à l'eau et à l'air (Cissé, 2012).

Le pourcentage en ions Na^+ est défini par la relation suivante :

$$\% \text{Na}^+ = \frac{\text{Na}^+}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)} \times 100$$

Où tous les ions sont exprimés en méq/l. (Cissé, 2012).

Selon les figures, les eaux de la source Djaarir sont localisées dans la zone admissible du diagramme de Wilcox, donc elles sont dans les normes pour l'irrigation

En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée

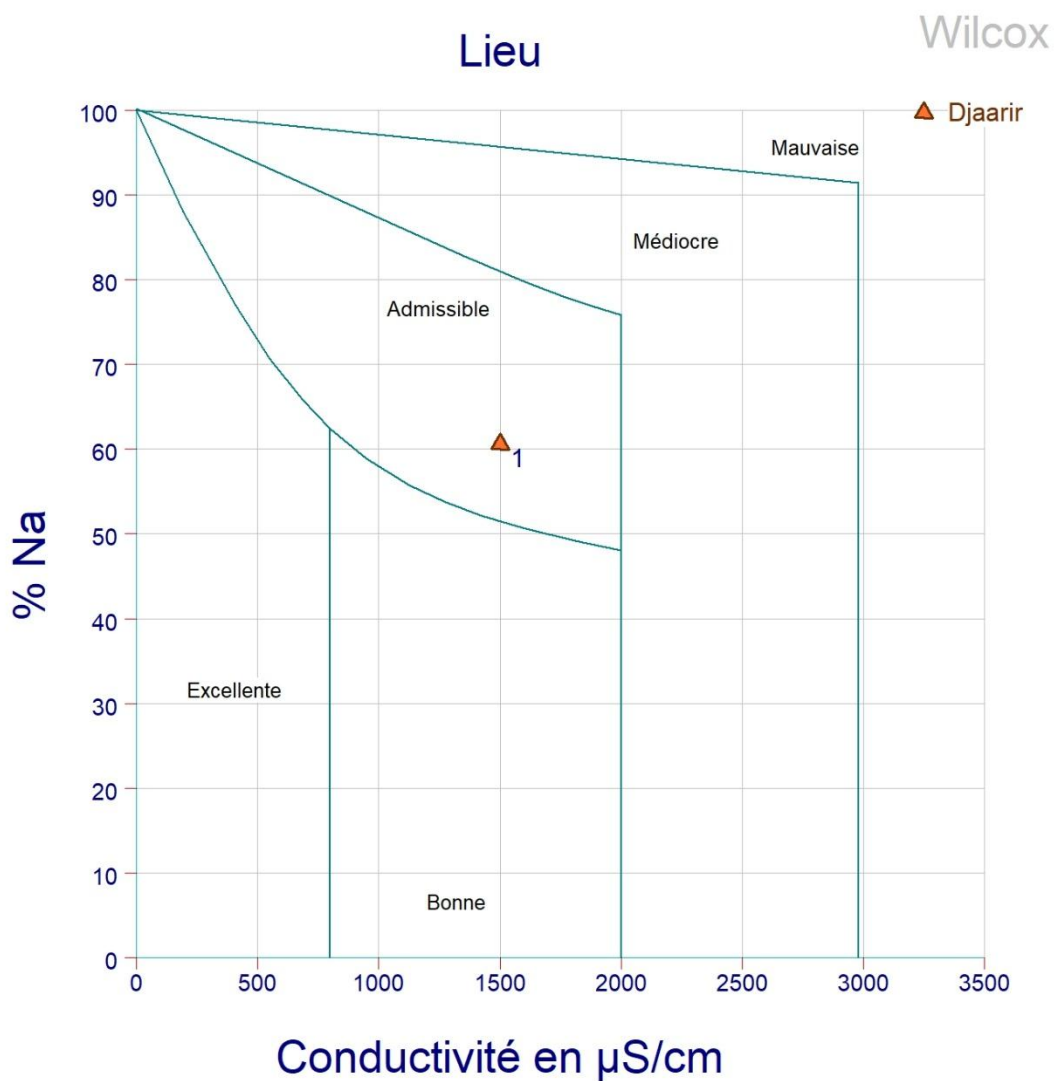


Fig. 20 : Diagramme de wilcox

5. Les propriétés physico-chimiques des eaux thermales Jaarir entre 2015 et 2021.

La comparaison entre nos résultats E1 (l'échantillon prélevé Mai 2021) et celles de l'échantillon prélevé Avril 2016 E2 (HAMADOU Soltana 2016) (voir Tableau 7) , nous a donné les remarques suivantes :

- Les teneurs en bicarbonates varient de 195.2 mg/l (E 1) et 220 mg/l (E 2)
 - Des teneurs trop élevées de Mg^{2+} , Na^+ et Ca^{2+} qui vaut respectivement 243 , 244 et 840 mg/l dans E 2 comparé à 44.6, 140 et 370 mg/l de E1.
 - Il n'existe pas de différence significative de la teneur en SO_4^{2-} , Cl^- , K^+ et HCO_3^- dissous entre avril 2015 et Mai 2021.
 - La conductivité augmente avec l'augmentation de la minéralisation.
- Malgré cette différence des teneurs, le faciès chimiques de ces eaux thermales reste le même Sodique Chloruré

L'augmentation des teneurs en Na^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} dissous dans les mêmes eaux thermales DJaarir est due à :

- Le temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol ;
- Le temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration ;
- Une intervention des eaux superficielles d'irrigation dans la recharge des eaux souterraines. (Awad, 2011)

Tableau 7 : Les propriétés physico-chimiques des eaux Djaarir entre 2015 et 2021.

Ions (mg/l)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	CE ($\mu S.cm^{-1}$)
E1	140	44.6	370	13	1248.4	371	195.2	6	1500
E2	244	243	840	7	2100	371	220	6	7230

Conclusion

Les conclusions suivantes pourront être tirées à partir de l'étude hydrochimique de L'eau thermale de Hammam Djaair:

- les eaux de cette zone possèdent une forte salinité ;
- on a une dominance de l'anion SO_4^{2-} sur HCO_3^- et Cl^- et du cation Na^+ est sur K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} ;
- Le faciès observé : **chlorurée sodique et potassique.**
- La richesse des eaux en éléments Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont liées à la dissolution des formations évaporitiques ;
- les éléments HCO_3^- , K^+ sont dus à l'effet de l'altération des roches calcaires ou d'émanation du magma, d'origine profonde
- les éléments Ca^{2+} et Mg^{2+} proviennent à la fois des formations carbonatés et évaporitiques ;
- l'analyse en composantes principales a montré que l'eau thermale de la région est influencée par la dissolution des formations salifères triassique
- Selon la classification de Wilcox, on peut dire que la qualité des eaux de source Djaair peut être destinée à l'irrigation.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les données de divers paramètres (géologiques, hydroclimatiques, et hydrochimiques), nous a permis d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la zone d'étude. L'étude géologique, basés sur les travaux de plusieurs auteurs ayants étudiés la région, a permis de distinguer les principales formations géologiques de cette région ; à savoir :

- Quant aux terrains affleurant dans ces différents ensembles, ils appartiennent généralement au Secondaire, avec le Trias, le Jurassique et le Crétacé et au Tertiaire avec des formations oligoéocènes, miocènes et pliocènes.
- Le Quaternaire, quant à lui reste limité aux dépôts de versants et aux formations alluviales des bassins et des principaux Oueds de la zone, avec des galets et une nappe de maestrichien formé par des calcaires qui représente la nappe locale.

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de six mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec. Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 21 ans (2008 – 2018), sont estimées à 466,78 mm. L'évapotranspiration potentielle et réelle est respectivement de **869,82** et **432.2mm**, et un déficit agricole de **437,52 mm**.

L'étude Hydrochimique a fini par attribuer l'origine évaporitiques à certains éléments comme le Na^+ et le Cl^- viennent principalement de l'effet de l'altération des schistes et des gneiss, d'origine profonde et enfin les éléments Mg^{2+} et Ca^+ proviennent à la fois des formations carbonatées et évaporitiques, qui existent en profondeur, lors de l'ascension de ces eaux chaudes en surface. La température des eaux est de 32.7 °C, la conductivité oscille entre et **1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , la température moyenne annuelle de l'air est **16°C**.

Le faciès chimique des eaux a est **chlorurée sodique et potassique** influencé par la présence des formations salifères gypso-triasique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Anctil F., Rousselle J., Lauzon N., (2012). Hydrogéologie. 2ème Ed. Presses internationales polytechnique. p : 1-24.

Aouidane, L (2017), Origines de la salinisation des eaux et des sols d'une zone à climat semi-aride : Cas de Remila (W. Khenchela) Thèse de Doctorat d'état. universite de biskara.p 25

Athamena M, 2006, étude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud setif ien, mémoire de magistere ; Université de Batna,p :62,63-66 .

Awad, S. (2011). Hydrochimie et faciès géochimiques des eaux souterraines, Plaine de Bekaa. Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques, 56(2), 334-348.

Belmekki M, 2013., mémoire sur Evaluation et caractérisation de quelque gisement hydrothermal du nord des Aurès , cas des sources du Djebel Safia (Hadjar Soud),Nord Est Algérien.memoire de magistere, Université d annaba ,p18 .

Berkani Ch. 2016 .traçage chimique et isotopique des eaux de sources pour la connaissance des aquifères du massif de l'aurekhenchela-algerie. Thèse de doctorat. Université de Khenchela. Algérie. 78 P.

Berner, E.K. et R.A.Berner, 1996 : global environnement. Water, air and geochemical cycles. Prentice Hall, upper saddle river.Etats- Unis d'amérique 376

Ch. Berkani, B. Houha., (2017). physico-chemical and therapeutic characteristics of the thermo- mineral waters of Khenchela

Cissé O., (2012). Les décharges d'ordures en Afrique. Ed. Karthala. 373 p.

Dussart. B.,1966 . Limnologie : étude des eaux continentales. Gauthier-villars, Paris

Hcefld., (2006) : étude sur la pisciculture au barrage almassira, dar chafaai,

Houha, B. (2007) : Etude de fonctionnement hydrogéochimique et isotopique des eaux de Khenchela, thèse doc. En hydrogéologie, Uni. D'Avignon, France, 140p.

Issaadi A. (1992) : Le thermalisme dans son cadre géostructural, apports à la connaissance de la structure profonde de l'Algerie et de ses ressources geothermales. Thèse de Doctorat d'état. IST. USTHB Alger 274 *pages*.

Jacob F., OLIOSO A., GU X.F., SU Z. & SEGUIN B., (2002) : mapping surface fluxes using airborne visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data and a spatialized surface energy balance model. Agronomie, n°22, pp 669-680.

Kergreis A., Clande J., (1991). Utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride. Ed. Jhon Libbey eurotext. 345 p.

Références bibliographiques

Lambert R., (1996). Géographie du cycle de l'eau. Ed. Presses universitaires du mirail.

Nechem D.,2009, Qualité des eaux des sources thermales. p : 32-36, 50-60.

page.

Remeneras G. (1986) : Hydrologie de l'ingénieur. *Edit. Eyrolles. Paris.* 183 pages.

R-Laffitte, (1993) Etude géologique de l'Aurès. Thèse, paris, bull serv. carte geol algerie 2 e série 484p.

Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005). L'analyse de l'eau. 8ème Ed. Dunod. 1383 p.

Rodier J., Logude B., Ecoll M., (2009). Analyse de l'eau. 9ème Ed. Dunod. 1511 p.

Said et Nezzar., (2016/2017).Mémoire sur l'étude de processus hydrogéochimique des eaux de la plaine de Mellagou-Bouhmama, Khenchela..

Vila.J.M., (1980). La plaine alpine d'Algérie orientale et ses confins algéro-tunisiens. Doctorat d'état. Université Pierre Et Marie Curie, Paris VI.

Wehner et Gehring. , (1995).biologie et physiologie animales. 23 ème Ed.Allmande page :514