

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES



FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire

De fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie (S.N.V.)

Filière : Géologie

Spécialité : HYDROGÉOLOGIE

Intitulé du thème :

**CARACTERISATION HYDRO-CHIMIQUE DES EAUX
DE SOURCES THERMALES DE HAMMAM BOU-HADJER
COMMUNE D'AIN TEMOUCHENT**

Présenté par : Mr **DOUKANI YASSINE.MOHAMMED**

Mémoire soutenu devant l'honorable jury composé de :

Président de jury	: Dr MELIANI HABIB	MCA	UDL SBA
Examineur	: Dr M'HAMDIA CHAFIK	MCB	UDL SBA
Promoteur	: Dr AYACHE ABBASSIA	MCA	UDL SBA

Année universitaire 2019 - 2020

Session : « JUIN »

Remerciements

*Avant tout, je remercie **DIEU** le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de réaliser ce modeste travail*

*Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude envers **Dr AYACHE.A**, maitre de conférence A à l'université Djillali liabés, ma promotrice, qui, avec patience, a suivi mes travaux. Je la remercie de m'avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiques qui m'ont beaucoup aidée à l'amélioration de ce travail. Sa méthode rigoureuse sera pour moi un bon exemple à suivre.*

*Je remercie le président des jurys : **Dr MELIANI H**, maitre de conférence A à l'université Djillali liabés, et le chef département des sciences de l'environnement. d'avoir accepté de présider les jurys.*

*Mes remerciements particuliers et sincères pour **Dr M'HAMDIA C**, maitre de conférence B, à l'université djillali liabés, d'avoir accepté de juger mon travail.*

*Je tiens à remercier pleinement **Dr BELLAGGOUNE A**, le responsable de laboratoire "Algérienne des eaux" de la ville de Sidi Bel Abbés, pour son aide précieuse.*

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de l'environnement., en particulier ceux de la spécialité hydrogéologie qui m'ont été d'une aide précieuse.

Mes vifs remerciements et ma reconnaissance à:

Tous les membres du service de laboratoire "Algérienne des eaux" (ADE).

J'exprime ma reconnaissance et ma profonde gratitude à l'égard de ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu par leurs conseils, leurs encouragements pour l'élaboration de cette œuvre.

Dédicace

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce travail
à mes très chers parents et mes sœur , pour
tous les sacrifices qu'ils ont faits, pour que je puisse
arriver à ce stade, que Dieu leur offre une longue
vie pour me voir réussir dans ma vie.*

à mon très cher frère Ali

à qui je dois ma réussite,

à toute ma famille

A toutes les personnes que j'aime

Yassine .M

Résumé

La région d'Ain Témouchent situé dans l'ouest algérien est le siège de plusieurs aquifères renfermant de l'eau chaude dont la température varie entre 54°C et 74°C. Afin de déterminer le faciès chimiques des eaux de cinq puits chauds de hammam Bou-hadjer de la wilaya d'Ain Témouchent, nous avons procédé à l'analyse hydro-chimique de cinq échantillons provenant des sources suivantes : skouna ain bagra, gettare, hamda, petite phychi et aucune désignation, et en exploitation des données géologiques de la région on a pu tirer les prestations suivantes. Les eaux thermales de la zone d'étude sont de natures hyperthermales et mésothermales. Le faciès dominant est l'hyper chloruré, sulfaté et magnésienne. L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des formations salifères, l'influence marine, la proximité des bassins endoréiques (Chotts, Sebkhass), une origine météorique, de l'activité agricole ou biologique naturelle, de la présence d'évaporites (gypse), le contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques et de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium.

Mots clés :hydro-chimiques, faciès chimique, , hammam Bou-hadjer , mésothermales, hyperthermales .

Abstract

The region of Ain Temouchent; located in Western Algeria is the seat of several aquifers containing hot water, whose

temperature varies between 54°C and 74°C .

In order to determine the chemical facies of the waters of five hot Wells in Hammam Bouhdjar area, in the wilaya of Ain

Temouchent. We carried out hydro-chemical analysis of five samples from the following sources :Skhouna, Ain bagra, Gattare,

Hamda, and Petite Phichi. and a place without designation. In use of the geological data of the region. We have got the

following results :

_The thermal waters of the study area are hyperthermal and mesothermal.

_The dominant facies is hyperchlorinated, sulfated , and magnesian.

_The region of these elements is principally linked to not salt formations' dissolution, marine influence, endorheic basins' proximity

(Chotts and Sebkhass), a meteoric origin, agricultural or natural biological activity. The presence of evaporites (gypsum), the

contact of water with limestone and dolimitic rocks. Finally the dissolution of carbonate formations with high magnesium

contents.

Keys words : ,hydro-chemical , chemical facies , , hammam bou- hadjer, mesothermal , hyperthermal.

ملخص

تعتبر مدينة عين تموشنت الواقعة في غرب الجزائر. مقر للعديد من طبقات المياه الجوفية التي تحتوي على الماء الساخن وتتراوح درجة حرارتها بين 54 درجة مئوية و 74 درجة مئوية.

من أجل تحديد النوعية الكيميائية للمياه من خمسة آبار ساخنة في حمام بوحجر بمدينة عين تموشنت ، أجرينا تحليلًا كيميائيًا مائيًا لخمسة عينات من المصادر التالية: "عين حمدة ، سخونة عين باعرا ، غيتار ، فينشي صغير ، بدون تعيين"

وفي استغلال البيانات الجيولوجية للمنطقة يمكن استخلاص الخدمات التالية تتكون المياه الحرارية لمنطقة الدراسة عادية الحرارة ومتوسطة الحرارة. الوجه السائد هو الكلور المفرط والكبريتات والمغنيسيوم. يرتبط أصل هذه العناصر بشكل رئيسي بتدوير مكونات الملح ، والتأثير البحري ، وقرب الأحواض الداخلية (السيخة ، الشاطيء) ، وأصل نيزكي ، ونشاط زراعي أو بيولوجي طبيعي ، ووجود التبخرات (الجبس) ، ملامسة الماء بالحجر الجيري والصخور الدولومية وتذويب مكونات الكربونات ذات المحتوى العالي من المغنيسيوم.

الكلمات المفتاحية:

التحاليل الفيزيائية_الكيميائية ، النوعية الكيميائية ، متوسط الحرارة ، حمام بوحجر ،عالي الحرارة

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des acronymes et abréviations.....	
Introduction	01

CHAPITRE I : Présentation des eaux thermales de Hammam Bouhadjer

I. Description géographique de hammam Bou hadjar.....	04
I.1. Wilaya d'Ain Temouchent.....	04
I.2. Commune Bou-hadjar.....	05
I.2.1. Présentation de la commune.....	05
I.2.2. Hammam Bouhadjar.....	05
II. généralités sur les eaux thermales	05
II.1. Les propriétés d'une eau thermale.....	06
II.2. Mode d'émergence.....	09
II.3. Haute température	10
III. Thermalisme à Hammam Bou-Hadjer.....	10
III.1. Cadre géologique de hammam Bou-Hadjer.....	11
III.2. Volcanisme de la région de Hammam Bou-Hadjer.....	12
III.3. Tectonique de la région de Hammam Bou-Hadjer.....	12
III.3.1. Faille de l'Oued et Melah	13
III.3.2. Failles de Hammam Bou-hdjar	13
III.4. lithologique des différents ensembles de la région de Hammam Bou-Hadjer	13
III.5. Hydrogéologie de la région de Hammam Bou-Hadjer	14

CHAPITRE II :Méthodologie adopté

I. Qualité hydro-chimique des eaux thermales.....	17
II. Analyse de la qualité hydro-chimique des eaux thermales de hammam bou-Hadjer.....	17
II.1. Mode d'échantillonnage.....	17
a.Source thermale numéro 01 : Skhouna ain bagra	18
b.Source thermale numéro 02 : Gettare	19
c.Source thermale numéro 03 : Hamda	19

d.Source thermale numéro 04 : Petite Phichi	20
c.Source thermale numéro 05 : aucune désignation	20
II. Localisation des puits échantillonnés	21
II.2. Mode d'échantillonnage	21
II. Technique d'analyses physico-chimique	22
II.1. analyse par multi-paramètre	22
1.Température	22
2.Conductivité	22
3.TDS	23
4. Salinité	23
II.2. analyse par pH-mètre	23
II.2.1.pH	23
II.3. analyse par turbidimètre	24
II.3.1. la turbidité	25
II.4. Analyse volumétriques	25
a. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)	26
b.Calcium	26
c.Matières En Suspension MES	27
d.Chlorures	27
e.Magnésium	27
II.3. Spectrophotomètre d'absorption moléculaire	27
a Nitrites (NO_3^-)	28
b. Nitrates (NO_2^-)	28
c. Phosphore	28
d.Sulfates (SO_4^{2-})	29
II.5. Méthodes d'interprétation des données chimiques	29
.Représentations graphiques	29
.Diagramme de Berkloff-Schoeller	29
. diagramme de Piper	29
Diagramme Stabler	29

Rapports caractéristiques	29
Le rapport Cl-/SO4	30
Le rapport Mg+2/Ca+2	30

CHAPITRE 3 :RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats physico-chimiques des eaux de Hammam Bou-hadjer	32
I.1. Températures	32
I.2. pH	33
I.3. Minéralisation et conductivité	34
I.4. paramètres physico-chiques	35
II. étude hydro-chimique	36
II.1. Diagramme de Piper	36
II.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff	38
II.3. Diagramme de Stabler	39
II.4. Anions et cations des sources échantillonnées	40
II.4. Rapports caractéristiques	42
Discussion	44
Conclusion	49
Références bibliographiques	51
Annexes	53

Liste des figures

Figure n°01: limites géographiques de la Wilaya de Ain temouchent.....	04
Figure n°02: Coupe schématisant les conditions d'alimentation des sources thermales de Hammam Bou-hadjer	11
Figure n°03: source thermale Skhoua ain bagra	18
Figure n°04 : source thermale gettare	19
Figure n°05 : source thermale hamda	19
Figure n°06 : source thermale petite phichi	20
Figure n°07 : source thermale aucune désignation	20
Figure n°08: Situation des points d'échantillonnages	21
Figure n°09: photo d'analyseur multi-paramètre	23
Figure n°10 : photo d'un pH-mètre	24
Figure n°11: photo d'un turbidimètre	25
Figure n°12 : photo de matériels pour l'analyse volumétrique	26
Figure n°13 : Photo d'un Spectrophotomètre d'absorption moléculaire	28
Figure n°14 : Représentation graphique des températures des sources échantillonnées	32
Figure n°15: Représentation graphique du pH des sources échantillonnées	33
Figure n°16: Représentation graphique de la conductivité et la minéralisation des sources échantillonnées	34
Figure n°17: Représentation graphique des paramètres physico-chimiques des sources échantillonnées	35
Figure n°18: Représentation graphique des paramètres physico-chimiques des sources échantillonnées	36
Figure n°19: diagramme de Piper des sources échantillonnées	37
Figure n°20: diagramme de Schoeller-Berkaloff des sources échantillonnées	38
Figure n°21: diagramme de Stabler des sources échantillonnées	39
Figure n°22: Représentation graphique des Anions et cations de source Skouna ain bagra.....	40
Figure n°23: Représentation graphique des Anions et cations de source Gettare.....	40
Figure N°24: Représentation graphique des Anions et cations de source Hamda.	40
Figure N°25: Représentation graphique des Anions et cations de source petite phichi.....	41
Figure N°26: Représentation graphique des Anions et cations de source aucune désignation.....	41

Liste des tableaux

Tableau N°1 : Situation géographique des sources échantillonnées	18
Tableau N°02: Classification des eaux en fonction de la température	33
Tableau N°03: Classification de la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité	34
Tableau N°04: Rapports caractéristiques des points échantillonnés	42

Liste des Acronymes et Abréviations

ADE	Algérienne Des Eaux
CE	Conductivité
MES	Matières En Suspension
MO	Matière Organique
PH	Potentiell Hydrogène
T°	Température
C°	Degré Celsius
TDS	Taux de Sels Dissous
M	Mètre
NTU	Unité Néphrélométrique de Turbidité
L/S	Litre par Seconde
%	Pourcentage
H	Heure
MRE	Ministère de Ressources en Eau

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les eaux thermales sont des eaux qui ont leurs origines dans les profondeurs de la Terre où la température est supérieure à la température moyenne des eaux de la nappe d'une région. En général, l'eau minérale naturelle est définie par l'article 2 du décret n°89.369 du 6 juin 1989 comme une eau possédant un ensemble de caractéristiques qui sont de nature de rapporter ses propriétés favorables à la santé (**source : l'article 2 du décret n°89.369 du 6 juin 1989, code de l'eau**). Parmi les nombreuses stations thermales qui existent en Algérie, huit seulement sont médicalisées, dont la source thermale de Hammam Bou-hadjer qui est une commune dans la wilaya d'Aïn Témouchent. L'établissement Hammam Bou-hadjer est devenu un haut lieu touristique, souvent proposé par des spécialistes du tourisme international comme « *Jumia-Travel* ». Elle compte une quarantaine de sources thermales (*source : article journal liberti , 2016 par ismael cabral kambell*).

Notre travail consiste à l'analyse hydro-chimiques de cinq sources chaudes de hammam bou-hadjer "Ain Hamda , skhouna ain bagra , gettare, petite phichi , aucune désignation ". L'étude de chimisme des eaux thermales apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes se produisant dans les systèmes d'aquifères. De comprendre mieux les échanges possibles entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par dissolution, altération des minéraux du réservoir et d'estimer leur origine. C'est dans ce but ce mémoire a été consacré.

Compte tenu des objectifs de notre travail, nous avons choisi de présenter ce document en trois chapitres:

Le premier sera consacré à une présentation générale de la région d'étude, les eaux thermales de Hammam Bouhadjer. Le deuxième chapitre sera consacré à la Méthodologie adopté, la description détaillée des principales sources thermo-minérales, et l'analyse physico-chimique. Le troisième chapitre sera consacré à la résultats et discussion.

CHAPITRE 1

CHAPITRE 1

Présentation des eaux thermales de Hammam Bou-hadjer

I. Description géographique de hammam Bou hadjar

I.1. Wilaya d'Ain Temouchent

La wilaya d'Aïn Témouchent est située dans la partie Nord-ouest d'Oranie, et elle est limitée à l'est par la wilaya d'Oran, au sud-est par la wilaya de Sidi-Bel-Abbès, au sud-ouest par celle de Tlemcen, et au nord-ouest par la mer Méditerranée qui la borde sur une distance de 80 km environ (Fig.1).

Le Chef lieu de la Wilaya est située à 483.6 km à l'Ouest de la capitale, Alger. La Wilaya s'étend sur une superficie de 2377km² (Plan d'aménagement de la commune de Bou hadjar, 2017). Au 31/12/2012, la population totale de la wilaya était de 562 482 habitants, soit une densité de 130 habitants par Km² et un taux de croissance de la population de 1.57%/an. (Source : A. Nationale, Rubrique Monographie Wilaya de Skikda, 2011).

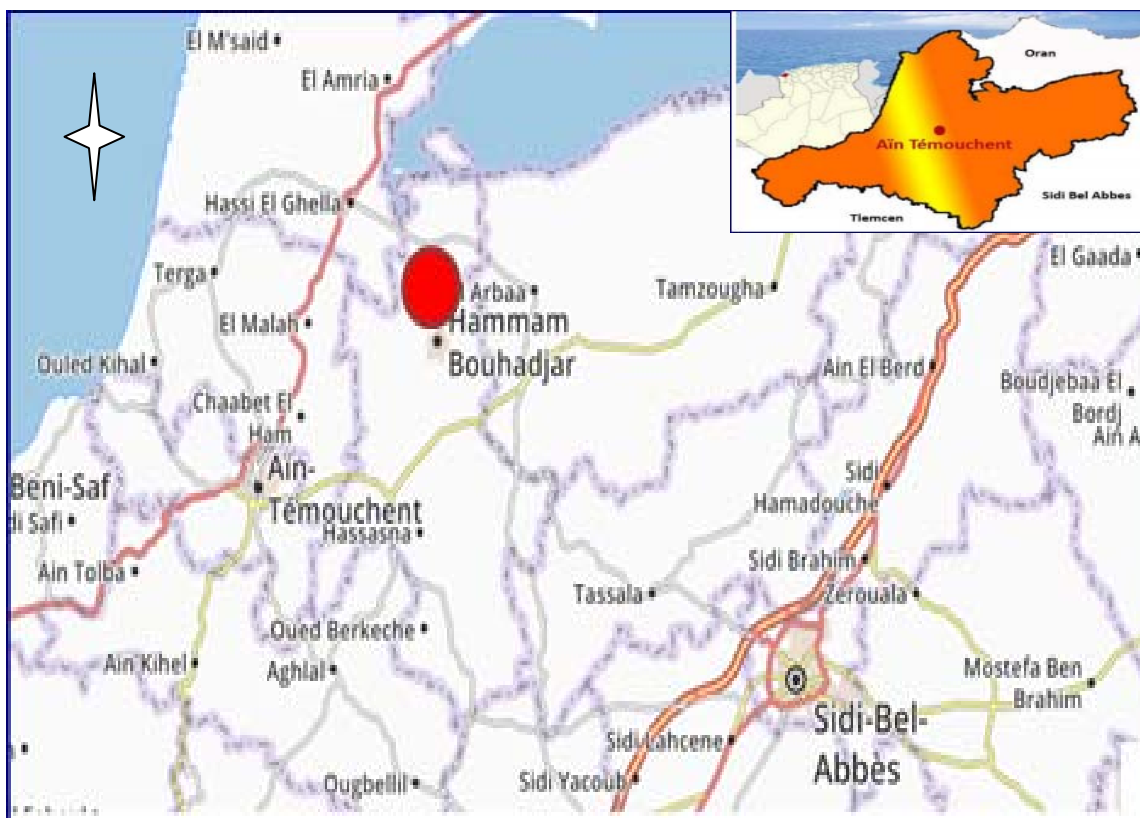


Figure N°01 : limites géographiques de la Wilaya de Ain temouchent (Source : Agence Nationale de Développement de l'Investissement, www.andi.dz)

I.2. Commune Bou-hadjer

I.2.1. Présentation de la commune

Hamam Bou-Hadjer est une commune dans la wilaya d'Aïn Témouchent. Elle abrite une station thermale très réputée en Algérie.

I.2.2. Hamam Bou-hadjer

Hamam Bouhadjar (**Fig.1**) est situé 21 Km de la ville d'Aïn Témouchent, s'élève sur une altitude de 150 mètres et s'étend au milieu des vignobles et d'oliviers sur une superficie de 603 240 m². La station thermale est mise en exploitation en 1974, n y dénombre une quarantaine de sources en majorité chaudes, entre 35 et 75°C. Les eaux chaudes et sulfureuses jaillissent des entrailles de la roche appelées «Dracones». Les indications thérapeutiques principales sont les rhumatismes et les séquelles de traumatismes ostéoarticulaires qui regroupent 85% des curistes. La Qualité de ses eaux est une Eau Chlorurée Sodique (70 ° C).

II. généralités sur les eaux thermales

Une eau thermale est tout d'abord une eau minérale naturelle à une température élevée, c'est-à-dire une eau possédant un ensemble de caractéristiques qui sont de nature à lui apporter des propriétés favorables à la santé. Une eau minérale naturelle est différent d'une eau de source n'est pas tenue d'être naturellement potable. Elle contient des minéraux, des sels, de gaz et des boues, et il est susceptible d'agir efficacement sur la santé (**Sanders, 2013**). Une eau minérale naturelle se distingue nettement des autres eaux destinées à la consommation humaine par sa nature (teneur en minéraux, oligo-éléments ou autres constituants), par ses effets et par sa pureté originelle, ces caractéristiques ayant été conservées intactes en raison de l'origine souterraine de cette eau ainsi tenue à l'abri de tout risque de pollution. L'eau minérale naturelle provient d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, et témoigne dans le cadre des fluctuations naturelles connues, d'une stabilité de ses caractéristiques essentielles, notamment de composition et de température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée (**Décret n° 89-369, 6 juin 1989, art.2, code de l'eau**).

Une eau thermale est, par définition, une eau minérale chaude. Dans le langage courant, on appelle « eau thermale » toute eau minérale dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée au sein d'un établissement thermal (**Sanders, 2013**). L'étude des textes régissant le domaine des eaux minérales montre qu'ils sont nombreux et variés, souvent anciens, parfois techniquement obsolètes et qu'ils ont des bases juridiques remontant dans certains cas au XIXème siècle : ordonnance royale du 18 juin- 1823 portant règlement sur la police des eaux minérales et

décret du 28 janvier 1860 portant règlement d'administration publique relatif à la surveillance des sources et des établissements d'eaux minérales naturelles notamment. Ajoutons que la transposition en droit française de la directive européenne 80/777/CEE du 15 juillet 1980 modifiée par la directive 96/70/CE du 28 octobre 1996. Il n'existe pas de définition simple et complète des eaux thermo-minérales car le terme recouvre des notions complexes. Plusieurs caractères les différencient des eaux souterraines ordinaires : leur température, leur minéralisation et leur action thérapeutique, mais ces caractères peuvent ne pas se présenter simultanément.

II.1. Les propriétés d'une eau thermale

Toutes les eaux thermales contiennent trois éléments de base les bicarbonates, les sulfates, et les chlorures :

- Les bicarbonates proviennent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanations du magma profond.
- Les sulfates sont issus du lessivage de gisements salifères (gypse) d'âge secondaire ou tertiaire.
- Les chlorures sont abondants dans les dépôts d'évaporites, le plus connu étant le chlorure de sodium (sel de cuisine).

Ces trois éléments de base sont associés avec du calcium, du magnésium et du sodium et du potassium. Mais il existe un grand nombre d'éléments mineurs qui font la particularité de chaque eau Brome, Iode, Fluor, Lithium, Strontium, Baryum, Silicium et des éléments sous forme de traces (oligo-éléments) Fer, Manganèse, Cuivre, Vanadium, Arsenic, Molybdène, Sélénium, ainsi que des éléments radioactifs. Tous ces éléments secondaires jouent un rôle capital dans le cycle des réactions biochimiques de l'organisme humain. Les dégagements gazeux provenant des zones profondes facilitent la remontée des eaux, les gaz sont en relation avec le magma, le volcanisme et les zones faillées. Le gaz carbonique est le plus fréquent, avec des traces d'azote, hélium, d'argon et de radon. Le dégagement du gaz carbonique provoque en surface des dépôts spectaculaires de bicarbonates comme les fontaines incrustées ou pétrifiantes (**Fourmarier, 1958**).

Les eaux thermales sont riches en minéraux, elles présentent des propriétés différentes en fonction de la localisation de leur source. Les caractéristiques chimiques des eaux permettent de les différencier :

- **Eau sulfurée ou sulfatée**: eau riche en soufre utilisée pour le traitement des voies respiratoires et des problèmes de peau.

Les eaux sulfurées constituent une catégorie d'eau ayant d'importantes propriétés dans le traitement des voies respiratoires. La composition chimique mal connue jusqu'à présent, les eaux sulfurées ont la particularité d'avoir un élément chimique le soufre sous plusieurs états différents d'oxydation. Depuis la forme la plus oxydée: (H_2S) , (HS) , $(\text{S})_2$, (RS) (R est un radical organique), polysulfures $(\text{HS})_n$ -, $(\text{S}_n)_2$, soufre élémentaire (S8), thiosulfates $(\text{S}_2\text{O}_3)_2$, sulfates $(\text{SO}_4)_2$. (**Fourmarier, 1958**).

Les eaux sulfurées ont un potentiel redox très négatif conduisant à une réactivité importante et à la coexistence d'espèces oxydées et réduites. Ces eaux sont instables et se combinent facilement avec oxygène. Elles peuvent aussi former sous l'action de la lumière soit du soufre élémentaire insoluble (S8) apparaissant comme des particules jaunes dans les piscines thermales, soit avec l'oxygène de l'air des sulfates. En présence de composés organiques les sulfures forment des mercaptans qui sont souvent odorants. Les teneurs en sulfures (exprimées en (H_2S) - (H_2s) + (HS) - + $(\text{S})_2$ - en milli mole/litre-mm/L) s'échelonnent entre 0,01 Mm/ L. (Respectivement 0,3 mg /L) pour les moins sulfurées à 4,3Mm/L (150 mg/L) pour les plus sulfurées. Des teneurs en sulfures inférieures à 0,01 m M/L ne sont pas caractéristiques d'eaux sulfurées mais résultent essentiellement d'une réduction accidentelle de sulfates en sulfures par voie microbienne et non chimique. La répartition entre les formes réduites est fonction du pH de l'eau: en milieu alcalin, les espèces (HS) - et (S) prédominent sur (H_2S) tandis qu'en milieu neutre (H_2S) et (HS) sont prépondérants ce qui explique leur odeur d'œuf pourris dans les piscines. Les eaux sulfurées se répartissent en deux sous-catégories : Les eaux sulfurées sodiques et Les eaux sulfurées calciques (**Fourmarier, 1958**).

Les eaux sulfatés $(\text{SO}_4)_2$ combinés au calcium et au magnésium provenant de la dissolution du gypse des couches géologiques profondes ; Selon leurs proportions de calcium/sodium/magnésium, ces eaux sont appelées eaux sulfatées calcique, sodique (rare en France) ou a mixtes lorsqu'elles contiennent des proportions non négligeables de sulfate et de chlorure de sodium. La solubilité du sulfate de calcium dépend de la température passe par un maximum à 38°C. Elles contiennent le plus souvent du magnésium avec des quantités parfois importantes de strontium naturel (jusqu'à 10 mg/L). Dans cette catégorie on rencontre les eaux de Vittel, Contrexéville, Dax exploitées pour les troubles urinaires et les maladies métaboliques.

□ **Eau chlorurée**: eau chargée en chlorure de sodium préconisée pour favoriser la croissance. Elles contiennent un ion dominant, les chlorures (Cl) combinés au sodium. Ces eaux ne sont jamais embouteillées. Elles sont principalement exploitées en rhumatologie dans les

établissements thermaux en raison de leur température optimale et d'une densité plus importante que les eaux de distribution publique. Il existe deux sous-catégories (**Fourmarier, 1958**) :

- Les eaux chlorurées sodiques froides et très minéralisées ; ces eaux résultent de la dissolution naturelle dans le sous-sol de chlorure de sodium (halite), les teneurs pouvant atteindre la saturation (300g/L). Elles sont très corrosives vis-à-vis des installations métalliques et en sont généralement jamais utilisées en bains ou douches à l'état pur.
- Les eaux chlorurées sodiques chaudes et moyennement minéralisées leur minéralisation totale est généralement inférieure à quelques grammes par litre mais ces eaux sont corrosives vis-à-vis des installations métalliques.
- **Eau bicarbonatée** : eau contenant un taux de bicarbonate, pour les affections gastrointestinales et dermatologique.

Toute eau souterraine généralement des hydrogénocarbonates (bicarbonates) (HCO_3^-)- de sodium associés à du CO_2 en quantité plus ou moins importante; on pourrait le dénommer « eaux bicarbonatées » mais le CO_2 libre leur confère des propriétés spécifiques qui justifient ainsi de les classer dans une catégorie particulière (**Fourmarier, 1958**).

Il faut donc que le taux de dioxyde de carbone soit au moins supérieur à 250 mg/litre pour être une eau minérale naturellement supérieure à 1g/L en (HCO_3^-). Il convient de faire une distinction entre les équilibrées celles qui ne le sont pas en raison des teneurs en CO_2 libre et CO_2 lié (c'est l'équilibre calco- carbonique). Si l'impact de la répartition du CO_2 libre entre CO_2 incrustant, le CO_2 équilibrant et le CO_2 agressif est important pour les installations et les canalisations (précipités de fer, de carbonate de calcium dans les piscines et catégorie dans une particulière baignoire, corrosions diverses des tuyaux), il ne semble pas que son rôle soit important sur l'efficacité médicale. Le pH de ces eaux est généralement faible (5,5- 6,5) et l'anion dominant est généralement du sodium à des teneurs supérieures à 1g/L et plus rarement du calcium (**Fourmarier, 1958**).

- **Eaux peu minéralisées** : Ce sont des eaux faiblement minéralisées (minéralisation inférieures à 500mg/L) et sans élément spécifique permettant de les classer dans une des familles précédentes.

Ce sont souvent des eaux peu minéralisées, parfois très faiblement minéralisées contenant quelques dizaines de milligrammes par litre d'hydrogénocarbonate de calcium et parfois de magnésium. Dans cette catégorie on trouve les eaux oligo-minérales. La présence d'éléments traces comme le cuivre, l'arsenic le sélénium, le zinc ou le vanadium à des teneurs

d'absorption atomique, et de nos jours, de masse maintenant couplée à une torche à plasma; il est difficile d'attribuer une activité thérapeutique à des éléments traces contenus dans l'eau à des teneurs de l'ordre du microgramme par litre (**Launay, 1899**).

□ **Eaux ferrugineuses** : Il ne s'agit pas à proprement parler d'une catégorie spécifique puisque le fer dissous (de l'ordre du milligramme par litre) n'est jamais l'élément prépondérant.

Le fer et le manganèse sont toujours associés à un autre élément (des bicarbonates), le fer et le manganèse sont toujours associés à un autre élément (bicarbonates), quelquefois plusieurs ions comme les chlorures et les sulfates de sodium et de calcium des catégories précédentes ainsi que souvent du CO₂ en quantité importante. Le fer pourrait constituer une sous-catégorie d'eaux énumérées précédemment, à l'image des eaux ayant des traces de sulfures qui n'en sont pas réellement. Le fer soluble est présent sous forme de (Fe)²⁺ à des teneurs comprises entre 0,5 et 20 mg/L, ces eaux sont en général des eaux d'origine profonde, pauvres en oxygène et comportant également du manganèse soluble sous la forme (Mn)²⁺ (**Launay, 1899**).

En présence d'oxygène consécutif à une aération de l'eau durant le transport, le stockage ou les thermes dans une baignoire ou piscine, ces éléments sont oxydés le cas échéant en (Fe)³⁺ ou en (Mn)⁴⁺ et précipitent sous forme hydroxyde ou de carbonate de fer (**Launay, 1899**).

II.2. Mode d'émergence

Une source habituelle résulte, en principe, du suintement de filets d'eau souterraine, emmagasinés dans les parties meubles superficielles du sol, drainé par une strate perméable, ou recueillie dans un système de fissures ouvertes, et venant apparaître au jour, soit à la rencontre de la nappe générale d'infiltration, avec la surface topographique, soit, au-dessus de cette nappe, sur l'affleurement de quelque couche étanche, qu'aura interrompu la descente des eaux. Elle présente donc, le plus souvent, une émergence en rapport avec la nature et la stratification des terrains et sort de terre, par le jeu de la gravité, sans force ascensionnelle extraordinaire. Au contraire, une source thermale naturelle (c'est-à-dire qui n'a pas été obtenue par puits ou par sondage) apparaît, presque toujours, brusquement et avec un débit souvent considérable, en un point que la nature des strates encaissantes ne désignait point, d'abord, pour donner naissance à des suintements d'eau, mais où une observation géologique plus attentive fait reconnaître la présence d'une faille, d'un filon, d'un pli très accentué, en un mot d'une fracture verticale profonde et relativement large, par laquelle l'eau, emmagasinée

souterrainement sous pression, remonte au jour rapidement, à l'improviste. Son émergence est donc ordinairement indépendante de la stratification et ascendante. **Donc** ; la source ordinaire étant comparée grossièrement à une couche sédimentaire, la source thermale pourrait être assimilée à un filon (**Launay, 1899**).

II.3. Haute température

Après le mode d'émergence, le caractère le plus généralement remarquable des sources thermales est leur haute température ; c'est même de beaucoup celui qui a le plus contribué à attirer l'attention sur elles et à les faire employer pour le traitement des maladies les plus diverses, à une époque ancienne où l'on ne pouvait soupçonner leur mode d'action réel. En principe, une source est dite thermale, quand sa température dépasse celle de la zone de température constante, située elle-même environ à 20 ou 30 m de profondeur dans le sol (**Launay, 1899**).

Étant donné l'origine artésienne que nous attribuerons bientôt aux sources thermales et, par suite, leur communauté complète d'origine avec les sources ordinaires, ce qui, serait d'ailleurs difficile et rien n'étant moins bien défini que cette zone dite de température constante, dont la position dépend, en réalité, d'une foule de circonstances locales. Ce qu'il est important de rappeler, c'est que, d'un point à l'autre du globe, la température normale et constante du sol peut varier de plus de 30 °C, en sorte que, pour classer une source dans les sources thermales ou dans les sources ordinaires, il sera indispensable de connaître, au moins, la position géographique et l'altitude de son émergence. Ici encore pourtant, on doit noter l'existence de toute une série de sources, employées comme sources minérales malgré leur température très basse : ce sont généralement celles qui se trouvent fortement minéralisées par une circonstance accidentelle, tenant à l'existence de sels solubles ou de gaz dans les terrains. Enfin, sauf l'exception précédente, la minéralisation, presque toujours élevée, des sources thermales semble, en relation avec leur température et, par suite, avec la profondeur jusqu'à laquelle les eaux ont pénétré (**Launay, 1899**).

III. Thermalisme à Hammam Bou-Hadjer

Le thermalisme de Hammam Bou-hdjer se manifeste par des sources localisées au niveau des fissures c'est-à-dire dans l'axe de ces ouvertures et/ou au niveau des flancs de celle-ci. Ces travertins ont été « construits » déposés par les écoulements de ces sources chaudes (thermo minérales) chargées de carbonates en liaison avec les fractures et les failles affectant la région (sources : station thermale de Hammam Bou-hadger, 2013). (Fig. n°2).

Autour de la station thermale, ces murailles de travertins (de direction N 175) donnent l'impression de dessiner une forme de fer à cheval, long de 800 m sur 6 à 10m d'épaisseur. Au Nord les deux terminaisons sont surélevées et peuvent atteindre 15m, tandis qu'au Sud le relief diminue pour donner un plateau travertineux (Semghouni, 2013).

Les fentes de tension de la région d'étude dessinent cartographiquement des fractures ouvertes disposées N 170 le long desquelles ont précipités les dépôts travertineux issues de la dissolution et la cristallisation des éléments géochimiques ramenés par les eaux chaudes à partir des profondeurs. La disposition de ces fentes et les fibres de cristallisation de croissance qui les remplissent, permettent de dire que les failles de type R qui affectent la région ont eu un jeu dextre (Semghouni, 2013).

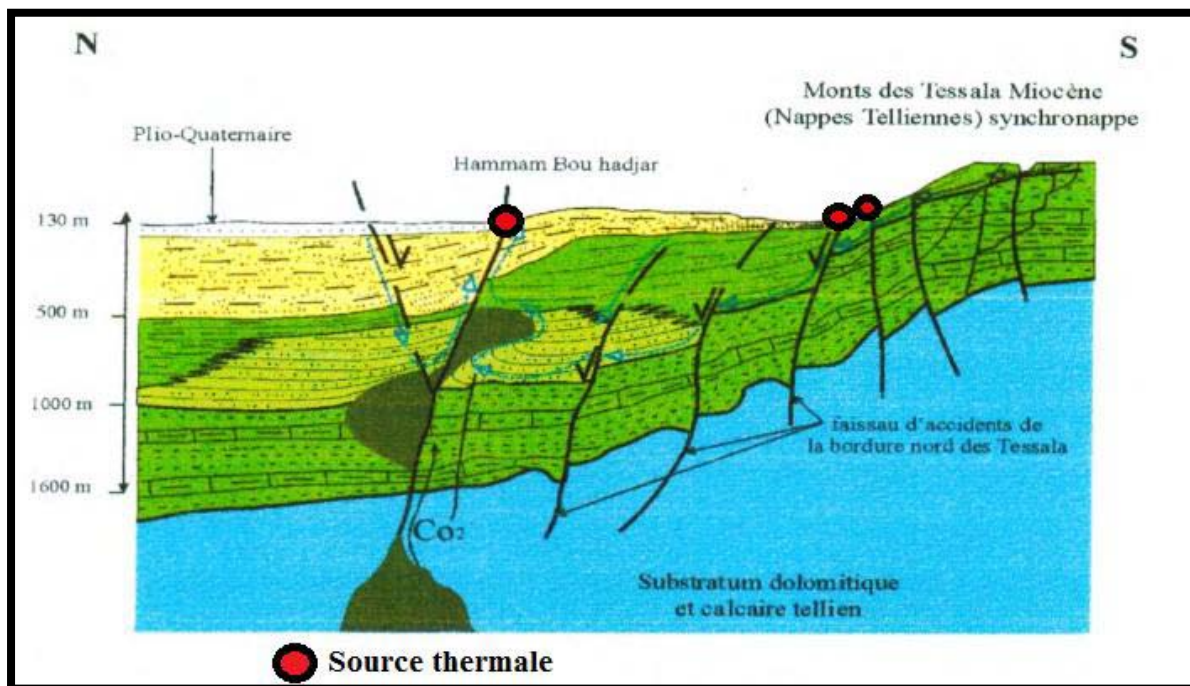


Figure N°02: Coupe schématisant les conditions d'alimentation des sources thermales de Hammam Bou-hadjer (Craag, 2005)

III.1. Cadre géologique de hammam Bou-Hadjer

Les manifestations thermales qui s'expriment en surface par des sources à débit faible, sont disséminées en plusieurs points le long de la bordure sud du bassin de la M'leta, dont l'orientation générale NE-SW, calque de façon remarquable la limite Nord des Monts des Tessala qui se divise en plusieurs unités structurales tectoniquement superposées au-dessus desquelles reposent, en discordance, d'épaisses accumulations post-nappes, datant de la

période récente allant de la fin du Miocène au Quaternaire (Serravallien terminal à l'actuel). Le thermalisme de la région de Hammam Bouhdjar est localisé dans l'étroite dépression dessinant la plaine de la M'léta, connue pour être un espace « géologiquement effondré », ménagé, après la mise en place des nappes telliennes, entre les massifs littoraux oranais, au Nord, et les monts des Tessala, au Sud. Son histoire est intimement liée aux structures tectoniques post-nappes (failles essentiellement et volcanisme accessoirement), responsables des effondrements néogènes qui caractérisent cette région (**Djellit, CRAAG, 2013**).

De façon schématique, cet édifice montre de bas en haut dans la région de Hammam Bouhdjar:

- Un substratum tellien du Jurassique/Crétacé, d'affinité africaine, pouvant atteindre localement le Miocène anté-nappe ;
- Un ensemble hétérogène allochtone, composé de Marnes du Miocène emprisonnant çà et là, des blocs isolés et/ou en forme d'écaillés plus ou moins continues provenant, pour l'essentiel, de la dilacération des nappes de glissement, issues du domaine tellien.
- les dépôts post-nappes du Néogène (**Serravallien terminal à l'actuel**).

III.2. Volcanisme de la région de Hammam Bou-Hadjer

Le réservoir aquifère important de la région est incontestablement soit le substratum parautochtone tellien, compte tenu de sa nature calcaro-dolomitique ; soit les lentilles gréseuses et/ou calcareuses situées dans les unités allochtones telliennes sus-jacentes. Il est important de signaler que les unités visibles sur l'édifice, les nappes ou les dépôts néogènes qui les recouvrent sont traversés par des corps volcaniques dont les dernières venues. Il s'agit d'un volcanisme d'âge Néogène caractérisé par la coexistence de deux types de laves (acides et basiques). Un épisode de subduction évoluant progressivement vers des conditions de volcanisme intra plaque, suggérant une percolation des magmas, guidée par des fractures tectoniques. Une partie du volcanisme oranais peut être considéré comme un volcanisme fissurai qui se serait mis en place le long d'accidents profonds (**Louni-Hacini et al, 1995**).

III.3. Tectonique de la région de Hammam Bou-Hadjer

L'élément structural majeur est représenté par la faille NNE-SSW qui longe la bordure Est du Bled Megane visible à proximité de l'Oued El Melah. Cette faille divise la région en deux compartiments structuraux:

- a) à l'Est le compartiment structural soulevé du Bled el Megane.

b) à l'Ouest celui du Hammam Bouhdjar effondré et traversé par un sous-système de failles connectées à la faille principal.

Les jeux déterminés à partir des marqueurs structuraux de la déformation visibles à proximité du village de Hammam Bou-hdjar et le long du piémont Nord des Monts du Tessala, sont clairs et expriment des transports dextres avec effondrement relatifs des blocs les uns par rapport aux autres arguments microtectoniques prouvant l'existence des failles NE-SW ; on distinguent :

III.3.1. Faille de l'Oued et Melah

Un certain nombre d'argument ont été déjà présenté par Fenet (1975) concernant l'existence de cette faille. Le compartiment occidentale de la faille est constitué de terrain allant du Jurassique au Bled Kerroulis jusqu'au Miocène, avec dans le détail des représentant du créacé et localement à la base, quelques témoins du Trias. Par opposition aux séries du compartiment oriental qui ne présente ici que les termes superficiels du Néogène (Miocène à Quaternaire). En fait la faille juxtapose côte à côte des séries anciennes avec des séries plus récente. Cette observation est suffit pour déduire que la faille à provoquer un important effondrement du compartiment oriental (**Fenet, 1975**).

III.3.2. Failles de Hammam Bou-hdjar

Le système de failles qui découpent le secteur de Hammam Bouhdjar constitue un cas d'école. Le « fer à cheval » cartographique fabriqué par les dépôts des travertins le long de fractures ou vertes par lesquelles giclent les eaux chaudes thermales correspond en fait à des fentes tectoniques. En fait, les dépôts de travertins continuent plus au Sud du « fer à cheval ». Leur examen détaillé permet de reconnaître de part et d'autre d'un accident dirigé N40, la région du fer à cheval au NW, et une seconde région, riche en sources chaudes disposée au SE de l'accident.

III.4. lithologique des différents ensembles de la région de Hammam Bou-Hadjer

Trois grandes unités stratigraphiques. Il s'agit de bas en haut de:

- a) Du substratum tellien (Jurassique à Crétacé) paraautochtone.
- b) De l'unité des nappes telliennes, essentiellement marno-gréseuse, mais pouvant contenir quelques rares intercalations d'épaisseur réduite de bancs calcaires (5 à 10m d'extension verticale) susceptibles d'être le siège de petits aquifères de dimensions réduites.

Les nappes telliennes qui occupent le centre du bassin de la M'leta correspondent aux séries allant du Vraconien à l'Oligocène. Elles sont représentées par deux unités. La première du

Vracono-Sénonien a une épaisseur d'environ 500 m et la seconde du Sénono-Oligocène a environ 500m d'extension verticale. Ces nappes ont glissé de façon gravitaire au cours du Miocène pour venir s'intercaler à l'intérieur des dépôts de même âge qui s'accumulaient à cette époque dans ces secteurs. En somme, l'épaisseur totale du matériel allochtone qui compose ces nappes et celui qui s'est déposé pendant le Miocène (environ 250 m), au moment de leur glissement, avoisine les 1200m.

c) De l'unité des dépôts post-nappe (environ 500 m).

A ces grandes unités stratigraphiques et structurales, s'ajoutent d'importants corps magmatiques dont les modalités d'affleurements et la géométrie, montrent qu'il s'agit d'un volcanisme en partie fissural qui s'est mis en place le long de grandes failles (**Louni-Hacini et al. 1995 ; Megartsi 1985 ; Fenet 1975; Guardia, 1975; Maury et al 2000**).

Le champ d'alimentation, ou aquifère principal, des sources chaudes de Hammam Bou-hadger ne peut s'effectuer qu'à partir de l'unité la plus basse située à environ 1500 m (plus ou moins 100m), où comme nous l'avions signalé précédemment la nature sédimentologique, calcaires et dolomies, s'y prête bien à de grandes accumulations de réservoirs aquifères. Ou à partir d'aquifère de dimension moindre (piégeage dans des lentilles) situés dans les unités telliennes allochtones (**Semghouni, 2013**).

III.5. Hydrogéologie de la région de Hammam Bou-Hadger

L'analyse des séries lithologiques, nous permette de déterminer deux grands ensembles:

- a) Le substratum tellien (Jurassique à Crétacé) parautochtone dont la nature calcaire et dolomie, définit un réservoir potentiel très important.
- b) l'unité des dépôts post-nappe (environ 500 m), dont les potentialités en aquifères sont négligeables et de toutes les manières sont suffisamment situées en surface, donc froides, pour être la source des manifestations des sources chaudes connues dans le secteur.

La présence de verres volcaniques (très nombreux le long de la route joignant Chentouf à Ain Témouchent) qui démontrent que l'activité volcanique dans ces secteurs s'est manifesté par des épanchements de surface dont les centres d'émissions n'étaient pas très éloignés de l'endroit où émergent actuellement les sources thermales. Les failles visibles dans l'axe de la dépression sont situées à l'aplomb des sources thermales de Hammam Bou-hadger se prolongent vers l'W à SW en direction des grands affleurements des corps volcaniques d'Ain Témouchent. La géométrie des corps volcaniques de petites taille qui soulignent ces failles entre Hammam Bou-hadger et Ain Témouchent, assurant la liaison entre les structures des

deux localités, ne laisse aucun doute quant aux relations qui existent entre le réchauffement des eaux, les failles et la présence d'apophyses volcaniques connectées à des chambres magmatiques chaudes piégées en profondeur (**Semghouni, 2013**).

CHAPITRE 2

Méthodologie adopté

I. Qualité hydro-chimique des eaux thermales

L'hydrochimie des eaux thermales est l'étude des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau. L'interprétation des résultats des analyses des eaux nous permet de déterminer l'origine de ces eaux et de détecter une éventuelle contamination.

Pour atteindre cet objectif, nous allons étudier dans ce chapitre les méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques des eaux échantillonnées. Ensuite, nous allons déterminer les faciès chimiques de ces eaux thermales afin de déterminer la qualité de cette eau pour une utilisation appropriée.

II. Analyse de la qualité hydro-chimique des eaux thermales de hammam bou-Hadjer

II.1. Mode d'échantillonnage

L'analyse physico-chimique a concerné cinq sources situées sur la nappe de la commune de hammam bou-hadjer. Les points de prélèvement couvrent l'ensemble des sources avec une fréquence de 5 échantillons effectué le 20/01/2020.

Les prélèvements ont été effectués sur des sources déjà existants dans la commune et appartenant à la une station thermale.

Pour localiser les coordonnées géographiques de chaque source, on a utilisé le système GPS.

Tableau N°1 : Situation géographique des sources échantillonnées

Source	date	Heure	Latitude	Longitude
<i>Skhouna ain bagra</i>	20/01/2020	10h38	35.362335	-0.969909
<i>Gettare</i>	20/01/2020	11h10	35.369483	-0.965720
<i>Hamda</i>	20/01/2020	11h23	35.366056	-0.965341
<i>Petite Phichi</i>	20/01/2020	12h05	35.376656	-0.965525
<i>Aucune designation</i>	20/01/2020	12h45	35.368096	-0.965354

Actuellement, La région de hammam bou-hadjer compte cinq sources dans lesquelles nous avons effectué l'échantillonnage :

a. Source thermale numéro 01 : Skhouna ain bagra

Se trouve au sud-ouest de station de hammam bouhdjar



Figure N°03: source thermale Skhouna ain bagra (Cliché original : doukani , 2020)

b. Source thermale numéro 02 : Gettare

Se trouve au sud de la station de hammam bouhdjar



Figure N°04 : source thermale gettare (Cliché original : doukani , 2020)

c. Source thermale numéro 03 : Hamda

Se trouve au sud-ouest de la station de hammam bouhdjar



Figure N°05 : source thermale hamda (Cliché original : doukani , 2020)

d. Source thermale numéro 04 : Petite Phichi

"Petit Vichy", jardin qui connaît chaque jour de nombreux visiteurs et enfin la petite forêt du Keroulis, située sur les hauteurs des terres d'Aurés El Meida (petit village à proximité de Hammam Bouhadjar), qui offre un magnifique panorama. En parcourant la région, l'on découvre de beaux paysages dont la large muraille naturelle, vraisemblablement d'origine volcanique, en forme de fer à cheval et longue d'environ 3 km au sud du centre de Hammam Bou-hadjer.



Figure N°06 : source thermale petite phichi (Cliché original : doukani , 2020)

e. Source thermale numéro 05 : aucune désignation

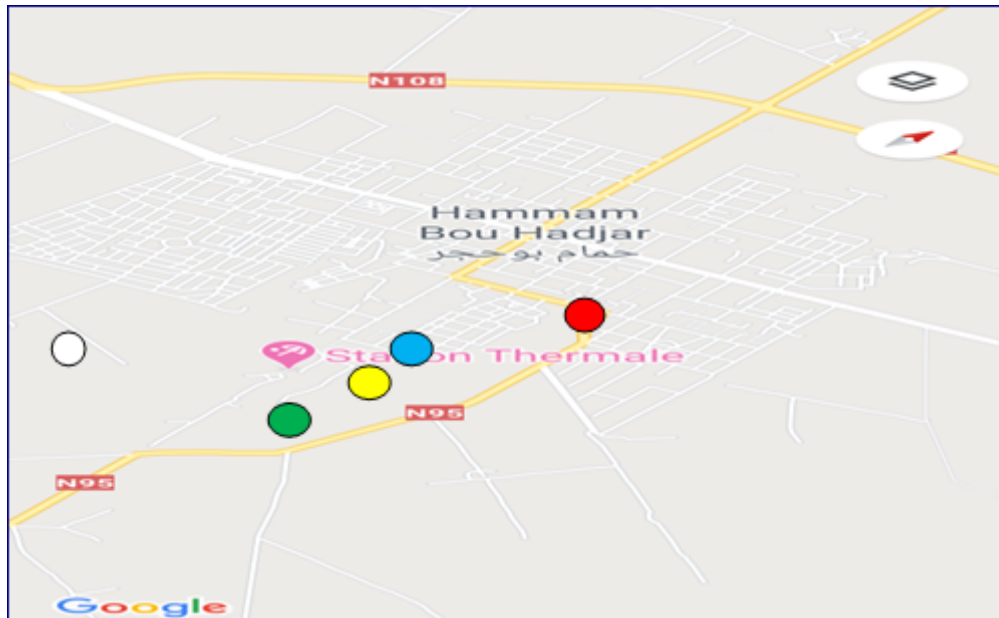
Se trouve au sud de la station de hammam bouhdjar



Figure N°07 : source thermale aucune désignation (Cliché original : doukani , 2020)

II. Localisation des puits échantillonnés

Le cartogramme suivant, nous montre la localisation des sources étudiées en fonction de l'altitude.



- | | | |
|--------------------|-----------------|----------------------|
| ○ skouna ain bagra | ● hamda | ● aucune désignation |
| ● gettare | ● petite phichi | |

Figure N°08: Situation des points d'échantillonnages

II.2. Mode d'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée (**Rodier, 2009**). Pour le matériel de prélèvement, on a utilisé des bouteilles en plastique d'un litre et demi.

Au moment du prélèvement des échantillons, les bouteilles sont de nouveau rincées trois fois avec l'eau à analyser puis remplies jusqu'au bord et enfin fermées de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air. Les échantillons ainsi recueillis ont été transportés au laboratoire d'analyse de l'ADE (Algérienne des eaux) de Wilaya de sidi bel abbès.

Pour faciliter le travail de l'analyse et l'exploitation des résultats, chaque bouteille a été accompagnée d'une étiquette portant le numéro de la source, la date, l'heure et le lieu du prélèvement.

II. Technique d'analyses physico-chimique

II.1. analyse par multi-paramètre

Les analyseurs multiparamétriques de l'eau sont des appareils qui intègrent plusieurs variables dans le processus d'analyses. Ces appareils peuvent analyser différentes grandeurs. Ils servent généralement dans l'analyse de la qualité de l'eau et sont très pratiques lors des analyses sur terrain. Ils permettent en effet de ne pas s'encombrer avec différentes sortes d'appareils de mesure. Ils font par exemple office de conductimètre et de TDS-mètre ou en d'autres combinaisons de paramètres.

1. Température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usages. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment) de plus en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu. Il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ ; les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

2. Conductivité

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm . Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ).

$$\gamma = 1/\rho = (1/R). (L/S)$$

γ : conductivité (en $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ou $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$).

ρ : résistivité (en $\Omega \cdot \text{m}$).

R : résistance (en Ω).

L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m^2)



Figure N°09: photo d'analyseur multi-paramètre (source : Taibi, 2019)

3. TDS

Le TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions. Des cations sont des ions chargés positivement et des anions sont des ions chargés négativement (Rodier, 2009).

4. Salinité

La salinité est le poids en grammes de résidu solide contenu dans un kilogramme d'eau de mer quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, le brome et l'iode remplacés par le chlore, et que toute la matière organique a été complètement oxydée (Rodier, 2009).

II.2. analyse par pH-mètre

Le pH-mètre est un appareil permettant de mesurer le pH d'une solution. Il est constitué de trois éléments : une électrode qui mesure le ph et une autre qui mesure la température et un

II.2.1.pH

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de

celle-ci. Selon l'expression de NERNST, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ . boîtier électronique qui affiche ces valeurs.

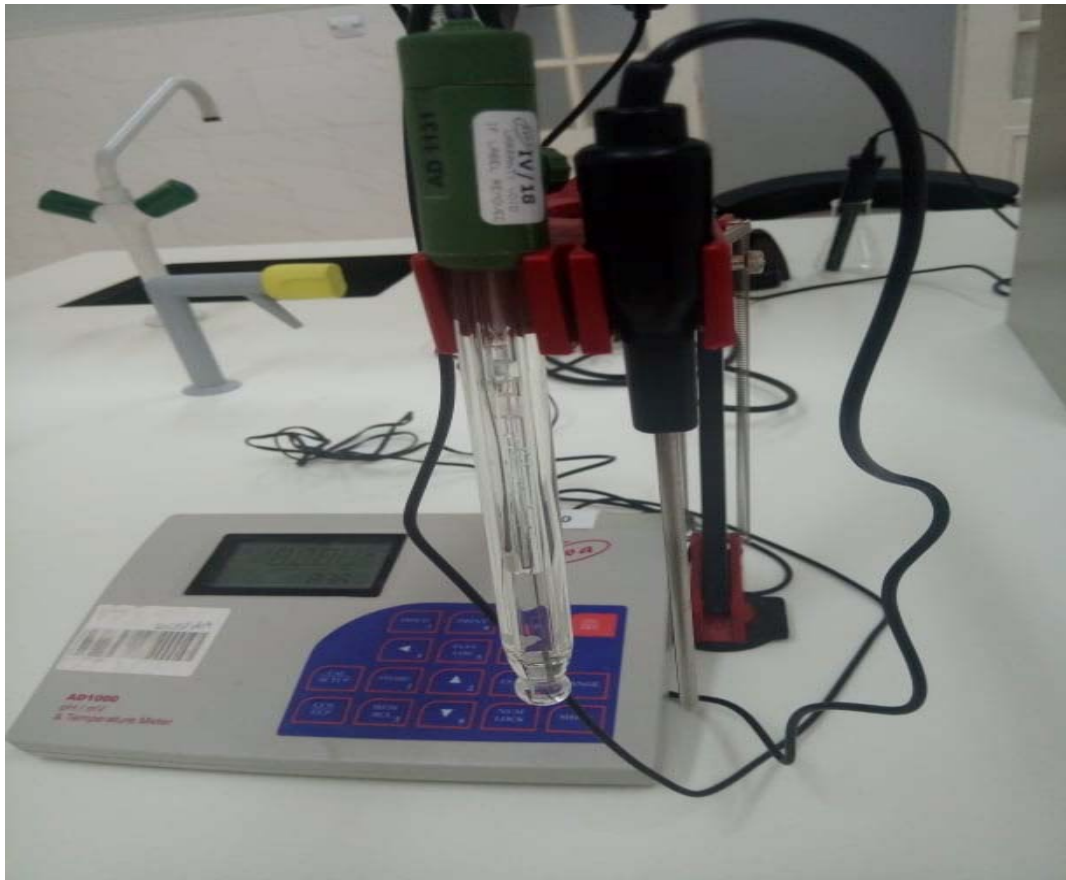


Figure N°10 : photo d'un pH-mètre (taibi, 2019)

II.3. analyse par turbidimètre

Les turbidimètres de la série TL23, HACH®, allient fonctionnalités améliorées et technologie reconnue, afin de simplifier les procédures de test en applications industrielle et d'eaux usées les plus exigeants. Ce matériel de laboratoire garantit des mesures stables et fiables par une capture des relevés de turbidité dès l'identification d'un échantillon stable. Cette étape de qualité élimine la notion de subjectivité et le besoin de mesures répétitives. Equipés d'un grand écran tactile couleur et d'une interface intuitive, la configuration, l'étalonnage et les mesures sont rapides. L'exportation des données est aisée grâce au port USB. L'identification des échantillons assure la traçabilité. Les turbidimètres de la série TL23, HACH®, possèdent une fonctionnalité d'autodiagnostic, permettant de procéder à l'assurance qualité.

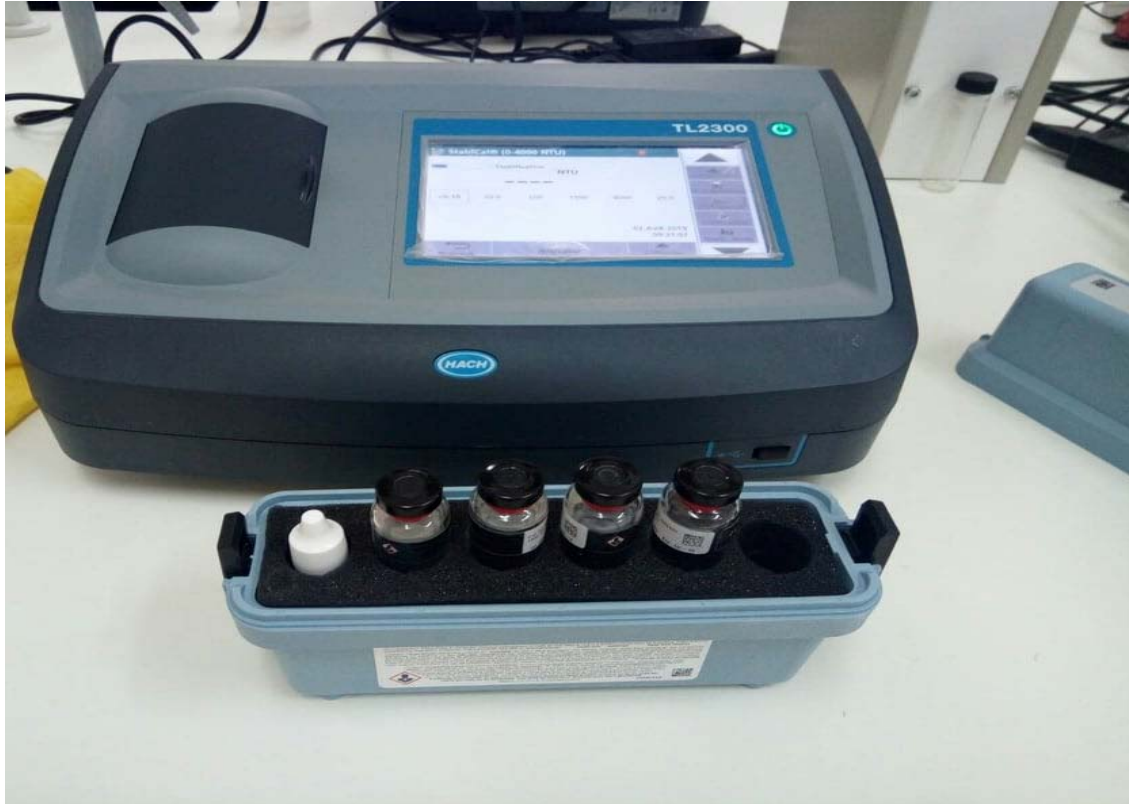


Figure N°11: photo d'un turbidimètre (taibi, 2019)

II.3.1. la turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (uTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau.

II.4. Analyse volumétriques

Le principe de l'analyse volumétrique se concerne l'utilisation des méthodes et des réactifs pour estimer la teneur des éléments chimiques.



Figure N°12 : photo de matériels pour l'analyse volumétrique (Taibi 2019)

a) Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel dissodique de l'acide éthylène-diamine tétra-cétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ério-chrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

b) Calcium

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse d'EDTA à pH compris entre 12 et 13. Le HSN qui forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage. Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair.

c) Matières En Suspension MES

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

d) Chlorures

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'ion argent et formation du chromate d'argent brun –rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée.

e) Magnésium

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des Formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium.

II.3. Spectrophotomètre d'absorption moléculaire

« Absorption des radiations lumineuses de l'UV et du visible »

Quand un rayonnement d'une longueur d'onde donnée λ traverse un milieu, son intensité diminue en fonction de la densité des espèces absorbantes et de l'épaisseur du milieu. Cette propriété est utilisée pour déterminer la concentration des espèces chimiques absorbant à une longueur d'onde déterminée.



Figure N°13 : Photo d'un Spectrophotomètre d'absorption moléculaire (Taibi, 2019)

a. Nitrites (NO_3^-)

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

b. Nitrates (NO_2^-)

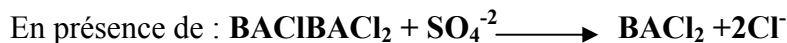
Les ions nitrites réagissent en milieu acide ($\text{PH}=1,9$) avec la sulfamilade en formant sel de di-azonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl) -éthylènediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

c. Phosphore

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium (**Rodier, 2009**).

d. Sulfates (SO_4^{2-})

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum.



e. Fe^{2+}

Libre, il existe sous forme ionisée : Fe^{2+} en général, ou plus rarement FeOH^+ ($\text{pH} > 8,3$). Dans les eaux dont le TAC est notable, l'ion Fe^{2+} se rencontre surtout à l'état d'hydrogencarbonate (ou bicarbonate) et sa solubilité, limitée par la précipitation du carbonate, très peu soluble.

II.5. Méthodes d'interprétation des données chimiques

Les méthodes d'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.

Représentations graphiques

Diagramme de Berkloff-Schoeller

C'est une représentation graphique qui consiste à établir pour l'échantillon analysé, la ligne figurative joignant les points correspondants aux teneurs des éléments chimiques. Le type d'eau est donné par la prédominance d'un anion et d'un cation.

Diagramme de Piper

Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r %) de chaque cation et anion. Les deux points sont reportés sur un losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme présente l'avantage de pouvoir regrouper un grand nombre d'analyses.

Diagramme Stabler

Cette représentation permette de classifier des eaux selon leur dureté à partir des ions calcium et magnésium et préciser leur degré d'alcalinité.

Rapports caractéristiques

L'utilisation de certains rapports entre les éléments chimiques permet de préciser le milieu de provenance des eaux thermo-minérales, de comparer leur concentration en éléments chimique et de confirmer les résultats précédents.

L'étude des rapports caractéristiques a concerné les rapports suivants:

$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$; $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, $\text{Na}^+/\text{Mg}^{2+}$ et $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$:

 **Le rapport Cl-/SO4**

Représente une approche de la connaissance des variations des teneurs en chlorures dans le sous-sol. Ce rapport permet de distinguer les eaux qui ont circulé à travers des roches évaporitiques en dissolvant les sels sulfatés, principalement le gypse; dans ce cas, on obtient des valeurs inférieures à 1, de celles qui ont dissout des sels chlorurés, fondamentalement la halite, avec des valeurs supérieures à 1 (**El morabiti et al, 2008**).

 **Le rapport Mg+2/Ca+2**

Permet d'apprécier la part du Magnésium (provenant de roches dolomitiques) par rapport au Calcium. Une valeur élevée serait liée à la présence de dolomies et/ou à un temps de séjour long (Barbieri et al., 2005). Si les valeurs de ce rapport sont faibles, ceci est dû à leur enrichissement en ion calcium, qui aurait pour origine l'échange cationique inverse entre l'eau et le substratum marneux. L'enrichissement en magnésium et l'appauvrissement en calcium sont dus essentiellement aux réactions d'échange ionique.

CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats physico-chimiques des eaux de Hammam Bou-hadjer

I.1. Températures

Dans le graphe ci-après, la variation des températures des points d'eaux est présentée.

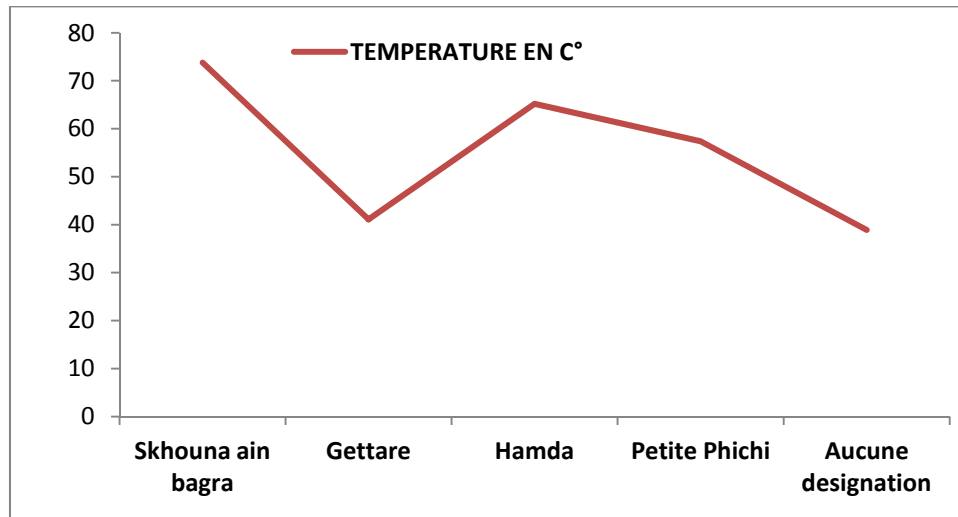


Figure N°14 : Représentation graphique des températures des sources échantillonnées

La figure ci-dessous montre une nette distinction entre les températures des sources échantillonnées. La source la plus chaude est Skouna ain bagra (73,8°C), après source Hamda (65,2°C), petite phichi (57,4°C), Gettare (41,1°C) enfin puits aucune désignation (38,9°C). La température des eaux permet de faire un classement allant des basses températures aux hautes températures

Eaux froides	T < 15° C
Eaux hypothermales	15 °C < T < 35°C
Eaux Mésothermales	35°C < T < 50°C
Eaux Hyperthermales	50°C < T

On distingue pour hammam Bou-Hadger, trois sources sont classées dans les eaux les plus chaudes dite « **Eaux Hyperthermales** » et les deux autres sources dans la classe « **Eaux Mésothermales** ».

Tableau N°02: Classification des eaux en fonction de la température

	TEMPERATURE EN C°	CLASSEMENT S
<i>Skhouna ain bagra</i>	73,8	Eaux Hyperthermales
<i>Gettare</i>	41,1	Eaux Mésothermales
<i>Hamda</i>	65,2	Eaux Hyperthermales
<i>Petite Phichi</i>	57,4	Eaux Hyperthermales
<i>Aucune désignation</i>	38,9	Eaux Mésothermales

I.2. pH

Dans le graphe ci-dessus la variation du pH des points d'eaux est présentée.

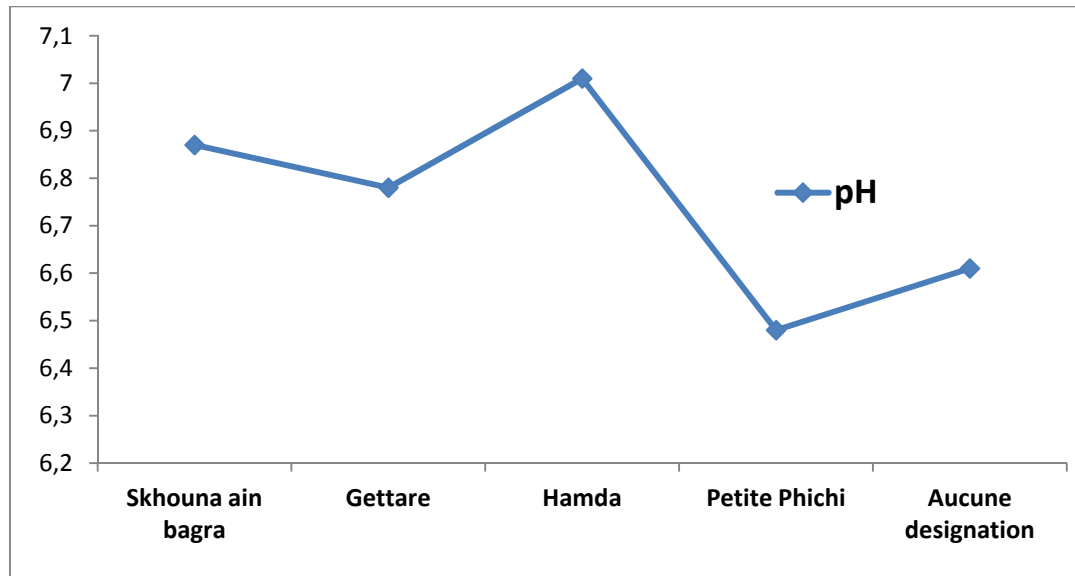


Figure N°15: Représentation graphique du pH des sources échantillonnées

On remarque qu'il y a une variation du pH. On remarque que la source *hamda* est plus proche du neutre tandis que les sources de *skouna* et *gettare* sont dans pH moyennement acide, et enfin *petite phichi* et *aucune désignation* sont fortement acide par rapport aux autres sources.

I.3. Minéralisation et conductivité

Le tableau suivant montre la relation entre la conductivité électrique et la minéralisation (en mg/l) des différents points d'eau.

Tableau N°03: Classification de la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité

Conductivité (gS / cm)	Minéralisations (mg/L)	classements
Conductivité < 100	Très faible	/
100 < Conductivité < 200	Faible	/
200 < Conductivité < 333	Moyennement accentuée	/
333 < Conductivité < 666	Moyenne	/
666 < Conductivité < 1000	Importante	/
Conductivité > 1000	Elevée	Sources de hammam Bou-hadjer

On remarque que les eaux thermales de Hammam Bou-hadjer ont une forte conductivité ce qui augmente leurs minéralisation.

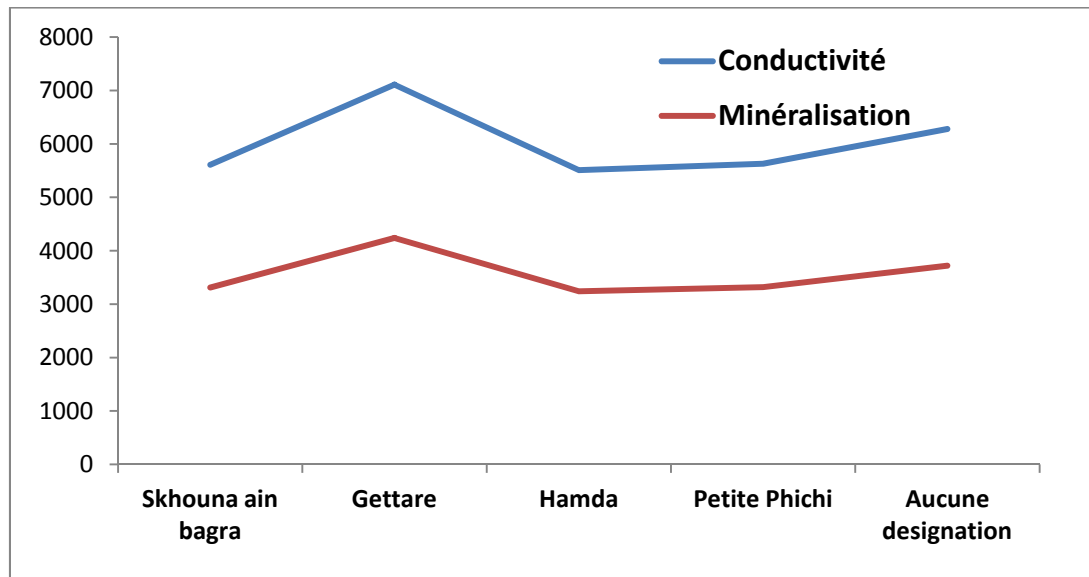


Figure N°16 : Représentation graphique de la conductivité et la minéralisation des sources échantillonnées

Les meilleurs scores de la conductivité et la minéralisation sont enregistrés pour la source de Gettare, tandis que les autres sources sont dans des valeurs moyennes parport à la source Gettare.

I.4. paramètres physico-chimiques

Le diagramme ci-dessous, illustre la variation des paramètres chimiques de cinq sources de hammam Bou-hadjer.

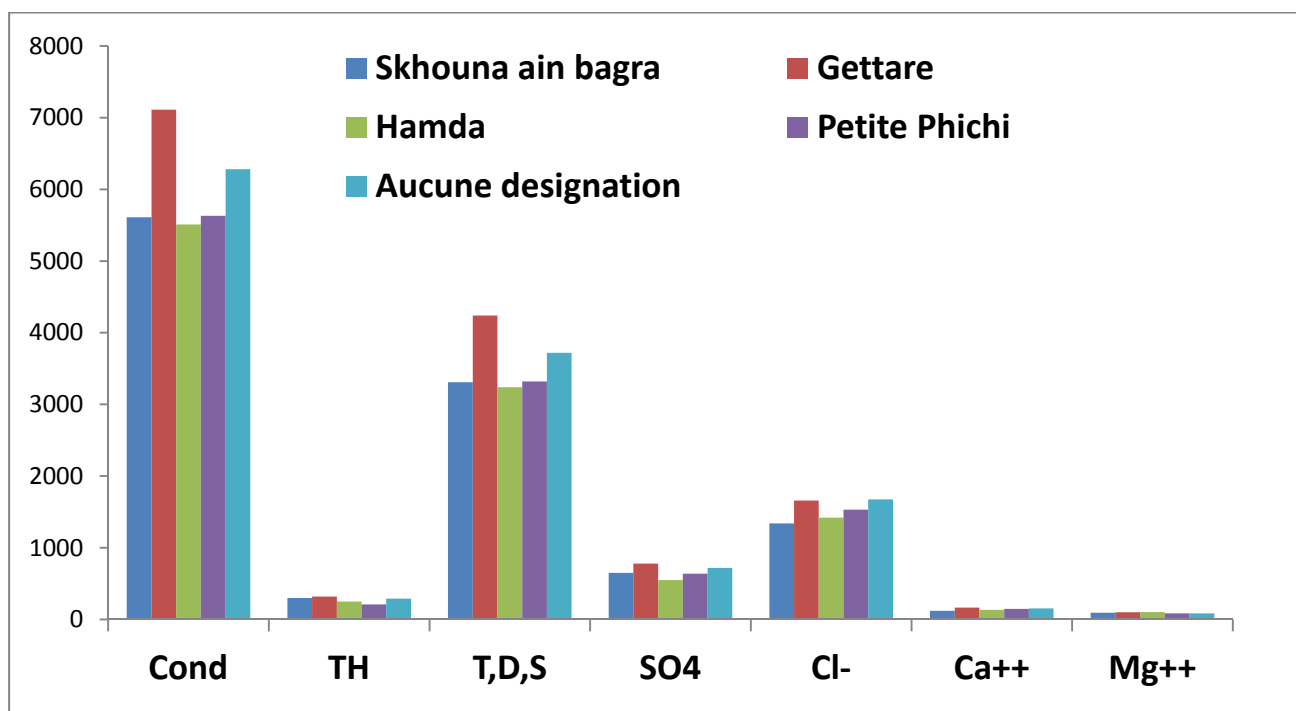


Figure N°17: Représentation graphique des paramètres physico-chimiques des sources échantillonnées

On remarque des valeurs très importantes ont été enregistrés pour la conductivité (les valeurs sont comprises entre 5510 gS / cm et 7110gS / cm) et le TDS (les valeurs sont comprises entre 3240 mg/l et 4240mg/l). Des concentrations moyennes ont aussi retenues pour les sulfates et les chlorures. Tandis que toutes les sources marquent des faibles concentrations en calcium et en magnésium, dont la valeur maximale est de 165 mg/l (figure N°17).

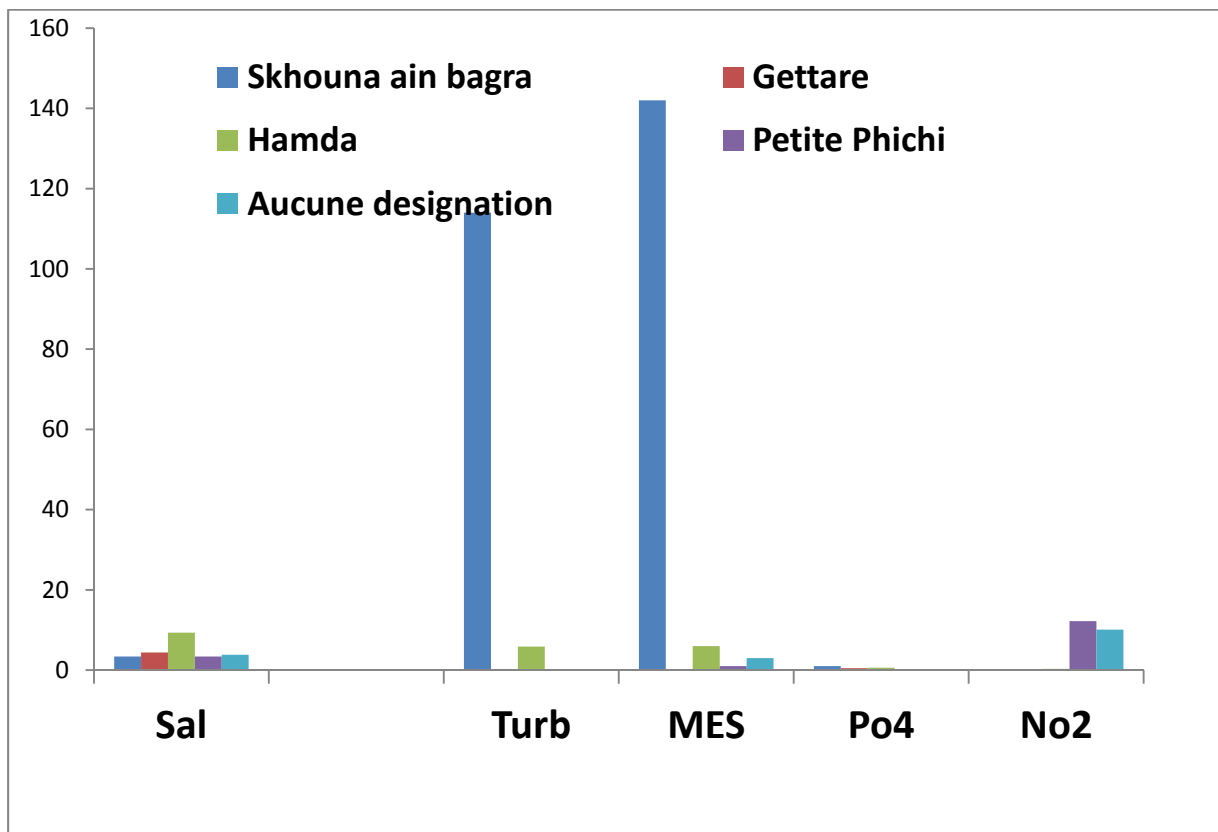


Figure N°18: Représentation graphique des paramètres physico-chimiques des sources échantillonnées

On note des fortes valeurs de la turbidité et de la matière en suspension pour la source Skouna Ain Bagra. Pour la teneur des phosphates, nitrites, et de la salinité sont faiblement représentées pour les cinq sources échantillonnées.

II. Etude hydro-chimique

II.1. Diagramme de Piper

On a utilisé l'ensemble des données pour tracer les diagrammes de Piper. Nous représentons ici les résultats relatifs aux cinq (05) points d'eaux échantillonnées. Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r %) de chaque

cation et anion. Les deux points sont reportés sur un losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme présente l'avantage de pouvoir regrouper un grand nombre d'analyses.

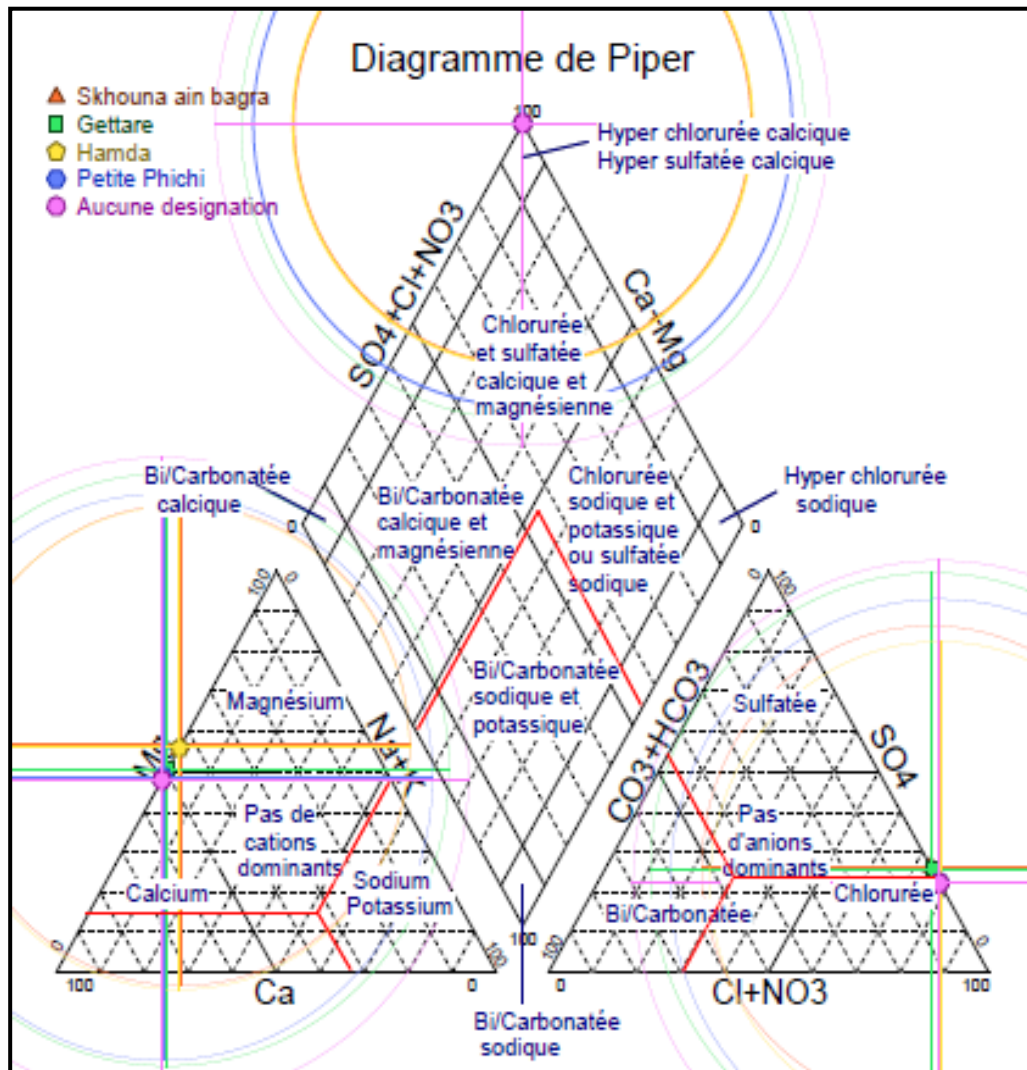


Figure N°19: diagramme de Piper des sources échantillonnées

On note que le faciès global pour les sources de Hammam Bou-hadjer est « Hyper chlorurées calcique, sulfatée calcique » avec les faciès chlorurée, sulfatée, calcique et magnésienne sont les plus remarquables.

On distingue deux sous-faciès :

- *Sous-faciès 1* : Bicarbonatée calcique et magnésienne. Ca^{++}
- *Sous-faciès 2* : Chlorurée sulfatée.

II.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

On a utilisé l'ensemble des données pour tracer les diagrammes de Schoeller-Berkaloff. Nous représentons ici les résultats relatifs aux cinq (05) points d'eaux échantillonnées.

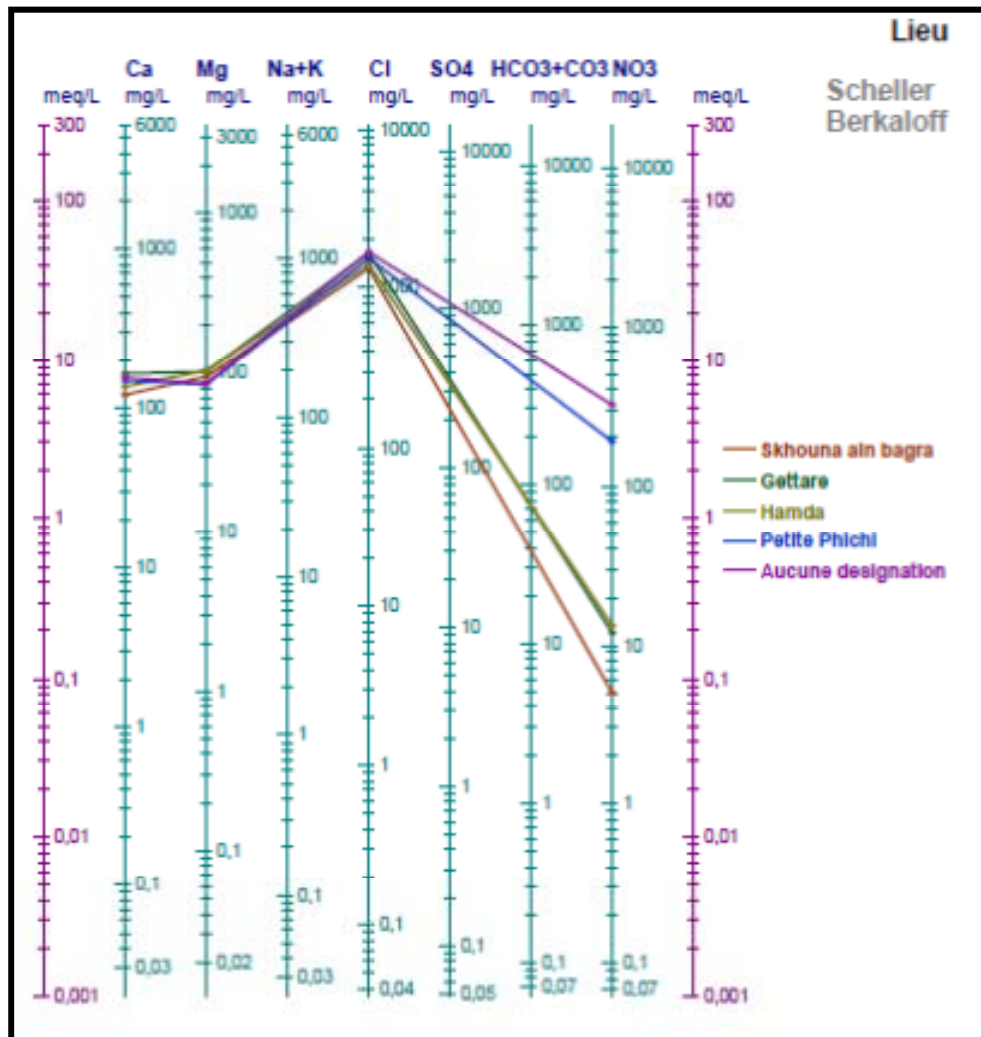


Figure N°20: Diagramme de Schoeller-Berkaloff des sources échantillonnées

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Le diagramme tracé pour les cinq sources de la nappe de hammam bou-hadjer, confirme la prédominance du faciès **chloruré-sulfaté et calcique**, permettant de dire que la

minéralisation des eaux est liée essentiellement aux ions **chlorure, magnésium et calcium**. L'enrichissement en calcium peut être relié à la dissolution de calcite et/ou de la dolomite, minéraux largement présents dans le milieu, l'appauvrissement en **magnésium** des eaux thermales peut provenir de la précipitation de minéraux magnésiens comme la magnésite et/ou la dolomite par équilibre avec la roche encaissante, l'appauvrissement en **sulfates et en bicarbonates** peut être lié à la réduction de cet élément en sulfures ou bien à la précipitation d'un minéral de sulfate comme le gypse.

II.3. Diagramme de Stabler

On a utilisé l'ensemble des données pour tracer les diagrammes de Stabler. Nous représentons ici les résultats relatifs aux cinq (05) points d'eaux échantillonnées

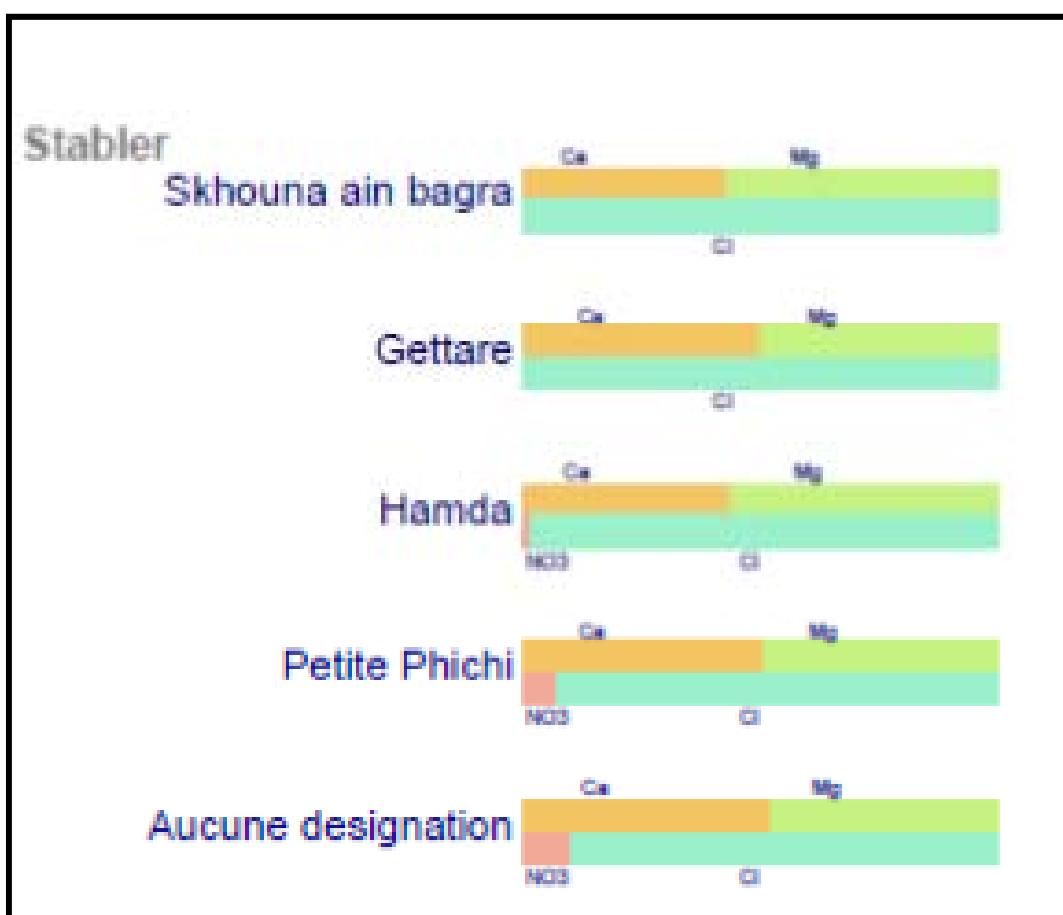


Figure N°21: diagramme de Stabler des sources échantillonnées

Cette classification de Stabler montre la dominance des chlorures pour les sources : skouna ain bagra, gettare et hamda. les deux sources de aucune désignation et petite phichi on dominance calcique magnésienne.

II.4. Anions et cations des sources échantillonnées

Les histogrammes suivants nous montrent les variations des teneurs des anions et des cations dans les cinq sources de hammam bou-hadjer.

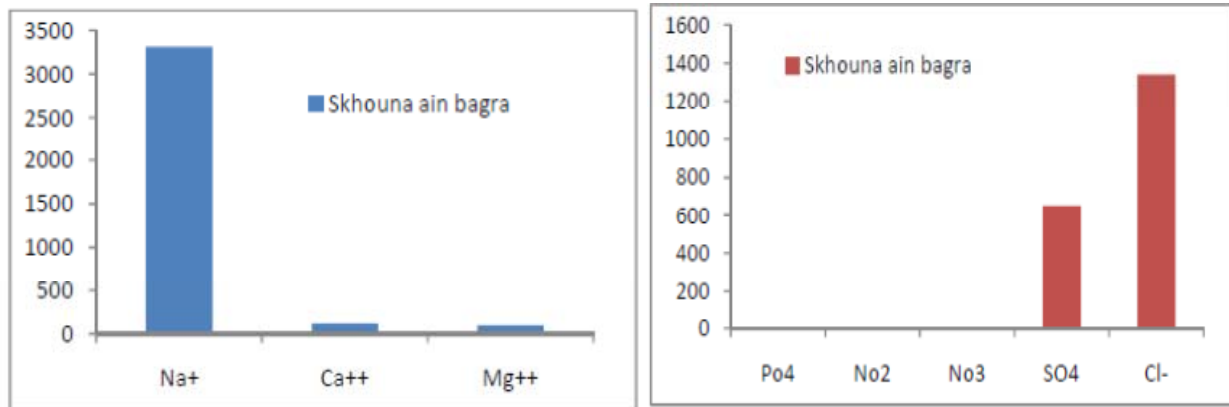


Figure N°22: Représentation graphique des Anions et cations de source Skhouna ain bagra.

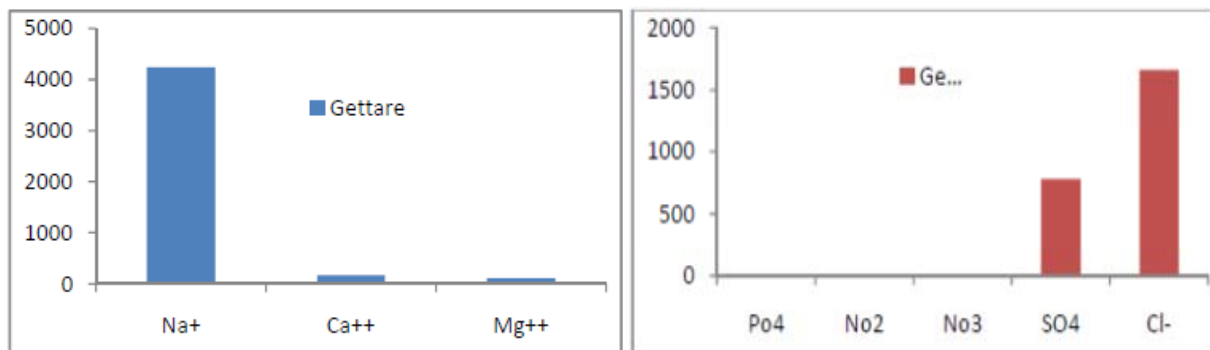


Figure N°23: Représentation graphique des Anions et cations de source Gettare.

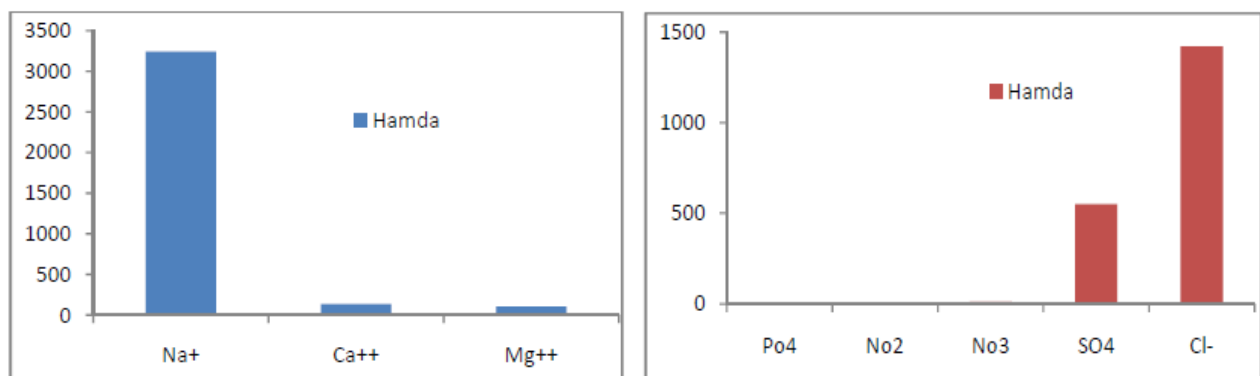


Figure N°24: Représentation graphique des Anions et cations de source Hamda.

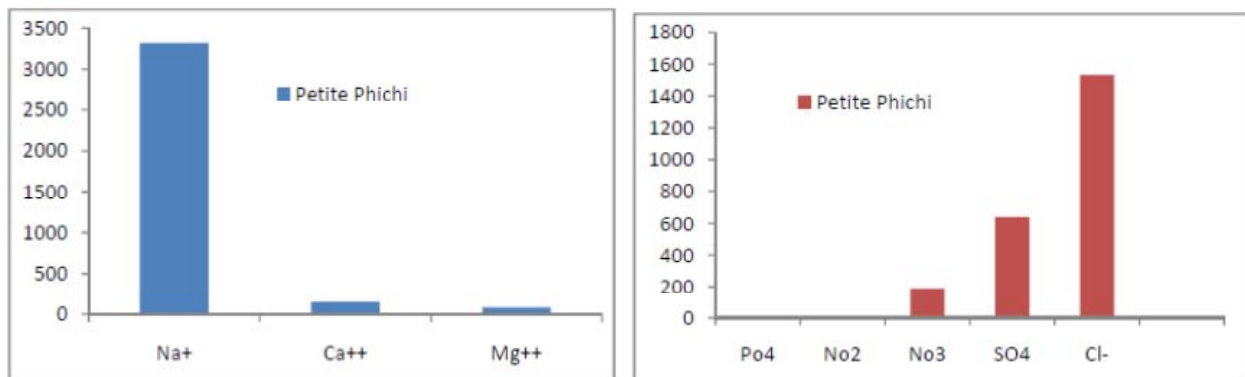


Figure N°25: Représentation graphique des Anions et cations de source petite phichi.

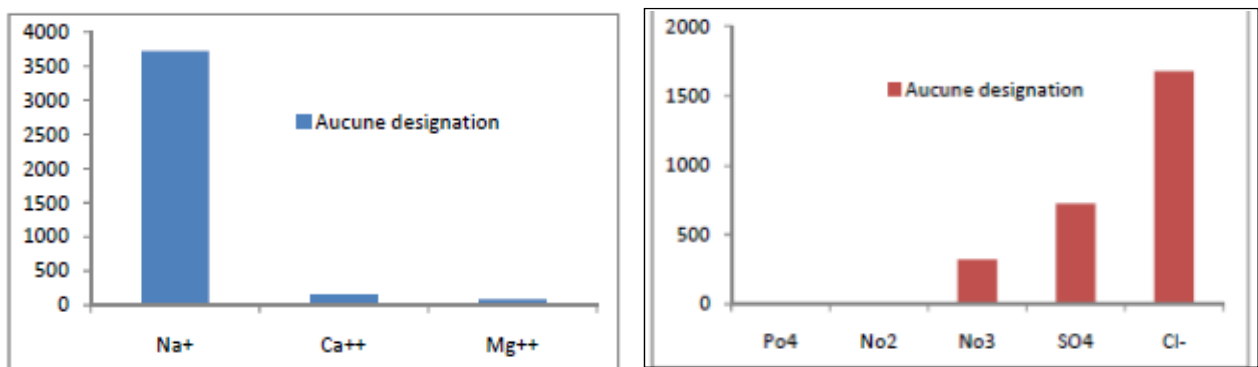


Figure N°26: Représentation graphique des Anions et cations de source aucune désignation.

On remarque que les sources sont très riches en éléments d'anions comme les sulfates, chlorures et nitrites que les cations comme le sodium. On peut déduire que l'eau est de nature **modérément saline et dure, riche en chlorures.**

II.5. Rapports caractéristiques

Le tableau suivant montre les rapports caractéristiques entre les paramètres de chaque source :

Tableau N°04: Rapports caractéristiques des points échantillonnés

	Mg^{+2}/Ca^{+2}	$Cl / SO4$	$Na^{+2}/Ca+2$	$Na+/Mg+2$
<i>Skhouna ain bagra</i>	0,792	2,062	27,583	34,842
<i>Gettare</i>	0,618	2,128	25,697	41,569
<i>Hamda</i>	0,770	2,582	24,000	31,154
<i>Petite Phichi</i>	0,574	2,395	22,432	39,059
<i>Aucune désignation</i>	0,558	2,326	24,156	43,256

Le calcul des rapports caractéristiques a donné les résultats suivants (Tab. N°4) :

- ✚ Le rapport $Cl / SO4$ est important. Il est de l'ordre de 2,58 indiquant de fortes teneurs en chlorures prédominantes par rapport aux sulfates.
- ✚ Le rapport $Na+/Ca+2$ est supérieur à 20 pour toutes les sources, ce qui indique une forte teneur en sodium par rapport au calcium.
- ✚ Le rapport $Na+/Mg+2$ est élevé pour les sources traduisant ainsi la prédominance des alcalins sur les alcalino-terreux.
- ✚ Le rapport $Mg+2/Ca+2$ est inférieur à 1 pour les cinq sources, ce qui traduit la prédominance du magnésium et inversement, une augmentation notable du calcium.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Discussion

Notre modeste travail s'articule sur une étude hydro-chimique des sources thermales de Hammam Bou-hadger dans la wilaya d'Ain Temouchent. D'après les résultats obtenues ; On a classé pour notre zone d'étude ; trois sources hyperthermales (sources : skouna ain bagra, hamda et petite phichi) et deux sources mésothermales (sources : gettare et aucune désignation). Les mesures varient entre 38°C et 74°C. La température de skouna ain bagra est de 73,8°C, la source Gettare est de 41,1°C, la source hamda est de 65,2°C, la source petite phichi est de 57,4°C et la dernière source aucune désignation est de 38,9°C. Donc ; La température joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels, lorsqu'elle est élevée la solubilité de l'oxygène diminue (**Maarif et Meyara, 2015**). Elle influe généralement sur la mesure d'analyse de la conductivité. On peut dire que :

- La température d'une eau thermale est en fonction de la profondeur du réservoir d'origine, de la longueur du trajet parcouru et de la vitesse de remontée. Elle est influencée par les mélanges avec les eaux superficielles et peut ainsi être variable d'une source à l'autre.
- Selon P. Verdeil (1986) et A. Issaadi (1992), les eaux thermales, minérales et thermo-minérales sont classées en fonctions de leurs degrés thermiques.
 - Eaux froides : 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 varie entre 4-20°C.
 - Eaux hypo thermales: ce sont des eaux dont la température à l'émergence varie entre 20-35°C.
 - Eaux thermales: ce sont des eaux dont la température à l'émergence est entre 35°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.

Le pH de l'eau nous renseigne sur son acidité et son alcalinité. Le pH des eaux naturelles est généralement compris entre 6.6 et 7.8 (Rodier, 1984). Les résultats d'analyse montrent que le pH de toutes les sources thermales de hammam bou-hadger est dans les normes algériennes 6,48 à 7,01.

La turbidité se traduit par la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Les résultats montrent que la source Skouna ain bagra est turbide avec une valeur élevée en matière en suspension importante par rapport aux restes des sources.

La conductivité électrique (CE) joue un rôle très important dans la connaissance de la minéralisation des eaux souterraines et principalement l'ensemble des cations et des anions dissous dans l'eau. La conductivité permet une estimation approchée de la minéralisation des eaux. Elle augmente avec la teneur en sels dissous (conductivité élevée => eau chargée). Nous remarquons que les valeurs de la conductivité de la nappe thermique de hammam bou-hadjer varient entre 5510 et 7110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette élévation de la conductivité est due essentiellement au faible taux de renouvellement, à la forte évaporation ainsi que l'exploitation intensive des eaux de la nappe. D'une façon générale les eaux de la région sont très conductrices avec une minéralisation importante.

La Salinité est les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques qui sont dissous dans l'eau. Leurs principaux constituants sont habituellement les cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) et les anions (carbonate, bicarbonate, chlorure, sulfate et les nitrate) surtout quand il s'agit des eaux souterraines (Taibi, 2019). La salinité des eaux souterraines de la nappe peut avoir plusieurs origines géologiques et lithologiques. Par contre, les facteurs favorisant une large dispersion de la salinité au sein de l'aquifère contribuent en l'occurrence, la tectonique, hydrodynamique, température et l'exploitation intensive des eaux souterraines en particulier en période sèche. La concentration en sel est donnée par le TDS, exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/L). Nos résultats sont compris entre 3310 et 4240 mg/L.

La dureté d'une eau est un caractère naturel liée au lessivage des terrains traversés et se résume globalement à sa teneur en calcium et en magnésium. Une eau à titre hydrotimétrique TH élevé est dite « dure », dans le cas contraire, il s'agit d'une eau « douce ». D'après les concentrations obtenues. Nos résultats sur la nappe thermale de hammam Bou-hadjer sont comprises entre 250 et 450 mg/L de CaCO_3 . Alors on peut constater que ses eaux sont **légèrement dure**.

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potable et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (calcaire, gypse). Les résultats sont compris entre 120 et 165 mg/l. Toutes les sources ont des concentrations inférieures à la valeur

maximale qui est 200 mg/l de calcium (Rodier, 2009), et ceci pourraient être attribuées à la dissolution de la calcite ou du gypse .

- ✓ La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit : La dissolution des formations carbonatées : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3$
- ✓ La dissolution des formations gypseuses : $(\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})) \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4 + 2(\text{H}_2\text{O})$
- ✓ 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 pourrait provenir de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite.

La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates (Bermond & Perrdon, 1979). Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium variaient entre 84 et 104 mg/l. Les sources de hammam bou-hadger ont des concentrations inférieures à la norme qui égale 150 mg/l. La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

- ✓ Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium,
- ✓ Magnésite: $\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3$
- ✓ Dolomite: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2(\text{CO}_3)$.

Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. L'OMS recommande à ce titre une réduction progressive de l'apport quotidien total en sodium hydrique et alimentaire à 6 gr/jour au maximum. Nos résultats sont compris entre 3240 et 4240 mg/l. On observe que le sodium est plus élevé, sa concentration est élevée pour les cinq sources en dépassant la norme qui égale à 200 mg/l. La cause de la teneur en sodium élevée est la présence des argiles et les alluvions aquifères drainées par la nappe.

- ✓ L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à la proximité de la côte. Les évaporites seraient la principale origine de la teneur en Na^+ . La proximité des Sebkhass et des Chotts peut être aussi à l'origine de l'enrichissement en cet élément.

Les ions chlorures peuvent avoir plusieurs origines ; dissolution des chlorures de sodium, des alluvions salifères, des activités humaines ou d'origines atmosphériques. Les résultats sont compris entre 1340 et 1660 mg/l. tous les résultats des sources sont supérieurs à normes algériennes 500mg/l.

- ✓ 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 enrichissement. L'influence marine, la proximité des bassins endoréiques (Chotts, Sebkhass), les eaux fossiles ou connées, peuvent aussi être à l'origine de cet élément.

Les sulfates sont les ions les moins abondants dans les eaux de la nappe libre. Les sulfates peuvent provenir de l'altération des pyrites ou pollution artificielles. Les résultats sont compris entre 550 et 780 mg/l. ils sont hautement supérieurs aux normes algériennes (400mg/l).

- ✓ Les sulfates peuvent avoir une origine météorique, comme ils peuvent également provenir de l'activité agricole ou biologique naturelle, ou de l'utilisation domestique (détergents), ou de la présence d'évaporites (gypse).

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Une eau renfermant une quantité élevée de nitrites (supérieure à 1 mg/l d'eau) est considérée comme chimiquement impure, cependant, dans l'interprétation définitive de l'analyse chimique de l'eau, l'on doit tenir compte également des teneurs en nitrates, de l'azote ammoniacal, des matières organiques et des résultats des examens bactériologiques. Les résultats sont compris entre 0.01 et 12.2 mg/l.

- ✓ Les résultats des sources : Skouna ain bagra et gettare sont inférieure à la norme (0.01 mg/l), par contre la source et hamda est légèrement saturé (0.30 mg/l), les sources petite phichi et aucune désignation sont très saturés (12.2 mg/l), ces dernière est considérée comme une source chimiquement impure.

Les teneurs des Nitrates obtenues varient entre 5 et 320 mg/l. les sources : Skouna ain bagra, gettare et hamda sont inférieurs à la norme. Les sources petites phichi et aucune désignation ont des teneurs Supérieure à la norme (50 mg/l). Cette variation peut être expliquée par la présence d'un apport en nitrates exogène (utilisation des pesticides pour les agricultures) ou la présence d'un rejet domestique directement dans le sol.

CONCLUSION

Conclusion

Les eaux thermales exploitées dans l'établissement thermal de hammam Bou-hadjer ont une forte spécificité qui les distingue des eaux destinées à la consommation humaine ou utilisées dans les centres de balnéothérapie. Elles sont riches en minérales favorables à la santé d'origine profonde et une pureté originelle.

A travers les analyses hydro-chimiques effectuées sur les sources : Hamda, Skhouna Ain Bagra, Gettare, Petite Phichi, Aucune Désignation, elles sont classées comme une eau hyperthermale et mésothermale de faciès hyper chlorurée sulfaté et magnésienne. Ces eaux thermales qui s'avèrent aussi contenir de fortes proportions minérales comme les chlorures, magnésium, calcium et les sulfates ; ceci peut leurs conférer sans doute des vertus thérapeutiques intéressantes et servir de moyens thérapeutiques contre certaines maladies.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abdelaziz El Mrihi ,Redouan Alilouch, Karim El Morabiti ,** Contribution A La Connaissance Hydrogéologique Et Hydrogéochimique Des Aquifères De La Région De Beni-Hassan (Rif Septentrional, Maroc) Article (PDF Available) in European Scientific Journal · October 2017 Université Abdelmalek Essaâdi, Département de Géologie, Faculté des Sciences, Tétouan, Maroc .(consulté le 13.06.2020).
- Ait khelifa S. et Djemai zoughlache O. (2000).** Contribution a l'étude hydrogéologique des sources thermales de Hammam Bouhadjar. *Mémoire d'Ingéniorat, USTHB (Alger).*
- AL 1995** Intégration des méthodes hydrochimiques, géologiques et géophysiques pour la prospection d'une nouvelle ressource en eau thermale. Cas d'Yverdon-les... (Géologie-Géophysique 1995)
- Article 2 du décret n°89.369 du 6 juin 1989, code de l'eau .** Décret n° 89-369 du 6 juin 1989 relatif aux eaux minérales naturelles et aux eaux potables préemballées
- _ **BONNIN.J,** Aide mémoire hydraulique Urbaine , editions eyrolles,1982.
- Catherine.M,** la qualité chimique de l'eau , 3 ème éditions, paris 2009.
- _ **CRAAG. (2005).** Etude hydrogéologique de la zone thermale de Hammam Bouhadjar, dans le cadre de la convention N° 16/2004 commune de Hammam Bouhdjar. O.D.S. n°01 **CRAAG. (2005).** Etude hydrogéologique de la zone thermale de Hammam Bouhadjar, dans le cadre de la convention N° 16/2004 commune de Hammam Bouhdjar. O.D.S. n°01
- DJELLIT .H, 2013** HYDROTHERMAL COMPLEX OF THE SOUK AHRAS BASIN: GEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL APPROACHES (NORTH EAST OFALGERIA) Received: 17 May 2016 / Accepted: 26 August 2016 / Published online: 01 September 2016.
- **FENET , 1975 .** The Carboniferous of the World, Band 2. comprises: a) dark sandstones and ...Carlos Martínez Díaz, Instituto Geológico y Minero de España - 1983 - Geology, Stratigraphic.
- **Fournier R.O. and Potter R.W. (1982).** A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Resource Council Bulletin*, 11, 3–12.
- Fournier R.O. and Truesdell A.H. (1973).** An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255–1275.

Fournier R.O. (1973). Silica in thermal waters: Laboratory and field investigations. *In: Proceedings, international symposium on hydrogeochemistry and biogeochemistry, 1970, Tokyo, volume 1, Washington, DC: Clark, 122–139.*

- **G. Castany, J. Margat** Dictionnaire de français d'hydrogéologie, 1977. Éditions du BRGM Frontispice de l'ouvrage: « De l'origine des fontaines)) de Perrault (16 74).

- **Georges-Emile Paul Hammam Bouhadjar: 1874-1962** HAMMAM BOU-HADJAR, Petite Chronique De Mon Village Algerien et De Son Environnement 1874-1962 PAUL Georges emile Edité par Transcomp Editions, Montpellier

-**Glynn P.D. and Plummer L.N. (2005).** Geochemistry and the understanding of groundwater systems.

Hydrogeology Journal 13, pp, 263-287

-**Ismael**

Cabral Kambell .le 06-08-2016 article journal liberti .Escapade au cœur des sources thermales de Hammam Bouhadjar., 2016 par ismael cabral kambell.

_ **Jean rodier** et coll, dunod paris (2005), l'analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8PeP édition.

_ **J, Rodier, dunod.** L'analyse de l'eau - Eaux naturelles, eaux résiduaires ... - Dunod **7^{ème} édition(1984),**

Journal officiel de la république algérienne N°13 a publié le3 safar 1428-21 février 2007. Un décret relatif aux eaux thermales

- **Louni-Hacini et al. 1995 ; Megartsi 1985 ; Fenet 1975; Guardia, 1975; Maury et al 2000.**

Louni-Hacini A. (2002). La transition du magmatisme calco alcalin au magmatisme alcalin dans l'Oranie. *Thèse de Doctorat, USTHB (Alger),*

_ **Mekidiche Ahlem Ghania** , Mémoire de technicien supérieure de Mekidiche Ahlem Ghania , etude sur la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau potable de SBA.

_ **MOKEDEM.K.OUDDANE.S,** Qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de source sidi yaakoub (Mostaganem) Mémoire d'ingenieur institue de biologie -Mascara ,2005

_ **Myrand diane.ing,M.Sc,** guide technique;captage d'eau souterraine pour des résidences isolées,2008.

-PDF. Revue des Energies Renouvelables CER'07 Oujda (2007) 81 – 84 -81 Détermination de l'origine de la minéralisation des eaux thermales de Moulay Yacoub par des approches géologiques et géochimiques UFR, 'Dynamique de la Lithosphère Continentale et Transfert de la Matière' .

_ **RODIE.J** L'analyse de l'eau (eaux naturelles ,eaux résiduares et eaux de mer), 8 éme édition ,Dunod Paris; 1997.

- **RODIE.J 2009**

- **Routledge** . Les eaux -thermales -et -minérales dans la région -aquitaine.pyreness.
Dictionnaire Anglais Du Génie de L'environnement. first published 1997 by routledge

_ **Sande**: Dictionnaire des données ;Mesure de la qualité des eaux souterraines 2011.

- **Zaid A. (1999)**. Caractérisation hydrochimique des aquifères de la région d'ain Skhouna chott chergui. *Mémoire d'ingéniorat, université d'Oran.*

Site Web:

- **Web master 1** : Plan d'aménagement de la commune de Bou hadjar, 2017.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Hammam_Bou_Hadjar (consulté le 13.04.2020).
- **Web master 2**: Agence Nationale de Développement de l'Investissement,
<http://www.andi.dz/> (consulté le 16.04.2020).
- **Web master 3**; Ain temouchent.pdf - ANDI - www.andi.dz > PDF > monographies.
- **Web master 4**: station thermale de Hammam Bou-hadjer,
2013 <https://www.djazairss.com/fr/latribune/102298> (consulté le 16.04.2020).
- _ **Web master 5**; Fourmarier, 1958. <http://biodiversite.wallonie.be/fr/fourmarier-p-1958-carte-geologique-de-la-belgique-texte-explicatif-de-la-feuille-louveigne-spa-148-service-geologique-de.html?IDD=167773040&IDC=3046> (consulté le 13.02.2020).
- **Web master 6**: Launay, 1899 <https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICEAUTH.HTM>
(consulté le 02.03.2020).
- _ **Web master 7**: Semghouni, 2013. <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/7404/1/SEMGHOUNI.pdf> (consulté le 02.04.2020).
- _ **Web master 8**: Louni-Hacini et al, 1995. (PDF) Evolution spatiale et temporelle du magmatisme
https://www.researchgate.net/publication/282056643_Evolution_spatiale_et_temporelle_du_magmatisme_neogene_de_la_marge_septentrionale_du_Maghreb_manifestation_d'un_detachement_lithospherique (consulté le 10.05.2020).
- _ **Web master 9**: Hammam -bou -hdajr -algérienise 99 utilisation thérapeutique de l'eau thermale. (consulté le 13.05.2020).
- **Web master 10**: Eau thermale - Les Thermes d'Ax www.thermes-ax.com > eau_therm...
(consulté le 18.05.2020).

Annexes

I. Lieu d'analyse:L'algerienne Des Eaux (ADE) :

I.1 Historique et Définition :

L'algérienne des Eaux (ADE) est un établissement public, national, à caractère industriel net commercial, doté la personnalité moral et de latomies financière. elle a été créé par le décret exécutif N°1-101 du moharrem 1422, correspondant , au 21 Avril 2001. L'établissemnt est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau ,et son siège social est fixé à Alger.

I.2 Situation géographique :

La direction générale de l ADE se trouve au niveau de quartier HAI BADR au sud de la ville .Elle est limité par le croisement des routes , route de Mascara et la rocade sud.

I.3 Mission de l'ADE:

- _L'approvisionnement en eau.
- _L'exploitation des ressources en eau .
- _ La gestion et la maintenance des réseaux de distribution.
- _L'application des tarifications de consommation de l'eau.
- _ La réalisation de travaux liés à la distribution de l'eau .

I.4 Situation géographique de laboratoire :

- _ Le laboratoire de contrôle des eaux de l ADE se trouve au niveau de la ville de SBA, HAI EL WIAAM .