

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

**Les sources thermo-minérales dans la région de Sétif:
origines et caractéristiques. (Est Algérien)**

Présenté par :

BEN SACI SALMA

Soutenu publiquement le

Devant le jury :

Président :			Univ. Ouargla
Promoteur :	Mme BOUSSAADA NAWEL	M.C.B	Univ. Ouargla
Examineur :			Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciement

Ô gens de l'amour et de la fidélité dans ma vie
De tout mon cœur, je vous remercie et vous suis reconnaissant
Vous avez été pour moi à tout moment
Un soutien et un pilier partout
À ma mère et à mon père, source de tendresse
Votre dévouement inlassable ne connaît ni fatigue ni lassitude
Vous avez planté dans mon cœur les graines de la sécurité
Et vous m'avez abreuvé de votre amour à chaque saison
Mes chers amis, compagnons de vie
Vous avez été pour moi le meilleur des soutiens sur le chemin
Avec vous, je m'élève et surmonte toutes les difficultés
Et grâce à vos conseils et votre soutien, ma lumière se renouvelle
À mes collègues de travail et d'étude
Merci pour votre coopération et votre patience envers moi
Vous avez été pour moi des piliers dans le domaine
Et avec vous, mes jours de vie fleurissent
À ma professeure superviseure BOUSAADA Nawal
Toi qui fus pour moi une lanterne de savoir et de travail
Tu m'as offert tout le soutien dans le domaine
Et avec tes conseils, tu fus pour moi le meilleur des compagnons et espoirs
À tous ceux qui m'ont soutenu sur mon chemin
Je vous dédie mes mots et mes lettres
Grâce à Dieu et puis à vous, mes chers
Je surmonte les obstacles et réalise mes ambitions
Merci à vous de tout mon cœur et de mon âme
Et que vous restiez toujours une lumière dans ma vie
Avec toi, la vie s'embellit d'amour et de clarté
Tu es le soutien et le cœur en tout temps
Je te remercie pour ton soutien, source de générosité
Et à mon cher fils, lumière de mes yeux et de ma vie
Ton sourire illumine mes jours de bonheur.

Dédicace

À travers ce modeste travail, je rends un grand hommage, en

Signe de respect et de reconnaissance à :

Mes très chers parents, qui ont cru en moi et pour tous

les sacrifices et le soutien moral qu'ils m'ont apporté

durant mes études, que Dieu les protège ;

Mes très cher frère et à ma petite famille qui ont ma source d'encouragement;

A mes tantes et mes oncles ;

Mes meilleurs amis,

...et tous ceux que je n'ai pas cités mais que je n'ai pas oubliés ;

À tous mes camarades de classe, promotion 2023/2024 ;

En un mot, à toute ma famille et mes amis qui ont

contribué de près ou de loin à ma réussite. A toute

personne utilisant ce document pour un bon usage.

BEN SACI SALMA

ملخص

تمتد منطقة سطيف على مساحة 6549.64 كم². تقع على بعد حوالي 300 كلم جنوب شرق الجزائر العاصمة و 100 كلم جنوب البحر الأبيض المتوسط.

تعتبر منطقة سطيف هي مثال على ظهور المياه الحرارية المعدنية نتيجة فوالق عميقة وفي تكوينات مختلفة التحاليل الكيميائية لمياه تسعة محطات (قرقور، ولاد تبان، سيدي عمر، سخنة، بوطالب، ولاد يلس، دحامشة، دوار لكبير، بوتارة)، يتضح أن درجة حرارة المياه تتراوح بين 42 و 54 درجة مئوية، وناقلية بين 1160 ميكرو سمنس / سم و 4500 ميكرو سمنس / سم، ان دراسة العلاقات المميزة بين العناصر الكيميائية مكنتنا من معرفة أصل العناصر الرئيسية والشحنات الكيميائية للماء، مكن تفسير النتائج الكيميائية من معرفة اصل مياه هذه الينابيع المعدنية الحرارية، بالمنطقة .

الكلمات المفتاحية:

المصدر الحراري المعدني، التدرج الحراري الأرضي، الكيمياء المائية، التمعدن، الحرارية .

Résumé

La région de Sétif s'étend sur une superficie de 6 549,64 km². Elle est située à environ 300 km au sud-est d'Alger et à 100 km au sud de la mer Méditerranée.

La région de Sétif est un exemple d'émergence d'eaux thermales minérales à la suite de failles profondes et la lithologie des formations. Diverses analyses chimiques des eaux de neuf stations (Gargour, Ould Tebban, Sidi Omar, Soukhna, Boutaleb, Ouled Yelles, Dahamcha, Douar Lakbir, Boutara), montrent que la température de l'eau varie entre 42 et 54 degrés Celsius, la conductivité entre 1160 us/cm et 4500 us/cm.

L'étude des relations distinctes entre les éléments chimiques a permis de connaître l'origine des principaux éléments et les facies chimiques des eaux. L'interprétation des résultats chimiques a permis de connaître l'origine des eaux des sources thermales de la région.

Les mots clés

Source thermo- minérale, gradient géothermique, hydrochimie, minéralisation, thermalité

Abstract

The Sétif region covers an area of 6,549.64 km². It is located approximately 300 km southeast of Algiers and 100 km south of the Mediterranean sea .

The Sétif region is an example of the emergence of mineral thermal waters following deep foliations and the formations. Various chemical analyzes of water from nine stations (Gargour, Ould Tebban, Sidi Omar, Soukhna, Boutaleb, Ouled Yelles, Dahamcha, Douar Lakbi r, Boutara), show that the water temperature varies between 42 and 54 degrees Celsius, and its conductivity between 1160 us/cm and 4500 us/cm, The study of the distinct relationships between chemical elements has made it possible to know the origin of the main chemical faciés of water. The interpretation of the chemical results made it possible to know the origin of the water of the thermal mineral springs in the region, keywords.

Keywords

Thermo-mineral source , géothermal gradient, hydrochemisty, mineralization,thermality.

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	1
Chapitre I : Rappel Bibliographique	
Introduction	2
I.1. Définition de la thermalité	2
I.2. Définition et classification des eaux thermo minérales	2
I.2.1 Eau minéral	2
I.2.2 Eau thermo minérale	3
I.3. Caractéristiques des eaux thermo-minérales	4
I.3.1. Température	4
I.3.2. Minéralisation	6
I.4. Quelques exemples de minéralisation des sources existant en Algérie	6
I.5. Origine des eaux thermo minérales	7
I.6. Les systèmes hydrothermaux continentaux	8
I.7. Loi portant acquisition sur les eaux thermales en Algérie	9
I.8. Conclusion	10
Chapitre II : présentation de la zone d'étude	
Introduction	11
II.1. Localisation géographique	11
II.2. Situation démographique	13
II. 3. Climat	14
II.4. Hydrographie	16
II.5. Relief géomorphologie et topographie de la zone	17
II.5.1. Zone montagneuse	17
II.5 .2. Zone des hautes plaines	18
II. .5.3. La frange semi-aride	18
II.6 .Pédologie	19
II.7. Hydrogéologie	19
II.8. Présentation des principales sources thermo-minérales de la région	20

de Sétif, contexte géologique et structural	
II.9. végétation	31
Conclusion	33
Chapitre III : Contexte hydrochimique et géochimique	
Introduction	34
III.1. Classification des eaux	34
III.2. Etude de l'origine des éléments chimiques des sources de la région de Sétif	40
III.3. Relation entre les paramètres	40
III.4. Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques	47
III.5. Diagramme de Langelier-Ludwing	50
III.6. Etude des cercles de corrélation	52
III.6.1. Corrélation entre variables et axes principaux	52
Conclusion	54
Conclusion générale	56
Références bibliographiques	58
Annexe	60

Liste des tableaux

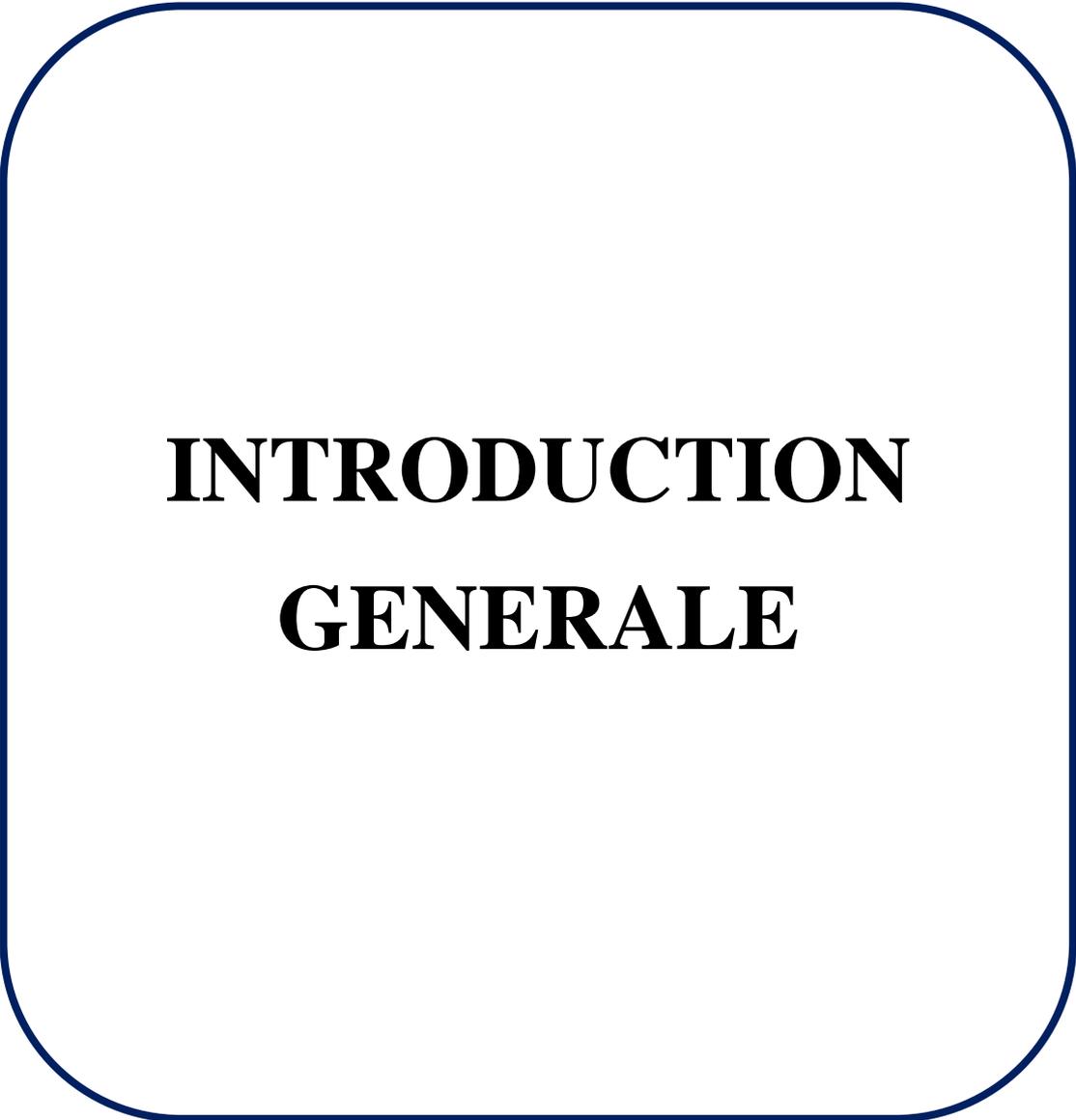
Chapitre II : présentation de la zone d'étude	
Tableau II. 1 : les Daïras de la wilaya de Sétif.	12
Tableau II.2 : la population de la quelques communes de la région et leur taux d'accroissement.	13
Tableau II.3 : Distribution moyenne mensuelle des précipitations enregistrées à la station de Sétif pendant la période (1991-2020)	15
Tableau II.4 : La variation des températures moyennes mensuelles à la station de Sétif période (1991-2020)	15
Tableau II.5 : répartition des infrastructures par commune	20
Tableau II.6 : Répartition générale des terres en Sétif (DPAT., 2010).	32
Chapitre III : Contexte hydrochimique et géochimique	
Tableau III.1 : matrice de corrélation	52
Tableau III.2 : corrélation entre variables et axes	53

Liste des figures

Chapitre I : Rappel Bibliographique	
Figure I.1 : Représentation schématique du circuit hydrominéral d'un gisement (Ladouche B., Négrel P., Vigouroux. P., BRGM)	5
Figure I.2 : Schéma du BRGM expliquant la minéralisation et la remontée de l'eau de pluie.	6
Figure I.3 : Schémas structural montrant quelques sources existants en Algérie	7
Figure I.4: Schéma expliquant les eaux thermales	8
Figure I.5: Modèle conceptuel des circulations hydrothermales liées à la présence d'une source de chaleur magmatique. (Curewitz and Karson, 1997)	9
Chapitre II : présentation de la zone d'étude	
Figure II.1 : Situation géographique et limite de la région d'étude	12
Figure II.2 : Carte pluviométrique dans les grands bassins versants(A. N. R.H)	14
Figure II.3: Diagramme Ombrothermique de la station de Sétif (période 1991-2020) -	16
Figure II.4 : Réseau hydrographique de la région de Sétif (DHW. 2006).	17
Figure II.5: Reliefs de la région de Sétif (DSA. 2010).	18
Figure II.6: Les sources thermo-minérales de la région d'étude (Huit sources) (Djammal. S ; 2018)	21
Figure II.7: Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Dehamcha.	22
Figure II.8 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Bousselam de la source de Hammam Guergour.	24
Figure II.9 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Ouled Yellès	25
Figure II.10 : Schéma structural extrait de la carte géologique de	26

Djemila de la source de Hammam Douar El Kebir.	
Figure II.11 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Ouled Boutara.	27
Figure II.12 : Schéma structural extrait de la carte géologique de d'Algérie Orientale de la source de Hammam Soukhna.	28
Figure II.13 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Bouselam de la source de Hammam Ouled Tabben.	30
Figure II.14 : Schéma structural extrait de la carte géologique de d'Algérie Orientale de la source de Hammam Boutaleb.	31
Figure II.15 : Carte d'occupation de terre de la région de Sétif.	32
Chapitre III : Contexte hydrochimique et géochimique	
Figure III.1 : Répartition des eaux dans le diagramme de stabler	36
Figure III.2 : Répartition des eaux dans le diagramme de Piper	38
Figure III.3 : Répartition des eaux dans le diagramme de Scholler-Berkaloff	40
Figure III.4 : Couple HCO_3^- en fonction SO_4^{2-}	41
Figure III.5 : Couple SO_4^{2-} en fonction Cl^-	41
Figure III.6 : Diagramme $\text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$ en fonction de la Conductivité.	42
Figure III.7 : Diagramme $\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^-$ en fonction de la Conductivité.	42
Figure III.8 : Couple Ca^{++} en fonction Cl^-	43
Figure III.9 : Couple Ca^{++} en fonction HCO_3^-	43
Figure III.10 : Couple Na^+ en fonction SO_4^{2-}	44
Figure III.11 : Couple Na^+ en fonction Cl^-	44
Figure III.12 : Couple Ca^{++} en fonction Na^+	45
Figure III.13 : Diagramme $\text{Ca}^{++}/\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ en fonction Na^+/Cl^-	46
Figure III.14 : Couple Sr^{++} en fonction SO_4^{2-}	46
Figure III.15 : Représentation graphique des diagrammes de référence établies par Amore et al, 1983 (α : série évaporitique; β : circulation dans les calcaires; γ : circulation profonde à travers un socle cristallin; δ	48

: formation argileuse).	
Figure III.16 : Représentation des eaux thermo minérales sur le diagramme d'AMORE et al. 1983.	50
Figure III.17 : Diagramme de Langelier-Ludwing appliqués aux eaux des sources. Ca+Mg en fonction de Na+K et Cl+SO4 en fonction Na+K	51
Figure III.18 : Représentation graphique des variables sur le plan factoriel (F1-F2)	53
Figure III.19 : Représentation graphique des sources et des variables sur le plan factoriel (F1-F2)	54



INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les sources thermo-minérales de la région de Sétif, situées dans l'est de l'Algérie, présentent un intérêt scientifique considérable en raison de leurs caractéristiques géologiques, hydrologiques et chimiques uniques. Ces sources, souvent associées à des contextes structuraux spécifiques, offrent non seulement des opportunités pour des études approfondies de la géologie régionale, mais aussi pour des applications potentielles en hydrothérapie et en géothermie.

La région de Sétif, caractérisée par une géologie complexe et variée, se trouve au carrefour de plusieurs structures tectoniques majeures. Cette complexité géologique se traduit par la présence de nombreuses sources thermo-minérales dont les propriétés physico-chimiques varient en fonction de leur emplacement et des formations géologiques sous-jacentes. Comprendre ces variations et les processus géochimiques en jeu est crucial pour l'exploitation durable de ces ressources.

Le présent travail de recherche vise à étudier les sources thermo-minérales de la région de Sétif origines et caractéristique . Il s'articule autour de trois chapitres principaux. Le premier chapitre propose sur un rappel bibliographique, fournissant une revue exhaustive sur les sources thermo-minérales, leur formation et leur importance. Le deuxième chapitre se concentre sur la présentation détaillée de la zone d'étude, incluant des descriptions géographiques, géologiques et hydrologiques.

Enfin, le troisième chapitre est dédié à la géochimie des sources, avec une analyse des éléments chimiques présents et une discussion sur leurs origines et implications. Cette étude permettra non seulement de mieux comprendre les caractéristiques des sources thermo-minérales de la région de Sétif, mais également de contribuer à la gestion et à la valorisation de ces ressources naturelles dans une perspective de développement durable.

CHAPITRE I

Rappel Bibliographique

Introduction

Au cours de ce chapitre, nous aborderons les principaux aspects des eaux thermo-minérales. Dans un premier temps, nous allons débiter par quelques définitions de base et une classification des eaux thermo-minérales. Ensuite, nous mettons l'accent sur les caractéristiques et les origines des eaux thermo-minérales.

En conclusion, nous aborderons les principaux systèmes hydrothermaux continentaux ainsi que les principales sources thermales à travers notre région « la région de Sétif ».

I.1. Définition de la thermalité

La température d'une eau souterraine est un facteur relatif lié aux valeurs de la température extérieure, elle-même fonction de la localisation géographique. Diverses classifications ont été proposées pour ranger les eaux en fonction de leur thermalité, nous retiendrons la définition de P.Verdeil qui considère comme thermales des eaux dont la température est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air du lieu de 4 C°.

Nous admettrons donc avec P. Verdeil, la distribution suivante :

- Eaux Athermales : eaux dont la température est inférieure à la température moyenne du lieu d'émergence.
- Eaux Hydrothermes : eaux dont la température est égale à la température moyenne du lieu d'émergence.
- Eaux Mésothermes : eaux dont la température est comprise entre la température moyenne du lieu d'émergence plus 4° C et 37° C qui est la température du corps humain.
- Eaux Orthothermes : eaux dont la température est comprise entre 37° C et 45° C.
- Eaux Hyperthermes : eaux dont la température est supérieure à 45° C. (DJEMMAL Samir, 2018)

I.2. Définition et classification des eaux thermo minérales

I.2.1 Eau minéral

Selon Larousse l'appellation d'eau minérale est réservée à des eaux de composition constante et ne contenant aucune bactérie. Les eaux minérales sont classées selon leur teneur en minéraux. Elles peuvent être plates ou gazeuses (chargées de plusieurs fois leur volume en gaz carbonique [CO₂]).

Les eaux gazeuses sont souvent plus riches en sodium et déconseillées dans les régimes hyposodés prescrits en cas d'insuffisance cardiaque ou d'hypertension. Seules les eaux minérales pouvant être consommées sans contre-indication par des personnes en bonne santé reçoivent l'autorisation d'être mises en bouteilles et librement commercialisées.

Les eaux peu minéralisées peuvent servir à la composition des biberons si elles ne sont pas gazeuses. Des eaux riches en calcium peuvent contribuer à compenser une alimentation pauvre en minéraux. Certaines eaux enrichies en fluorures peuvent avoir un effet bénéfique dans la prévention de la carie dentaire. De même, la très faible teneur en sodium de certaines eaux minérales permet leur consommation quotidienne par des personnes astreintes à un régime hyposodé. Les propriétés des eaux minérales s'utilisent en thérapeutique, dans le cadre des cures thermales, soit par voie interne (boisson), soit par voie externe (bains) (Larousse, 2012)

I.2.2 Eau thermo minérale

La dénomination « **eau thermale** » ou « thermo minérale » ne répond pas à une définition précise. Certains auteurs considèrent cette appellation pour des eaux dont la température excède 35°C et réservent le terme "d'eau minérale" pour les autres. Dans le langage courant, l'eau thermale désigne toute eau utilisée dans un établissement de soins, quelle que soit sa température

L'eau minérale est une eau **naturelle** microbiologiquement saine. L'eau minérale naturelle provient d'une nappe ou d'un gisement souterrain exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées constituant la source.

Elle témoigne d'une **stabilité** de ses caractéristiques essentielles, notamment de composition (teneur en minéraux, oligoéléments, etc.) et de température à l'émergence, qui n'est pas affectée par le débit de l'eau prélevée. Elle se distingue des autres eaux destinées à la consommation humaine par :

- Sa nature (caractérisée par sa teneur en minéraux, oligoéléments ou autres constituants),
- Sa pureté originelle.

Caractéristiques, conservées intactes en raison de l'origine souterraine de cette eau qui a été tenue à l'abri de tout risque de pollution. Ces dernières doivent être appréciées sur les plans géologique et hydrogéologique, physique, chimique, microbiologique, et si nécessaire, pharmacologique, physiologique et clinique.

Ce n'est pas seulement la composition chimique constante qui permet de définir clairement une eau minérale pour l'utilisation dans les stations thermales. L'eau doit être douée de certaines propriétés bénéfiques à la santé reconnues par l'Académie nationale de médecine pour être qualifiée d'eau minérale naturelle. Beaucoup d'eaux, plus ou moins riches en sels minéraux, ne sont pas classées « eau thermo minérale » (Vigouroux P, 1999)

Naturellement, par suite de la présence de sels minéraux à des teneurs qui dépassent les normes, beaucoup d'eaux minérales ne sont pas potables, au sens de l'alimentation courante du public : ce sont en fait des médicaments, aux vertus thérapeutiques reconnues par l'Académie de Médecine. Elles peuvent dépasser diverses normes concernant les sels dissous, au point de ne pas devoir être consommées exclusivement et de manière durable comme eau de boisson. (Jean-Jacques Collin, 2004)

I.3. Caractéristiques des eaux thermo-minérales

Deux paramètres principaux caractérisent ces eaux : la température et la minéralisation. Les paramètres qui les régulent sont décrits de la manière suivante :

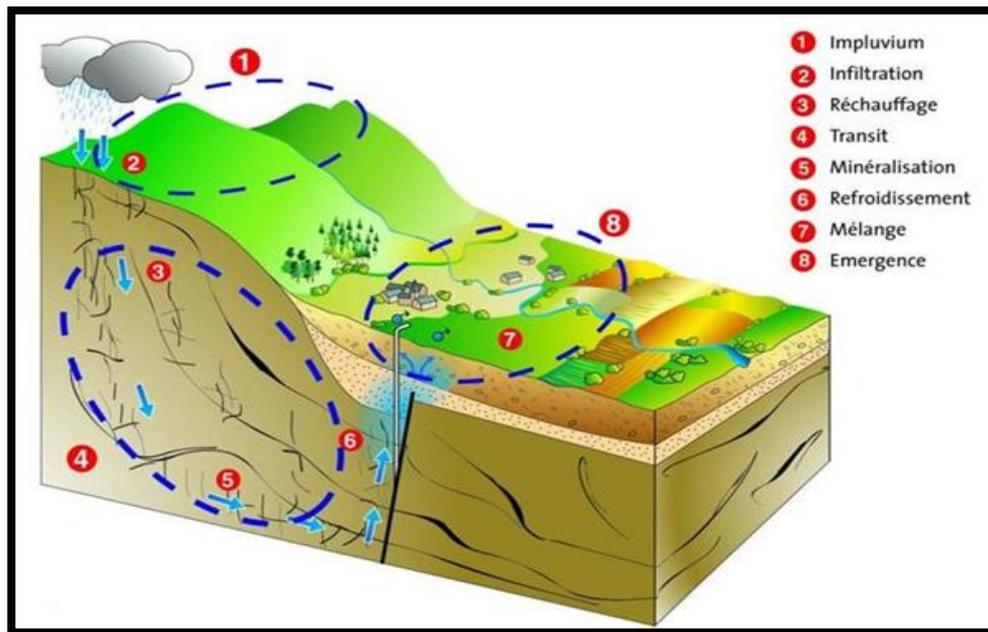
I.3.1. Température

La gestion de celle-ci repose sur deux paramètres principaux :

a) Niveau de géothermie

La chaleur terrestre interne entraîne une augmentation de la température des eaux météoriques qui s'infiltrent dans le sol (fig.I.1). À l'exception des zones où règnent des conditions exceptionnelles qui ne seront pas étudiées ici, le gradient géothermique moyen est de 3 °C pour 100 m mais il peut atteindre localement et exceptionnellement 10 fois cette valeur (P. Pouchan, 1995). La différence entre la température observée à l'émergence (T_e) et la température constante qui règne dans le sol (T_s) à quelques mètres (10 à 20 en général) sous la surface est connue comme le gain de température acquis par une eau ayant circulé en profondeur (Gaston, 1989). En prenant en compte le gradient géothermique moyen, la profondeur (P) atteinte par les eaux sera donc.

$$P=100\times\frac{(T_e-T_c)}{3}$$



**Figure I.1 : Représentation schématique du circuit hydrominéral d'un gisement
(Ladouche B., Négrel P., Vigouroux. P., BRGM)**

b) Rapidité de l'écoulement des eaux

Effectivement, étant donné que la température au point bas de chaque aquifère est influencée par la profondeur maximale atteinte par le circuit hydraulique et le gradient géothermique dans la région en question, la température à l'émergence sera principalement influencée par la vitesse de remontée de l'eau. Ainsi, toute variation de cette vitesse aura un impact sur la température. On peut facilement observer ce rôle essentiel du facteur vitesse sur le terrain (Gaston, 1989) :

- Sur certains gîtes hydrothermaux existent des émergences multiples donnant des eaux ayant rigoureusement la même minéralisation, et donc a priori la même origine, mais offrant par contre des températures diverses, certaines très basses. Or, on remarque que ces basses températures correspondent habituellement aux plus faibles débits, donc aux plus faibles vitesses.
- Sur diverses sources on peut observer une augmentation simultanée de la température et du débit, sans altération de la qualité des eaux. Cette constatation est faite en période de hautes eaux froides, la contre-pression de celles-ci refoulant vers les émergences captées des eaux chaudes qui, auparavant se perdaient. L'augmentation du débit impliquant alors celle de la vitesse.

- Il arrive que le débit d'une source se trouve augmenté à la suite de l'exécution dans son voisinage d'un nouveau captage à plus grande profondeur, et l'on constate alors que la température de cette source est, elle aussi augmentée.

I.3.2. Minéralisation

Naturellement, la minéralisation des eaux est influencée par celle des terrains lessivés (fig.I.2). La charge de l'eau augmente d'autant que les roches avec lesquelles elle circule sont plus solubles ; cependant, de nombreux facteurs influencent la quantité de sels dissous, la température, la durée du contact, la texture des roches, etc.

En réalité, il apparaît que les eaux sulfurées sodiques proviennent des terrains primaires, les eaux chlorurées et sulfatées proviennent des terrains secondaires et les eaux bicarbonatées proviennent des terrains tertiaires.

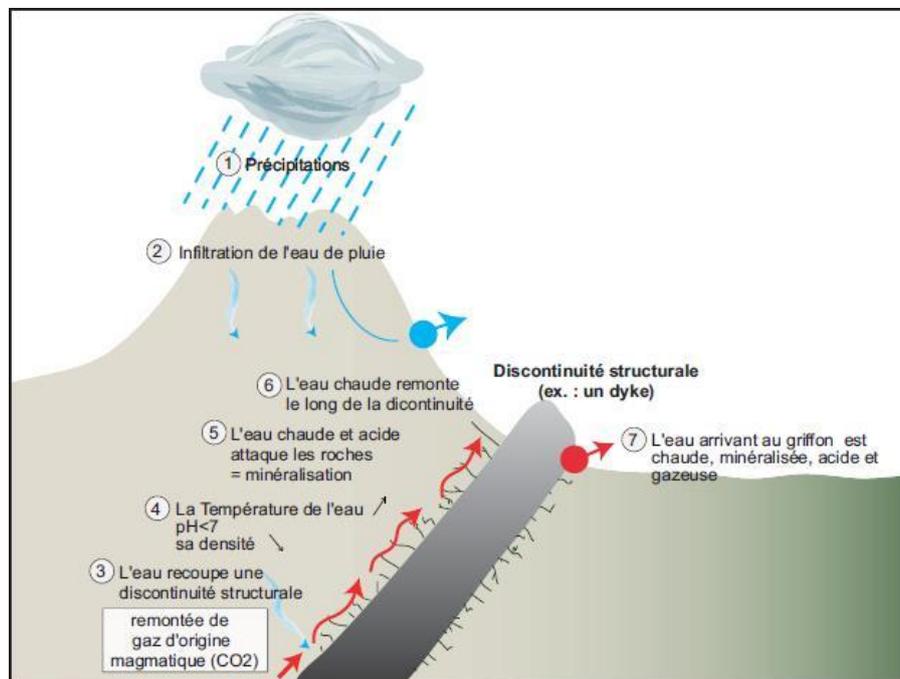


Figure I.2 : Schéma du BRGM expliquant la minéralisation et la remontée de l'eau de pluie.

I.4. Quelques exemples de minéralisation des sources existant en Algérie

Sur le territoire algérien, il y a plus de 200 sources thermales qui connaissent une croissance régulière en se dirigeant vers l'Est. Lors de l'émergence, les températures peuvent atteindre 98°C (Hammam Maskoutaine).

La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent (fig I.3). Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias si répandu en Algérie, ce cas est

rencontré à titre d'exemple à Hammam Melouane 29.42 gr/l, Hammam El Biban 15gr/l, Hammam Salhine 9 gr/l. (S. OUALI, 2003)

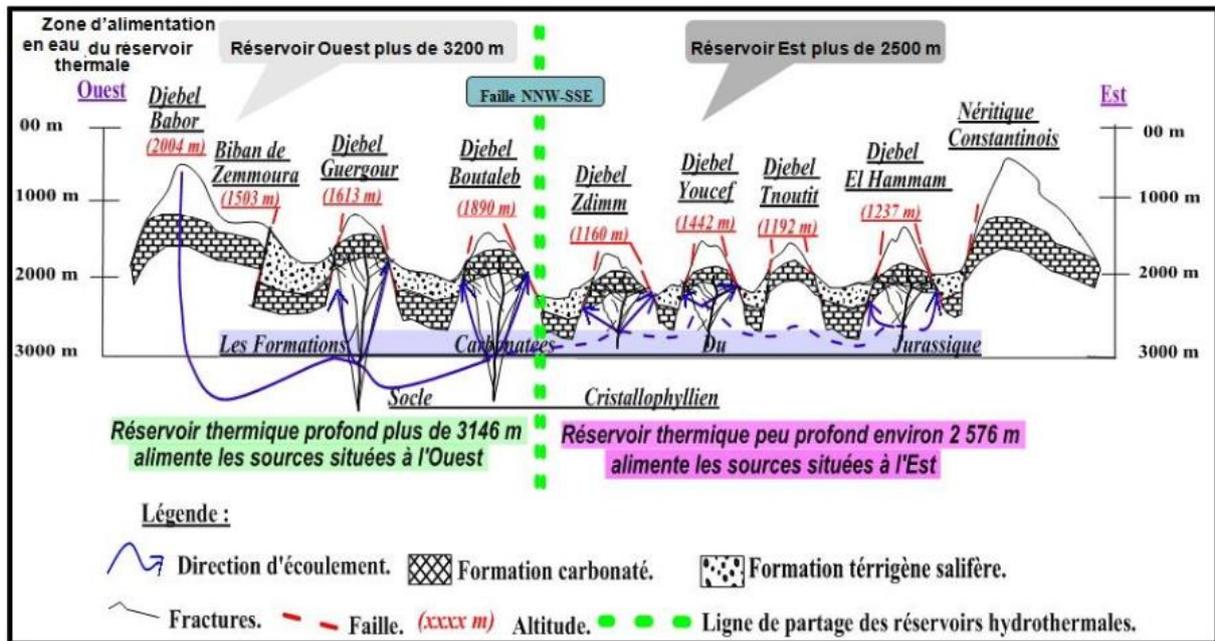


Figure I.3 : Schémas structural montrant quelques sources existantes en Algérie

I.5. Origine des eaux thermo minérales

Les eaux thermo-minérales viennent de la profondeur (fig.I.4) puisque la source de chaleur est en bas, mais la question qui se pose c'est par rapport à l'origine de ces eaux. Il y a deux types : l'une élaborée au sein même de la Terre, elle est dite « Juvénile ou endogée » et l'autre météorique et dite « Vadose ou météorique». Il est à noter que pour désigner les eaux thermo-minérales, on trouve autres appellations, Juvéniles ou Vadoses notamment : artésiennes, filoniennes, interstratifiées, vauclusiennes, géothermales, hypogènes, etc. (Boulatrous Bouchra, 2021)

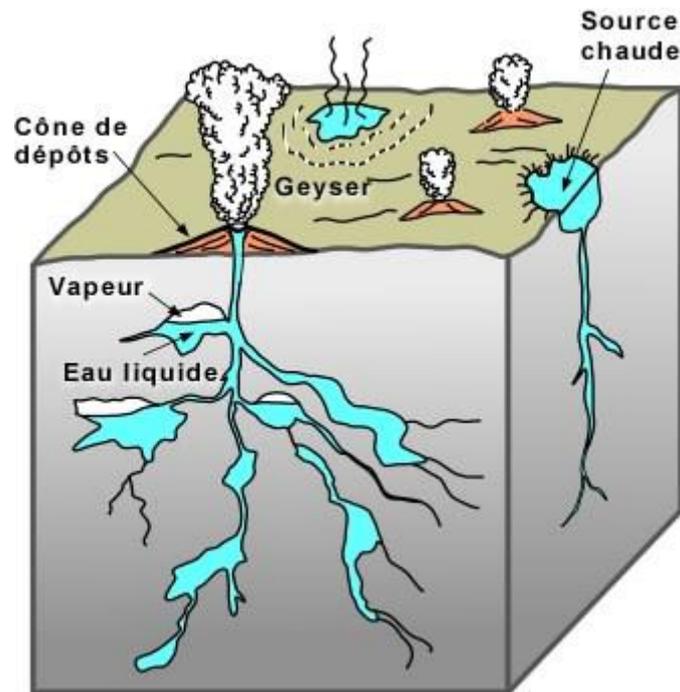


Figure I.4: Schéma expliquant les eaux thermales

(<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/ressources.naturelles.html>)

I.6. Les systèmes hydrothermaux continentaux

De nombreux types de systèmes hydrothermaux continentaux existent dans le monde. Les plus étudiés sont associés à des sources de chaleurs anormales, tel que du volcanisme (ex : Islande) ou du plutonisme (ex : Geysers, USA). Ils impliquent l'infiltration de fluides marins ou météoriques dans la croûte [Henley and Ellis, 1983], au-dessus d'une chambre volcanique ou d'un pluton. La chaleur dégagée par ces corps magmatiques réchauffe les fluides dont la masse volumique diminue (convection libre), ce qui provoque leur remontée à la surface à la faveur de failles ou des couloirs fracturés (fig I.5). Néanmoins, de nombreux systèmes hydrothermaux existent sans manifestation de magma en profondeur [Moeck, 2014]. Les plus étudiés sont associés à des zones d'extension (rift, graben) ou à des bassins (intra-cratoniques ou d'avant-pays) (Faulds et al. 2010). Ceux en contexte orogénique sont moins étudiés. Ce chapitre détaille les facteurs de contrôle des systèmes hydrothermaux continentaux non-magmatiques, ainsi que les interactions entre ces facteurs (Audrey Taillefer, 2017).

Dans le contexte extensif, les systèmes hydrothermaux sont caractérisés par l'infiltration des fluides météorologiques sur les reliefs ou le long des failles bordières. Ils se déplacent en profondeur dans des zones extrêmement légères : les bassins syn-tectoniques ou le long des fissures. Ils s'y réchauffent grâce à la forte circulation de chaleur dans les zones d'expansion.

Les forces de flottement (convection libre) les amènent à la surface le long des failles, en particulier aux intersections de celles-ci.

Dans le contexte orogénique, les systèmes hydrothermaux s'infiltrent dans les reliefs .Le gradient topographique (lignes de courant en bleu) les déplace en profondeur vers les flancs du massif ou les vallées (convection forcée). Leur réchauffement est causé par l'effet du gradient.

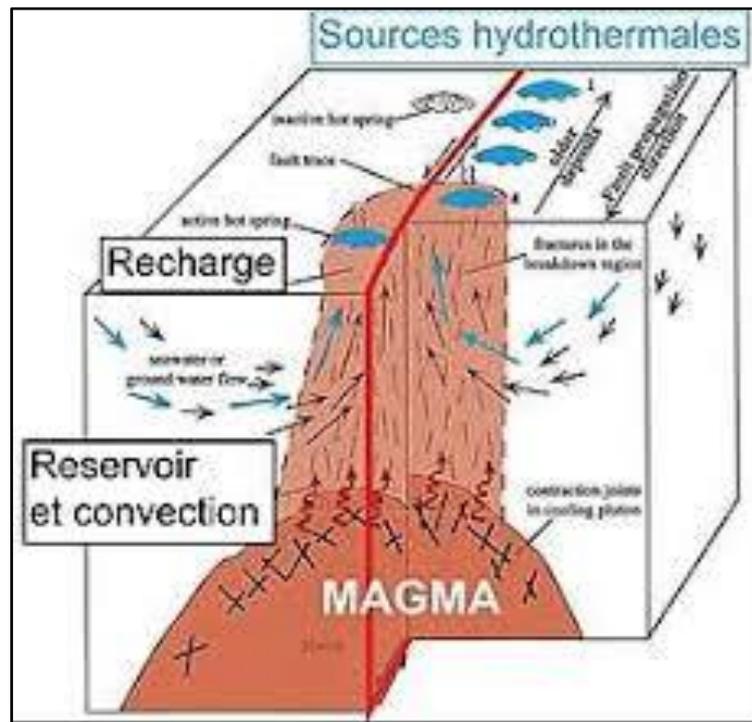


Figure I.5: Modèle conceptuel des circulations hydrothermales liées à la présence d'une source de chaleur magmatique. (Curewitz and Karson, 1997)

I.7. Loi portant acquisition sur les eaux thermales en Algérie

De nouvelles conditions et modalités d'octroi de la concession, d'utilisation et d'exploitation des eaux thermales sont désormais fixées par le décret exécutif n° 19-150 du 29 avril 2019 paru dans le dernier numéro du Journal officiel (JO).

Modifiant et complétant le décret exécutif n° 07-69 du 19 février 2007 fixant les conditions et les modalités d'octroi de la concession d'utilisation et d'exploitation des eaux thermales, et basé sur le rapport conjoint des ministres du Tourisme et de l'Artisanat et celui des Ressources en Eau, le nouveau texte de loi définit, en premier lieu, clairement tout établissement thermal.

le dit décret stipule que la concession de l'eau thermale est « octroyée par arrêté du wali, territorialement compétent, après avis favorable du comité technique du thermalisme, à toute personne physique ou morale de droit public ou privé qui en fait la demande ». Tout en soulignant que les eaux thermales « sont soumises, impérativement, à des analyses physico-chimiques et bactériologiques ».

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a montré les différents mécanismes de base qui favorisent la formation des eaux thermo-minérales qui sont présentés de manière générale, ainsi que des exemples de sources en Algérie. On a approfondi la section sur les sources thermales en Algérie en fournissant des informations plus précises sur le gradient thermique en Algérie, la répartition spatiale des sources et l'illustration des sources.

CHAPITRE II

Présentation de la zone d'étude

INTRODUCTION

La présentation de la zone d'étude est un chapitre extrêmement important qui portera sur la description générale de la zone d'étude en envisageant sa situation géographique, géologique, climatique, hydraulique et surtout hydrogéologique en décrivant surtout les sources thermo minérales de la région. Le traitement de ces données permet d'élaborer un projet sur des bases solides.

II.1. Localisation géographique

Du point de vue géographique, la région de Sétif est localisée dans l'Est algérien dans la région des Hauts-Plateaux.

La ville de Sétif se trouve aux coordonnées $36^{\circ} 09' 00''$ nord, $5^{\circ} 26' 00''$ est et à une altitude de 1080 mètres

La région d'étude est située sur les hautes terres de l'Est du pays au climat continental particulièrement rude. Elle s'étend sur une superficie de 6549, 64 km² soit 0.27 % du territoire national comprenant 60 communes regroupées autour de 20 daïras (tableau II.1) Elle occupe une position prédominante parmi les wilayas des hauts plateaux de l'Est, ce qui fait d'elle leur capitale. Elle constitue également un point de passage d'une grande importance du fait qu'elle est traversée par la route nationale N°05 et récemment par l'autoroute Est Ouest sur un tronçon de 75Km et par la route nationale N°09 qui relie Bejaia à Sétif. Elle est également desservie par la voie ferrée (DPAT., 2010). A cet effet elle sert le lieu de transit aux convois de marchandises provenant du Sud et qui se dirigent vers les ports de Bejaia et de Jijel, de plus, elle dispose d'un aéroport ouvert au réseau tant national qu'international.

La wilaya de Sétif est limitée par :

- Les wilayas de Jijel et Bejaia au Nord
- A l'Est par la wilaya de Mila
- A l'Ouest par Bordj Bou Arreridj
- Et au Sud par les wilayas de Batna et M'sila (fig.II.1)

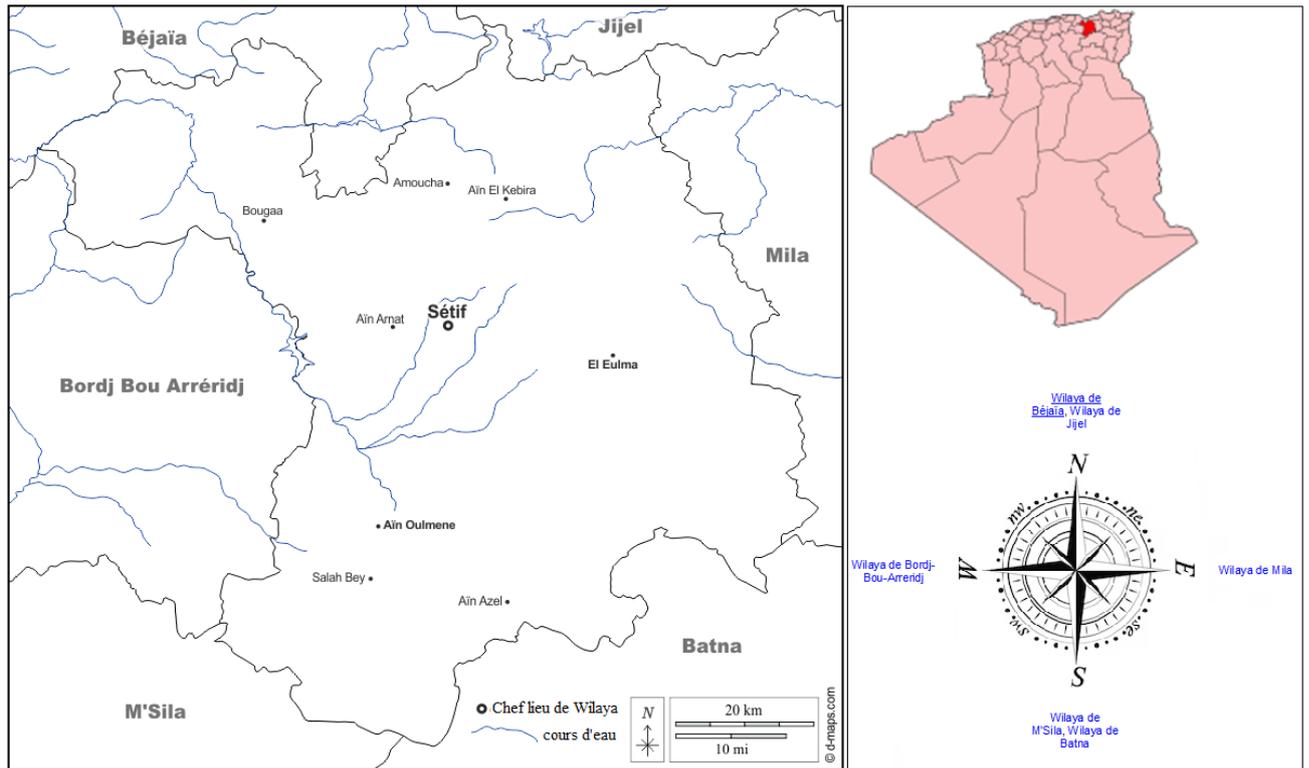


Figure II.1 : Situation géographique et limite de la région d'étude

Tableau II.1 : les Daïras de la wilaya de Sétif.

Daïra	Consistance
01- Sétif	Sétif
02- Aïn-Arnet	Aïn-Arnet, Aïn-Abessa, El-Ouricia, Mezloug
03- Aïn-Azel	Aïn-Azel, Aïn-Lahdjar, Beida-Bordj, Bir-Haddada
04- Aïn-El-kebira	Aïn-El-kébira, Dehamcha, Ouled-Addouane
05- Aïn-Oulméne	Aïn-Oulméne, Guellel, Kasr-El-Abtal, Ouled -Si- Ahmed
06- Amoucha	Amoucha, Oued El-Bared, Tizi-N'Bechar
07- Babor	Babor, Serdj-El-Ghoul
08- Beni-Aziz	Beni-Aziz, Aïn-Sebt, Maouia
09- Beni-Ourtilene	Beni-Ourtilene, Aïn-Lagradj, Beni-Chebana, Beni-Mouhli
10- Bir-El Arch	Bir-El arch, Bellaâ, El Ouldja, Tachouda
11- Bouandes	Bouandes, Ait-Nouel-M' zada, Ait-Tizi, Bousselam

12- Bougaa	Bougaa, Ain-Roua, Béni-Oussine
13- Djemila	Djemila, Beni-Fouda
14- El-Eulma	El-Eulma, BazerSakra, GueltaZerga
15- Guedjel	Guedjel, Ouled-Saber
16- Guenzet	Guenzet, Harbil
17- Hammam Guergour	Hammam Guergour, DraaKebila
18- Hammam Sokhna	Hammam Sokhna, Taya, Tella
19- Maoklane	Maoklane, TalaIfacène
20- Saleh Bey	Saleh Bey, Boutaleb, Hamma, Ouled Tebben, Rasfa

II.2.Situation démographique

La population par agglomération de la zone d'étude, a été déduite de l'annuaire statistique de la wilaya de Sétif, conformément à l'année de recensement de 2021 réalisé par la DPAT de la Wilaya. Elle est présentée dans le tableau suivant :

Tableau II.2: la population de la quelques communes de la région et leur taux d'accroissement.

Commune	Population actuel (2021)	Taux d'accroissement (%)
Sétif	457 709	2.1
Ain Abbassa	20 006	2.3
Alouricia	27 788	2.6
Ain Arnat	70 581	2.7
Mezoulg	20 770	2.2
Guellal	28 355	1.7
Guedjel	47 464	2.0
Ain Oulmene	142 704	2.3
Ksar Al Abtal	31 011	2.0
Total	846 388	/

D'après la direction de l'hydraulique de la wilaya de Sétif, La population de la wilaya de Sétif est passée de **1 581 325** Habitants en 2010 à **2 076 859** habitants en 2021 avec un taux d'accroissement moyen évalué à **2,3 %**.

II.3. climat <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/setif/>

Sétif possède un climat tempéré subtropical humide presque sans saison sèche (Trois de saison sèche) (fig.II.2) et a été chaud. Les conditions climatiques de la région sont caractérisées par des précipitations nettement plus élevés pendant la saison hivernale que pendant l'été. En moyenne la température à Sétif est de 14.85 C°. La moyenne des précipitations annuelles atteints 390 mm/an (fig.II.2)

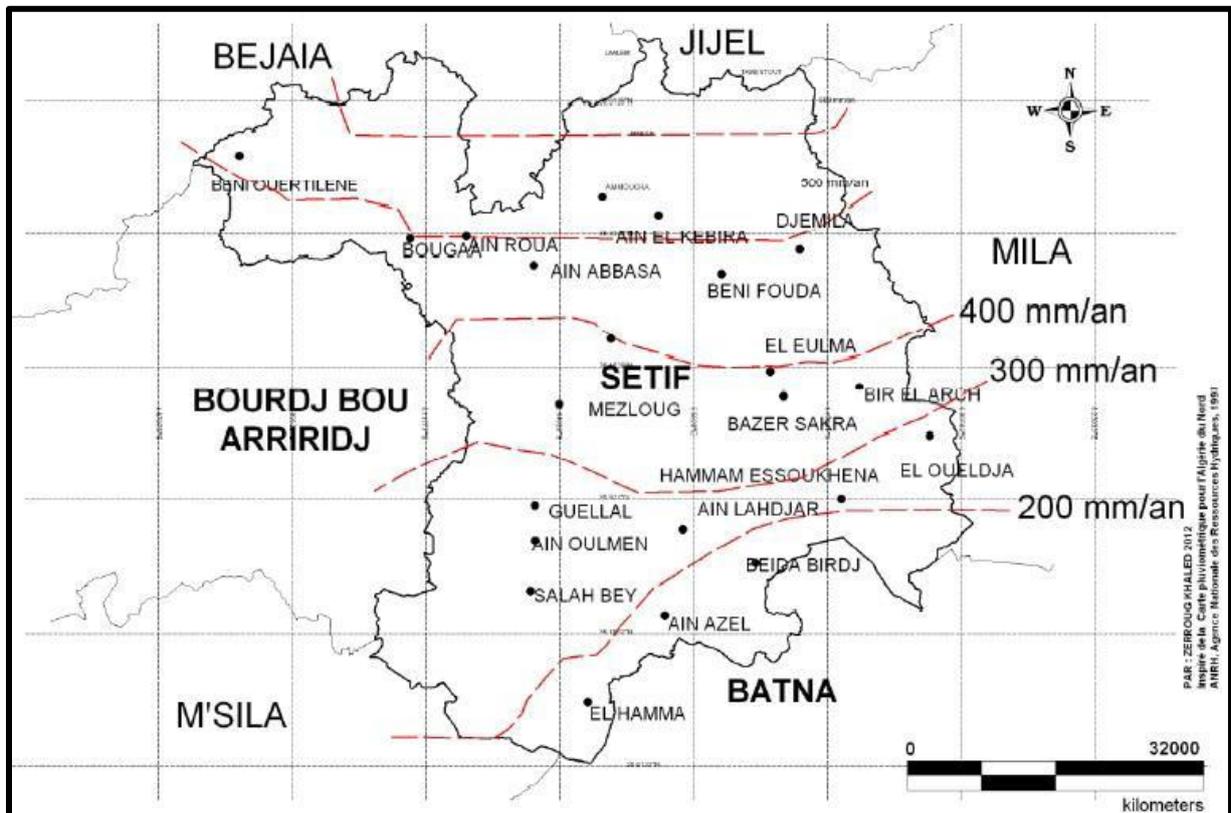


Figure II.2 : Carte pluviométrique dans les grands bassins versants (A.N.R.H.)

➤ Précipitation

Pour la grande partie du monde, les précipitations représentent la source principale d'eau pour la production agricole. Elles sont caractérisées par trois principaux paramètres : Leur volume, leur intensité, les mois et aussi les années (Ramade, 1994).

Les fluctuations mensuelles montrent une répartition variable de la pluie d'un mois à l'autre comme l'indique le tableau ci-dessous

Tableau II.3 : Distribution moyenne mensuelle des précipitations enregistrées à la station de Sétif pendant la période (1991-2020)

Mois	Quantité (mm)	Jours
Janvier	40	10
Février	30	9
Mars	40	9
Avril	45	8
Mai	40	7
Juin	20	4
Juillet	13	2
Août	20	4
Septembre	40	7
Octobre	30	7
Novembre	35	9
Décembre	40	10
An	390	86

Les précipitations totalisent 390 millimètres par an : elles sont donc assez faibles. Au mois le moins pluvieux (juillet) on enregistre 13 mm, dans le mois le plus pluvieux (avril) elles s'élèvent à 45 mm.

- **Températures**

La température est le second facteur après les précipitations qui conditionne le climat d'une région et joue un rôle primordial dans l'évaluation du déficit d'écoulement.

Tableau II.4 : La variation des températures moyennes mensuelles à la station de Sétif période (1991-2020)

Mois	Min (°C)	Max (°C)	Moyenne (°C)
Janvier	0,8	10,2	5,5
Février	1,1	11,3	6,2
Mars	3,6	14,8	9,2
Avril	5,9	18,1	12
Mai	10,1	23,6	16,9
Juin	14,8	29,8	22,3
Juillet	18,5	34,1	26,3
Août	18,5	33,3	25,9
Septembre	14,4	27,4	20,9
Octobre	10,3	22	16,2
Novembre	5	15	10
Décembre	1,8	11	6,4
An	8,8	20,9	14,85

La température moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 5,5 C°, avec un minimum de 0,8 C° et un maximum de 10,2 °C.

Juillet, est le mois le plus chaud de l'année. Cependant, il existe des différences notables entre la nuit et le jour. La température moyenne est de 26,3 °C, avec une température minimale de 18,5 °C et une maximale de 34,1 °C.

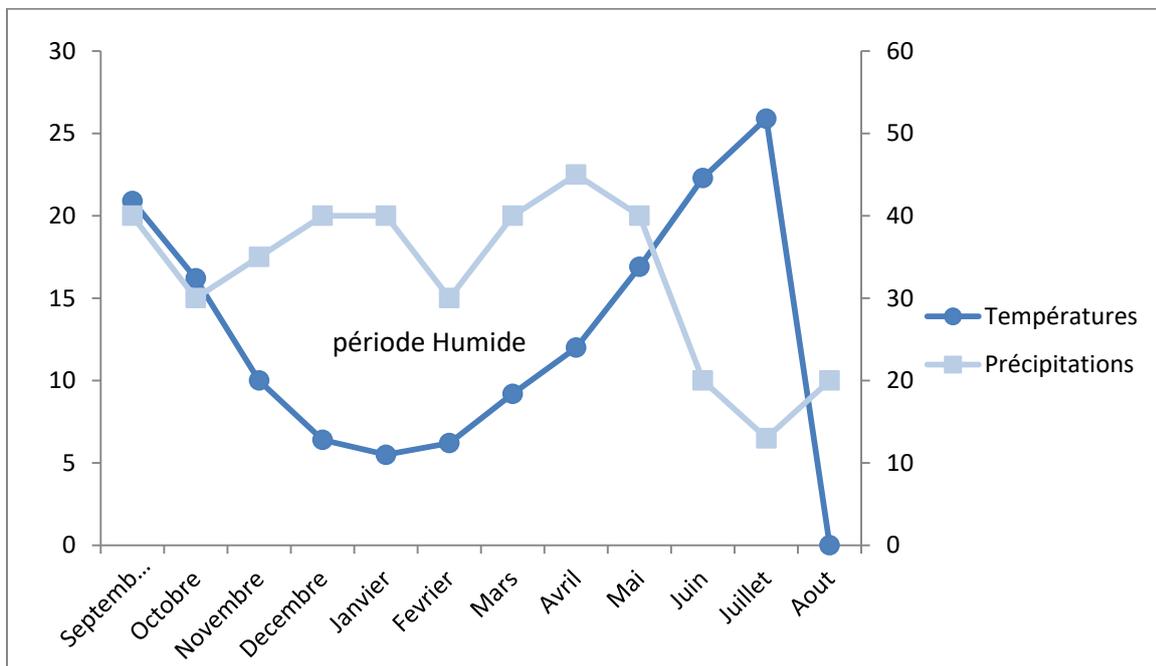


Figure II.3 : Diagramme Ombrothermique de la station de Sétif (période 1991-2020)

II.4. Hydrographie

Les oueds se caractérisent par un écoulement irrégulier, conséquence de données climatiques et des précipitations, les deux principaux oueds sont : L'Oued Boussalem et l'Oued El Kébir. Tous deux ont un tracé original á cause de la chaîne côtière, qui les empêche de rejoindre la mer méditerranée directement en coulant tout de suite vers le nord, et au contraire leur impose un trajet transversal :

- Vers l'est pour l'oued Boussalem jusqu'à ce qu'il rejoigne l'oued Soummam qui rejoint la mer á Bejaia.
- Vers l'ouest pour l'oued El Kébir, qui ne pourra infléchir son cours vers le nord qu'après avoir atteint la longitude de Mila.

Le réseau hydrographique est organisé autour du dispositif montagneux de la région. La moitié Nord envoie ses eaux de surface vers le bassin méditerranéen par les réseaux de l'Oued Bou Sellam qui rejoint la Soummam, de l'Oued Agrioun, de l'Oued el Kebir, bou Selah et de l'Oued Rhumel. Ces réseaux d'Oueds alimentent les barrages et autres retenues collinaires de la région Le reste possède une hydrographie endoréique centrée sur les Chotts (Kaabach et Mebrak, 2010) (figure II.4).

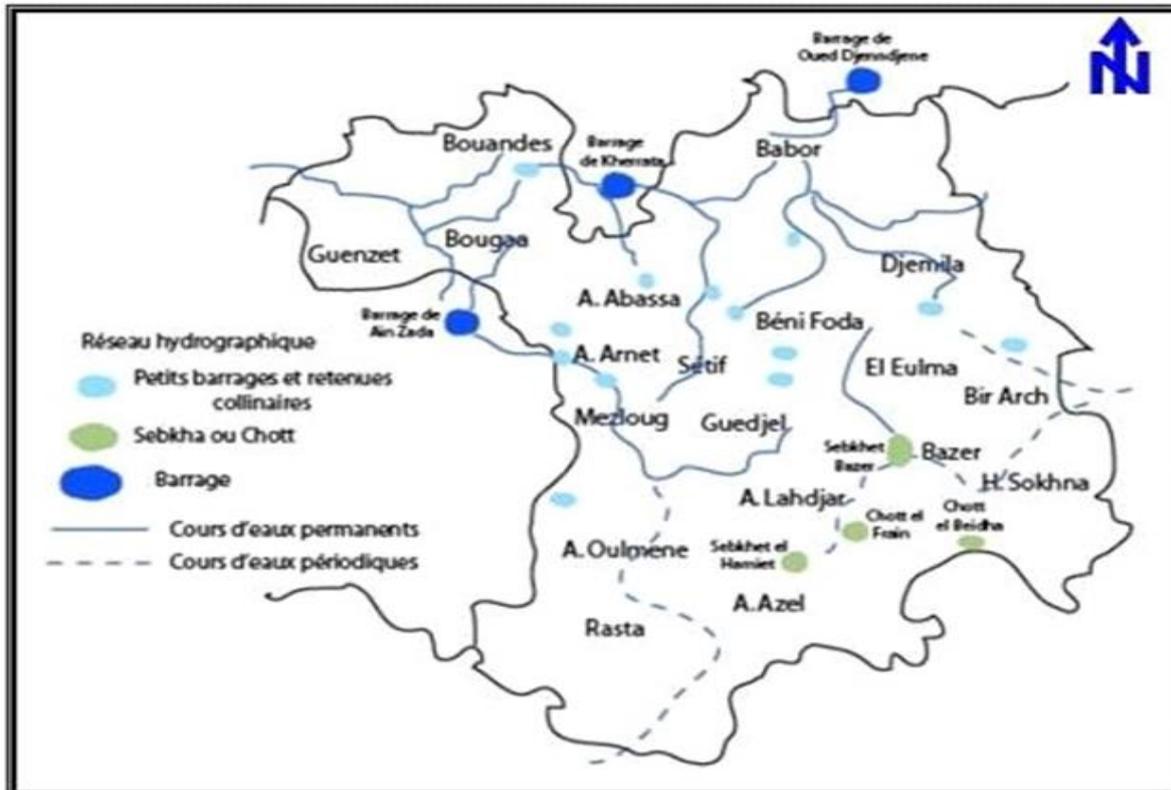


Figure II.4: Réseau hydrographique de la région de Sétif (DHW. 2006).

II.5. Relief géomorphologie et topographie de la zone

La wilaya de Sétif est appelée capitale des hauts plateaux, décomposé de 3 grandes zones (fig II.5):

- La zone montagneuse.
- Les hautes-Plaines.
- La frange semi-aride. (fig II.5)

II.5.1.Zone montagneuse:

Constituée de trois(3) masses montagneuses

- **Les monts de Babor** : Représentée par la chaîne des Babors qui s'étend sur une centaine de kilomètres couvrant pratiquement le Nord de la wilaya où se rencontrent des cimes élevées dont djebel Babor avec 2004 m d'altitude . C'est le domaine de la petite agriculture dominée par l'olivier et d'autres espèces rustiques. (Mihi, 2012).
- **Les monts des Bibans** : dont l'extrémité orientale couvre le Nord-Ouest de la wilaya.
- **Les monts de Hodna** : s'étalent sur le Sud et Sud-Ouest de la wilaya. L'altitude atteint 1.890m à Djebel-Afgane (Boutaleb). La zone montagneuse du Djebel Boutaleb est une Zone au relief très escarpé, couverte par une végétation forestière dense.

Cette zone occupe 2.871,61km² soit 43,84% de la superficie de la wilaya avec 34

Le périmètre de la wilaya présente une pente d'environ 8% favorisant un écoulement rapide et sans infiltration des eaux de pluies dans le sol et présente des formations essentiellement calcaireuses, schisteuses et argileuses. (DPAT,2024)

II.6.Pédologie

Chaque zone se caractérise par son sol.

- La zone montagneuse : dans sa grande partie est couverte par des sols calcaires ainsi que des alluviaux.
- La zone des hautes plaines : dans cette région on rencontre surtout des sols calciques et calcaires dont la qualité est variable d'un lieu à un autre. Les uns s'amincissent et deviennent caillouteux.
- La frange Sud-Est : les sols sont salins avoisinant les chotts et les sebkhas. (Zeroug, 2012).

II.7. Hydrogéologie

La Wilaya de Sétif est relativement riche en eau souterraine, les principaux aquifères sont :

- L'aquifère des alluvions moi – plio -quaternaire.
- L'aquifère des calcaires lacustres villafranchiens.
- Le système Karstique de Djemila.
- Le système aquifère de l'allochtone sud- sétifien.

D'où le nombre élevé des sources, puits, et surtout forages relevés sur le territoire de la Wilaya.

Les volumes des ressources hydriques connues sont de l'ordre de 592 Hm³ avec un volume mobilisable de 273,19 Hm³. Les ressources mobilisées sont de l'ordre de 21,15 Hm³ soit 7,74% du volume global. Cette mobilisation se fait à partir des eaux souterraines pour un volume de 0,15 Hm³ et des eaux superficielles de 21 Hm³.

Tableau II.5: répartition des infrastructures par commune

Commune	Nombre de retenues collinaires	Nombre de forages
Sétif	/	15
Ain Abbassa	1	8
Alouricia	2	6
Ain Arnat	2	3
Mezoulg	/	3
Guellal	/	3
Guedjel	/	7
Ain Oulmene	1	8
Ksar Al Abtal	/	6
Total	06	59

II.9. Présentation des principales sources thermo-minérales de la région de Sétif, contexte géologique et structural

Les eaux thermales constituent une mémoire qui apporte en surface des indications sur le réservoir profond. Leur étude géochimique représente un outil de reconnaissance qui, de manière complémentaire aux autres approches (géologiques, géophysiques, hydrodynamiques, etc.), permet de mieux déterminer leur origine, le circuit souterrain emprunté et les mélanges éventuels avec les eaux froides superficielles. A signaler que la région d'étude a fait l'objet d'études géologiques par J.M Vila (1980) dans sa thèse de doctorat d'état "La chaîne alpine d'Algérie orientale et les confins algéro-tunisiens",

Les eaux thermales proviennent surtout des précipitations infiltrées dans le sol mais elles se distinguent des eaux de source par un trajet souterrain beaucoup plus long et beaucoup plus profond. La conservation de température implique une montée rapide qui se produit en empruntant des fissures des grandes failles (Abderrahmane Boudoukha et Malika Athamena, 2012).

Dans ce chapitre et vu le manque de données nous avons étudiés huit sources thermo minérales qui sont (fig.II6) :

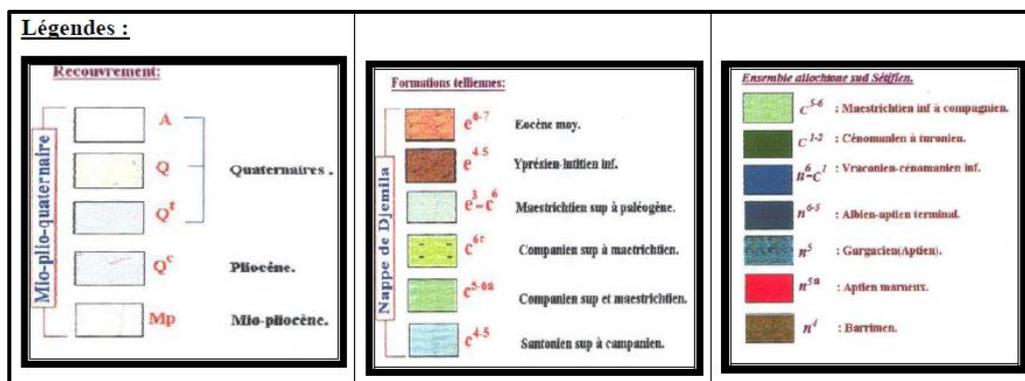
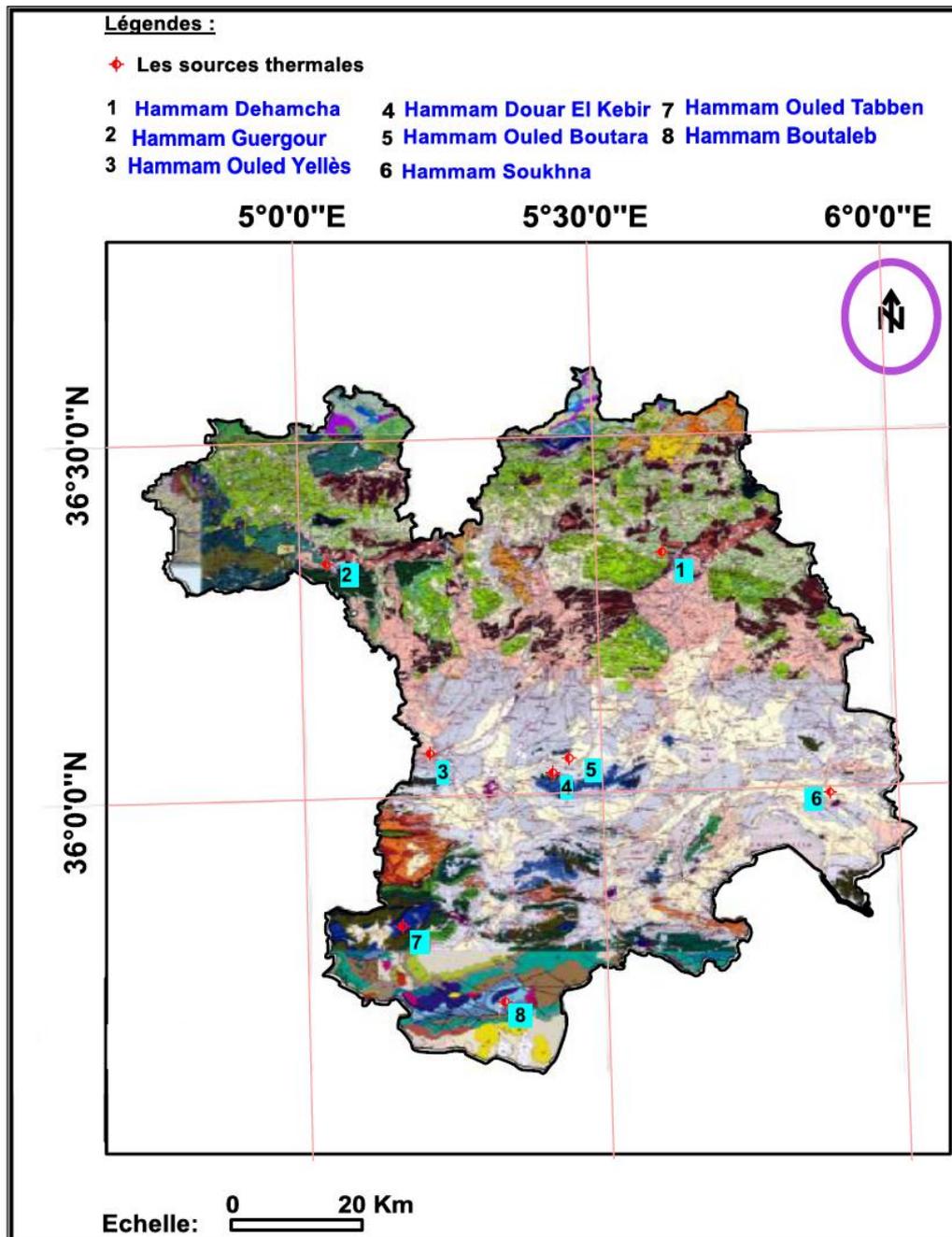


Figure II.6 : les sources thermo-minérales de la région d'étude (Huit sources) (Djammal.

S ; 2018)

❖ **Hamмам Dehamcha (S1)**

La source thermale de Hamмам Dehamcha est située au Nord-Ouest d'el Eulma, à 10Km de Beni Fouda et à 06Km de la route départementale el Eulma – Arbaoun, l'émergence se trouve dans la rive droite de l'Oued Dehamcha sur le flanc Sud de Dj, Temtart.

➤ **Condition géologique de la source**

La source se trouve comme la plupart des sources thermales de la région de Sétif dans La nappe de charriage de Djemila, elle émerge à la faveur d'une faille.

La source thermale de Hamмам Dehamcha voie le jour dans les formations d'âge Céno-manien a Lutétien à la faveur d'un système de faille conjuguées Nord-Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest, Nord-Est dont la direction favoriser est Nord-Ouest, Sud-Est. Ils sont le résultat du mouvement posthume du socle de direction N60E ou même N90°.

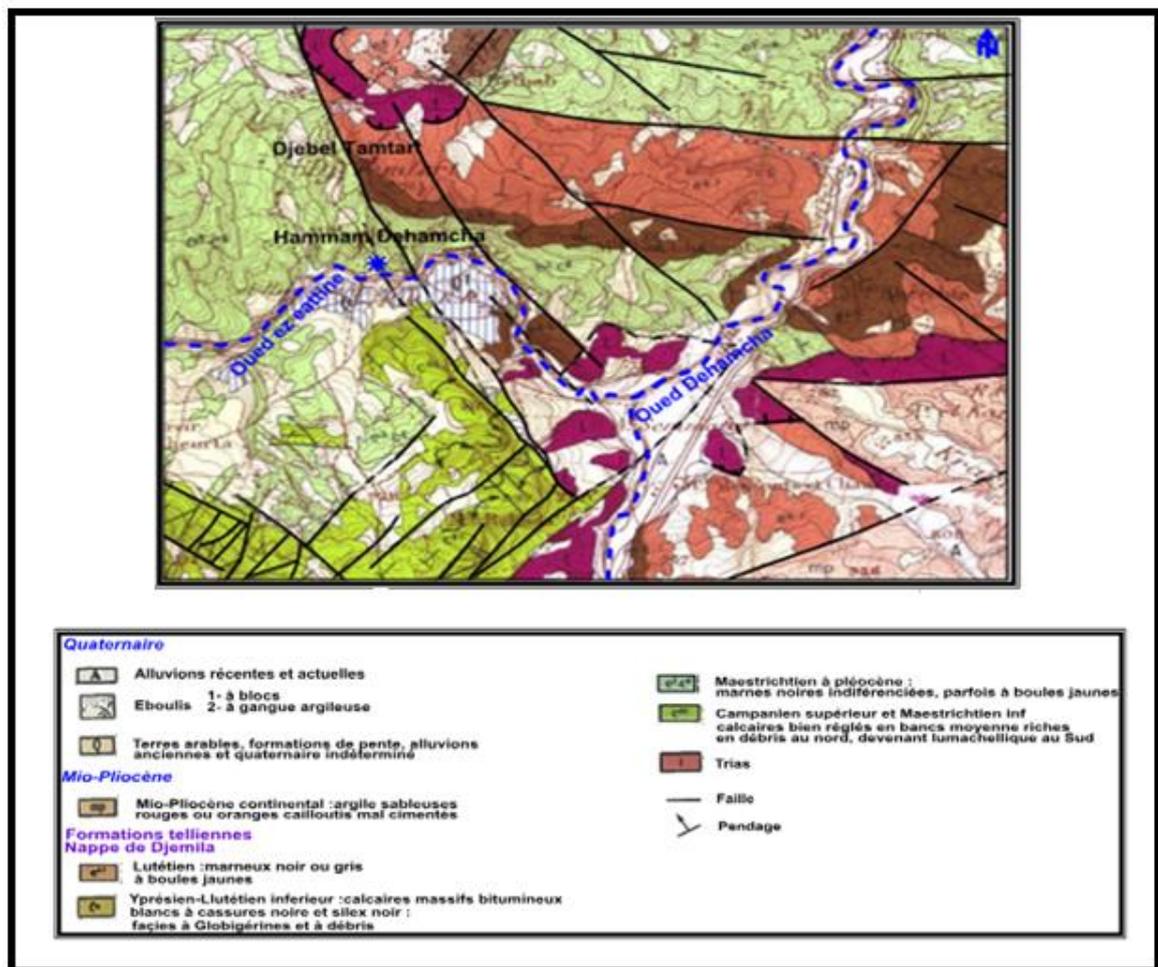


Figure II.7 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hamмам Dehamcha.

❖ Hammam Guergour (S2)

Les sources thermo minérales de Hammam Guergour se trouvent à environ 08Km au Sud-Ouest de Bougaa et 55Km au Nord-Ouest de Sétif. L'émergence sourde sur la rive droite de l'Oued Bou-sellam à 01Km après la sortie de cette rivière des gorges de Guergour, elles sont classées parmi les sources les plus radioactives du monde, après celles de Jachimove et Brembach (Dib.Adjoul-H 1985).

Nom de l'établissement : Sidi El Djoudi.

- **Wilaya :** Sétif.
- **Daïra :** Hammam Guergour.
- **Commune :** Hammam Guergour
- **Source thermale :**
 - Nom de la source :Ain Chouf
 - Type de captage :source.
 - Débit (l/s) :30
 - Température : 42 C°
 - Minéralisation principale : sulfates, calcium, chlorures (eau sulfaté calcique riches en chlorure de sodium).
 - Indications thérapeutiques : Rhumatologie et traumatismes ostéo-articulaires Neurologie-Gynécologie-Dermatologie-Affections psychosomatiques-Voies respiratoires et affections ORL.

➤ Condition géologique de la source

Selon le professeur J.Savornin (1920), l'eau thermale est due non seulement au système de failles mais surtout au pointement triasique voisin. Le monoclinal de djebel Guergour à cœur Jurassique est interrompue dans sa partie Nord par une faille de direction Ouest-Est dans le rejet peut attendre 2000m. Ce style structural, il semblerait qu'il s'agit d'écaillés profondes, liées à une tectonique de socle sur une couverture plastique (synthèse des travaux géologique et géophysique sur le permis de prospection de Sétif 1994).

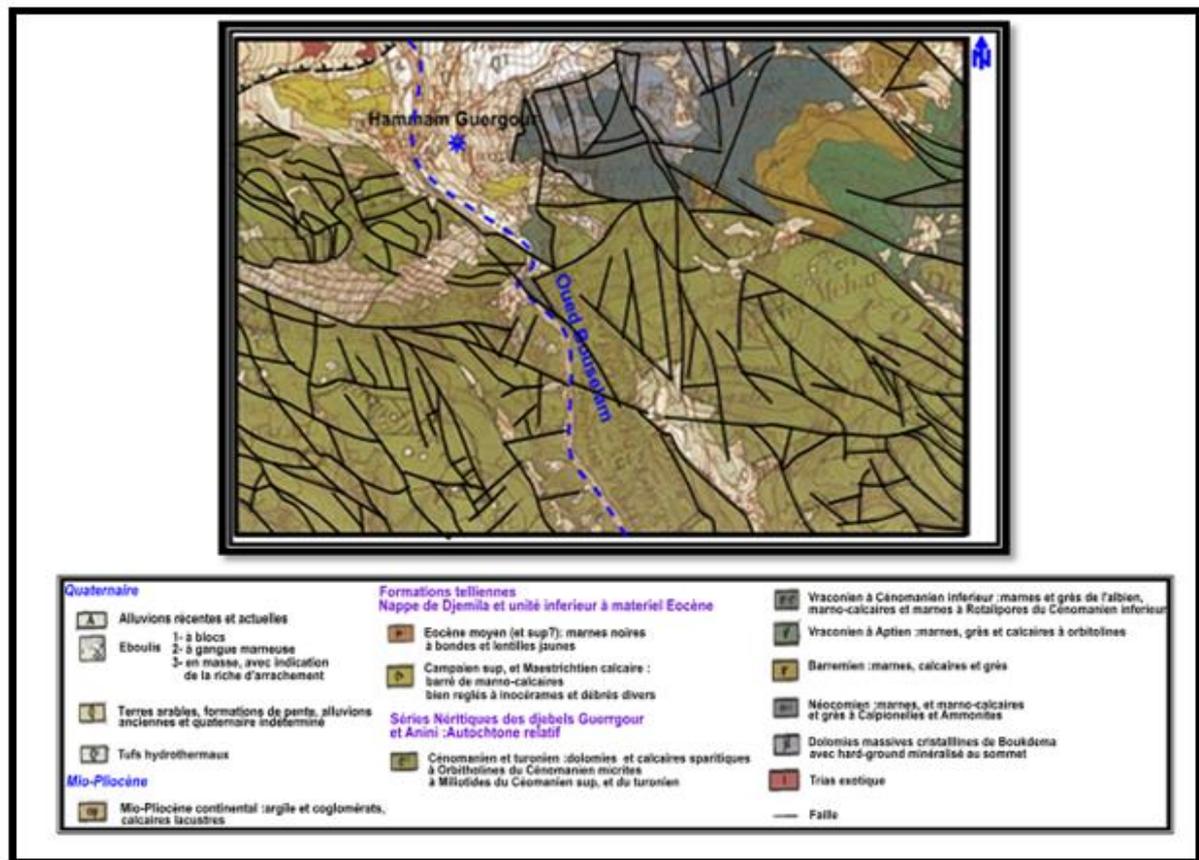


Figure II.8 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Bousselam de la source de Hammam Guergour.

❖ **Hammam Ouled Yellès (S3)**

Les sources thermo minérales de Hammam Ouled Yellès sont situées au Sud-Ouest de la ville de Sétif, à 10Km de Mezloug.

- Wilaya : Sétif.
- Daïra: Ain Arnet.
- Commune : Mezloug .
- **Source thermale :**
 - Nom de la source : Hammam Ouled Yeless
 - Type de captage : forage
 - Débit (l/s) :3
 - Température:43 C°
 - Minéralisation principale : sulfates, chlorures, bicarbonates.

➤ **Condition géologique de la source**

Les griffons émergent dans la plaine Moi -pliocène entre les Dj Z'dim et Youssef formés par les calcaires du crétacé Supérieur. Entre les deux massifs calcaires se trouve un important complexes gypsifère qui pourrait également exister en profondeur au voisinage des sources.

L'émergence des sources se trouve dans le flanc du massif calcaire du Dj Z'dim, à la faveur d'une famille de faille de direction Sud-Ouest, Nord-Est qui s'infléchirait ensuite vers le Nord. Il est probablement lié au mouvement du socle de direction N60E ou même N90°, qui est responsable sur la mise en place de ce système de faille L'eau est Sulfatée calcique riche en bicarbonate.

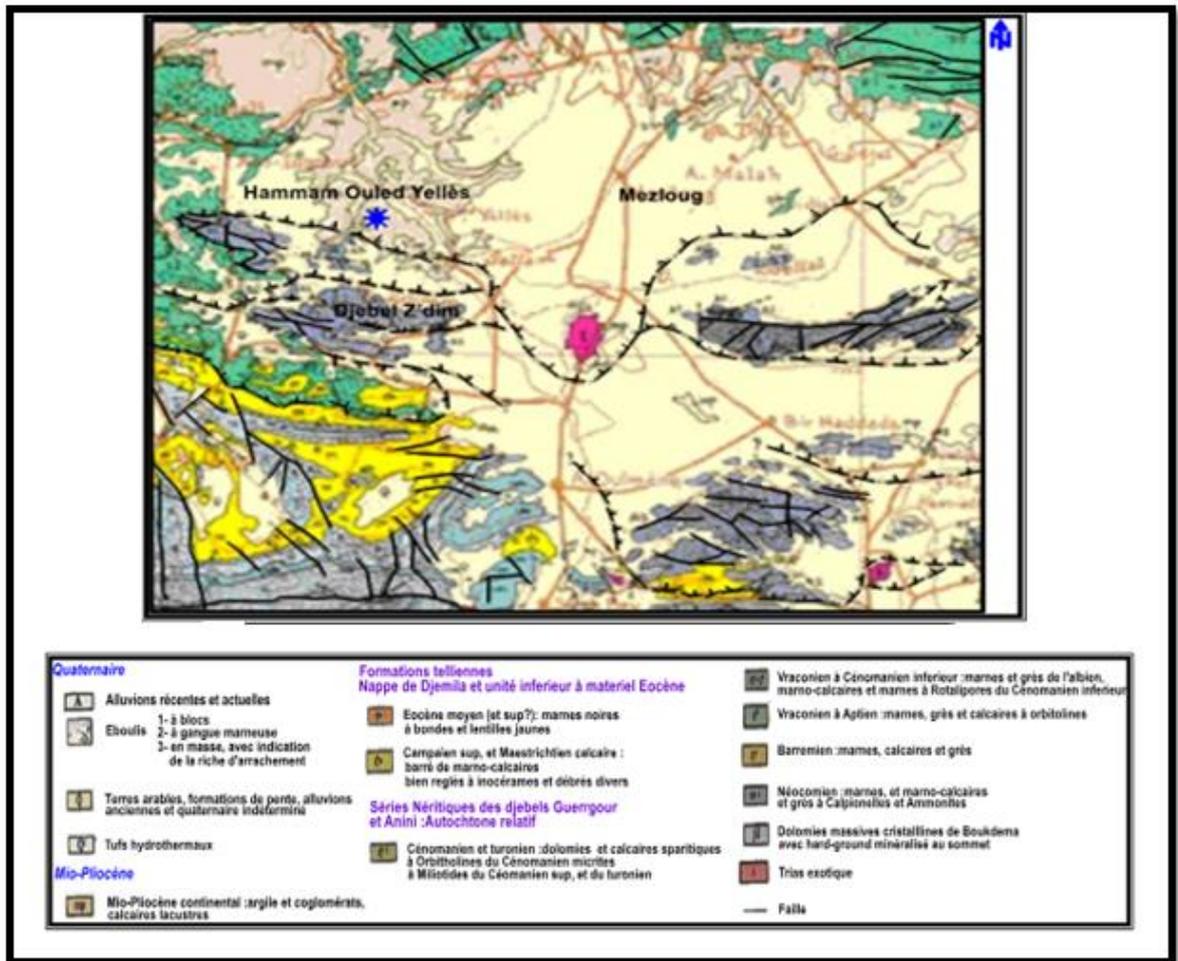


Figure II.9 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Ouled Yellès

❖ **Hammam Douar el kebir (S4)**

La source thermo minérales de Hammam Douar El Kebir est située au Sud-Ouest de la ville de Sétif, à 05Km de Guidjal sur flanc Nord-Ouest de Djebel Youssef.

➤ **Condition géologique de la source**

La source de Hammam Douar El Kebir émerge sur le flanc Nord-Ouest du Djebel Youssef formé par les calcaires du crétacé inférieur. A limitrophe de cette formation se trouve des affleurements gypsifères qui pourraient également exister en profondeur, il se trouve de quelque dizaine de kilomètre de la source d'Ouled Boutara .L'émergence de la source se trouve sur le flanc Nord-Ouest du Djebel Youssef, à la faveur d'un système de faille

conjugués de direction Sud-Ouest, Nord-Est, et même Ouest-Est. Il semblerait lié au mouvement global du socle de direction N60E, qui est responsable sur les accidents affectant les formations de notre région d'étude. L'eau est Sulfatée calcique riche en bicarbonate. (DJEMMAL Samir, 2018).

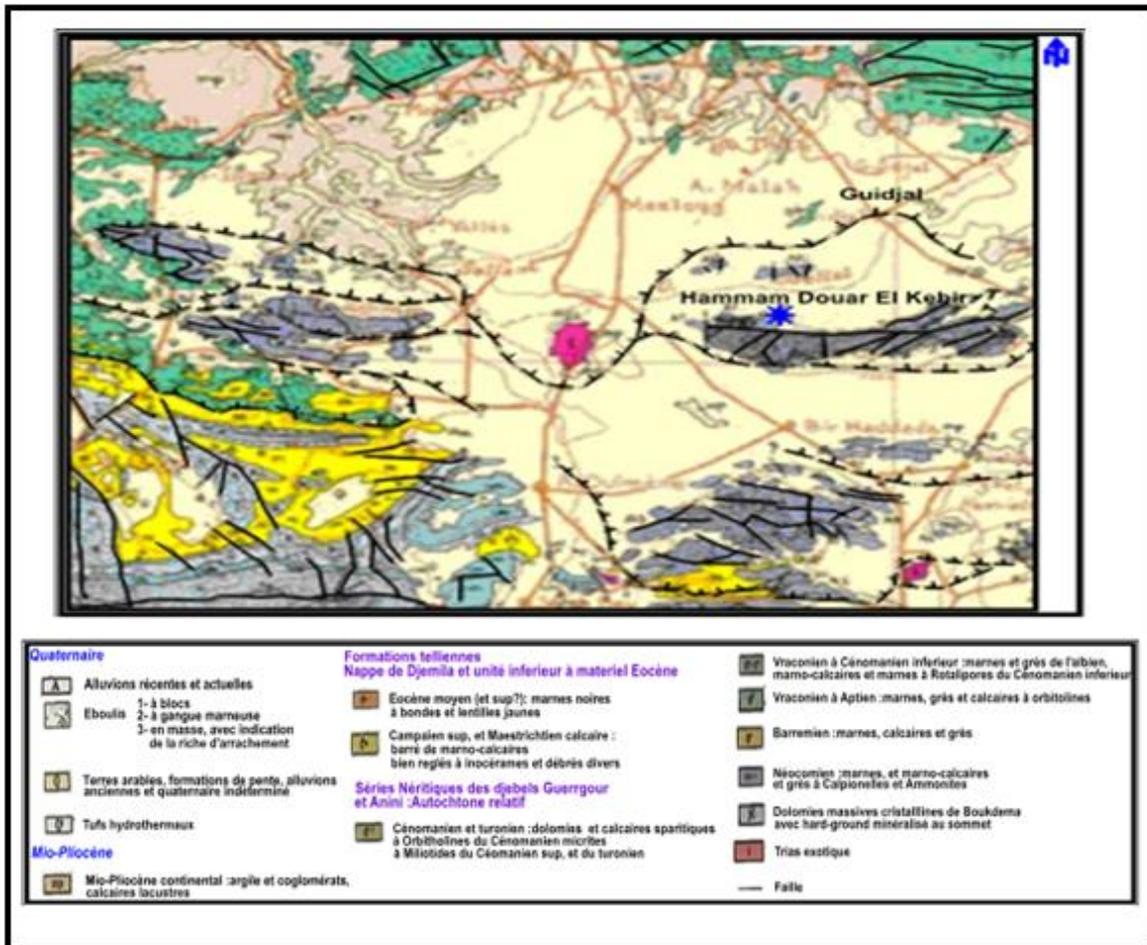


Figure II.10 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Douar El Kebir.

❖ **Hammam Ouled Boutara (S5)**

➤ **Géologie locale**

La source thermo minérale de Hammam Ouled Boutara est située au Sud-Ouest de la ville de Sétif, à 15Km de Guidjal sur le flanc Est du Djebel Zdim.

➤ **Condition géologique de la source**

La source de Hammam Ouled Boutara émerge sur le flanc Est du Djebel Z'dim formé par les calcaires du Crétacé inférieur. Au voisinage de cette formation se trouve des affleurements gypsifères qui pourrait également exister en profondeur. (DJEMMAL Samir, 2018)

L'émergence des sources se trouve sur le flanc Est du Dj Z'dim dans les calcaires de l'aptien, à la faveur d'une famille de faille de direction Sud-Ouest, Nord-Est. Il est probablement lié au

mouvement régional du socle de direction N60E, même N90°, qui est responsable sur la mise en place de ce système de faille. L'eau est Sulfatée sodique riche en calcium.

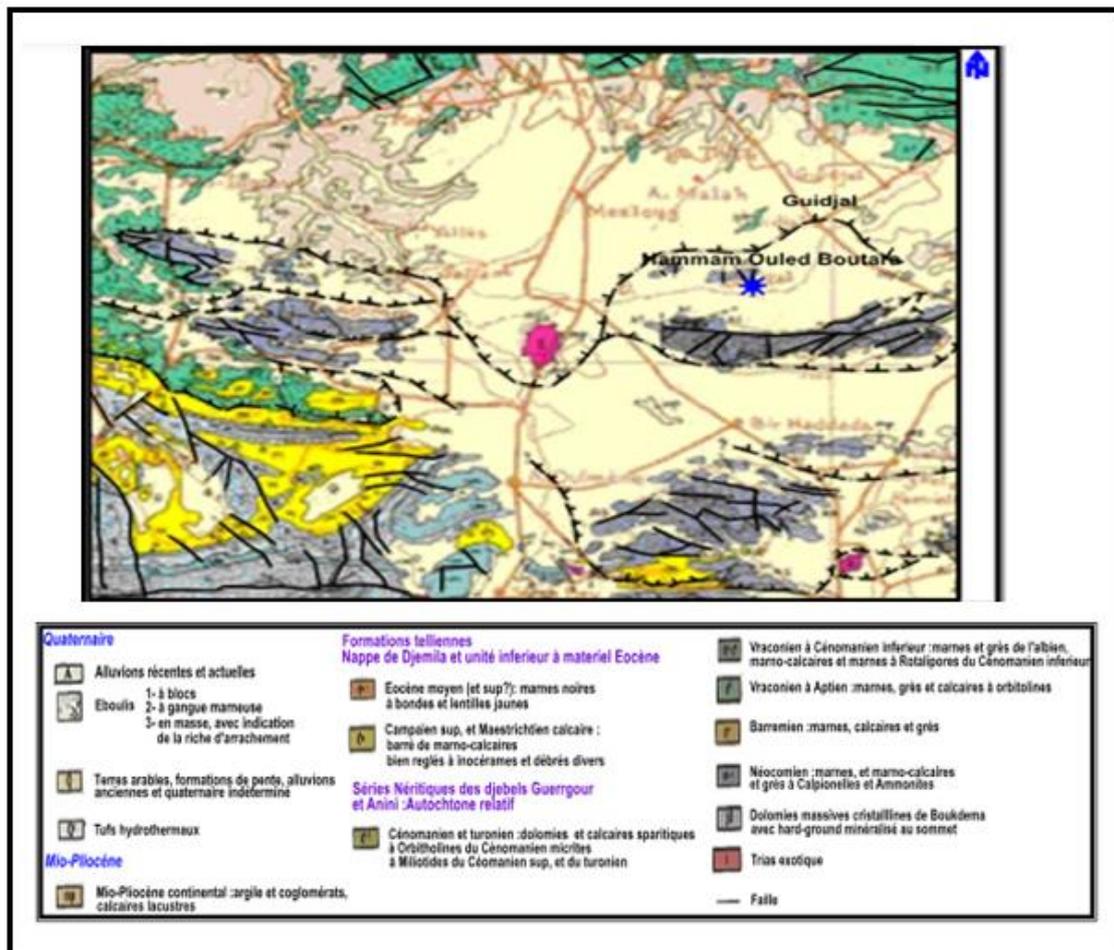


Figure II.11 : Schéma structural extrait de la carte géologique de Djemila de la source de Hammam Ouled Boutara.

❖ **Hammam Soukhna (S6)**

La source thermo minérale de Hammam Soukhna se trouve à environ 20Km au Sud d'El Eulma et à 50Km au Sud de Sétif, à proximité de la route nationale N°77 reliant Sétif à Batna.

Wilaya : Sétif.

- **Daïra** : Hammam Soukhna
- **Commune** : Hammam Soukhna
- **Source thermale** :
 - Nom de la source : Hammam Soukhna
 - Type de captage : forage
 - Débit (l/s) : 10
 - Température: 58 C°
 - Minéralisation principale : chlorures, sodium, sulfates(eau chloruré sodique).

- Indications thérapeutiques : Rhumatologie et traumatismes ostéo-articulaires- Neurologie-Gynécologie-Dermatologie-Affections psychosomatiques-Voies respiratoires et affections ORL.

➤ Condition géologique de la source

D'une part, l'émergence de la source se trouve à 06 Km des affleurements des formations triasiques et dans une vaste plaine quaternaire, entourée par les chotts El Beida et Soukhna. D'autre part, la source de Hammam Soukhna est installé dans une vaste cuvette entourée par plusieurs massifs, citons l'exemple de koudiat Dourdour, Djebel Tella, Djebel Tafourer et Djebel Agmerouel. La source semblerait correspondre qu'à un exutoire avec un débit important d'artésianisme naturel commun de ces massifs calcaires limitrophes. Il est probablement liée à une flexure très récente qui verticalise non loin du Mio-Pliocène à Koudiat Dourdour où la croûte Villafranchienne est déformée.

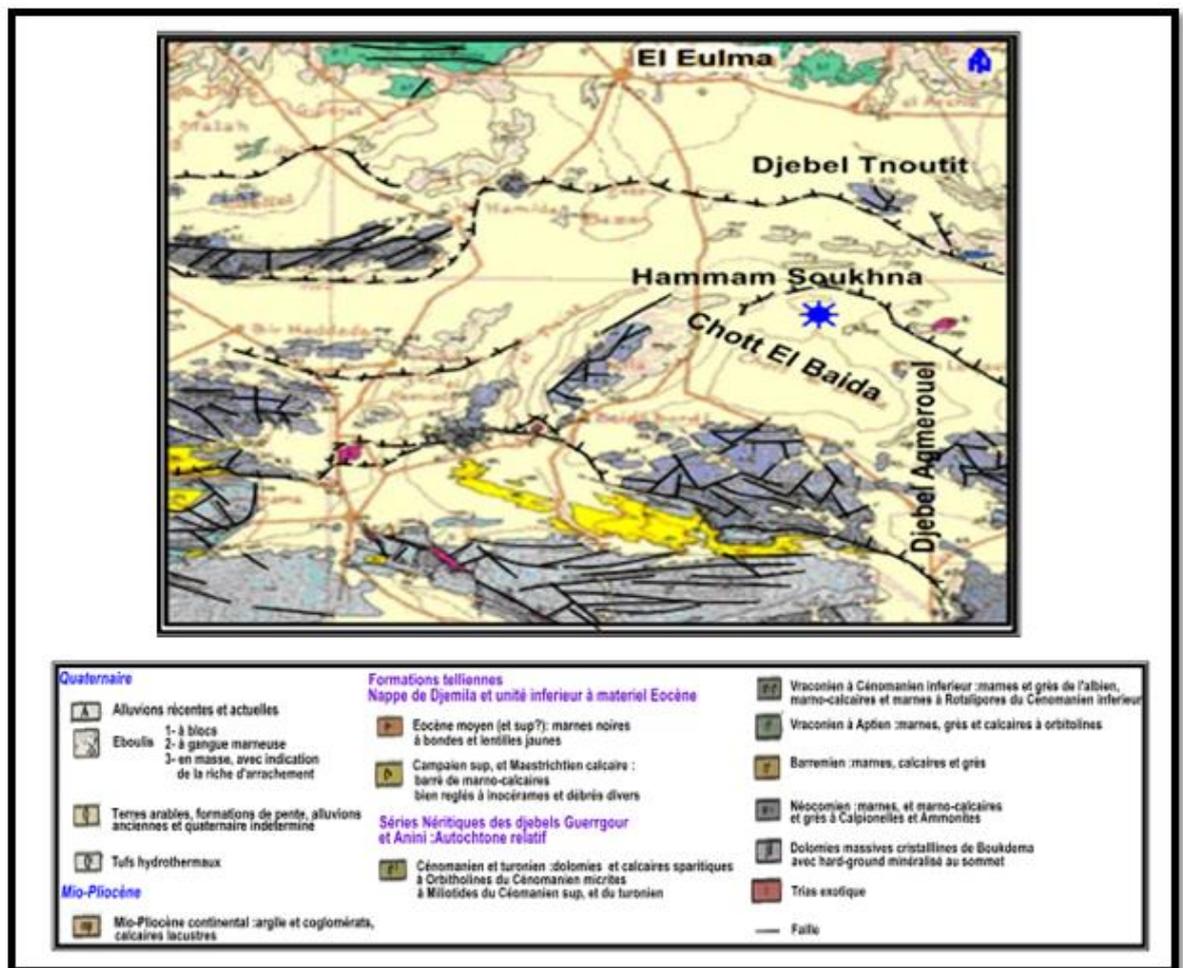


Figure II.12 : Schéma structural extrait de la carte géologique de d'Algérie Orientale de la source de Hammam Soukhna.

❖ Hammam Ouled tebban (S7)

La source thermo minérale d'Ouled Tabben se trouve au Sud-Ouest de Sétif, sur la route nationale Sétif- Magra à 08Km de la maison forestière Ain Dahlia. Elle émerge sur la rive droite de l'Oued Ennfida.

Nom de l'établissement : Hammam Sidi Mansour .

- **Wilaya :** Sétif.
- **Daïra:** Salah Bey .
- **Commune :** Ouled Tebben .
- **Source thermale :**
 - Nom de la source : Hammam Sidi Mansour
 - Type de captage : forage
 - Débit (l/s) :25
 - Température: 50 C°
 - Minéralisation principale : sulfates, chlorures, calcium (eau sulfatée calcique dures).
 - Indications thérapeutiques :Affections Rhumatismales dégénératives -Séquelles traumatismes ostéo-articulaires-certaines affections de l'appareil cardio-vasculaire-certaines troubles neurologiques.

➤ **Condition géologique de la source**

L'émergence de l'eau se fait au niveau des calcaires massifs et des calcaires dolomitiques du Barrémien très fracturé, cependant ces massifs ou panneaux qui ont été affaissés pendant les mouvements du socle constituent les zones de gisement ou de circulation des eaux thermo-minérales.

La source émerge à la faveur d'un système de failles conjuguées Nord-Ouest Sud-Est, mais le plus prépondérante est celle d'orientation N20 E. L'eau est sulfatée calcique riche en chlorures.

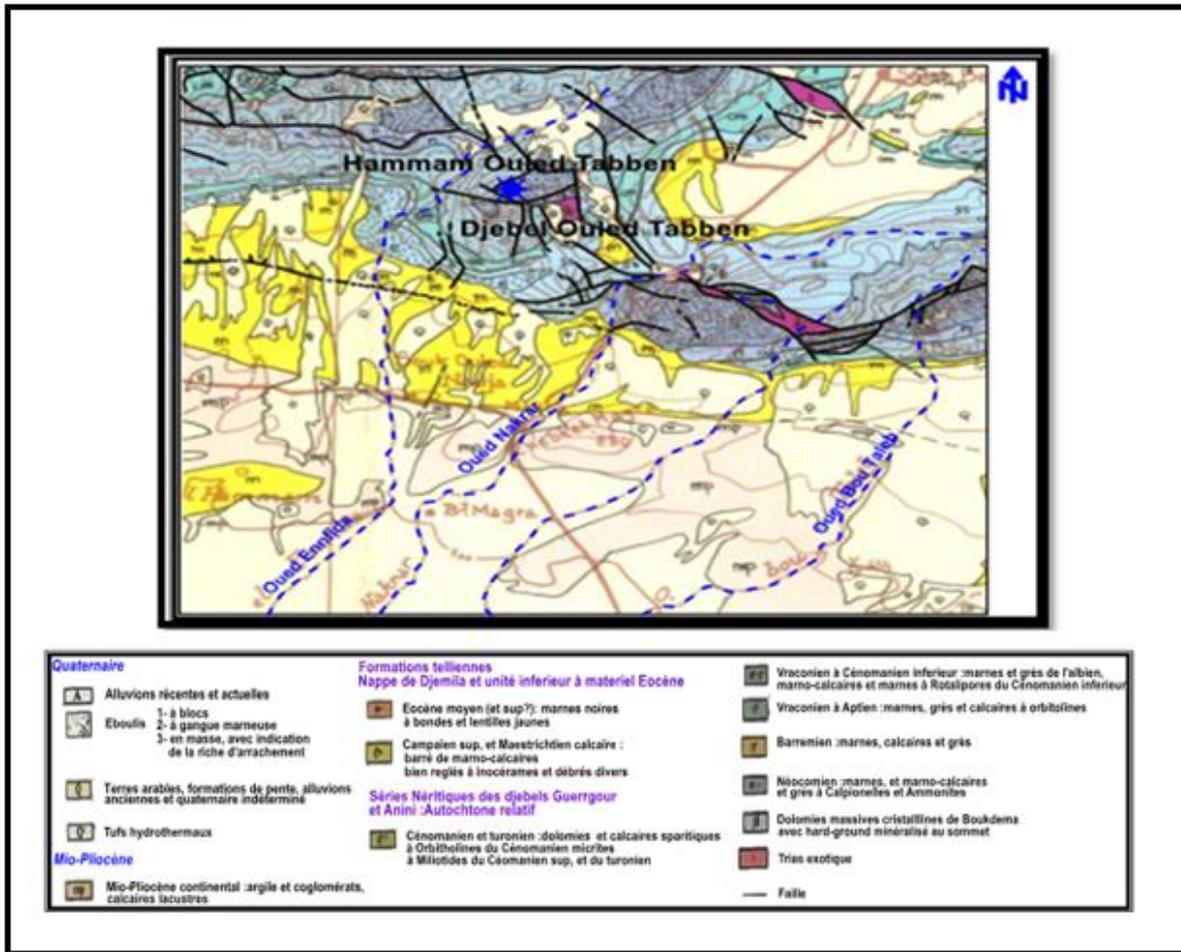


Figure II.13: Schéma structural extrait de la carte géologique de Bouselam de la source de Hammam Ouled Tabben.

❖ **Hammam Boutaleb (S8)**

La source thermo minérale Boutaleb se trouve à environ de 60Km au Sud-Ouest de Sétif et à 28 Km au Sud de Ain Azel. Il est connu sous le nom d'Ain Ouled Soufian. L'émergence de la source se trouve sur le flanc Sud du Dj, Boutaleb et sur la rive droite d'Oued Boutaleb

➤ **Condition géologique de la source**

Le massif de Boutaleb est constitué par un grand anticlinal dont l'axe de direction Est Ouest dans la partie occidentale du massif, s'incurve légèrement vers l'Est-Nord-Est de la zone centrale et orientale. Le cœur liasique de cet anticlinal est formé de trois compartiments ou îlots distincts qui sont de l'Ouest en Est : Le noyau de Sou Bella, Dj Bou Ich, et Dj Bou hellal. Néanmoins que Dj Afhrane est couverts par une série Jurassique Crétacé complète jusqu'au Cénomaniens.

L'émergence de la source se trouve au niveau de piedmont du Dj, Boutaleb à la faveur d'un réseau de failles conjuguées de direction Nord-Ouest, Sud-Est et une degré moins important

de direction Sud-Ouest, Nord-Est. Elle prene presque l'orientation générale d'un réseau de failles qui ont été mise place dès les mouvements posthumes du socle. L'eau est Sulfatée sodique riche en Chlorure et en calcium, due à la présence du trias en profondeur.

(DJEMMAL Samir,2018)

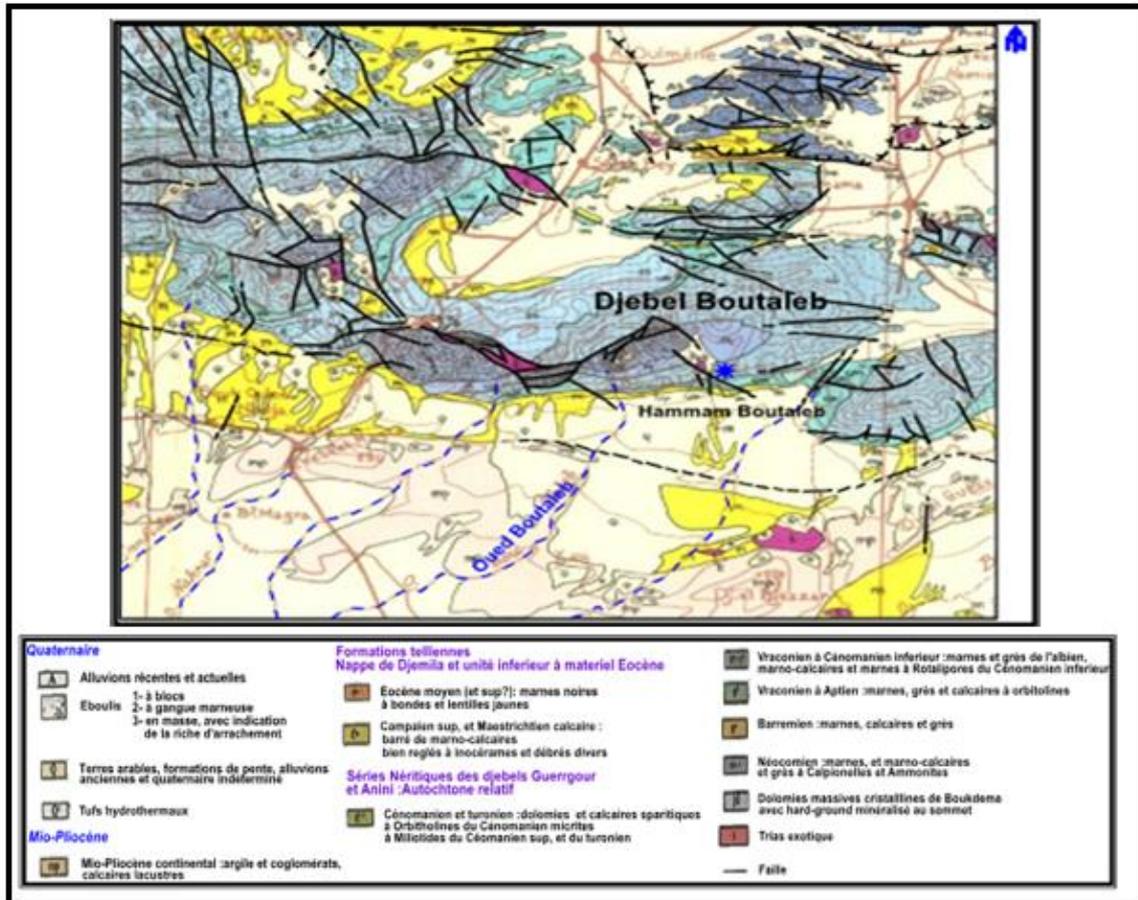


Figure II.14 : Schéma structural extrait de la carte géologique de d'Algérie Orientale de la source de Hammam Boutaleb.

II.8. végétation

La barrière climatique des reliefs septentrionaux et l'altitude accentuent les contrastes et diversifient la végétation. On distingue sur les monts les forêts d'Alep de cèdre, le sapin de Numidie, le cyprés et le chêne vert et le chêne-liège. Par ailleurs, la zone montagneuse demeure une région de l'arboriculture notamment l'olivier et le figuier.

Les hautes plaines sont le domaine de la céréaliculture et des cultures maraîchères. Par contre pour la zone semi-aride, et compte tenu de la qualité saline de ses sols, la flore est généralement pauvre. (Kaabach et Mebrak, 2010).

Tableau II.6 : Répartition générale des terres en Sétif (DPAT., 2010).

(S.A.U) surface agricole utile	Superficies forestiers	Terres improductives non affectées à l'agriculture	Pacages et Parcours	Terres improductives affectées à l'agriculture
55.17 %	15.30 %	14.49 %	8.76 %	6.27 %
361363,32 ha	100232.00 ha	94884,62 ha	57399,63 ha	41084,38 ha

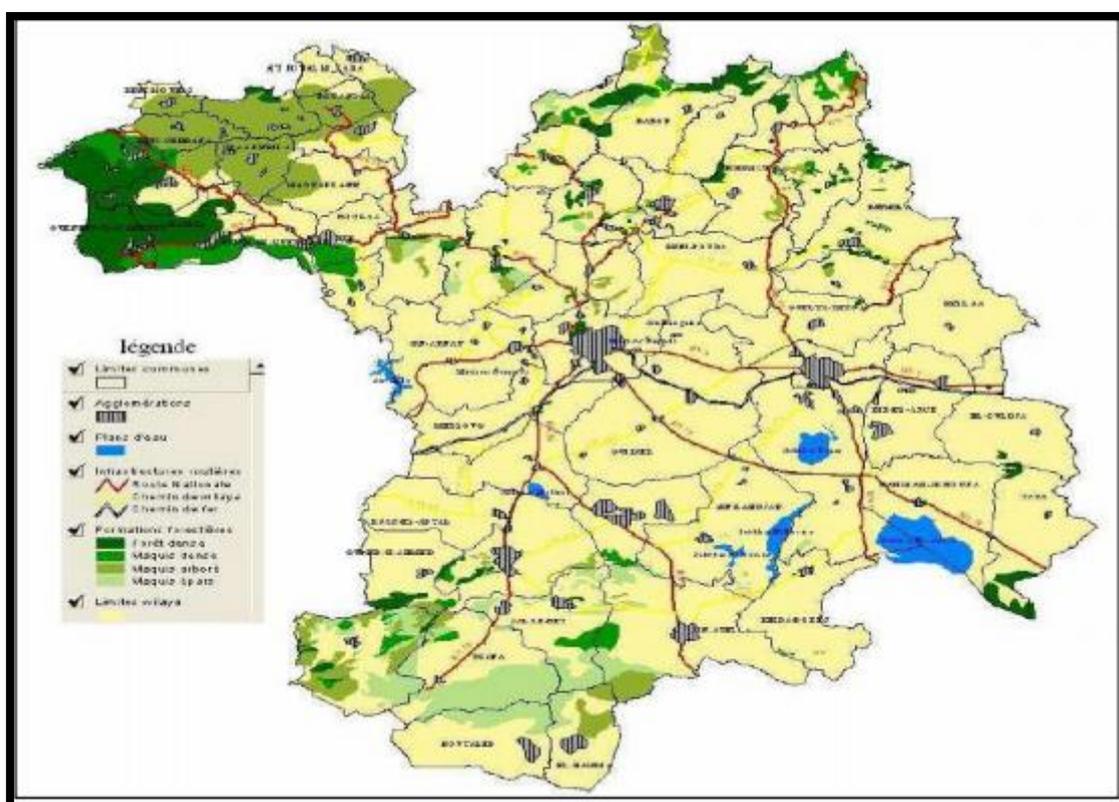


Figure II.15 : Carte d'occupation de terre de la région de Sétif.

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons collecté différentes données : hydrographique, géologique hydrogéologique etc...

Pour une étude hydrogéologique réussie une connaissance des facteurs physico-géographiques caractérisant la région d'étude est nécessaire.

Il ressort de cette approche que cet ensemble est caractérisé par la présence d'une série de calcaires et des dolomies, datés du Lias au Miocène, et d'un système endoréique fermé occupé par des lacs salés. Ces massifs carbonatés affleurent au milieu d'une vaste plaine comblée par des formations alluvionnaires du Mio-Plio-Quaternaire.

L'aperçu hydrogéologique montre que les formations peuvent offrir des possibilités aquifères non négligeables.

CHAPITRE III

Contexte hydrochimique et géochimique

Introduction

Les eaux thermales circulent dans les profondeurs, sous la surface de la terre, et remontent à la surface à travers les fissures et les fractures de la croûte terrestre. Elles se caractérisent par une température élevée, une minéralisation importante et sont parfois riches en gaz. Le contact de l'eau chaude avec la roche réservoir favorise la dissolution des minéraux.

Ce chapitre se concentre à l'analyse géochimique de neuf (09) sources thermo-minérales de la région de Sétif. Nous examinerons la composition chimique des eaux thermo-minérales, en identifiant les principaux éléments et composés présents. Cette analyse permettra de comprendre les processus géochimiques en jeu, leur origine, et leur influence sur les propriétés des eaux. En outre, nous discuterons des implications de ces résultats pour l'exploitation et la gestion des sources thermo-minérales dans un cadre de développement durable.

III.1. Classification des eaux

Plusieurs classifications des sources thermo-minérales ont été proposées par différents auteurs. Pour cette étude, les classifications suivantes ont été prises en compte :

- La classification de Stabler
- La classification de Piper
- Le diagramme de Scheller-Berkaloff
- Le diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques
- Le diagramme de Langelier-Ludwing
- Analyse à composante Principale (ACP)

Ces différentes méthodes de classification permettent d'analyser et de caractériser la composition chimique et les propriétés des eaux thermo-minérales étudiées dans ce contexte.

1- La classification de Stabler

Le diagramme de Stabler représente la contribution de chaque espèce ionique au cation total ou à l'anion total. Les unités sont en milliéquivalents par litre (még/l).

Cette classification nous permet de déterminer facilement le faciès chimique de l'eau en considérant l'anion et le cation majeurs. Les noms des faciès commencent par l'anion suivi du cation.

Cette classification a mis en évidence trois (03) familles (fig. III.1):

❖ **Faciès sulfaté:**

Nous regroupant sous ce faciès deux(2) familles :

✓ **faciès sulfaté calcique:**

Il est représenté par hammam Guergour , Hammam ouled yelles et hammam Ouled Tebben ,

✓ **faciès sulfaté sodique:**

Il est représenté par hammam Boutaleb et Boutara,

Ce faciès est dû aux formations gypsifères.

❖ **Faciès chloruré sodique:**

Il est représenté par hammam soukhna et sidi Ammar, ce faciès est probablement du des formations argileuse

❖ **Faciès Bicarbonaté:**

Existe deux (2) familles:

✓ **Bicarbonaté sodique:** Il est représenté par hammam Dehamcha .

✓ **Bicarbonaté calcique:** Il représenté par une seul famille, hammam Douar El Kebir

Eventuellement dû aux formations salifères.

Stabler

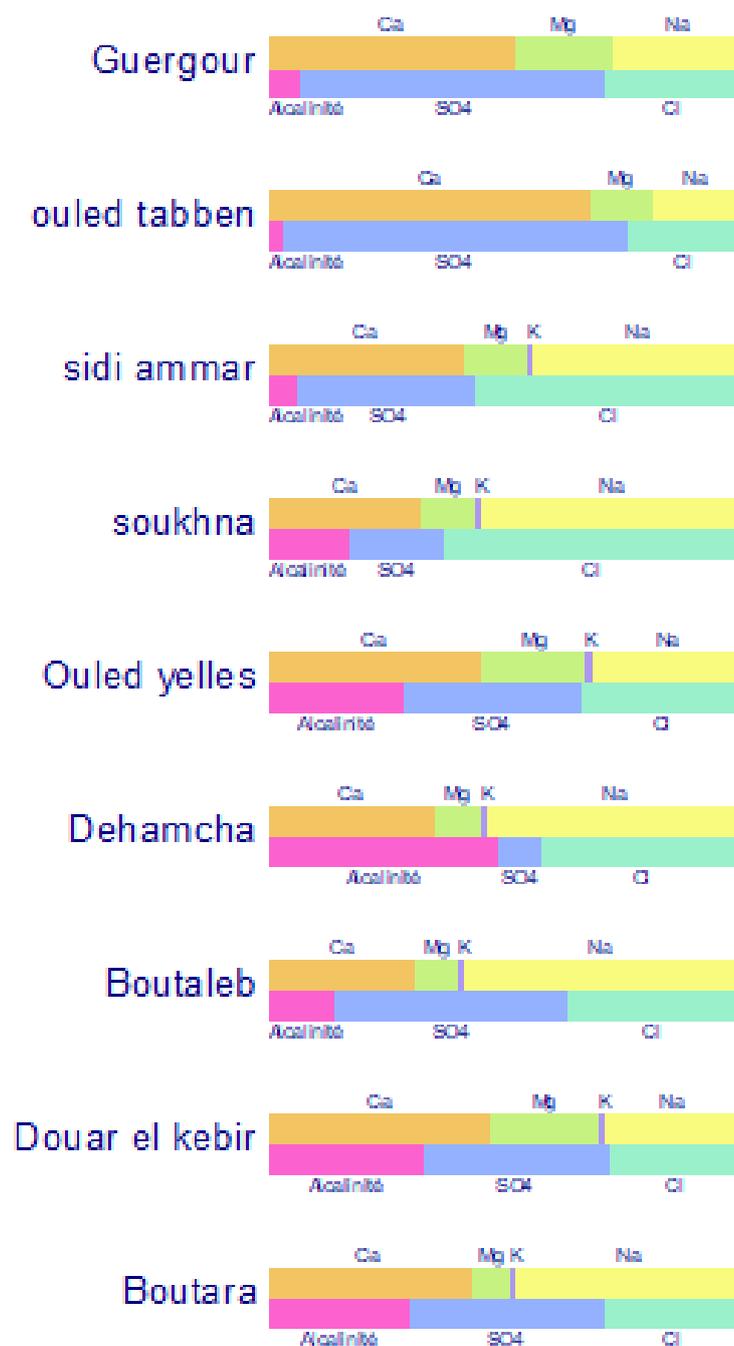


Figure III.1 : Répartition des eaux dans le diagramme de stabler

2- Classification de piper

Le diagramme de piper permet de visualiser sur le triangle des anions et des cations les échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments majeurs, mais de suivre également leur évolution dans le temps.

Ce diagramme permet de classer et de comparer différentes eaux entre elles. Il comporte un losange ABCD et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en 100 parties égales, correspondant à des proportions ioniques en pourcentage. Un point représentatif est obtenu dans chaque triangle, et les deux droites portant ces points se croisent en un seul point dans le losange ABCD. Ce point final indique la nature du faciès chimique des eaux étudiées

L'examen des représentations graphiques des éléments chimiques des différents échantillons (09 stations) obtenues, permet de déduire les interprétations suivantes (Fig.III.2) :

- Eaux à faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien : il est représenté par les sources de Guergour, Ouled Tabben, Douar El Kebir et Ouled Yelles, sidi Ammar, Boutara.
- Eaux à faciès chloruré sodique et potacique ou sulfaté sodique : il est représenté par les sources de Boutaleb et soukhna.
- Eaux à faciès Bicarbonatée calcique et magnésienne : il est représenté par la source de Dehamcha.

^

Diagramme de Piper

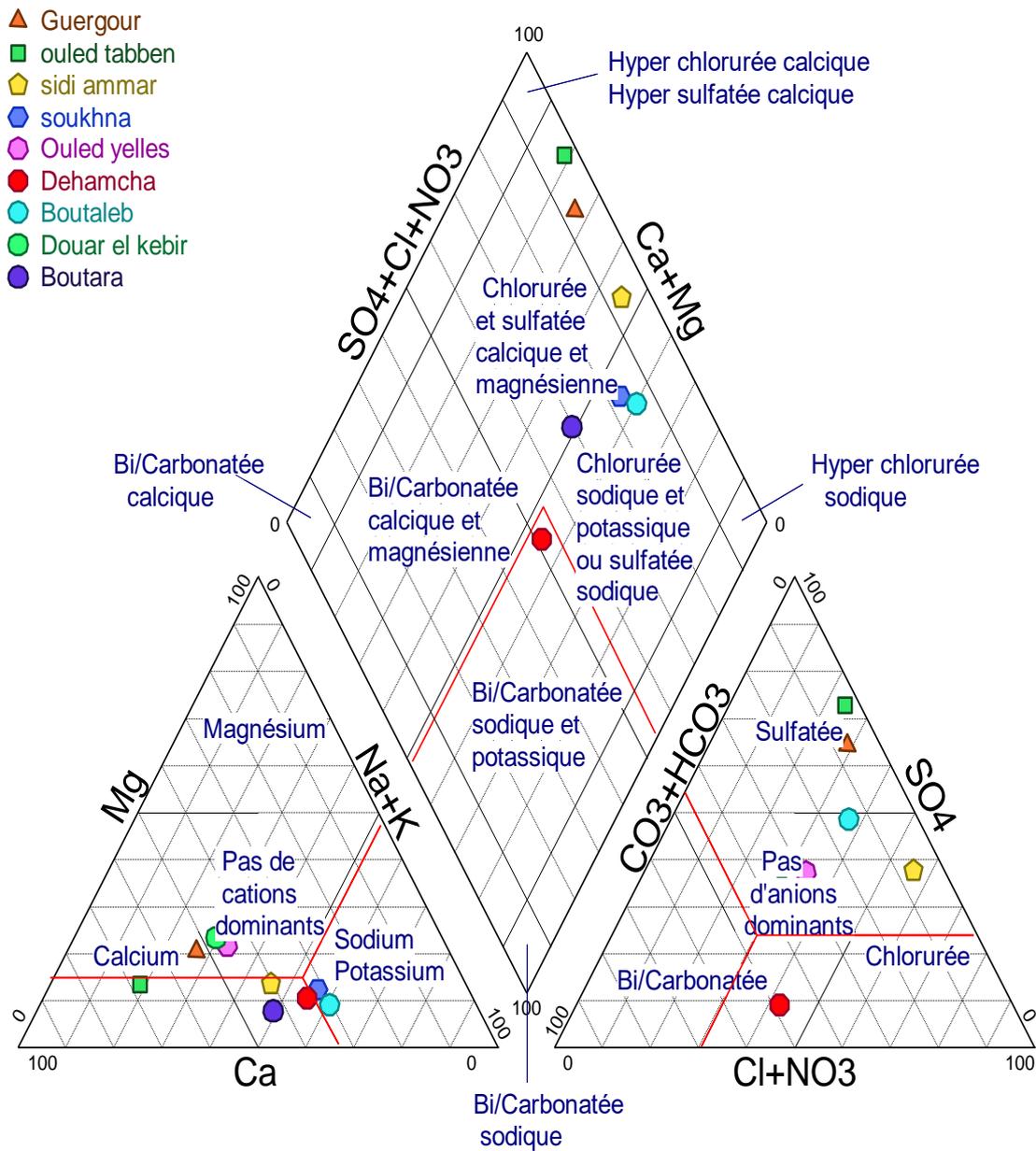


Figure III.2 : Répartition des eaux dans le diagramme de Piper.

3- Diagramme de scholler-Berkaloff

C'est une ancienne classification semi-logarithmique appelée le diagramme de Scholler-Berkaloff. C'est le plus simple et le plus expressif des diagrammes, conçu pour permettre la représentation graphique des analyses chimiques de plusieurs échantillons d'eau simultanément et l'évaluation rapide des caractéristiques chimiques de l'ensemble de ces échantillons. Le faciès chimique de l'eau analysée peut être déterminé par l'association des concentrations les plus élevées du côté des anions et du côté des cations.

La figure III.3 montre les résultats d'une telle représentation des compositions en éléments majeurs de nos sources d'eau sur ce diagramme.

- les concentration élevées en SO_4^{3-} , Cl^- , Na^+ , Ca^+ ont donné les faciès chimiques sulfatée calcique au hammam Guergour, Ouled Tebben, Ouled yelles.
- Hammam sidi Ammar, soukhna, Boutaleb ont donné les faciès chimiques sulfatée sodique.
- les concentrations élevées en HCO_3^- , Na^+ , Ca^+ ont donné le faciès Bicarbonaté sodique à hammam Dehamcha et Bicarbonaté calcique à Douar El Kebir

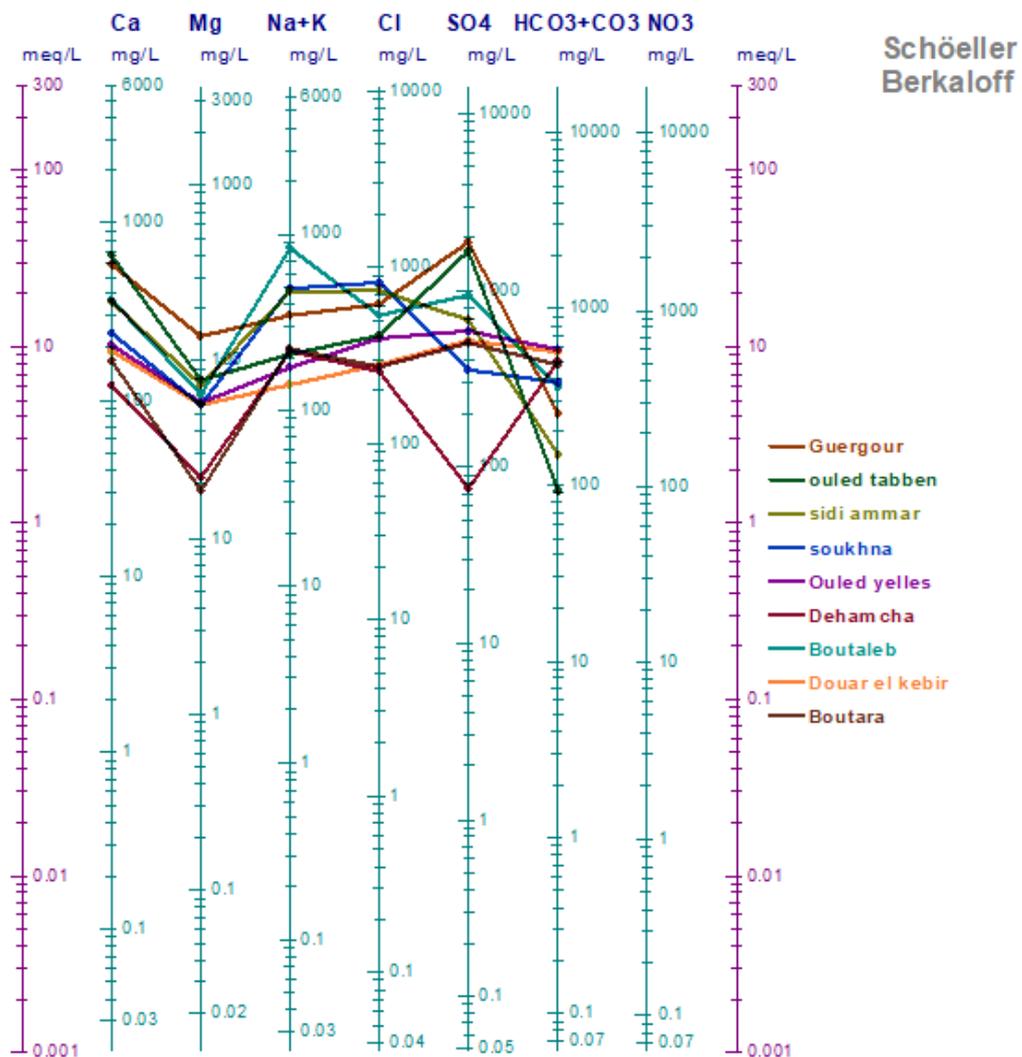


Figure III.3 : Répartition des eaux dans le diagramme de Scholler-Berkaloff

III.2. Etude de l'origine des éléments chimiques des sources de la région de Sétif

Nous allons essayer de mieux comprendre l'origine des eaux dites thermominérales et leurs processus d'acquisition de la température et de la minéralité et d'optimiser l'interprétation des analyses physico-chimiques en utilisant des moyens d'investigation appropriés.

Selon les analyses chimiques des eaux provenant des sources de la région de Sétif, les propriétés chimiques obtenues sont les suivantes :

III.3. Relation entre les paramètres

L'application des diagrammes binaire, nous a permis d'affirmer l'importance des faciès sulfaté et à un degré moindre chlorurés et bicarbonatés, des sources thermo minérales dans notre région.

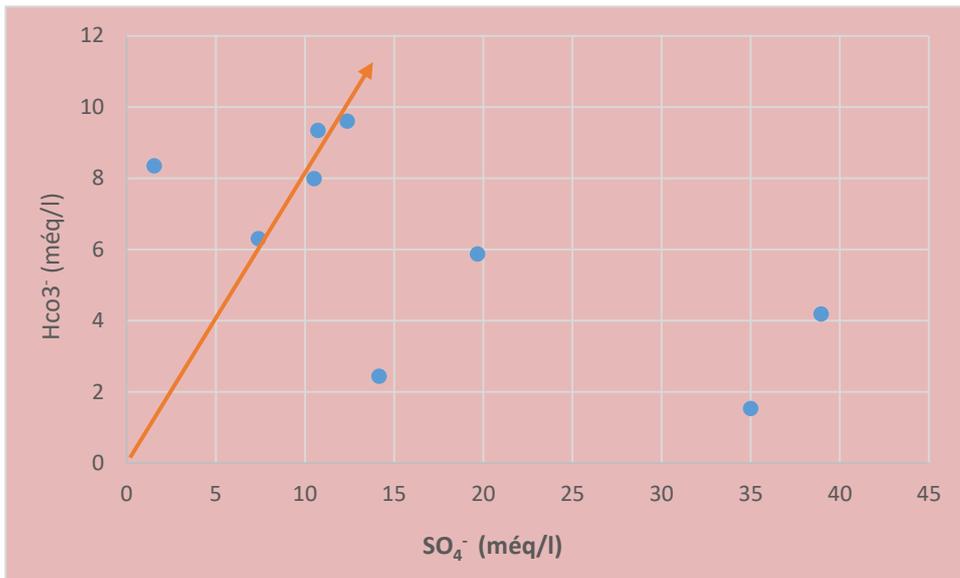


Figure III.4 : Couple HCO₃⁻ en fonction SO₄²⁻

Le graphique montre (fig. III.4) un excès de SO₄²⁻ par rapport aux ions HCO₃⁻, cela montre une origine évaporitique. La teneur élevée en sulfate dans l'eau de source chaude peut conduire à la dissolution de l'anhydrite.

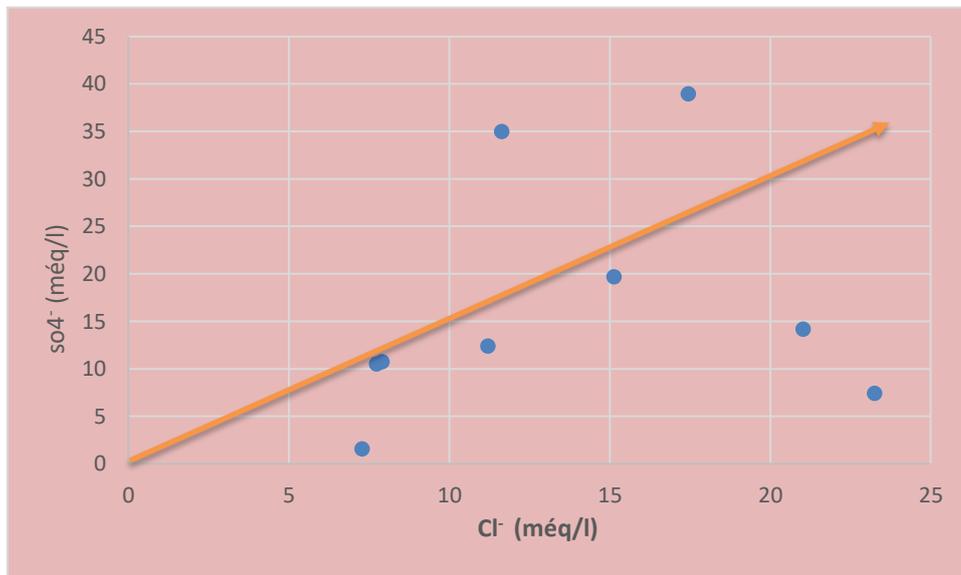


Figure III.5 : Couple SO₄²⁻ en fonction Cl⁻

Le graphe (figure III.5) présente une surabondance d'ions Cl^- qui explique la prédominance de Cl^- que SO_4^{2-} causés par la dissolution de l'halite.

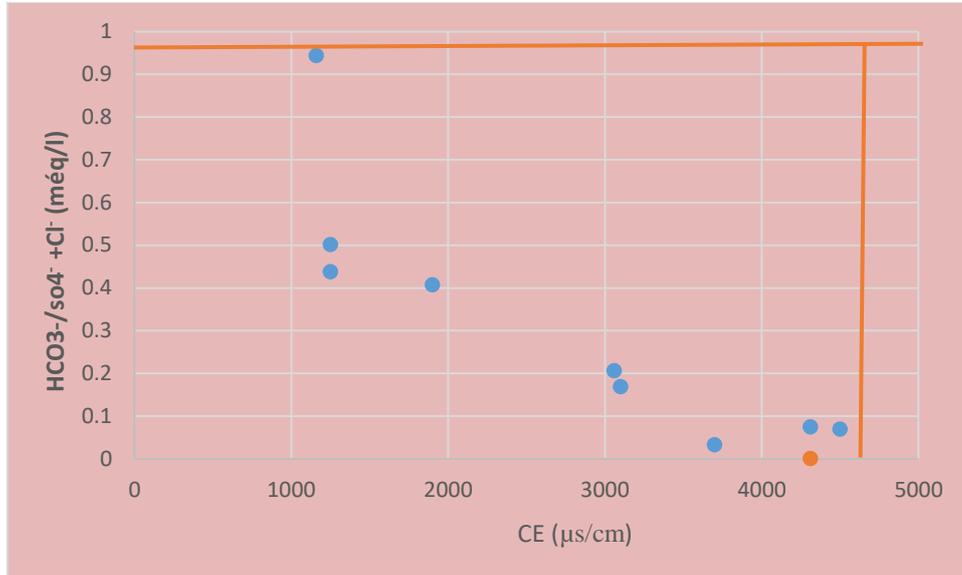


Figure III.6 : Diagramme $\text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-)$ en fonction de la Conductivité.

Le graphe III.6 présente une tendance à la prédominance des ions Cl^- (la concentration des points situés sur la droite ayant les mêmes concentrations). En revanche, il existe une corrélation entre ces paramètres et la conductivité. Cela nous amène à affirmer l'ion le plus important.

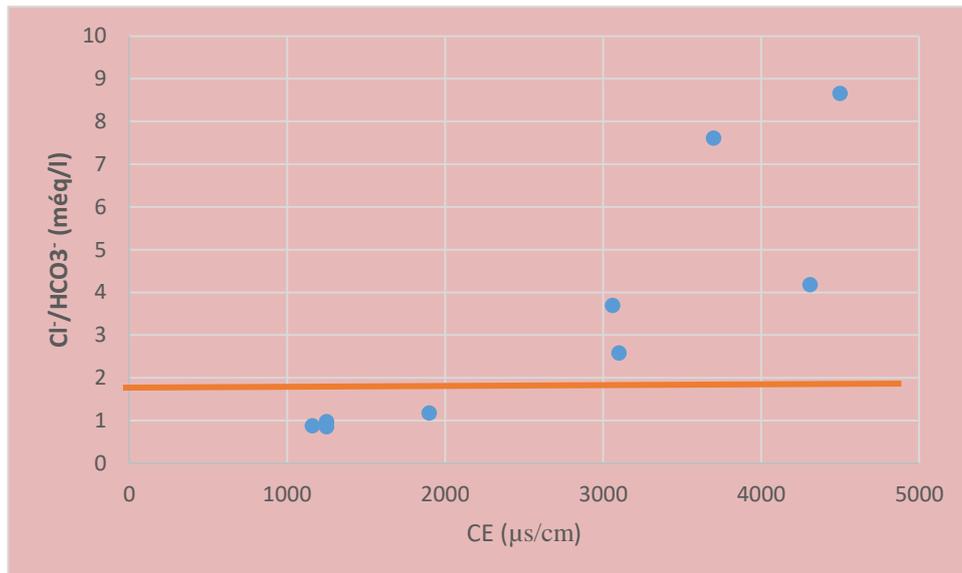


Figure III.7 : Diagramme $\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^-$ en fonction de la Conductivité.

Le graphe montre que les ions $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ sont stable en fonction de la conductivité.

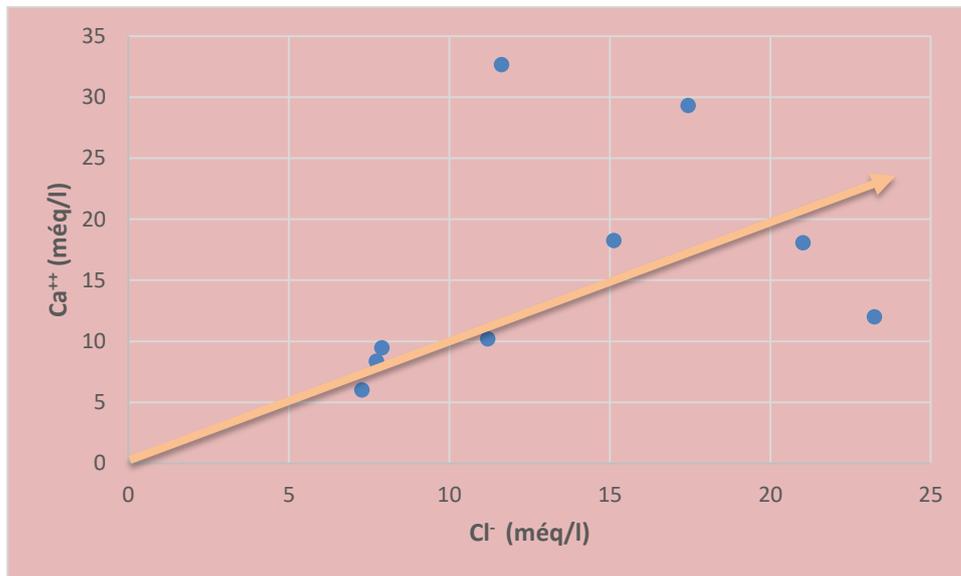


Figure III.8 : Couple Ca^{++} en fonction Cl^-

La mise en évidence des points sur le graphe montre une tendance à l'alignement des ions Ca^{++} et Cl^- .

Ainsi, la représentation graphique révèle une probable origine évaporitique.

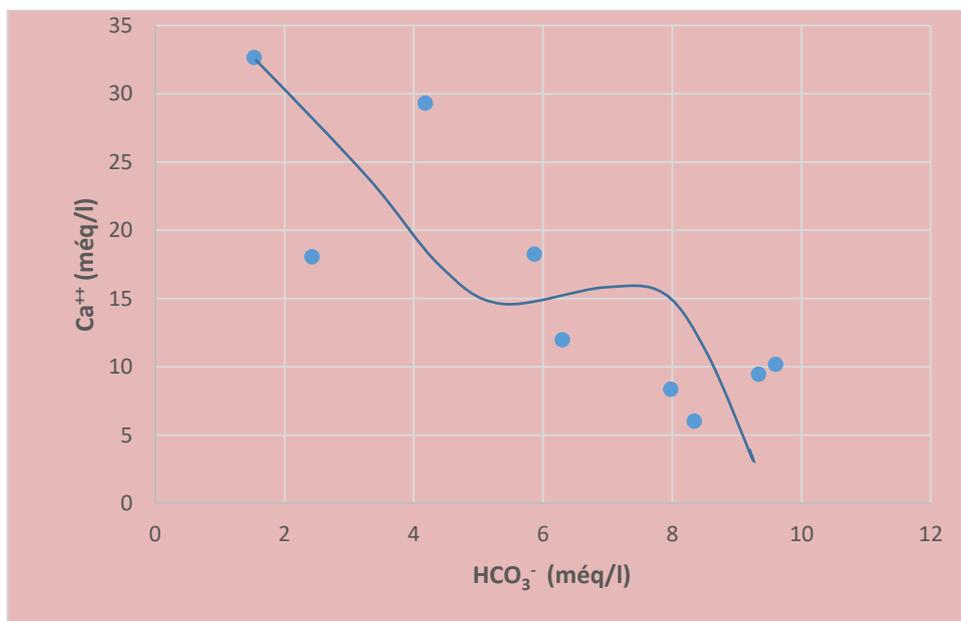


Figure III.9 : Couple Ca^{++} en fonction HCO_3^-

La figure illustre une progression indépendamment des ions Ca^{++} et HCO_3^- . Elle révèle une naissance évaporitique. Selon Issaâdi (1992), il a été mentionné que le réservoir carbonaté des eaux thermales, qui a entraîné une surabondance de calcium, a provoqué la dissolution des formations évaporitiques lors de leur ascension vers la surface.

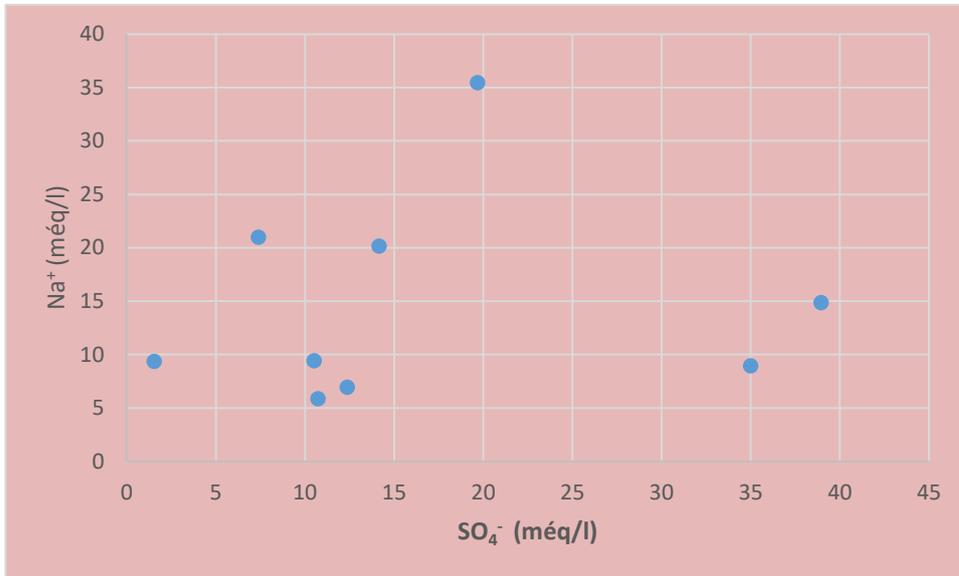


Figure III.10 : Couple Na^+ en fonction SO_4^-

Les points sur le graphe sont représentés de manière indépendante des ions Na^+ et SO_4^- (nuage de points). La représentation graphique met en évidence une source différente des sulfates évaporitiques (fig.III.10).

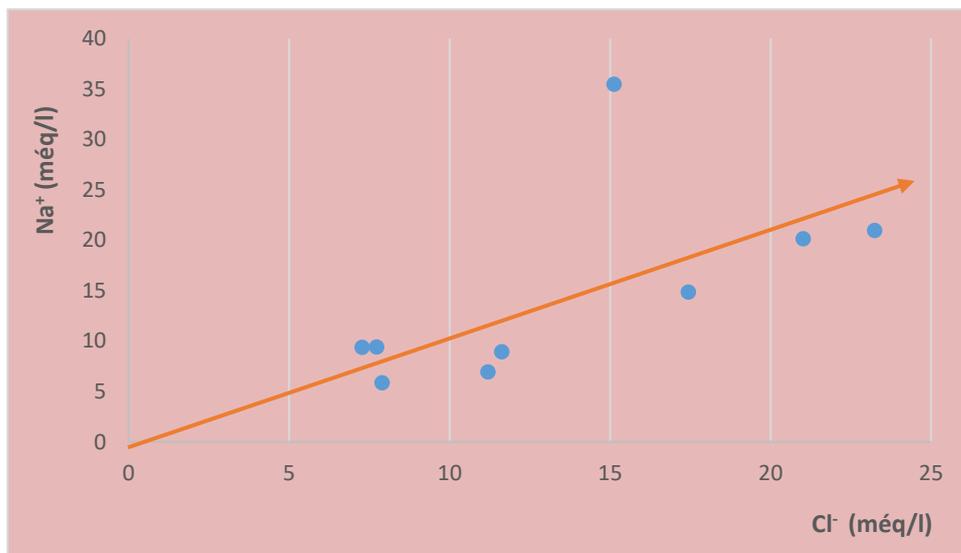


Figure III.11 : Couple Na^+ en fonction Cl^-

La présentation met en évidence une distribution adéquate autour d'une droite de pente légèrement inférieure à celle de la halite.

Ainsi, cette méthode semble suggérer que la salinité de l'eau thermique découlerait d'une dissolution des formations salifères. Même la corrélation satisfaisante entre $\text{SO}_4^- \text{Ca}$ et $\text{C.E.} - \text{HCO}_3^- / (\text{SO}_4^- + \text{Cl}^-)$ soutient cette hypothèse.

Le diagramme montre qu'il y a une bonne répartition autour d'une ligne droite avec une pente légèrement inférieure à celle de la halite.

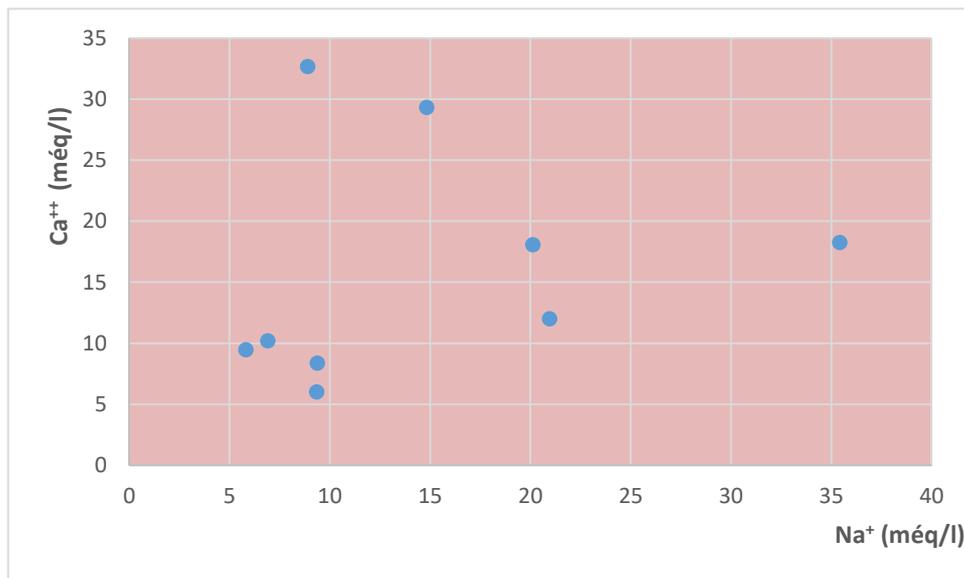


Figure III.12 : Couple Ca⁺⁺ en fonction Na⁺

Le graphique montre une corrélation entre le calcium (Ca) et le sodium (Na). Le graphique montre que lorsque les niveaux de calcium diminuent, les niveaux de sodium augmentent. Cela indique qu'un échange basique entre le sodium et le calcium peut se produire.

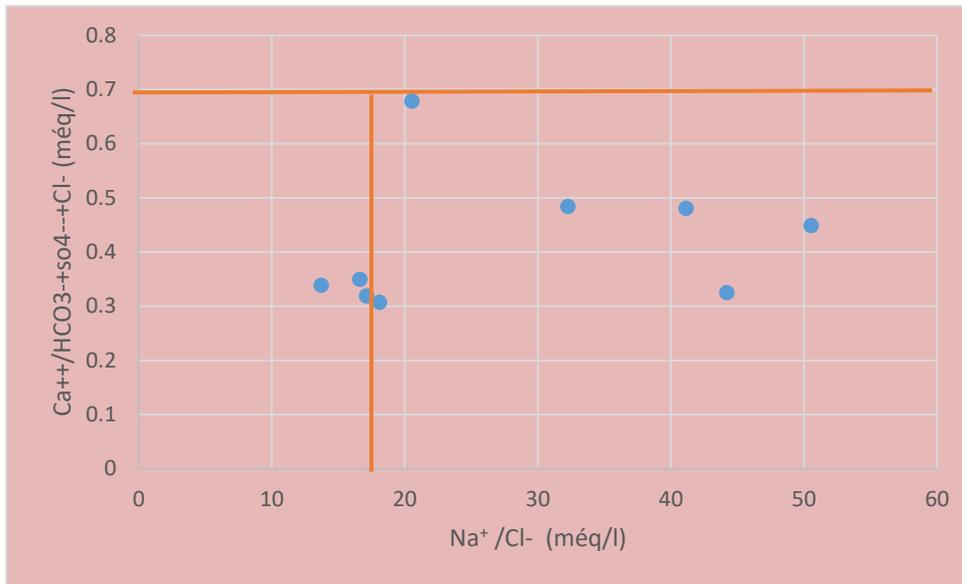


Figure III.13 : Diagramme Ca⁺⁺/HCO₃⁻ +SO₄⁻ +Cl⁻ en fonction Na⁺/Cl⁻

Le diagramme illustre un éventuel échange de base entre Ca⁺⁺ et Na⁺.

On pourrait échanger de l'eau contre des ions Ca⁺⁺ provenant des formations argileuses.

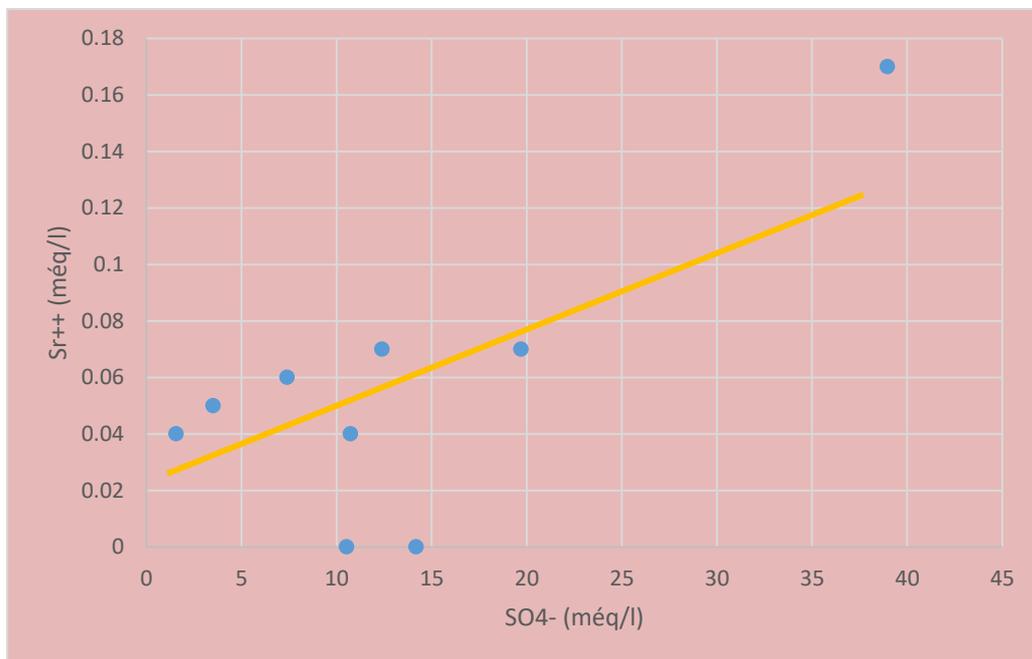


Figure III.14: Couple Sr⁺⁺ en fonction SO₄⁻

Le graphe présente une tendance à l'alignement dans la représentation des points, ce qui suggère que la représentation graphique du strontium en fonction des sulfates témoigne d'une origine évaporitique, ce qui traduit la dissolution de l'halite et de l'anhydrite ou de la pyrite.

III.4. Diagramme de l'Institut international des recherches géothermiques

D'AMORE et al. (1983) ont développé la méthode d'IIRG (Institut International des Recherches Géothermiques) qui est le plus couramment employé pour évaluer la nature lithologique du réservoir des eaux thermo-minérales. Cette méthode s'appuie sur les rapports des concentrations des éléments clés et la somme des cations $\Sigma(+)$ et des anions $\Sigma(-)$ exprimées en $\text{m\text{é}q/l}$. Il y a six paramètres (A, B, C, D, E et F), sans unité, qui sont définis et normalisés de la façon suivante entre -100 et +100 :

- **L'élément A :**

Ce critère permet de distinguer les eaux qui traversent les terrains calcaires de celles qui traversent des couches évaporitiques. $A = 100 \times ((\text{HCO}_3 - \text{SO}_4) / \Sigma(-))$

- **L'élément B :**

Cette mesure permet de distinguer les eaux sulfatées présentes dans les terrains évaporitiques des eaux sulfatées présentes dans les terrains sédimentaires argilo-marneux.

$$B = 100 \times (\text{SO}_4 / \Sigma(-)) - \text{Na} / \Sigma(+)$$

- **L'élément C :**

Cet indicateur a tendance à faire une distinction entre les eaux provenant des flyschs ou des « volcanites » et celles provenant des séries carbonatées- évaporitiques ou d'un socle schisto - quartzitique.

Les deux contiennent une grande quantité de Na^+ . Les premières présentent une faible quantité de Cl^- , tandis que la seconde a un rapport Na/Cl proche de 1 :

$$C = 100 \times (\text{Na} / \Sigma(+) + \text{Mg} / \Sigma(-))$$

Ce critère spécifie les eaux qui ont traversé les calcaires dolomitiques.

$$D = 100 \times ((\text{Na} - \text{Mg}) / \Sigma(+))$$

- **L'élément E :**

Les circulations dans les réservoirs carbonatés sont principalement différenciées par le paramètre E de celles dans les réservoirs sulfatés.

$$E = 100 \times ((\text{Ca} + \text{Mg}) / \Sigma(+) - \text{HCO} / \Sigma(-))$$

- **L'élément F :**

Le paramètre F met en évidence l'augmentation de la concentration en K dans les échantillons d'eau.

$$F = 100 \times (Ca - Na - K) / \Sigma(+)$$

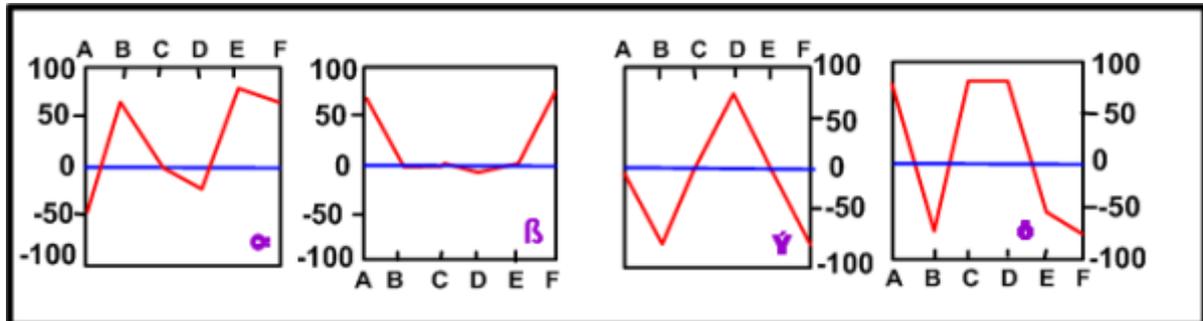
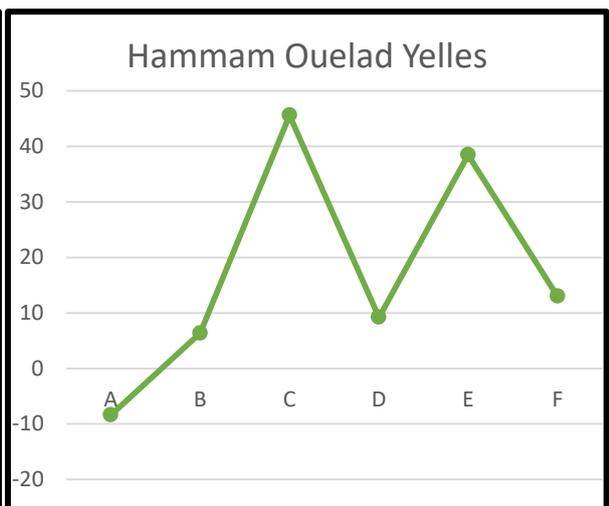
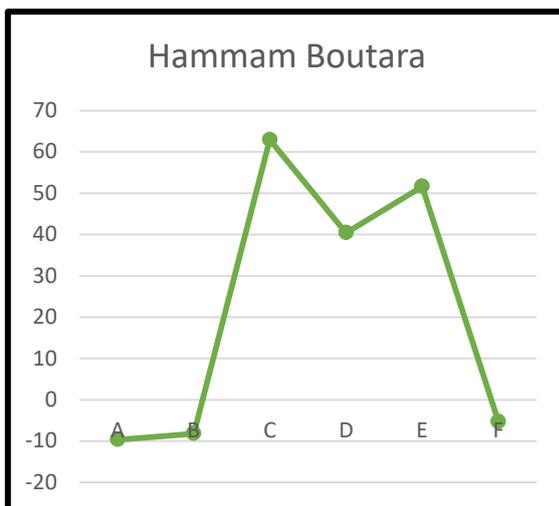
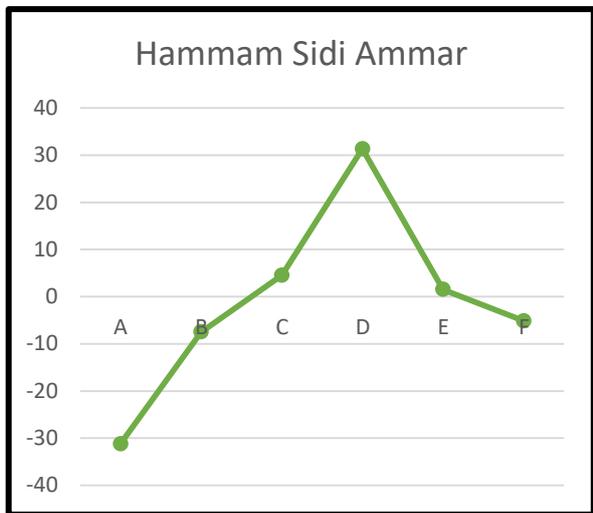
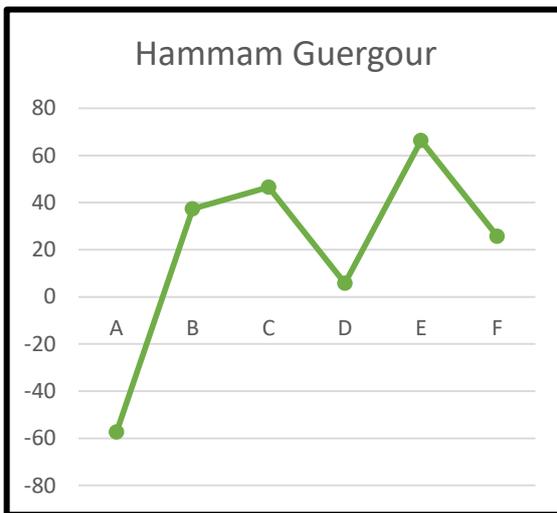
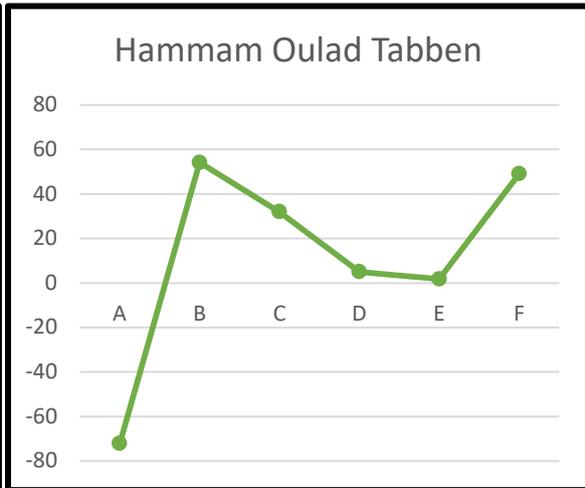
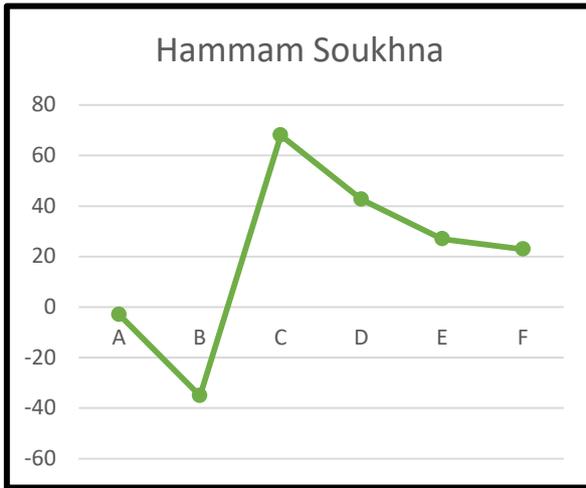


Figure III.15: Représentation graphique des diagrammes de référence établies par Amore et al, 1983 (α : série évaporitique; β : circulation dans les calcaires; γ : circulation profonde à travers un socle cristallin; δ : formation argileuse).

Des diagrammes rectangulaires peuvent être établis à partir des valeurs et comparés aux diagrammes de référence (α , β , γ et δ) établis par les auteurs. Nous avons appliqué cette méthode aux sources thermales de la région de Sétif, ce qui nous a permis de mettre en évidence trois (03) aspects rectangulaires distincts qui sont intermédiaires entre les normes théoriques de référence (fig.III.16).



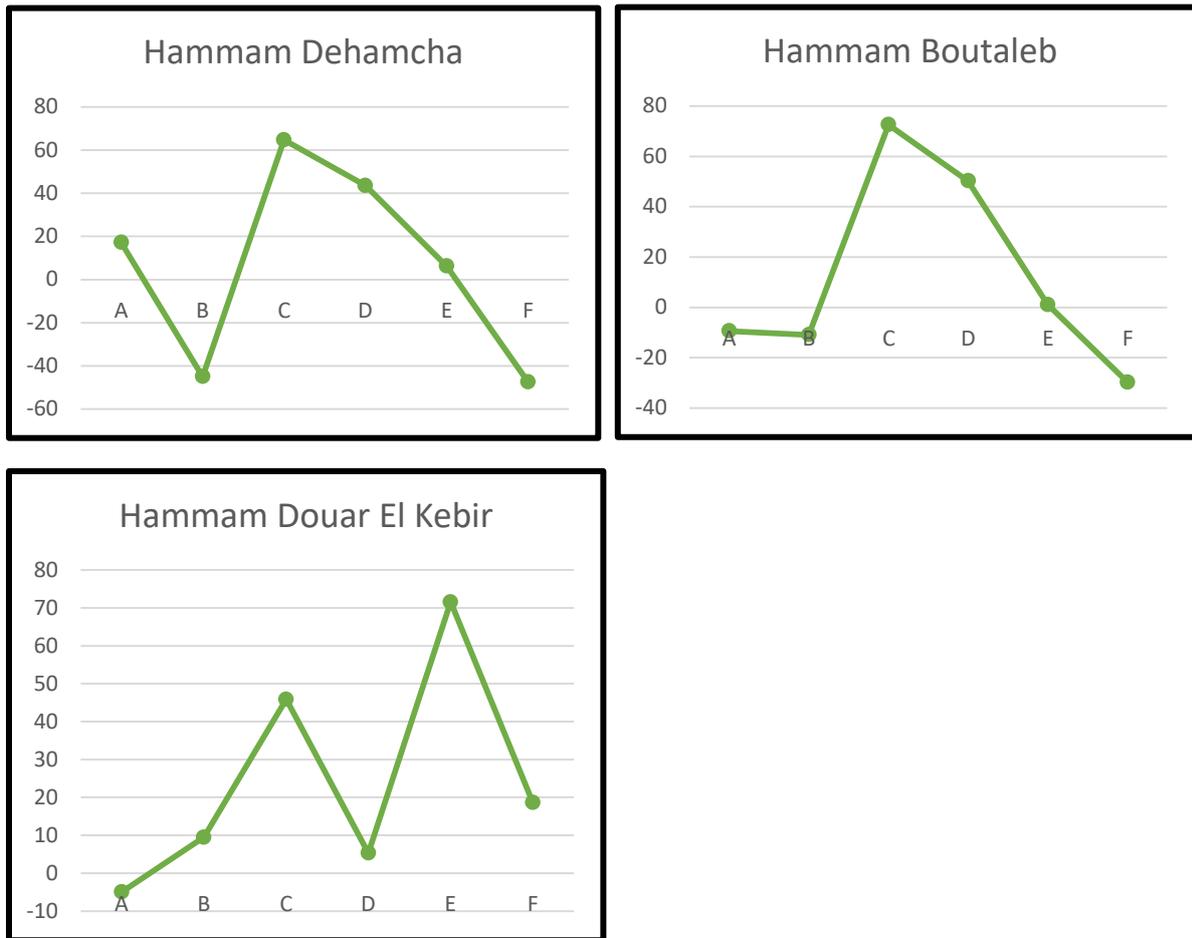


Figure III.16 : Représentation des eaux thermo minérales sur le diagramme d’AMORE et al. 1983.

III.5. Diagramme de Langelier -Ludwing

L'effet des terrains salifères sur le chimisme des eaux des sources est confirmé par le diagramme (fig.III.17). Par conséquent, la hausse de la teneur en sodium et en potassium se produit simultanément avec celle des chlorures et des sulfates pourrait être liée à la dissolution de l'anhydrite et de l'halite (Boudoukha. A et al 2012), mais de manière inverse avec celle des éléments carbonatés. Il est possible que cette tendance soit également causée par un échange de base Na-Ca avec les argiles, causé par des profondeurs causées par la dysharmonie thermique qui affecte la région, comme le démontrent CHULLI et al. (2011) dans un cas similaire à Sfax en Tunisie orientale.

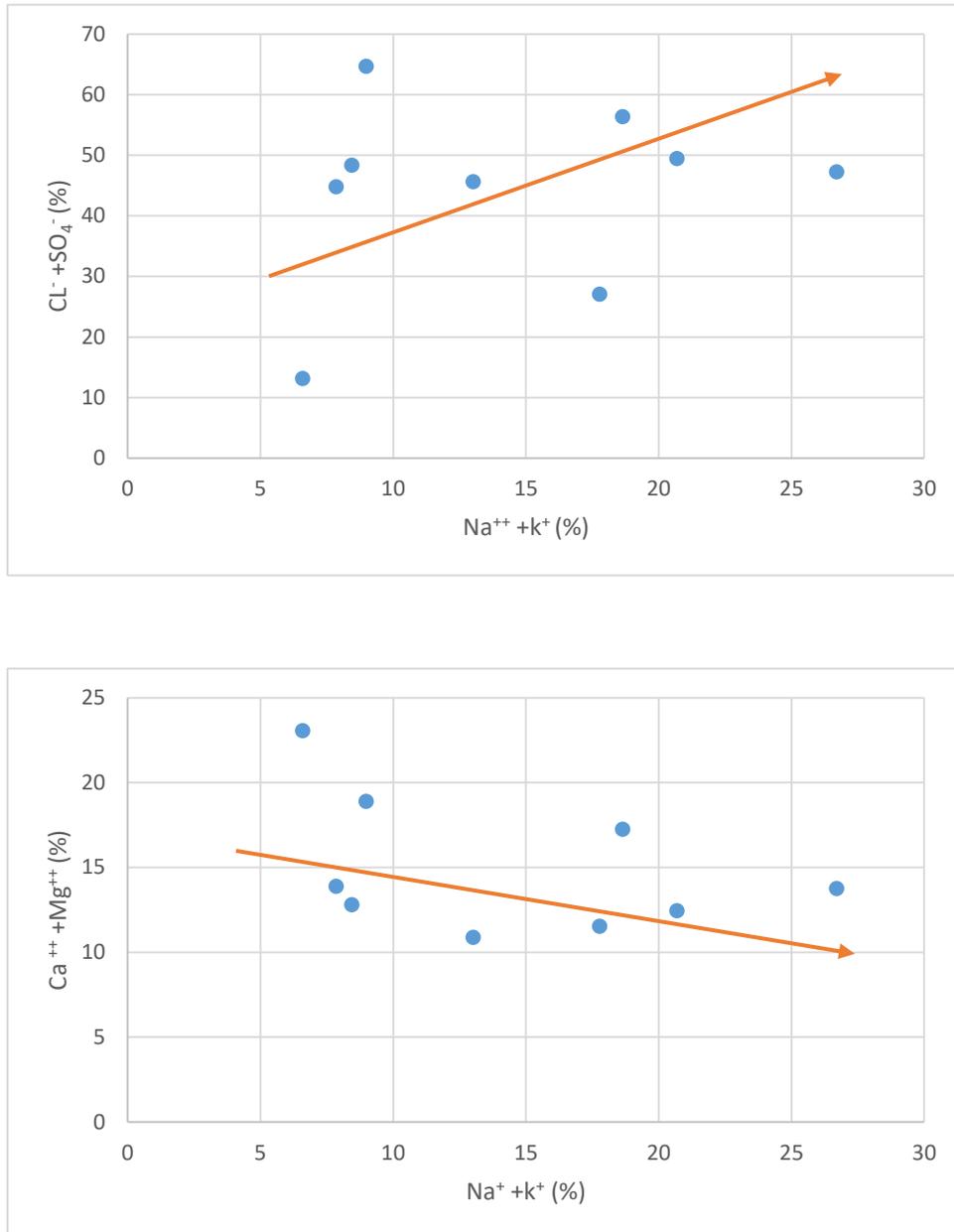


Figure III.17: Diagramme de Langelier-Ludwing appliqués aux eaux des sources.

Ca+Mg en fonction de Na+K et Cl+SO4 en fonction Na+K

- **Analyse à Composante Principale (ACP)**

Nous avons réalisé une A.C.P globale concernant les points des eaux thermales analysées dans notre zone d'étude. Cette A.C.P comprend 08 observations et 12 variables à savoir (T, pH, CE, Ca, Mg, K, Na, Cl, SO₄, HCO₃, SiO₂, Sr).

• **Matrice de corrélation**

Tableau III.1 : matrice de corrélation

Variables	Conductivité	T°C	PH	SiO2	Sr ⁺⁺	HCO3 ⁻	SO4 ⁻⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺	Ca ⁺
Conductivité	1											
T°C	0,8408	1										
PH	0,6682	0,6039	1									
SiO2	0,4092	0,3959	0,5041	1								
Sr ⁺⁺	0,3468	0,1330	-	-	1							
HCO3 ⁻	-0,8864	-	0,2919	0,4381	-	1						
SO4 ⁻⁻	0,6847	0,7219	0,5635	0,5744	0,0917	-	1					
Cl ⁻	0,7879	0,4001	0,0094	0,1890	0,6239	0,6768	-	1				
K ⁺	0,1183	0,8632	0,7216	0,1726	0,2175	-	0,2048	0,5443	1			
Na ⁺	0,4871	0,4795	0,1172	-	0,0357	0,1157	-	0,318	0,0973	1		
Mg ⁺⁺	0,7851	0,6988	0,4272	0,1330	0,0731	-	0,0914	0,614	0,7647	-	1	
Ca ⁺⁺	0,8088	0,4756	0,2469	0,1517	0,7751	0,3342	0,8388	0,511	-	0,199	0,199	1
		0,5759	0,1753	0,0068	0,4974	0,5639	-	1	0,0147	5	5	1
				0,3460		0,8481	0,9534	0,351	-	0,188	0,800	1
								2	0,0923	0	8	

La matrice de corrélation (tableau01) montre les variables qui sont bien corrélées entre elles, à savoir : [CE, T (0,8408)], [CE, HCO3 (0,8864)], [CE, Ca (0,8088)], [T, Cl (0,8632)], [HCO3, Ca (0,8481)], [SO4, Mg (0,8388)], [SO4, Ca (0,9534)], [Mg, Ca (0,8008)].

III.6. Etude des cercles de corrélation

Le cercle de corrélation est un diagramme qui illustre les relations entre les variables et les composantes principales. La représentation est directement liée aux relations de proximité ou d'éloignement des variables du cercle, avec une meilleure qualité de représentation pour une variable plus proche du cercle.

III.6.1. Corrélation entre variables et axes principaux

Le tableau suivant exprime les résultats de la corrélation entre les variables et les axes principaux et qui sont classés de la manière suivante :

- 08 variables sont corrélées avec le premier axe (F1) : CE, T, HCO₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, Na⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺.
- 05 variables sont corrélées avec le deuxième axe (F2) : pH, Sr⁺⁺, SO₄⁻, K⁺, Na⁺.
- 04 sont corrélées avec le troisième axe (F3) : SiO₂, Sr⁺⁺, K⁺, Na⁺.
- Aucune variable n'est corrélée avec autres axes (F4- F8)

Tableau III.2 : corrélation entre variables et axes

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Conductivité	-0,9901	-0,0212	0,0744	-0,0981	-0,0099	0,0405	0,0487	-0,0038
T°C	-0,8727	-0,3848	-0,0959	0,1151	0,0996	-0,2321	-0,0559	-0,0298
pH	-0,5910	-0,5888	0,3047	-0,3677	-0,0224	0,2743	0,0116	0,0130
SiO2	-0,3736	-0,2385	0,7919	0,2619	0,3190	0,0143	0,0741	0,0177
Sr ⁺⁺	-0,3862	0,6726	-0,5589	-0,1722	0,1719	-0,0558	0,1530	0,0189
HCO ₃ ⁻	0,8757	-0,0231	-0,3809	-0,1108	0,2541	0,0795	-0,0625	0,0236
SO ₄ ⁻⁻	-0,7282	0,6187	0,0163	0,2445	-0,0282	0,1005	-0,0886	0,0903
Cl ⁻	-0,7747	-0,3990	-0,1751	-0,3866	0,1076	-0,2093	-0,0573	0,0431
K ⁺	-0,1944	-0,5422	-0,6533	0,4100	0,2315	0,1398	-0,0068	-0,0129
Na ⁺	-0,5302	-0,5444	-0,5497	0,1668	-0,2930	0,0532	0,0580	0,0209
Mg ⁺⁺	-0,7939	0,4849	-0,1930	-0,2081	0,1144	0,1812	-0,0636	-0,0646

La représentation graphique du plan factoriel F1-F2 (Fig. III.18) indique que l'axe F1 est corrélé positivement avec HCO₃⁻, tandis que l'axe F2 met en opposition la plupart des anions sauf Sr⁺⁺, SO₄.

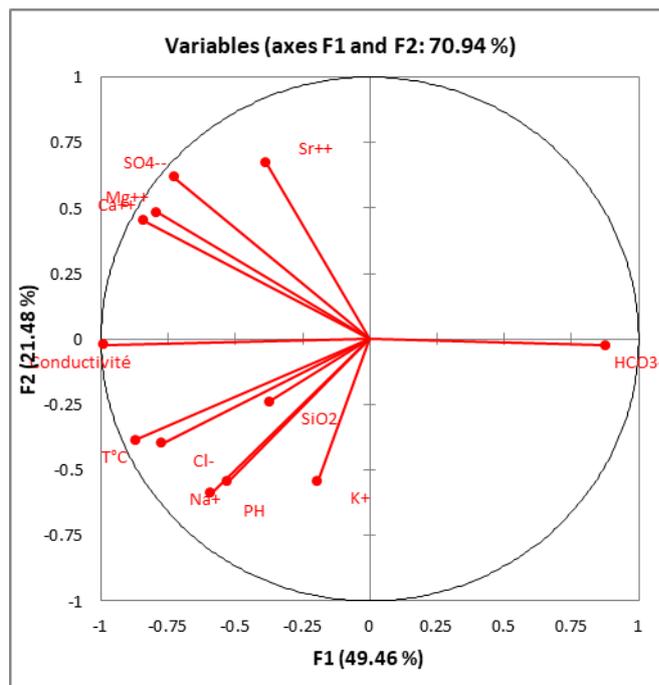


Figure III.18 : Représentation graphique des variables sur le plan factoriel (F1-F2)

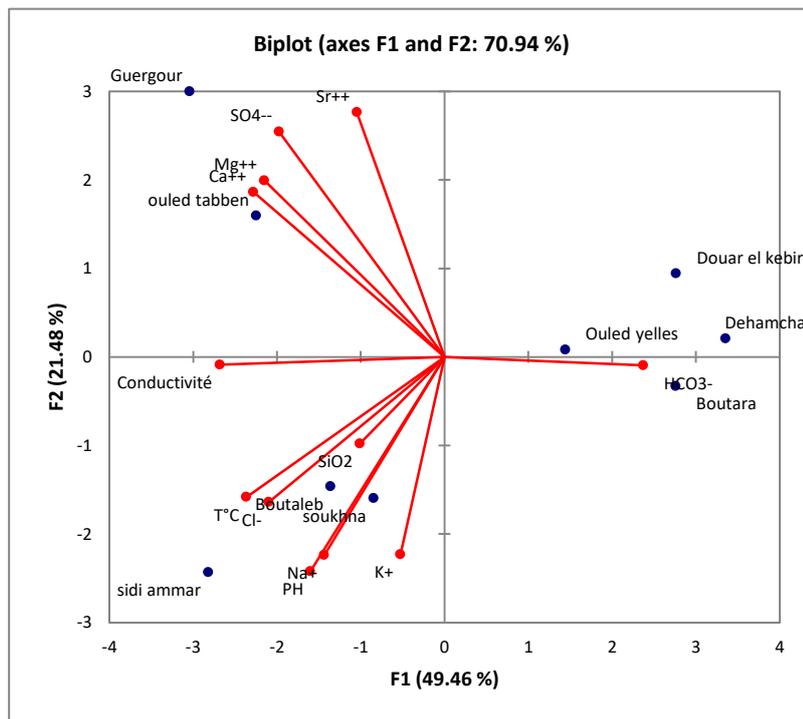


Figure III.19 : Représentation graphique des sources et des variables sur le plan factoriel (F1-F2)

Cette représentation confirme les relations et les échanges entre les différents éléments chimiques.

Conclusion

En prenant en considération l'impact des conditions géologiques, climatiques et hydrogéologiques, cette étude hydrochimique a révélé l'hétérogénéité de la majorité des paramètres physico-chimiques qui influencent l'évolution et la qualité des eaux. D'après la typologie de Piper et de Scholler - Berkaloff, il y a cinq (05) types de faciès présents sur le terrain d'étude. Les surfaces les plus courantes sont les surfaces sulfatées de calcium et de sodium ; les surfaces bicarbonatées de sodium et chlorurées de sodium.

Grâce à ce chapitre, nous avons pu mettre en évidence une chimie déférente des sources, principalement liée aux formations géologiques rencontrées pendant le parcours des eaux.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude a permis de mieux comprendre les sources thermo-minérales de la région de Sétif dans leur contexte structural et géochimique. À travers une analyse bibliographique approfondie, une présentation détaillée de la zone d'étude, et une investigation géochimique minutieuse, nous avons pu identifier les principales caractéristiques et les processus influençant ces sources.

Du point de vue géographique, la région de Sétif est localisée dans l'Est algérien dans la région des Hauts-Plateaux.

Elle occupe une position prédominante parmi les wilayas des hauts plateaux de l'Est, ce qui fait d'elle leur capitale.

Les conditions climatiques de la région sont caractérisées par des précipitations nettement plus élevés pendant la saison hivernale que pendant l'été. En moyenne la température à Sétif est de 14.85 C°. La moyenne des précipitations annuelles atteints 390 mm/an

L'interprétation et l'exploitation des données géologiques des eaux thermo-minérales permettent d'avoir une idée sur la nature des formations lithologiques traversées par ces eaux et leur dynamique.

Le réseau hydrographique est organisé autour du dispositif montagneux de la région.

La moitié Nord envoie ses eaux de surface vers le bassin méditerranéen par les réseaux de l'Oued Bou Sellam qui rejoint la Soummam, de l'Oued Agrioun, de l'Oued el Kebir, bou Selah et de l'Oued Rhumel. Ces réseaux d'Oueds alimentent les barrages et autres retenues collinaires de la région Le reste possède une hydrographie endoréique centrée sur les Chotts.

L'aperçu hydrogéologique montre que les formations peuvent offrir des possibilités aquifères non négligeables.

L'établissement des différents diagrammes, nous a permet de visualiser et d'interpréter les données complexes relatives à la composition chimique des eaux thermo-minérales. Nous avons pu mettre en évidence les éléments chimiques dominants et les interactions géochimiques clés.

Les résultats obtenus soulignent l'importance de considérer les contextes géologique et hydrogéologique pour une gestion efficace et durable des sources thermo-minérales. En comprenant mieux les processus géochimiques à l'œuvre, il est possible de développer des stratégies d'exploitation qui minimisent les impacts environnementaux et maximisent les bénéfices économiques.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, cette recherche contribue à l'enrichissement des connaissances sur les sources thermo-minérales de Sétif, offrant des perspectives nouvelles pour leur utilisation durable dans le domaine médical et thérapeutique.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Listes des références

1. ANRH Constantine : analyses physicochimiques et carte pluviométrique.
2. Barkat Habiba, 2014 Analyse des groupements Herpétologiques dans les Hautes Plaines Sétifiennes, mémoire de magister , université Ferhat Abbas. Sétif, 74p.
3. Benabbas, C. (2006). Evolution Mio-Plio-Quaternaire de l'Algérie Nord orientale : Apport de la photogéologie et analyse morpho structurale. Université de Constantine,
4. Bebesse. A. étude hydraulique d'un réseau d'AEP , wilaya de BLIDA
5. Boudoukha Abderrahmane et Athamena Malika 2012 : Caractérisation des eaux thermales de l'ensemble Sud sétifien. Est algérien. Revue des sciences de l'eau /
6. Boulatrous Bouchra et Bounneche Ahlam (2021). Mémoire sur les Caractérisation physico-chimique et origine des eaux thermo-minérales de la région de Mila
7. Djemmal Samir, Étude des sources thermominérales de la région de Sétif dans leur contexte structural (Est Algérien). Doctorat thesis, (2018) Université de Batna 2
8. Taillefer. Audrey 2017 "Tectonique et hydrothermalisme" Université Grenoble Alpes
9. Direction du Tourisme, Wilaya de Sétif
10. DSA, (2015). Direction d'Agriculture et du Développement Rural, Rapports DSA, Algérie, pp.8-16
11. DPAT (2010). Annuaire statistique de la Wilaya de Sétif. vol3, n°49 pp, 87-97
12. Gaston, F. (1989). La vie des eaux thermo-minérales » pp. 29, 31, 32, 65, 69,80.
13. Issaadi, A. (1996). Mécanismes de fonctionnement des systèmes hydrothermaux. Application aux eaux algériennes et aux eaux de Hammam Bou-Hadjjar. Bull. Ser. Géol. Algérie, 7, 71-85.
14. Issaadi, A. et Bouchareb-Haouchine, F.Z. (1997). Estimation du flux de chaleur en Algérie du Nord à partir de la thermométrie silice. Bull. Ser. Geol. Algérie, 8, 29-39.
15. Jean-Jacques Collin. Livre. Collin, Jean-Jacques .Les eaux souterraines : connaissance et gestion / . Edité par BRGM. Orléans ; Hermann. Paris - 2004.
16. Journal of Water Science Volume 25, numéro 2, 2012, p. 103–118. DOI <https://doi.org/10.7202/1011602ar>
17. Kaabeche T. et Mebrak A.R. (2010). Contribution à l'étude des risques naturels (sismiques et mouvements de terrain) dans la Wilaya de Sétif. Mém. Ing. Uni. Ferhat Abbas. Sétif. Pp 46-56.
18. Larousse, Dictionnaires francais , 2012
19. Mebarki, A. (2009). Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

20. Mihi A. (2012). La forêt de Zenadia (Haute Plaine Sétifienne) Diagnostic et perspective de protection. Mém. Mag. Uni. Ferhat Abbas. Sétif. P32Mouffok, 1997
21. Mouffok C.E. (1997). Diversité des systèmes d'élevage bovin laitier et performances animales en région semi-aride de Sétif. Mém. Mag. INR. Alger.
22. Ouali, S. (2008). Les sources thermales en Algérie. Recherche et développement, 1996, 'Etude géothermique du Sud de l'Algérie', Mém. Magister, Université M'hamed. Bouguerra – Boumerdes
23. Oyun-Erdene, G (2003). Interpretations of chemical composition of geothermal fluide from ÁRSKÓGSSTRÖND, DALVÍK, and HRÍSEY, N-ICELAND and in the khangal area, Mongolia. Institute of Chemistry and Chemical Technology Mongolian Academy of Sciences Peace Mongolia. Pp.
24. Pouchan P., 1995 : L'émergence thermominérale. In La Houille Blanche, 02/03/1995
25. Ramade F. Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale, Mc Graw Hill, 1984. Ramade François (1993). Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et sciences de l'environnement, édition Ediscience International, Paris 822, 208 P
26. Robert P Vigouroux. Éditeur. Autres Temps. Distributeur. Dod & Cie. Date de parution. 24/05/1999.
27. Zerroug Kh. (2012). Elaboration d'un système d'information géographique (flore) dans la Wilaya de Sétif. Mém. Mag. Uni. Ferhat Abbas. Sétif. P 18-25.
28. https://www.researchgate.net/publication/234094802_Etude_des_ressources_geothermiques_du_sud_algerien [accessed May 28 2024].
29. <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/setif/>.

ANNEXES

ANNEXES

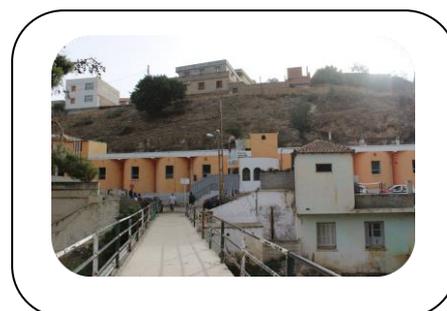
FICHE TECHNIQUE D'UN ETABLISSEMENT THERMAL

Nom de l'établissement : Sidi El Djoudi.

Wilaya : Sétif.

Daïra : Hammam Guergour.

Commune : Hammam Guergour.



- NOM DU PROPRIETAIRE :

-Personne Physique

-Personne Morale



- **Nom du propriétaire :** l'APC de Hammam Guergour

- **Nom de la société :**/....

- **Nom du gérant(locataire) :** Ayed El Khadraoui

- **Tel :** 036.49.91.20 **Fax :** 036.49.91.17/15. **Mobile :**/.....

Email : apchguergour@gmail.com.

- **Date de l'obtention de la concession et l'utilisation des eaux thermales :**/....

- **Date de création :** depuis les romains.

- **Date entrée l'exploitation :** 1962.

• **Source thermale :**

- **Nom de la source :** Ain Chouf

- **Type de captage :** source.

- **Débit (l/s) :** 30 **Température (c⁰) :** 42

- **Minéralisation principale :** sulfates, calcium, chlorures (eau sulfaté calcique riches en chlorure de sodium).

- **Indications thérapeutiques :** Rhumatologie et traumatismes ostéo-articulaires- Neurologie-Gynécologie-Dermatologie-Affections psychosomatiques-Voies respiratoires et affections ORL.

• **SITUATION DU FONCIER :**

Intérieur de la ZET



hors ZET



- **Nature Juridique du terrain**

Propriété



concession



- **Superficie :**

Superficie globale de terrain : 7500m²

Superficie bâtie : 2500 m²

• **Le programme :**

- **Bloc thermal :** 19bassins collectifs.

- **Hébergement :** 8 chambres avec capacité de 16 lits.

- **Services annexes :**/.....

• **Type d'exploitation :** traditionnelle.

NB : l'APC n'est ni propriétaire ni concessionnaire du terrain – Foncier en voie de régularisation-

ANNEXES

FICHE TECHNIQUE D'UN ETABLISSEMENT THERMAL

Nom de l'établissement : Hammam EL ATIK.

Wilaya : Sétif.

Daïra : Hammam Soukhna

Commune : Hammam Soukhna .



- NOM DU PROPRIETAIRE :

-Personne Physique

-Personne Morale

- Nom du propriétaire : APC Hammam Soukhna

- Nom de la société :/.....

- Nom du gérant : APC Hammam Soukhna

- Tel :036.77.82.35 Fax :036.77.81.60 Mobile :/.....

Email : hammamsokhna@gmail.com

- Date de l'obtention de la concession et l'utilisation des eaux thermales :...../.....

- **Date de création** :(1967-1970)

- **Date entrée l'exploitation** :1971.

• **Source thermale :**

- Nom de la source : Hammam Soukhna

- Type de captage : forage

- Débit (l/s) :10 Température (c⁰) :58

- **Minéralisation principale** : chlorures, sodium, sulfates(eau chloruré sodique).

- **Indications thérapeutiques** :Rhumatologie et traumatismes ostéo-articulaires-Neurologie-Gynécologie-Dermatologie-Affections psychosomatiques-Voies respiratoires et affections ORL.

• **SITUATION DU FONCIER :**

- Intérieur de la ZET Hors ZET

• **Nature Juridique du terrain**

- Propriété concession

• **Superficie :**

- Superficie globale de terrain : 4000 m²

- Superficie aménagé : 2048m²

• **Le programme:**

- **Bloc thermal** :27 hammams individuels.

- **Hébergement** :08 chambres .

- **Services annexes** :Cuisine collective.

• **Eventuelle extension 01 bloc thermal** (13hammams individuels +1 collectif+1 piscine)

ANNEXES

- **Type d'exploitation** : traditionnel.

NB :l'APC n'est ni propriétaire ni concessionnaire du terrain – Foncier en voie de régularisation-

ANNEXES

FICHE TECHNIQUE D'UN ETABLISSEMENT THERMAL

Nom de l'établissement : Complexe Hammam Soukhna.

Wilaya : Sétif.

Daïra : Hammam Soukhna

Commune : Hammam Soukhna.



- NOM DU PROPRIETAIRE :

-Personne Physique

-Personne Morale

- Nom du propriétaire : APC Hammam Soukhna

- Nom de la société :/.....

- Nom du gérant : APC Hammam Soukhna

- Tel :036.77.82.35 Fax :036.77.81.60 Mobile :/.....

Email : hammamsokhna@gmail.com

- Date de l'obtention de la concession et l'utilisation des eaux thermales :...../.....

- **Date de création :** (1967-1970)

- **Date entrée l'exploitation :** 1971.

• **Source thermale :**

- Nom de la source : Hammam Soukhna

- Type de captage : forage

- Débit (l/s) :10 Température (c⁰) :58

- **Minéralisation principale :** chlorures, sodium, sulfates (eau chloruré sodique).

- **Indications thérapeutiques :** Rhumatologie et traumatismes ostéo-articulaires- Neurologie-Gynécologie-Dermatologie-Affections psychosomatiques-Voies respiratoires et affections ORL.

• **SITUATION DU FONCIER :**

- Intérieur de la ZET Hors ZET

• **Nature Juridique du terrain**

- Propriété concession

• **Superficie :**

- Superficie globale de terrain :m²

- Superficie aménagé :m²

• **Le programme:**

- **Bloc thermal :** 21 hammams individuels+2 collectifs +piscine.

- **Hébergement :** 12 chambres.

- **Services annexes :**.....

• **Eventuelle extension 01 bloc thermal** (13hammams individuels +1 collectif+1 piscine)

ANNEXES

- **Type d'exploitation** : traditionnel.

NB :l'APC n'est ni propriétaire niconcessionnaire du terrain – Foncier en voie de régularisation-

FICHE TECHNIQUE D'UN ETABLISSEMENT THERMAL

Nom de l'établissement : Hammam Sidi Mansour .

Wilaya : Sétif.

Daïra :Salah Bey .

Commune : Ouled Tebben .



- NOM DU PROPRIETAIRE :

-Personne Physique

-Personne Morale

- Nom du propriétaire : APC Ouled Tebben

- Nom de la société :/.....

- Nom du gérant(locataire) : Daas Sadoun

- Tel :036.57.58.05 Fax :036.57.58.05 . Mobile :/.....

Email :apcouledtebben@gmail.com.

- **Date de l'obtention de la concession et l'utilisation des eaux thermales** :...../.....

- **Date de création** :avant 1962.

- **Date entrée l'exploitation** :1976.

• **Source thermale :**

- Nom de la source : Hammam Sidi Mansour

- Type de captage : forage

- Débit (l/s) :25 Température (c0) :50

- **Minéralisation principale** : sulfates, chlorures, calcium (eau sulfatée calcique dures).

- **Indications thérapeutiques** :Affections Rhumatismales dégénératives - Séquelles traumatismes ostéo-articulaires-certaines affections de l'appareil cardio-vasculaire-certaines troubles neurologiques.

• **SITUATION DU FONCIER :**

- Intérieur de la ZET

Hors ZET

• **Nature Juridique du terrain**

- Propriété

concession

- Durée de la concession :

• **Superficie :**

- Superficie globale de terrain : 131.06 m²

ANNEXES

- Superficie aménagé :/.....m2
- **Le programme:**
 - **Bloc thermal** : 06 bassins collectifs.
 - **Hébergement** : .../... chambres
 - **Services annexes** :/.....
- **Type d'exploitation** : traditionnel.

NB :l'APC n'est ni propriétaire ni concessionnaire du terrain – Foncier en voie de régularisation-

FICHE TECHNIQUE D'UN ETABLISSEMENT THERMAL

Nom de l'établissement : Hammam Sidi Omer
Wilaya : Sétif.
Daïra: Salah Bey .
Commune : El Hamma.



- NOM DU PROPRIETAIRE :

- Personne Physique -Personne Morale
- Nom du propriétaire : APC El Hamma
 - Nom de la société (locataire):: société « complexe thermal El Aroz (Ben chikh etbouadjil) .
 - Nom du gérant ./....
 - Tel :036.55.31.02 Fax :...../..... Mobile : 06.68.59.47.98.
 - Email :...../.....
 - Date de l'obtention de la concession et l'utilisation des eaux thermales :...../.....
 - **Date de création** :avant 1962.
 - **Date entrée l'exploitation** :1970.

• **Source thermale :**

- Nom de la source : Hammam Sidi Omer
- Type de captage : source.
- Débit (l/s) :11 Température (c0) :52.8
- **Minéralisation principale** :chlorures, sulfates, sodium (eau chlorurées mixtes).

- **Indications thérapeutiques** : affections Rhumatismales dégénératives - affections dermatologiques– traumatismes ostéo-articulaires – certaines affections de l'appareil cardio-vasculaire – certains troubles neurologiques.

• **SITUATION DU FONCIER :**

- Intérieur de la ZET Hors ZET

ANNEXES

- **Nature Juridique du terrain**
 - Propriété concession
- **Superficie :**
 - Superficie globale de terrain : 03 hectares.
 - Superficie aménagée :/.....m2
- **Le programme:**
 - **Bloc thermal** :04 bassins collectifs.
 - **Hébergement** : 14 bungalows.
 - **Services annexes** :/.....
- **Type d'exploitation** : traditionnel.

NB :l'APC n'est ni propriétaire ni concessionnaire du terrain – Foncier en voie de régularisation-

FICHE TECHNIQUE D'UN ETABLISSEMENT THERMAL

Nom de l'établissement : Hammam Ouled Yeless.
Wilaya : Sétif.
Daïra: Ain Arnet.
Commune : Mezloug .



- NOM DU PROPRIETAIRE :

- Personne Physique -Personne Morale
 - Nom du propriétaire : APC Mezloug
 - Nom de la société :/.....
 - Nom du gérant : Tobel Yacine.
 - Tel : 036.82.41.45 Fax : 036.82.41.44 Mobile :.../.....
 - Email : apcmezloug@gmail.com.
- **Date de l'obtention de la concession et l'utilisation des eaux thermales** :...../.....
- **Date de création** : .../...
- **Date entrée l'exploitation** :avant 1984.
- **Source thermale :**
 - **Nom de la source** : Hammam Ouled Yeless
 - **Type de captage** : forage
 - **Débit (l/s)** :3 **Température (c0)** :43
 - **Minéralisation principale** : sulfates, chlorures, bicarbonates.
- **SITUATION DU FONCIER :**

ANNEXES

- Intérieur de la ZET Hors ZET
- Nature Juridique du terrain
 - Propriété concession
 - Durée de la concession :
- **Superficie :**
 - Superficie globale de terrain : 5600m²
 - Superficie aménagé : 1500 m²
- **Le programme:**
 - Bloc thermal : 03 bassins collectifs et 25 bassins individuels.
 - Hébergement :16 chambres.
 - Services annexes : restaurant – cafeteria.
- **Type d'exploitation** : traditionnel.

NB:la source a connu un tarissement depuis 2013, le premier forage réalisé négatif, les travaux du 2^{ème} forage en cours.

