Étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux thermales du centre algérien (Nord)

Rachid Nedjaï

▶ **To cite this version:**

Rachid Nedjaï. Étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux thermales du centre algérien (Nord). Géochimie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1987. Français. NNT : . tel-00814217

HAL Id: tel-00814217

https://theses.hal.science/tel-00814217

Submitted on 16 Apr 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TS 87/GRE1/0106
double

TS 87/GRE1/0106
S&D

THESE

Présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE TECHNOLOGIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE

Pour l'obtention du diplôme de DOCTEUR DE 3e CYCLE

spécialité sciences de la terre

(option hydrogéologie)

par

NEDJAI RACHID

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DES SOURCES THERMOMINERALES DU CENTRE ALGERIEN (NORD)

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

Thèse soutenue le Septembre 1987, devant la commission d'examen:

M. R.MICHEL	Professeur USTMG	Président.
M. J.SARROT REYNAULD	Professeur USTMG	Rapporteur
M. J.ROCHAT	Professeur USTMG	Examinateur
M. G.M. ZUPPI	Professeur Université de TURIN (ITALIE)	Examinateur
M. A. ISSAADI	Maitre assistant Université d'ALGER	Examinateur

Thèse de Doctorat 3 Cycle

Spécialité sciences de la terre / option hydrogéologie

Titre : **Etude hydrogéologique et hydrochimique des sources thermominérales de l'Algérie centrale**

Par: **Nedjai Rachid**

Etablissement: Université scientifique, Technique et Médicale de Grenoble.

-RESUME-

Le thermalisme algérien est caractérisé par une forte concentration des sources chaudes au Nord, généralement liées à de grandes fractures affectant profondemment les formations sédimentaires et parfois même le socle cristallin. Ces fractures sont souvent injectées d'évaporites triasiques. Leurs directions respectives sont NE -SW, NW - SE ou E -W limitant les grands ensembles géostructuraux. Deux différents faciès peuvent être reconnus:

- Un pourcentage élevé de sources, jalonnant les grands accidents, ont un faciès chloruré ou sulfaté et sont souvent chaudes (hyper ou mésothermales).

-Un second groupe, lié aux massifs calcaires ou au socle, montre un faciès bicarbonaté calcique ou sodique. Ces sources sont parfois carbogazeuses.

L'énérgie nécessaire au réchauffement provient principalement des grands réservoirs géothermiques (Bibans) et secondairement du gradient géothermique, des réactions exothermiques ou/et de l'activité séismique. Les réservoirs sont carbonatés ou gréseux.

Le thermalisme algérien montre de grandes analogies avec celui des Alpes franco-italiennes, et plus particulièrement pour leurs relations avec les fronts de chevauchements limitant les grands ensembles géostructuraux.

Mots-clés: Thermalisme, source, Algérie, fracture, faciès, géothermique, réservoir, carbogazeuses.

-ABSTRACT-

The Algerian thermalism is caracterized by a high concentration of hot springs in the North, generally related to great fractures affecting deeply the sedimentary formations and sometime the basement. This fractures are often injected by triassic evporates. There respective directions are NE -SW, NW -SE or E -W and they limit the great geostructural units. Two differents facies can be regonized:

-A high percentage of the springs, staking out the great accidents have chlorured or sulphated facies and they are often hot (Hyper or Mesothermals).

-A second group related to the calcareous massifs or basement schow bicarbonated calcic or sodic facies. These springs are sometime carbogazeous.

The neccessary warming up energy come principally from great geothermic reservoirs (Bibans) and secondary can be related to the geothermic gradient, exothermic réactions or/and seismic activity.

The reservoirs are carbonated or sandstone-liked.

So, the Algerian thermalism supports great analogies with that of the franco-italian alps, particulary for its relation with the overthrusting front limiting great geostructural units.

Key-words: Thermalism, spring, Algeria, fracture, facies, geothermic, reservoir, carbogazeous.

TS 87/GRE1/0106

THESE

Présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE TECHNOLOGIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE

Pour l'obtention du diplôme de DOCTEUR DE 3e CYCLE

spécialité sciences de la terre

(option hydrogéologie)

par

MEDJAI RACHID

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DES SOURCES THERMOMINERALES DU CENTRE ALGERIEN (NORD)

BIBLIOTHEQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

0520401753

Thèse soutenue le Septembre 1987, devant la commission d'examen:

M. R.MICHEL	Professeur USTMG	Président.
M. J.SARROT REYNAULD	Professeur USTMG	Rapporteur
M. J.ROCHAT	Professeur USTMG	Examinateur
M. G.M. ZUPPI	Professeur Université de TURIN (ITALIE)	Examinateur
M. A. ISSAADI	Maitre assistant Université d'ALGER	Examinateur

t 87/708

A mes parents...

AVANT PROPOS.

Avant de présenter ce mémoire, j'aurai une pensée toute particulière pour mes parents qui m'ont toujours soutenu et encouragé, sans qui ce travail n'aurait pu être réalisé.

Ce mémoire est l'aboutissement d'un effort collectif, nombreux sont ceux qui y ont participé à divers titres. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Je dois une reconnaissance toute particulière à Monsieur le professeur ***J.SARROT REYNAULD*** *qui m'a accueilli dans son laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut Dolomieu et qui a beaucoup contribué au bon déroulement de cette thèse, grâce à ses conseil et à son aide morale et matérielle.*

J'exprime ma gratitude à Monsieur le professeur ***R. MICHEL*** *pour l'honneur qu'il me fait de présider ce Jury.*

Je dois une reconnaissance toute particulière à Monsieur ***ISSAADI*** *de l'université d'Alger, qui le premier m'a initié à l'étude des sources et qui a su rendre agréable mes sorties sur le terrain.*

Monsieur le professeur ***G.M ZUPPI*** *de l'université de Turin a accepté de corriger ce travail, qu'il trouve ici mes sincères remerciements.*

J'ai l'honneur de remercier Monsieur le professeur ***J. ROCHAT*** *de la faculté de pharmacie de Grenoble, d'avoir accepté de juger ce travail en participant au jury.*

Je remercie les résponsables du CNRS et en particulier la secrétaire Madame ***MEUGNIOT*** *qui a mis à ma disposition son microordinateur et sa brillante imprimante.*

Je tiens également à remercier le personnel du C.R.A.G d'Alger et notamment les chauffeurs qui ont su se montrer d'excellents et joyeux compagnons de route.

Il me reste à remercier tous les membres de l'institut Dolomieu et de Bab Ezzouar. Que ceux qui m'ont témoigné leur amitié trouvent ici mes sincères remerciements. Enfin je n'oublierai pas mes camarades de 3e cycle, pour les agréables moments que nous avons passé ensemble et pour les conseils donnés. C'est grace à cela que j'ai pu supporter le climat tantôt trop chaud, tantôt trop froid de Grenoble.

INTRODUCTION et GENERALITES

I. 1- HISTORIQUE.

Les sources thermominérales de l'Algérie ont marqué l'histoire de toutes les civilisations qui se sont succédées au cours des temps, probablement bien avant l'occupation romaine. Les vestiges retrouvés dans ces sites, en particulier à Ben Haroun, remontent à cette époque. Cependant l'intérêt qui a été réservé à ces émergences n'exclut pas leur utilisation antérieure.

L'architecture typiquement romaine de certains monuments, classés historiques et situés près de sources thermales, constitue une preuve irréfutable d'une utilisation de ces eaux probablement pour leurs qualités thérapeutiques.

L'intérêt accordé à ce type d'eau par les civilisations passées, n'a cessé de s'accroître parallèlement au développement et aux progrès scientifiques en particulier médicaux.

L'arrivée des Turcs s'est traduite par l'amélioration de l'exploitation de ces eaux. Elle s'est manifestée par l'apparition des bains turcs en Algérie.

L'application des méthodes scientifiques souvent médicales pour la compréhension du fonctionnement et l'intérêt thérapeutique de ces sources chaudes a connu son grand développement au cours de la période coloniale française.

Durant cette période, de multiples campagnes d'étude, utilisant les techniques les plus modernes de l'époque, furent menées. Elles ont favorisé l'utilisation de ces eaux et ont par là répondu aux besoins accrus de la population dans l'espoir de trouver la guerison et le repos.

Les nombreuses campagnes de recherches ont permis l'établissement de plusieurs inventaires souvent incomplets rajoutant de jour en jour de nouvelles sources restées dans l'oubli total malgrè leurs très importantes caractéristiques.

Cette période est marquée par l'apparition de nouvelles stations thermales destinées aux curistes. Ces stations ont été pendant très longtemps utilisées pour le soin des blessés de guerre.

Actuellement, de nombreuses études, hydrogéologiques et parfois médicales, de ces émergences, utilisant les techniques et les méthodes les plus modernes se poursuivent.

II.2- BUTS.

Dans ce cadre, **"L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DES EAUX THERMOMINERALES DE L'ALGERIE CENTRALE "** nous a été confiée. Elle vise plusieurs objectifs qui sont:

- l'établissement d'un inventaire le plus complet possible de toutes les sources thermominérales ou ayant des caractéristiques les différenciant des eaux potables.

- la détérmination des facteurs géotectoniques internes ou externes facilitant la remontée de ces eaux.

- la parfaite connaissance des réservoirs alimentant les sources ainsi que les conditions qui y règnent en utilisant les données chimiques et physiques de surface.

- la détermination des zones de recharge ainsi que les rapports de mélange entre les différents types d'eaux chaudes et froides.

- l'application des méthodes statistiques modernes à l'ensemble des sources pour la confirmation de certaines hypothèses en particulier la détermination des réservoirs ainsi que des formations donnant la minéralisation finale à ces eaux.

- la comparaison de nos sources avec d'autres situées hors de l'Algérie pour une bonne connaissance de leur fonctionnement.

II.3- EXPLOITATION DES SOURCES THERMOMINERALES.

L'exploitation de ces sources en Algérie est limitée à l'heure actuelle aux simples traitements médicaux. Au total quinze sources chaudes sont aménagées pour l'accueil des nombreux curistes en provenance des différentes régions du pays. La station la plus importante est celle de Hammam Righa, exploitée probablement bien avant la période coloniale française.

Vu que l'Algérie dispose d'importantes réserves de gaz et de pétrole, l'exploitation de l'énergie géothermique n'a pas encore connu un grand développement dans notre pays. Cette source d'énergie peut cependant avoir un avenir prometteur.

I.4 - DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

4.1- INTRODUCTION.

Les travaux d'analyse entrepris au cours de notre étude, intituléé " **ETUDE DES EAUX THERMOMINERALES DE L'ALGERIE CENTRALE** ", couvrent toute la surface limitée par les longitudes 1° W et 5° E et les latitudes 34° S et 37° N.

Ce secteur, d'une superficie totale d'environ 90.000 km2, se limite comme suit:

- **Au Nord:** Le long du littoral, il s'étend de Ténès à l'Ouest jusqu'à Bejaia à l'Est.

- **Au Sud:** Le village d'El Idrissia, situé à quelques kilomètres au Sud de Djelfa, marque la limite Sud de notre secteur.

- **A l'Ouest:** La limite est marquée par les villes de Chlef et Tiaret.

- **A l'Est:** Bordj Bou Arreridj et M'Sila marquent la limite orientale de notre secteur.

4.2- DESCRIPTION DES DIFFERENTS DOMAINES DU SECTEUR

Les différentes phases orogéniques qui se sont succédées au cours des éres géologiques accompagnées de mouvements tectoniques,ont fait ressortir trois grands ensembles géomorphologiques trés distincts caractérisantle Nord de l'Algérie. Ces derniers se relaient du Nord vers le Sud selon le dispositif suivant:

Au Nord, l'Atlas tellien s'étend depuis le littoral jusqu'aux chainons méridionaux du Tell. Ces derniers vont de Tiaret à l'Ouest jusqu'à Sidi Aissa à l'Est en passant par Ksar El Boukhari. Cet ensemble est relayé vers le Sud par les hautes plaines interatlasiques situées entre le domaine précédent et l'Atals saharien qui couvre la partie orientale. La partie occidentale est couverte par la méséta oranaise. Ces trois grands ensembles géomorphologiques se présentent de la manière suivante:

4.2.1- L'ATLAS TELLIEN.

Deux grandes catégories de reliefs caractérisent cet ensemble. On y distingue les massifs cristallins et les chaines.

1.a- LES MASSIFS CRISTALLINS.

Ces massifs sont plus développés à l'Est où ils constituent l'essentiel de la structure tellienne avec en particulier le massif de la Grande Kabylie accompagné de quelques fragments qui restent détachés comme celui d'Aissa Mimoun.

A l'Ouest, une transformation presque totale s'opère aux approches d'Alger et à l'Ouest de Médéa. Les massifs cristallins ne sont représentés que par quelques fragments trés dispersés au Nord de la Mitidja (Cap Matifou, Bouzareah et Chenoua.).

Ces massifs sont sillonnés par de nombreuses vallées profondes en particulier en Grande Kabylie témoignant ainsi de la forte érosion pendant les derniers épisodes géologiques.

- LES CHAINES CALCAIRES.

Deux importantes chaînes caractérisent la partie orientale tellienne de notre secteur, en l'occurrence à l'Est d'Alger et de Médéa. Elles possèdent les caractères les plus constants de tout le Tell oriental. Ces chaînes sont:

- LE DJURDJURA.

Ce massif calcaire, situé en Grande Kabylie, culmine à 2308 m d'altitude faisant figure de haute montagne. Cette chaîne calcaire s'étend sur près de 60 km et n'est percée qu'à l'Ouest au niveau des gorges de l'Isser ou encore plus loin dans l'Atlas de Blida (gorges de la Chiffa) constituant ainsi une zone de partage des eaux infranchissable.

- LES BIBANS.

Au Sud de la chaîne précédente et à l'intérieur de notre secteur, la chaîne des Bibans, d'une continuité remarquable sur environ 250 km, s'étend de Berrouaghia à l'Ouest jusqu'au Nord de Sétif. A l'inverse du Djurdjura, cette chaîne est traversée par de nombreuses rivières. C'est à l'une de ces percées que la chaîne doit son nom(Bibans = Portes).

Aux approches d'Alger et de Médéa, les premières transformations de la structure tellienne s'opèrent. Elles sont marquées par la disparition presque totale des massifs avec en parallèle un développement considérable des plaines alluviales au milieu des montagnes. Ces plaines, souvent d'un intérêt hydrique très important, sont encadrées de montagnes moins importantes que celles du Tell oriental. Les montagnes qui dominent la plaine du Chéliff sont les plus importante du secteur occidental.

4.2.2- LES HAUTS PLATEAUX.

Cette entité géographique constitue une zone de transition entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Elle est caractérisée par des horizons souvent plats. Ce domaine relaie les chaînons les plus méridionaux du Tell.

La nouveauté de l'aspect morphologique du relief se perçoit en franchissant les bandes montagneuses s'étendant de Tiaret à Sidi Aissa. De grandes cuvettes à fond plat apparaissent avec une altitude du point le plus bas à l'Ouest (1000m) qui diminue à l'Est (400m).

Les Daias et les Chotts sont caractéristiques de ce domaine et sont généralement le résultat de l'absence de pentes favorables à l'existence d'écoulements.

4.2.3- L'ATLAS SAHARIEN.

Une partie de notre secteur est couverte par l'Atlas saharien qui se présente sous forme de chaînes discontinues avec des reliefs sans largeur ni longueur souvent distants les uns des autres et généralement séparés par des cuvettes. D'une altitude ne dépassant guère les 2000m, la plupart de ces reliefs sont orientés SW -NE et sont situés toujours en contrebas des Hauts Plateaux.

Au centre de notre secteur les monts des Oulads Nail à l'Est sont séparés du Djebel Amour à l'Ouest par la plaine de Zenina qui réduit la largeur de la chaîne en cet endroit. Ces monts des Oulads Nail renferment des cuvettes synclinales très bien développées.

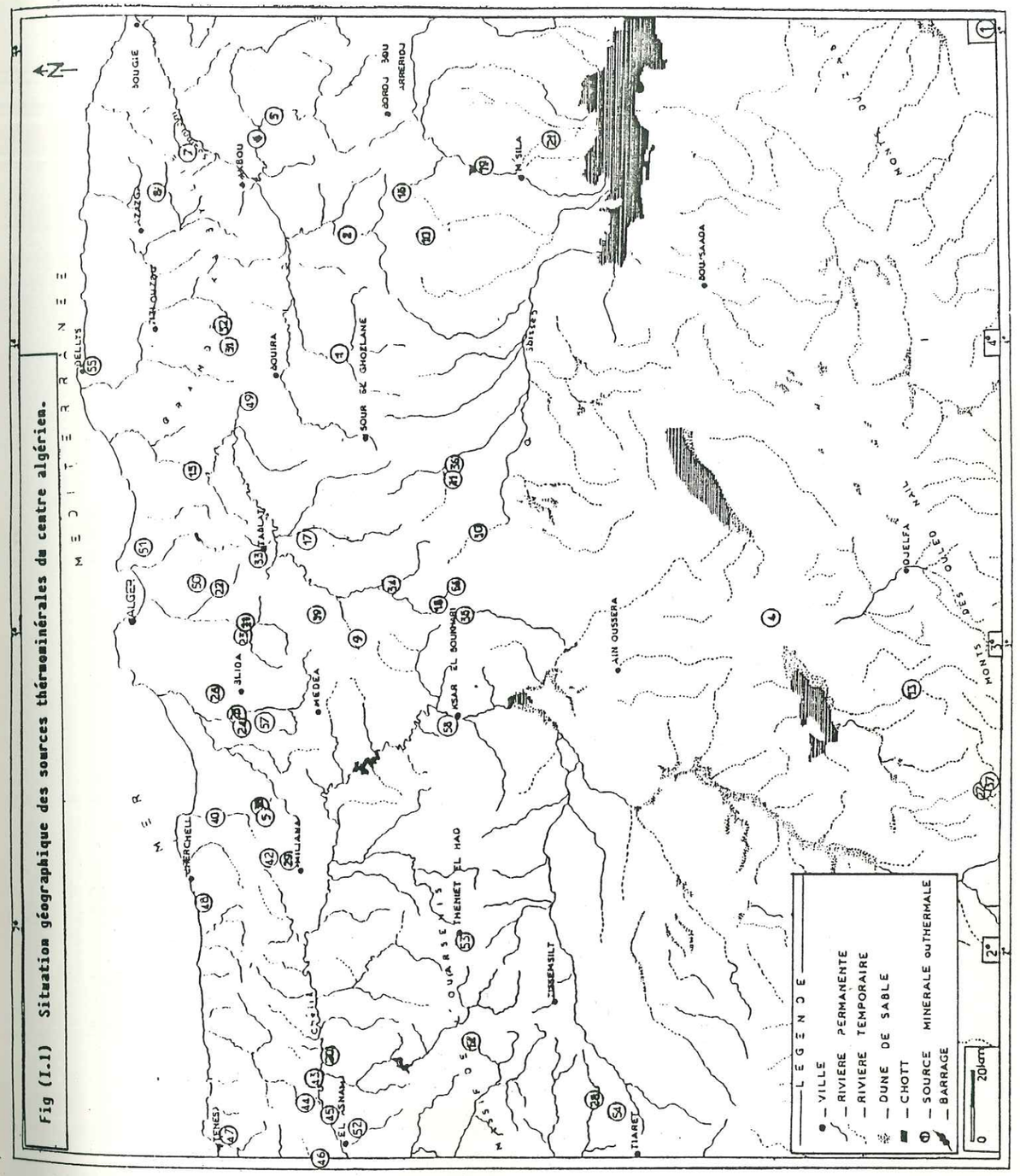


Fig (I.1) Situation géographique des sources thérmominérales du centre algérien.

INVENTAIRE.

1- KSENNA
2- BIBANS
3- IBAINEM
4- EL MESRANE
5- RIGHA
6- SIDI YAHIA
7- SILLAL
8- EL KERIA
9- BERROUAGHIA
10- DELAA
11- MELOUANE
12- SERGUINE
13- CHAREF
14- SIDI SLIMANE
15- TELLAT
16- MANSOURAH
17- SID EL HABCHI
18- OULAD CHNEF
19- KSOB ou (BELARIBI)
20- BOUTRIG ou (BOUDJENANE)
21- AIN EL DJERABAA
22- AIN MOUILHA
23- AIN TIHAMMAMINE
24- MOUZAIA
25- AIDAT
26- OUED EL ALLEUG
27- EL IDRISSIA (1)
28- AIN SID EL HADJ

N.B *: Sources sans importance.

**** Manque de données.**

29- AIN EL HAMMAM
30- EL ANNASSEURS
31- AIN TINZERT
32- AIN SOLTANE
33- TOUENSA
34- CHBEIKA
35- SOUAGUI
36- EL BIR EL MENTEN
37- EL IDRISSIA (2)
38- AIN EL GARCA
39- AIN EL HAMEDH
40- F4 (HADJOUT)**
41- CHENIGUEL *
42- AIN N'SOUR *
43- AIN EL HADJ KOUIDER *
44- AIN HARHOUR *
45- AIN MAIZIA *
46- AIN BOUCHAKOUR *
47- TENES*
48- HADJERET E'NOUS *
49- BEN HAROUN **
50- SIDI HAMAD *
51- DERGANA *
52- AIN EL DJERAB *
53- AIN TIRES *
54- AIN CHERITA *
55- SOURCES SALEE DE DELLYS*
56- EL DJORDANI*
57- Messala
58- Boghar

I.5-METHODES DE TRAVAIL.

5.1- Travaux de terrain.

Au cours de nos travaux sur terrain, nous avons procédé à des mesures directes sur les eaux ainsi qu'à des prélèvements en vue d'analyse au laboratoire.

Nous avons procédé aux prélèvements d'eaux sur trente neuf sources thermominérales et de dépôts sur quelques unes d'entre elles. Les échantillons ont été analysés aux laboratoires du C.R.A.G (Université d'Alger) et de l'I.N.R.H.

Les analyses ont porté sur:

- le dosage des éléments majeurs et mineurs contenus dans les eaux.
- la détermination des éléments constitutifs des dépôts.

Nous avons également procédé au prélèvement des gaz sur certaines sources très importantes. Ces gaz ont été récupérés dans des enceintes en verre spécialement conçues pour cela.

Sur l'ensemble des sources, nous avons également procédé à des mesures: - de la température à l'aide d'un thermomètre électronique digital.

- du pH ainsi que du potentiel Redox à l'aide d'un pH-mètre électronique.
- de la conductivité éléctrique à l'aide d'un conductivimètre électronique.
- de la radioactivité des eaux pour un grand nombre de sources thermales. Ces mesures nous ont permis de détecter les émanations dûes au Radon, au Potassium, au Thorium, à l'Uranium ainsi que la radioactivité totale. Elles ont été effectuées à l'aide d'un appareil (GAMMA RAY) à affichage électronique.

Nous avons sélectionné les sources les plus importantes qui seules ont fait l'objet de plusieurs campagnes de mesures successives.

5.2- Travaux de laboratoire.

5.2.1- Analyses chimiques.

Les analyses des différents éléments ont été effectués dans différents laboratoires. Les éléments majeurs ont été dosés au C.R.A.G par contre les éléments traces ont été dosés aux laborartoires de la SONATRACH et de l'Institut Dolomieu. Les méthodes d'analyses sont consignées dans les tableaux (1) et (2).

Les résultats des analyses chimiques sont généralement exprimés en mg /l. Les représentations des analyses d'eau sur le diagramme semi-logarithmique sont fortement facilitée par l'expression des résultats en milliéquivalents par litre.

On utilise le pourcentage de chaque élément, soit par rapport à l'ensemble des ions dosés pour la représentation sur le diagramme triangulaire soit par rapport aux cations ou aux anions pour le diagramme de Piper.

CONTROLE DE LA BALANCE IONIQUE.

C'est l'unique méthode que nous avons utilisée pour tester la fiabilité de nos analyses. Théoriquement, la somme des cations doit être égale à celle des anions,exprimés en milliéquivalents, et cela pour tous les échantillons.

La réalité des choses fait que cet équilibre n'est atteint que rarement à cause des éléments mineurs qui n'ont pas été dosés et parfois de certaines erreurs analytiques. Pour nos analyses et nos interprétations, nous avons jugé acceptables toutes les analyses dont l'erreur est inférieure à 5%.

$$\text{cations} - \text{anions} < 0.1 * \text{cations} + \text{anions}$$

ou

$$Er = \frac{\text{cations} - \text{anions}}{\text{cations} + \text{anions}} * 100$$

Elts	Methode
Ca	Par complexation de Ca par L'E.D.T.A en présence de Mg à pH 12. Murexide (idicateur
Ca & Mg	Par complexation à pH 10 à l'aide d'un acide Ethylénédiamine Tétracétique (E.D.T.A) de Ca et Mg en présence du noir d'Eriochrome T
Cl	Milieu neutre dans une solution de nitrates d'argent en présence de chromates de K
SO4	Dosage colorimétriques avec méthode turbidi- métrique. Précipitation des sulfates sous forme de sulfates de baryum.
Na & K	Dosage par photométrie. Na: dosé à l'aide d'un phototube sensibles aux radiations comprises entre 400 et 625 nm. K: 625 et 1000 nm.

– ELEMENTS MAJEURS –

Elts	Methode	Précision
Si	Par absorption atomique. Flamme acétylène, Protoxyde d'azote. Fente: 0.2 nm. = 251.6 nm:	20 ppm
Li	Par absorption atomique. Flamme air-acétylène: Fente 0.5 nm. = 670.8 nm .	0.005
Rb	" Fente: 0.2 nm. = 780 nm.:	0.01
Ba	Absorption atomique au four graphite	-
Sr	Absorption atomique	0.02
B	Colorimétrie au réactif S.P.A.D.N.S	-
F	Eléctrodes spécifiques en milieu tamponné et	-

– ELEMENTS TRACES –

I.6– METHODE D'INTERPRETATION.

6.1–INTERPRETATION DE DONNEES PHYSIQUES.

Les caractères physico-chimiques des eaux permettent de distinguer les différents types d'eau selon leurs températures, leurs pH, leurs conductivités et leurs résidu secs. Les eaux thermominérales présentent d'importantes anomalies physico-chimiques par rapport aux eaux potables et froides. Les descriptions de nos émergences ont été effectuées en prenant en considération la majorité des paramètres physico-chimiques que nous résumons comme suit:

– Température.

Les mesures de ce paramètre ont été effectuées systématiquement pour l'ensemble des émergences sélectionnées, à l'aide d'un thermomètre à affichage électronique de haute précision. L'avantage de ce paramètre est double. Il nous a permis de classer nos émergences selon différentes méthodes (voir chp. II) et de détecter les variations dans le temps liées à des mélanges avec des eaux superficilelles.

– pH.

Les mesures du PH ont été systématiques pour la totalité des sources sélectionnées. L'utilisation de ce paramètre permet la connaissance de l'état d'équilibre d'une eau. Une classification basée sur le caractère acide ou basique des eaux a été effectuée. Les mesures ont été faites à l'aide d'un pHmètre électronique de haute précision.

– Conductivité.

L'estimation de la conductivité a été faite à une température égale à 20°C avec un conductivimètre électronique. Les mesures ont été systématiquement effectuées pour les sources La connaissance de ce paramètre permet d'avoir rapidement un ordre de grandeur de la minéralisation de l'eau. Une classification a été établie, composée de cinq classes et basée sur la variation de ce paramètre.

– Résidu sec.

La mesure de ce paramètre donne une idée exacte du poids des matières solubles dans l'eau. Il s'obtient par échauffement d'un litre d'eau dans un four à une température de 110°C jusqu'à évaporation totale. Le poids des matières restantes donne le résidu sec qui varie généralement dans le même sens que la conductivité.

– Radioactivité.

La radioactivité est l'une des caratéristiques essentielles des eaux thermominérales. Elle est dûe à la désintégration du Radium, du Thorium et à celle de l'Actinium. Les deux derniers éléments ont une période plus longue que le Radium.

Cette radioactivité est de deux types: Elle est soit permanente dûe au Radon engendré par le Radium dissous dans l'eau et pour une faible part au Radium lui-même, soit temporaire et correspond au Radium entraîné par l'eau lors de son passage dans les diaclases des roches radioactives.

Les boues et les bioglées qui se développent aux griffons des sources minérales sont souvent radioactives. Elles fixent et accumulent les éléments radioactifs des gaz thermaux ou de l'eau minérale.

Nous avons, au cours de nos campagnes, effectué des mesures systématiques de la radioactivité, en particulier du Radon. Quelques mesures de la radioactivité totale ainsi que des taux d'émanation de l'Uranium, du Thorium et du Potassium ont été faites.

La mesure du Radon a été effectuée avec un E.T.R (Radon Emanometer). En revanche; les autres mesures ont été faites à l'aide d'un spectromètre à rayon Gamma, modèle G.A.D -6.

- Gaz.

Les gaz rencontrés dans les eaux sont par ordre d'importance l'acide carbonique, l'anhydride sulfureux (SO_2), l'hydrogène sulfuré (H_2S), l'oxygène, l'hydrogène (H), l'azote (N), les gaz rares (hélium, argon, néon, et le méthane (CH_4). Ces gaz, dits spontanés, sont susceptibles de donner parfois de véritables bouillonnements en surface par suite de la diminution de la pression. Les gaz libres ne doivent pas être confondus avec les gaz combinés, notamment CO_2 et H_2S.

Les gaz rares sont associés mais en proportions variables. Généralement, les proportions d'Argon et d'Hélium sont sensiblement plus fortes que celles de Néon, Xénon ...etc qui elles sont faibles. Le CO_2 est un gaz très abondant qui peut se rencontrer en quantité dépassant parfois 3 ou 4 g/l. Une partie relativement faible se trouve fixée aux éléments métalliques sous forme de bicarbonates, le reste est constitué par le CO_2 dissous et gazeux.

Origine des gaz.

Les gaz ont une double origine. Elle peut être soit exogène ou au contraire endogène. Cette dernière est la plus fréquente. Les gaz endogènes sont généralement étroitement liés aux phénomènes volcaniques ou magmatiques et peuvent être accompagnés d'eaux chaudes.

Ces dernières même si elles sont profondes,n'ont pas la même origine. Le seul facteur de la pression hydrostatique ne constitue pas l'unique facteur pour la remontée des eaux vers la surface. Les apports gazeux sont extrêmement importants, contribuant souvent et en grande partie au refoulement des eaux chaudes vers la surface.

Les variations dans l'importance du dégagement gazeux peuvent influencer notablement le débit au griffon.

6.2- INTERPRETATION DES DONNEES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Les différentes méthodes d'analyse chimique décrites précédemment donnent des teneurs variables d'une source à une autre des différents éléments chimiques. Au total, six

éléments majeurs ont été dosés systématiquement pour l'ensemble des émergences sélectionnées.

Une brève description et une comparaison des teneurs des différents éléments entre eux ont été effectuées pour les données de chaque source. Ceci nous a permis de déterminer les ions prédominants dans leurs familles respectives.

- Représentations graphiques.

Diagramme Schoeller- Berkaloff.

L'avantage de ce diagramme réside dans le fait qu'il facilite la représentation graphique de plusieurs échantillons à la fois et la lecture rapide des caractéristiques chimiques de l'ensemble. Les résultats des représentations de nos sources sont consignés dans les planches (I.2) et (I.3).

Diagramme Piper.

La détermination de la famille d'appartenance d'une eau ainsi que du cation et de l'anion prédominants dans leurs familles respectives, est facilitée par ce type de diagramme. Voir fig (I.3) .

L'avantage réside également dans la possibilité de représentation d'ensemble et de leur comparaison. Cependant la détermination de la famille de l'eau est moins fiable.

- Rapports caractéristiques.

L'utilisation de certains rapports entre éléments chimiques permet la confirmation des résultats acquis précédemment. La prépondérance d'un élément sur un autre se traduit par un rapport positif et supérieur à 1. Les variations des rapports sont souvent liées aux mélanges des eaux de deux ou plusieurs natures.

- Indice d'échange de bases (I.E.B).

Nous appellerons indice d'échange de bases (Schoeller 1934), le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants.

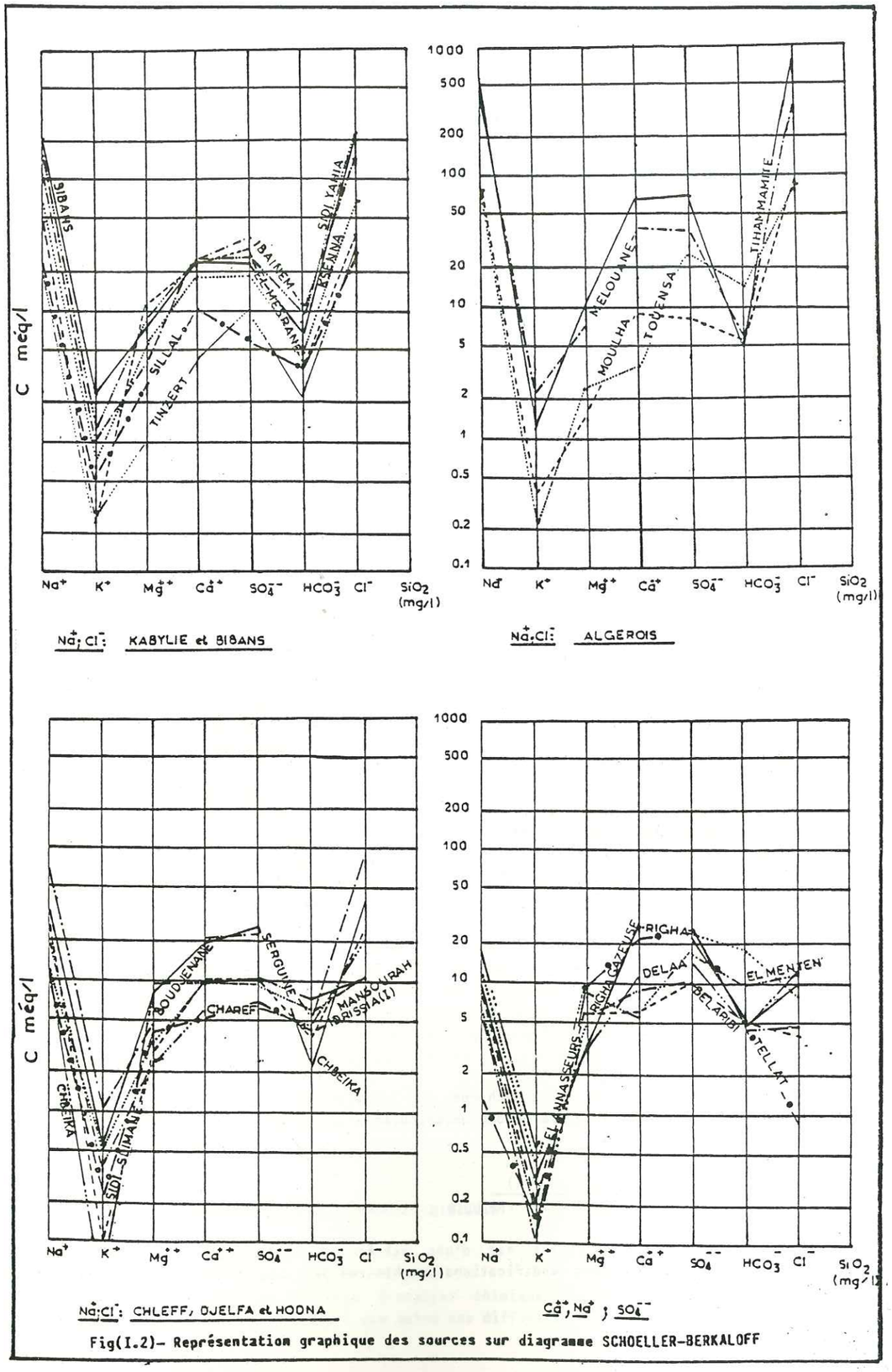
En admettant que l'eau primitive possède autant de rCl que de r(Na + K) lorsqu'il y'a échange de Na et de K de l'eau contre des alcalino- terreux des permutolites, l'i.e.b est calculé par la formule suivante:

$$i.e.b = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$$

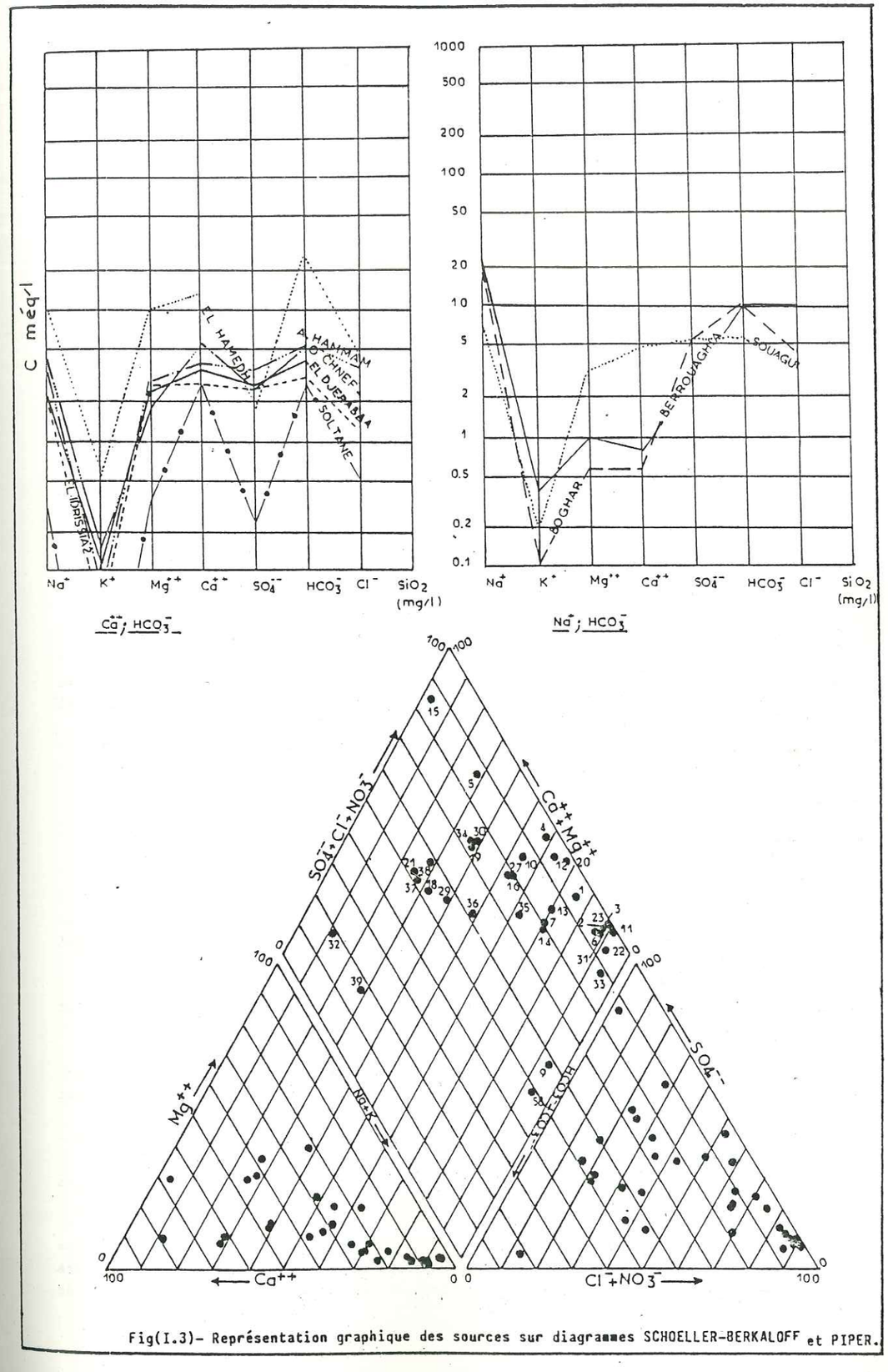
Inversement, lorsqu'il y a échange des alcalino-terreux de l'eau contre les alcalins des permutolites, il sera préférable de calculer l'i.e.b par la formule suivante:

$$i.e.b = \frac{rCl - r(Na + K)}{rSO_4 + rHCO_3 + rNO_3}$$

L'utilisation de cet indice est d'une extrême importance dans la mesure où il permet la mise en évidence des modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain.



Fig(I.2)- Représentation graphique des sources sur diagramme SCHOELLER-BERKALOFF



Fig(I.3)- Représentation graphique des sources sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et PIPER.

6.3– Classification des eaux.

La température et la minéralisation des eaux sont les principaux critères de leur distinction des eaux potables. Ce type d'eau appelé " eaux thermominérales" est le champ d'application de plusieurs classifications toutes basées soit sur des paramètres physiques soit sur des paramètres chimiques.

Plusieurs classifications ont été élaborées utilisant chacune une des caractéristiques propre à ces eaux telle que:

- L'origine
- Le stockage (eau de surface, souterraine)
- La minéralisation (eau douce, eau minérale)
- La température (eau froide, thermale)
- Thérapeutique (eau hypotonique, hypertonique)
- Géologique (eau de terrains cristallins, de terrains sédimentaires)
- Chimique (eaux bicarbonatées, sulfatées,..etc.)

Les différentes méthodes de classification élaborées peuvent être regroupées en deux grandes catégories:

- **Classifications basées sur les paramètres physiques.**
- **Classifications basées sur la composition chimique de ce type d'eau.**

6.3.1– CLASSIFICATION PHYSIQUE

La température constitue la caractéristique essentielle sur laquelle de nombreuses classifications ont été élaborées. Il existe actuellement une dizaine de méthodes utilisant ce paramètre (Schoeller 1962, Castany 1963, Verdeil 1983... etc.). Les définitions d'une eau thermale sont variables et utilisent souvent des seuils de thermalité différents. Ce seuil est fixé en Europe à 18 - 20°C, en revanche, il est à 25°C aux U.S.A.

D'autres classifications, dont l'application est limitée, ont été proposées pour la distinction entre eaux froides et thermales. Nous avons utilisé ce paramètre pour classer nos eaux (voir chp N°2).

6.3.2–CLASSIFICATIONS CHIMIQUES.

Les classifications proposées depuis le siècle passé approchent la dizaine. Elles ont été d'abord qualitatitives imprécises, puis quantitatives. Ces classifications n'ont cessé d'être remaniées et développées au cours des temps parallèlement aux progrès effectués dans cette discipline.

Les eaux des différentes sources thermales inventoriées dans notre secteur, ont été classées selon trois méthodes.

- Une classification basée sur les représentations graphiques des analyses chimiques des eaux sur le diagramme Piper. Plusieurs familles d'eaux apparaissent ayant chacune un ou plusieurs ions dominants.
- Classification basée sur les ions dont la concentration est > 20% de la somme des cations ou des anions. Son application à nos sources a été fort intéressante dans la mesure où elle a permis de différencier les différentes sources notamment celles dont les concentrations sont semblables.

Trois groupes chimiques, caractérisés chacun par un anion dominant (C>20%), se distinguent: – **Eaux sulfatées.** –**Eaux bicarbonatées.** – **Eaux chlorurées.** Voir chp (V). Cette classification convient bien pour la définition en détail et cas par cas des groupes de sources.

- La troisième classification, proposée également par Vuataz(1979), est basée sur l'anion ou le cation prédominant ou dans le cas de concentrations plus ou moins égales, sur les deux principaux cations ou anions. L'avantage de cette classification est qu'elle permet de distinguer les eaux thermales selon leur origine géologique et selon les roches réservoirs, dont les eaux ont tiré leur minéralisation et leur température.

Pour nos sources, nous avons jugé utile d'utiliser une classification plus générale englobant à la fois les paramètres physiques et chimiques. Elle est inspirée des différentes méthodes classiques précédentes.

– Classification des sources thermominérales.

- Température: sources thermales T > 20 °C
  : sources froides T < 20 °C

Pour les sources thermales, l'intervalle de variation de la température a été subdivisé en quatre domaines qui sont:

-sources hyperthermales T > 50 °C
-sources mésothermales 50 °C > T > 35 °C.
-sources hypothermales 35 °C > T > 20 °C
-sources froides 20 °C > T

Minéralisation: - sources minérales Rs > 1000 mg/l.
- sources non minérales Rs < 1000 mg/l

-formule caractéristique:
-la classification basée sur l'anion prédominant donnant ainsi trois groupes distincts: - eaux bicarbonatées - eaux sulfatées -eaux chlorurées.

SOURCES	EAUX FROIDES T < 12°c	EAUX SUBTHERMALES T 12 - 20°c	EAUX THERMALES T>20°c	EAUX ACRATOPEGES TSD <1000 mg/l	EAUX MINERALES TSD≥ 1000 mg/l
-KSENNA			●		●
-EL BIBANS			●		●
-IBAINEM			●		●
-EL MESRANE			●		●
-RIGHA			●		●
-SIDI YAHIA			●		●
-SILLAL			●		●
-KIRIA			●	●	
-BERROUAGHIA			●		●
-DELAA			●		●
-MELOUANE			●		●
-SERGUINE			●		●
-CHAREF			●		●
-SIDI SLIMANE			●		●
-TELLAT			●		●
-MANSOURAH			●		●
-SID EL HABCHI		●			●
-OULED CHNEF		●	●	●	
-KSOB			●		●
-BOUTRIG			●		●
-AIN EL DJERABAA			●	●	
-AIN MOUILHA			●		●
-AIN TAHAMMAMITE			●		●
-F. MOUZAIA			●		●
-F. AIDAT			●		●
-F.OUED EL ALLEUG			●		●
-F. EL IDRISSIA (1)		●			●
-AIN SID EL HADJ		●	●	●	
-AIN EL HAMMAM			●		●
-EL ANNASSEURS		●			●
-AIN TINZERT		●			●
-AIN SOLTANE		●		●	
-TOUENSA		●			●
-CHBEIKA		●			●
-SOUAGUI		●			●
-EL BIR EL MENTEN		●			●
-F. EL IDRISSIA(2)		●		●	
-AIN EL GARÇA		●			●
-EL HAMEDH		●			●

Tab(I.1)- Classification physico-chimique des sources.

- Formule caratéristique.

La classification des six ions principaux par ordre décroissant de leurs teneurs permet la définition de leurs associations les plus fréquentes. L'association de ces ions en solution dans une eau permet de déduire de quels minéraux des roches encaissantes celle-ci dérive.

La fréquente présence de soufre sous forme de sulfates ou de sulfures est frappante dans la majorité des sources thermominérales. Nous avons au total 10 sources regroupées dans la famille des eaux sulfatées.

L'association fréquente de Ca et SO4 provient du lessivage des formations gypseuses dans les milieux sédimentaires. Deux sources appartiennent à cette catégorie; Tellat et Righa.

L'adjonction du sodium avec un pourcentage de la teneur supérieur à 20% résulte probablement d'un échange de bases entre l'eau et l'encaissant et de la substitution du calcium par le sodium de la roche. Toutefois le calcium reste prédominant.

L'association du sodium aux sulfates constitue la troisième association naissant de l'échange du calcium par le sodium provenant des minéraux argileux (permutolites).

La présence du sel gemme entraîne la mise en solution de chlorures qui parfois prédominent sur les sulfates.

Les bicarbonates prédominent pratiquement dans treize sources. Les associations les plus fréquentes s'effectuent avec le calcium et le sodium selon leurs pourcentages respectifs.

Le magnésium a généralement une concentration inférieure au calcium. Il est souvent associé aux types Ca-SO4HCO3 qui proviennent des roches sédimentaires (dolomies).

L'association Na - HCO3 caractérise une eau du type mixte. Les échanges de bases peuvent être très importants.

Les chlorures sont fréquemment présents et en grandes quantités dans les eaux de nombreuses sources. Cependant l'association des sulfates aux chlorures est rare et elle n'est présente que dans une seule source.

- Faciès chimiques.

Les différentes méthodes d'analyse utilisées permettent la détermination de la famille d'appartenance de l'eau analysée. La combinaison des différents ions analysés entre eux suivant leur importance permet la classification des eaux en diverses familles selon les ions prédominants. Cette classification fait ressortir l'association possible des ions et la déduction de l'origine de la minéralisation.

B: Eléments traces.

Les résultats des dosages des différents éléments traces nous ont permis de faire

une comparaison, pour chaque source, d'abord des teneurs entre elles puis pour l'ensemble des émergences. L'origine de ces éléments est multiple et souvent évaporitique pour la grande majorité de nos sources.

Certains éléments traces comme le lithium et la silice, ont été utilisés pour l'estimation de la température du réservoir alimentant la source.

Les différents éléments dosés sont résumés dans les tableaux suivants:

Eléments majeurs.

Anions		Cations	
équivalent g .		équivalent g .	
HCO3	61	Ca	20
Cl	35.5	Mg	12
SO4	48	Na	23
		K	39

Eléments traces.

Anions		Cations	
masse atomique		masse atomique	
F	19	Rb	85.47
B	10.81	Sr	87.62
I	127	Fe	55.85
Br	80	Li	7
		Mn	54.94
		Si	28.09

6.4– UTILISATION DES GEOTHERMOMETRES.

6.4.1– INTRODUCTION.

La température d'une eau thermale mesurée au griffon est la plus faible de tout le circuit. Elle est cependant plus élevée en profondeur atteignant son maximum au niveau du réservoir. L'abaissement de la température est lié à plusieurs facteurs que nous allons détailler au chapitre II.

L'estimation de la température des eaux dans le réservoir est rendue possible grâce à plusieurs géothermomètres basés sur les teneurs en certains éléments chimiques variant avec la température.

Le calibrage des géothermomètres a été souvent effectué dans des formations cristallines. Leurs utilisations dans des formations sédimentaires doit donc se faire avec un maximum de précaution .

6.4.2–DESCRIPTION DES GEOTHERMOMETRES.

– Géothermomètre à silice. T(1)

Les différentes variétés allotropiques de la silice se dissolvent en donnant naissance, à l'équilibre, à un monomère non chargé en SiO4. La réaction de solubilisation est:

$$SiO2 + 2H2O \longrightarrow H4SiO4$$

Cette réaction est indépendante du pH et de la force ionique de la solution.

Trois variétés allotropiques peuvent intervenir et prédominent à différentes températures.

- Au-dessus de 160°C, c'est le quartz qui précipite.
- Entre 120 et 160°C, c'est le quartz et la calcédoine qui peuvent précipiter.
- A la température ordinaire, c'est la silice amorphe.

La teneur en silice mesurée aux émergences est finalement celle correspondant à la température de l'eau dans la zone de mélange. Cette température peut se calculer par l'une ou l'autre des formules suivantes:

$$T(1) = 12\sqrt{SiO2} \quad \text{en p.p.m}$$

$$T(2) = 1522 / (5.75 - \text{Log}(SiO2)) \quad \text{en p.p.m}$$

– Géothermomètre Na/K. D.E WHITE (1965–1970) puis A.I ELLIS (1970). **T(3)**

Une relation entre le rapport Na/K et la température profonde des eaux a été mise en évidence par ces deux auteurs. Deux courbes non identiques ont été tracées ayant pour équation:

$$\text{Log}(Na/K) = 856/T - 0.63$$

$$\boxed{\text{Log}(Na/K) = 908/T(3) - 0.70}$$

Ces deux expressions donnent des températures assez voisines vers 200°C mais qui divergent quelque peu vers 100°C.

L'avantage de ce géothermomètre est qu'il est insensible aux concentrations ou dilutions puisqu'il fait intervenir le rapport de la concentration.

L'inconvénient est que l'on suppose que l'équilibre est atteint et il est bien souvent difficile de montrer qu' il en est bien ainsi.

- Geothermomètre Na/K/Ca. T(4)

Il est basé sur le rapport Na/K en tenant compte également du calcium. Il a été mis au point pour les eaux riches en calcium ou de température inférieure à 100°C.

FOURNIER et TRUESDELL (1973) ont donné la formule suivante:

$$T(4) = (1647/(\mathrm{Log}(Na/K) + B\ \mathrm{Log}(\sqrt{Ca}/Na) + 2.24)) - 273$$

Les concentrations chimiques sont exprimées en mg/l et B= 4/3 quand l'équilibre est atteint à une température inférieure à 100°C ou B=1/3 quand l'équilibre est atteint à une température supérieure à 100°C. La racine carrée du calcium tient compte de la bivalence de cet élément.

Géothermomètre CO3/SO4. P.OUSTRIERE et M. LELEU (1979)

Ces deux auteurs ont mis au point un géothermomètre faisant intervenir les concentrations en sulfates totaux et en carbonates totaux. Les formules de calcul des températures sont:

$$T(5) = 74,91\ \mathrm{Log}\ (CO3 / SO4) + 192$$

$$T(6) = 110.42\ \mathrm{Log}\ SO4 - 150$$

CO3 et SO4 sont exprimés en méq/l pour le T(5) et mg/l pour le T(6).

Géothermomètre Na/Li. (FOUILLAC et MICHARD 1981)

La relation liant le rapport Na/Li à la température s'écrit:

$$T(7) = (1000/\mathrm{Log}(Na/Li) - 0.14) - 273$$

Diagramme d'équilibre T(8)

R.O FOURNIER et A.H TRUESDELL (1974) ont démontré qu'il est possible de déterminer le pourcentage de mélange d'eau froide et d'eau chaude et d'avoir la température de l'eau chaude participant à ce mélange. Cette méthode n'est efficace que quand il s'agit d'un mélange binaire. La température est dans ce cas fonction des proportions d'eau chaude et d'eau froide dans le mélange ainsi que des enthalpies initiales de chacune.

- Description de la méthode.

L'application de cette méthode nécessite la connaissance de la teneur moyenne en silice et de la température moyenne des eaux des sources de la région.

Dans notre région d'étude, nous avons une seule mesure de la teneur moyenne en silice des eaux pour la Mitidja qui est égale à 16 mg/l . La température moyenne des eaux de surface est égale à 18°C.

Nous avons tracé, sur un même diagramme, deux courbes pour chaque source représentatives de la température à l'émergence en fonction du pourcentage de mélange et de la teneur en silice à l'émergence en fonction de ce même pourcentage.

Le point d'intersection de ces deux courbes indique pour chaque source la température des eaux chaudes participant au mélange et la proportion d'eau froide superficielle dans le mélange observé.

La détermination de la fraction d'eau froide dans le mélange s'obtient par la formule suivante:

$$Xt = (Hc - Ts) / (Hc - Tf)$$

ou Hc= enthalpie de l'eau chaude.
Ts= la température de l'eau de la source thermominérale.
Tf = température de l'eau froide.
X = fraction d'eau froide dans le mélange.

Les teneurs en silice de l'eau thermale sont de la même manière fonction des proportions d'eau chaude et d'eau froide dans le mélange et des teneurs en silice à l'équilibre pour les eaux chaudes profondes et pour les eaux froides superficielles de la région étudiée.

Cette teneur s'obtient par la formule suivante:

$$XSiO2 = (SiO2c - SiO2s) / (SiO2c - SiO2f)$$

Geothermomètre (9) : correction de SiO2 (Bortolami et al)

Principe.

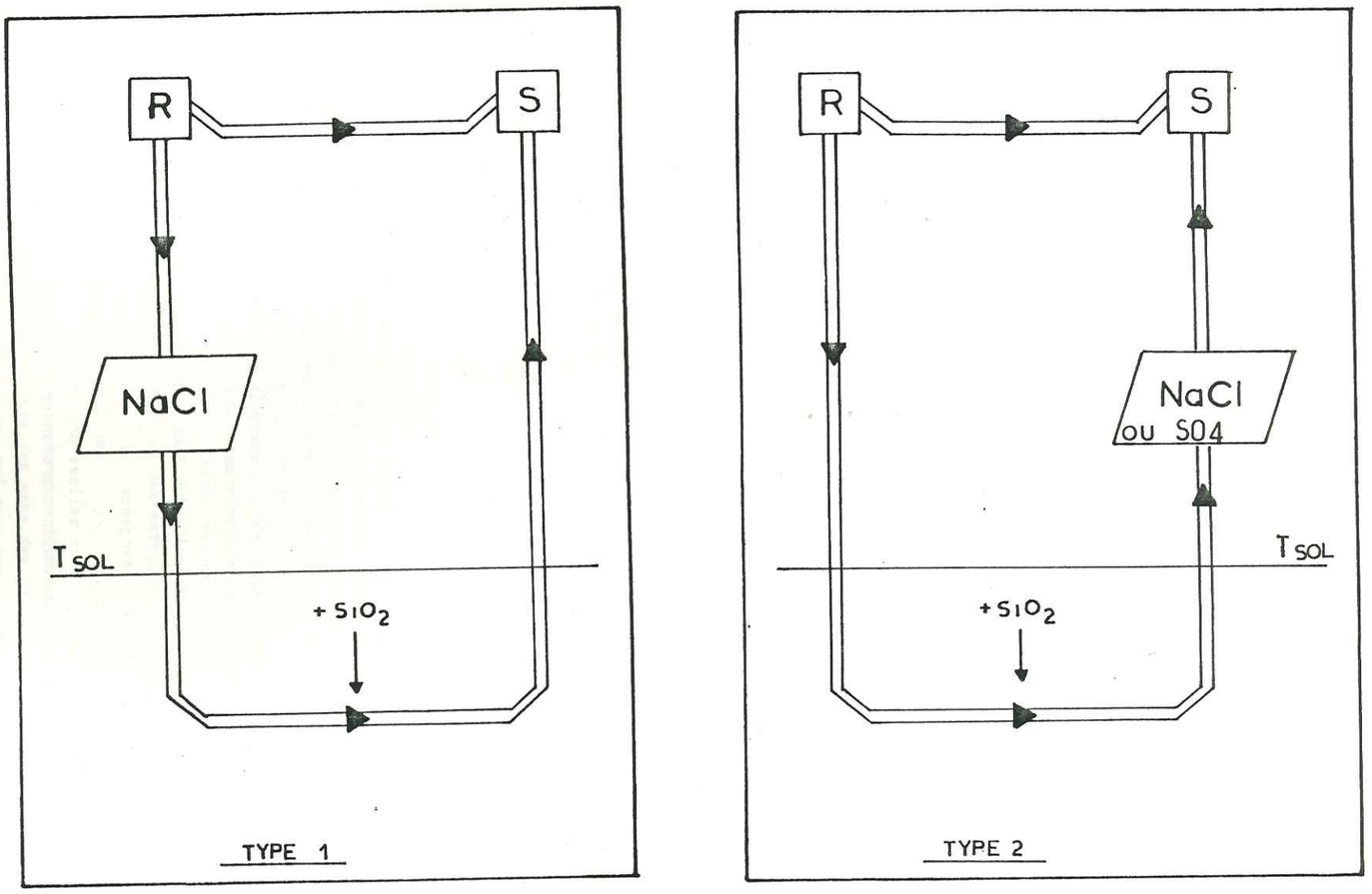
Le modèle est basé sur l'hypothèse que la silice du fluide ascendant est modifiée par rapport à celle qui devrait être en équilibre avec la température. En effet, la précipitation de SiO2 pendant la remontée est freinée par la présence des chlorures conduisant à la formation de complexes chloruro-silicatés (Fournier, 1979).

Le modèle est simplifié et ne prend pas en compte les phénomènes non quantifiables, comme certaines dilutions qui peuvent intervenir pendant la remontée. Par l'application d'un système d'équations itératives, on peut définir le bilan de masse et remonter au pourcentage des différents composants respectivement d'eau météorique supérieure, d'eau météorique profonde et d'eau saline profonde. Sur la base des pourcentages de mélange, il a été possible de calculer les pourcentages des teneurs en silice du réservoir profond et donc évaluer la température du réservoir même. Les équations nécessaires sont:

$$SiO2,m = Clm(2SiO2,d / Cld) - Clm\ (SiO2,d / Cld) + SiO2c$$

ou SiO2,m : silice du mélange mesurée à l'émergence
Clm : chlorures mesurés à l'émergence
Cld : teneurs en chlorures dans les eaux salines profondes
SiO2,d : Teneur en silice dans les eaux salines profondes

Cette méthode ne peut être appliquée que pour les eaux ayant un modèle du type 1. Nous avons pour nos corrections pris uneteneur de O18= -7‰. (I.A.E.A) mesurée à Chott El Hodna.



Fig(I.4)- Modèles de circulation des eaux.

CLIMATOLOGIE

II.1GENERALITES.

La pluviosité de l'Algérie est régie par deux facteurs importants qui sont:

- Les facteurs géographiques.
- Les facteurs météorologiques.

1.1- FACTEURS GEOGRAPHIQUES.

L'altitude, la latitude, la distance à la mer et l'orientation des versants, sont les principaux facteurs qui conditionnent les précipitations.Une bonne exposition des versants aux vents du Nord, accompagnée d'un accroissement d'altitude et une position proche du rivage, se traduisent par une forte pluviométrie.

1.2- FACTEURS METEOROLOGIQUES.

Ils conditionnent l'envahissement de l'Algérie par les différentes masses d'air:

- Masses d'air polaire océanique froid et humide
- Masses d'air tropical chaud et humide de l'atlantique sud (anticyclone des Açores).
- Masses d'air tropical continental (anticyclone saharien).

La pluviométrie en Algérie est conditionnée par deux régimes principaux qui sont:

REGIME MEDITERRANEEN

Ce régime est présent dans toute la zone s'étendant de la Méditerranée jusqu'aux chaînes du Tell au Sud. Quelques anomalies permettent cependant la pénétration du régime sub-tropical à l'abri des chaînes cotières, en particulier sur Bouira et le Djurdjura dans notre secteur d'étude.

Les précipitations qui constituent ce régime peuvent être divisées en trois grands groupes:

-LES PRECIPITATIONS D'ORIGINE CYCLONIQUE.

Elles sont dûes aux perturbations cycloniques du front polaire océanique. Elles se dégradent lors de leur passage sur l'Europe occidentale et se régénèrent parfois sur la Méditerranée.Ces précipitations fournissent près de 60% des précipitations totales annuelles au cours de la période hivernale (Décembre -Février).

- PLUIES D'ORAGES

Elles sont dûes aux courants convectifs dûs aux contrastes thermiques. Elles sont plus abondantes en altitude et sur le rivage.

- PLUIES CONVECTIVES.

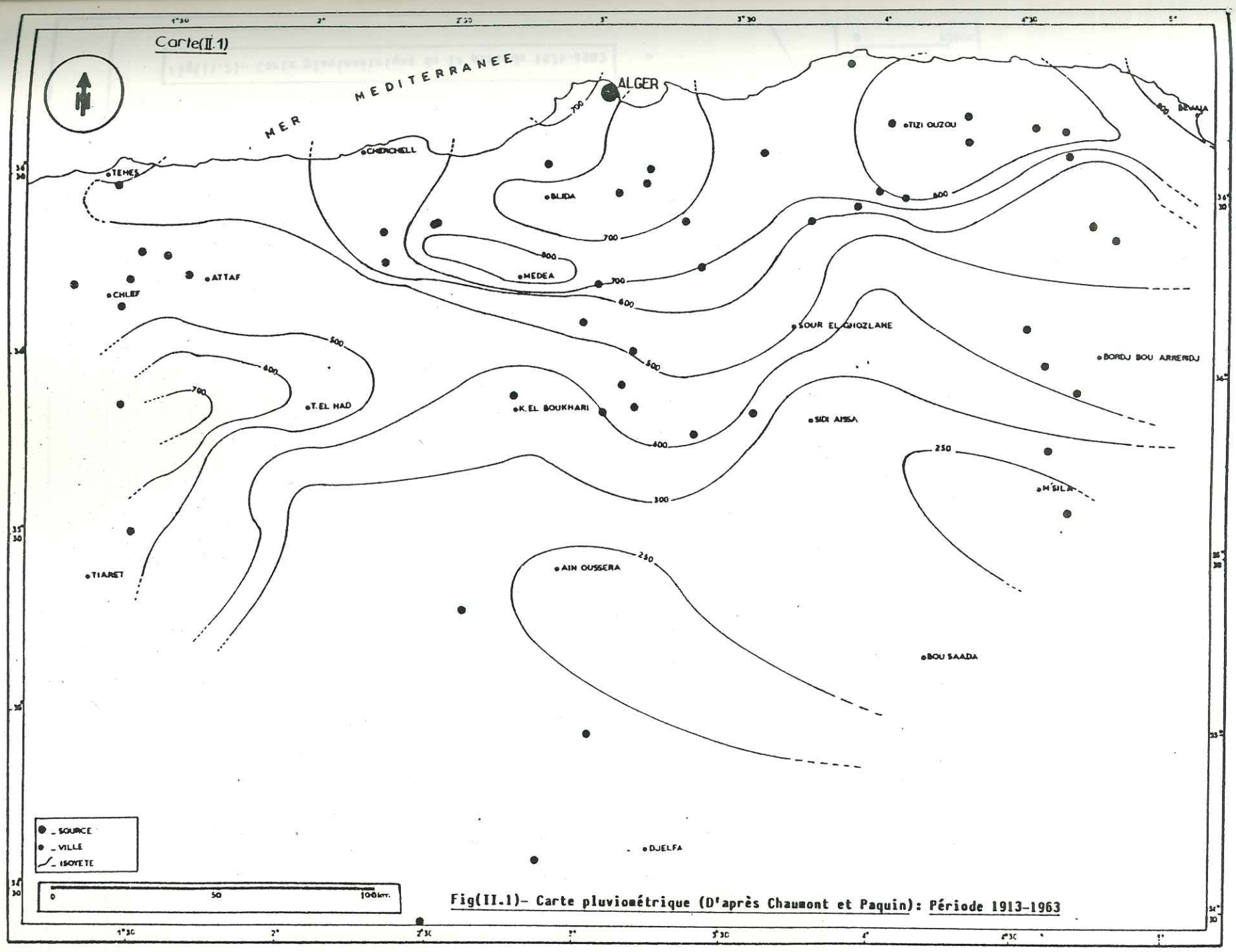
Elles sont fréquentes en automne (Séptembre -Octobre) et au printemps (Mars-Avril-Mai).

REGIME SUB-TROPICAL.

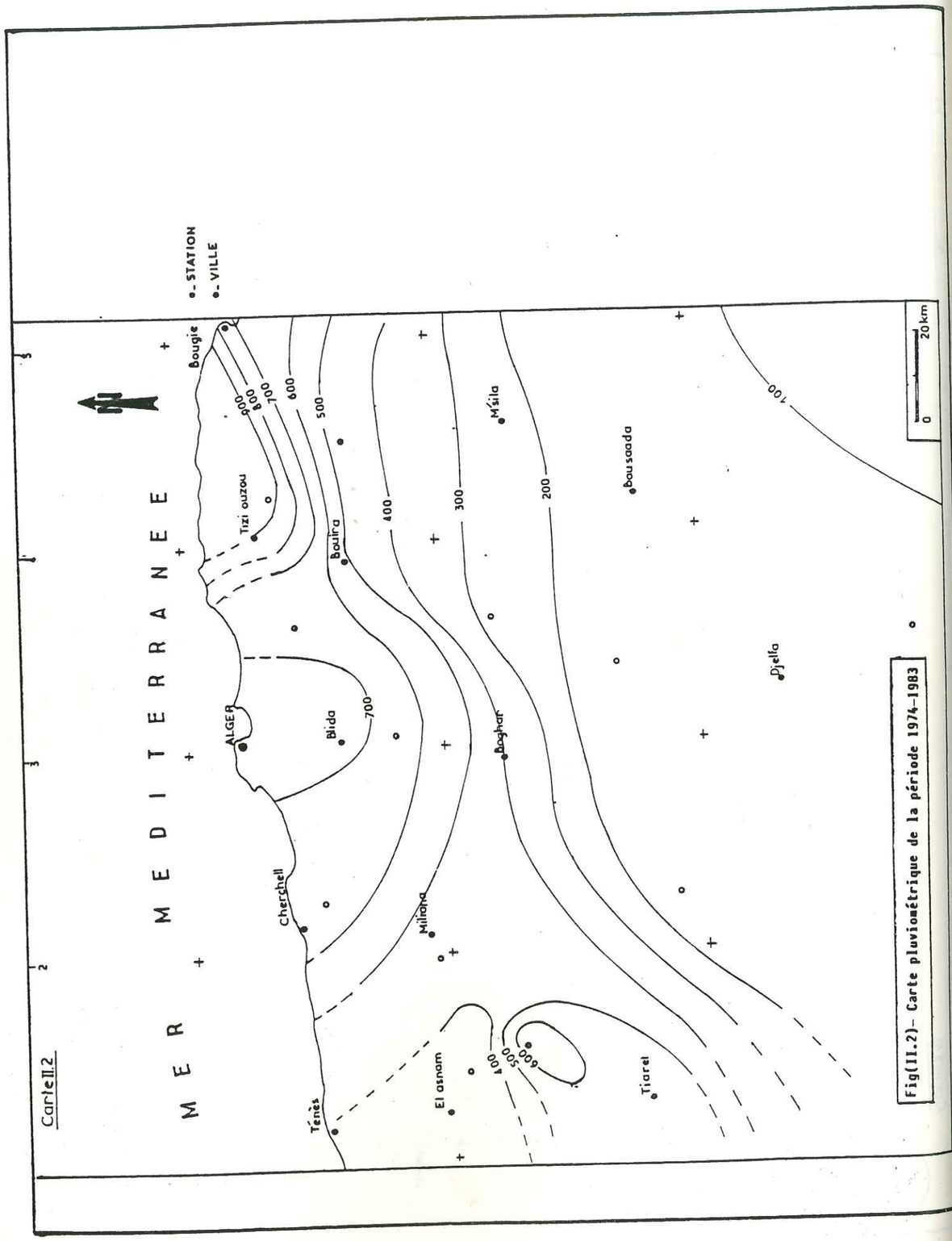
Ce régime est caractéristique du Sud Algérien,au-delà des chaînes telliennes. Il se compose de deux types de précipitations:

STATIONS	A N N E E S										
	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	M
TICHI(Bougie)	515,9	819,5	568,9	765,8	–	701,8	873,4	774,8	537,3	555,8	694,67
IGHIL ALI	324,9	482,5	368,3	318,1	412,7	–	456,3	468,1	421,6	318,5	406,56
IARBAA N'ATH-IRATHEN	843,5	1364,6	903,0	847,7	825,0	856,5	1078,3	849,1	863,4	881,8	936,78
LAKHDARIA	–	–	–	628,4	–	–	755,9	653,8	619,6	673,6	664,42
BIRMANDREIS	700,1	902,4	708,1	640,6	845,8	919,1	756,3	661,3	–	–	765,71
BLIDA	792,1	1106,0	702,7	688,4	744,4	865,2	694,2	544,1	616,5	–	750,4
MENACER	647,9	–	610,8	560,7	–	–	687,4	566,9	–	–	614,74
AIN DEFLA	476,6	578,9	543,8	423,6	583,0	557,6	447,2	346,0	419,1	–	486,2
EL KARIMIA	–	370,6	504,9	368,2	485,0	348,6	–	304,1	–	–	396,9
BORDJ BOU NAAMA	–	618,8	720,7	712,2	–	–	–	–	–	–	683,9
OUZERA	–	709,7	–	–	668,9	785,9	546,9	470,2	–	378,4	636,32
CHELIALET EL - ADHAOURA	–	333,2	301,1	231,5	340,2	306,8	–	283,5	260,7	–	293,85
BARIKA	–	–	220,9	–	128,6	142,2	148,2	165,0	156,2	73,6	160,18
MESSAAD	123,1	175,2	228,1	36,7	101,3	166,1	186,2	109,9	139,4	–	140,66
DOUCEN	–	117,1	–	41,6	48,4	85,1	–	62,1	–	–	70,86
ZMALET EL EMIR-ABDELKADER	–	–	–	–	70,7	90,1	114,7	184,2	–	–	114,92
TIARET	625,3	624,4	643,0	602,0	584,6	614,6	513,6	–	308,5	451,4	564,5
MEDRISSA	–	–	–	256,8	–	343,8	–	–	198,0	–	266,2
ZENZACH	–	81,6	–	89,1	179,2	273,2	215,6	195,1	179,6	127,7	173,34
AZAZGA(Ecole)	870	1162	733	780	781	818	931	894	866		954,66
YAKOUREN	1061	1434	1297	1025	1065	1051	1259	1042	1279		1242

Tab(II.1)- Données pluviométriques de la période 1974-1984.



Fig(II.1)- Carte pluviométrique (D'après Chaumont et Paquin): Période 1913-1963



Carte II.2

Fig(II.2)- Carte pluviométrique de la période 1974-1983

- PLUIES DE PERTURBATION.

Ce type nait en Méditerranée et il est associé plus au moins aux pluies du front polaire. Après le passage du détroit de Gibraltar, il contourne l'Atlas Marocain et traverse l'Afrique du Nord,continuant parfois son trajet jusqu'en Asie mineure. Ces pluies sont dites encore "Eurafricaines". Elles fournissent des précipitations au printemps.

- PLUIES DES PERTURBATIONS TROPICALES.

Elles naissent aux frontières du Sahara et du Soudan et remontent vers l'Algérie par le vent du Sud-Est. Elles sont encore appelées " Saharo-Soudanaises " et sont à l'origine des précipitations violentes d'automne.

II. 2- ANALYSE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES.

2.1- INTRODUCTION

L'importante surface couverte par notre étude, estimée à environ 90 000 km2, est affectée par les deux régimes définis précédemment. L'analyse climatique de l'Algérie en général, a été le sujet de nombreuses publications émanant de différents auteurs en particulier SELTZER , C.PAQUIN , M.CHAUMONT... etc.

Notre brève analyse pluviométrique a été effectuée en nous basant sur deux types de données.

La première série de données , allant de 1913 à 1963, est celle de M. CHAUMONT et C. PAQUIN (1971). Cette période de 50 ans a été utilisée pour comparaison.

La deuxième série couvre toute la période allant de 1974 jusqu'à 1983. Les données de cette série ont été recueillies auprès du service d'hydrologie de l'I.N.R.H (Institut National de la Recherche en Hydraulique.).

Les grandes modifications apportées aux réseaux d'enregistrement actuels, ne nous ont pas permis de faire la comparaison des deux périodes. Pour cela,les données des deux séries ont servi à l'établisement de deux cartes pluviométriques; chacune caractérise une période définie.(Voir cartes).

Elles nous ont permis cependant de faire une comparaison spatiale entre les différentes stations pluviométriques de notre secteur.

2.2- ANALYSE DES CARTES.

Les cartes établies ont permis de dégager un certain nombre d'observations importantes que nous pouvons résumer comme suit:

Le Nord de l'Algérie, et en particulier l'ensemble du Tell, est caractérisé par une pluviométrie importante. La moyenne des hauteurs de précipitations enregistrées est relativement constante (autour de 700 mm) avec cependant des maximums sur les reliefs élevés du Nord Djurdjura (altitude 2308 m)1200 mm/an,Atlas Blidéen plus de700 mm/an). Voir figures (II.1) et (II.2).

L'éloignement de la mer et la décroissance d'altitude se traduisent par un abaissement de la pluviométrie. En effet, au-delà de la barrière bibanique et de l'Ouarsenis, une diminution assez nette a été observée que nous pouvons évaluer à environ 100 mm. La moyenne des pluies dans cette région varie autour de 500 mm/an. Le maximum est enregistré dans la région de TIARET (600 mm/an).

La pluviosité devient de moins en moins importante au fur et à mesure que l'on descend vers le Sud. Au-delà des chaînons telliens, les précipitations subissent une décroissance plus ou moins régulière,liée probablement à l'éloignement de la mer et à la décroissance d'altitude. Ces régions sont caractérisées par des surfaces extrêmement planes dépourvues de tout relief plus ou moins accentué. La moyenne pluviométrique enregistrée dans cette région varie autour de 200 mm avec cependant des maximumsà Ain Oussera et M'Sila dépassant les 250 mm.

LA NIVOSITE.

La nivosité est le second facteur important pouvant influencer positivement les différents aquifères thermaux. L'absence de stations d'enregistrement actuellement nous a imposé l'utilisation de données anciennes. Ces dernières sont tirées de l'ouvrage de SELTZER. La période d'enregistrement s'étend de 1913 jusqu'en 1938.

L'analyse de ces données nous montre que la nivosité est maximale dans les régions caractérisées par une forte pluviométrie (Djurdjura, Atlas de Blida, Ben Chicao, Hautes plaines Algéroises).

Pour cinq jours, les hauteurs moyennes de neige enregistrées dans les régions précédentes, ont donné les valeurs suivantes: -Atlas de Blida:700 mm -Ben Chicao:700mm - Kabylie:500mm - Hautes plaines Algéroises : 800mm.

2.3 - PRECIPITATIONS ET THERMALISME.

Le report des différentes sources inventoriées dans notre secteur sur les cartes dressées, nous permet de dégager les résultats suivants:

- 80 % des sources thermominérales sont situées dans l'Atlas Tellien, en particulier sur ou près des reliefs importants. Les sources hyperthermales et mésothermales sont en majorité situées soit en Grande Kabylie, soit dans les Hautes plaines Algéroises. Ces deux zones sont caractérisées par de vastes bassins versants (Soummam, Sébaou , Mitidja ... etc) et une très importante pluviosité. Par conséquent une lame d'eau considérable est recueillie dont la partie infiltrée peut être importante et alimenter les réservoirs thermaux des différentes sources de la région.

- La plupart des sources carbogazeuses se situent dans des plaines alluviales comme la Mitidja ou au pied de grands massifs montagneux calcaires tel que le Djurdjura. Dans la Mitidja, ces sources carbogazeuses sont alimentées par des eaux provenant de l'Atlas Blidéen (Voir chp IV), tandis que la source de Ben haroun, située à l'Ouest de la chaîne du Djurdjura, peut être alimentée par cette dernière.

Au Sud, dans l'Atlas saharien, siège de faibles précipitations, 50 % des sources sont soit hyperthermales soit mésothermales , soit encore froides sans aucun intérêt thermal. Elles sont situées dans les vastes plaines de l'Atlas. Ces dernières peuvent récupérer une lame d'eau suffisante pour alimenter les réservoirs thermaux. Cette alimentation est facilitée par la disposition et la constitution des assises géologiques en profondeur.

Les sources situées dans les plaines de Beni Slimane et de Sidi Aissa sont en majorité soit hypothermales, soit au contraire froides.

II.3 - La température.

3.1 - GENERALITES.

La température,important facteur physique sur lequel plusieurs définitions et classifications sont basées, est déterminant pour l'analyse des sources thermales. Les mesures permanentes de ce paramètre dans le temps sont essentielles. Elles permettent d'avoir des renseignements importants sur l'origine et la circulation des eaux thermales en profondeur ainsi que sur leur mode d'alimentation.

Les classifications basées sur ce facteur peuvent être divisées en deux grands groupes:

- Les classifications basées sur la comparaison de la température de l'eau et celle de l'air.

- Les classifications basées uniquement sur la température de l'eau.

L'origine de la température des eaux thermales est variable. Diverses sources énergétiques peuvent en effet dégager des flux de chaleur très importants qui contribuent efficacement à l'élévation de la température des eaux thermales. On distingue ainsi:

- Le gradient géothermique.

L'intensité de ce gradient augmente avec la profondeur et la structure géologique du sous-sol. Sa valeur est spatialement variable en fonction de la conductibilité thermique des roches traversées, de leur nature géologique ainsi que des réactions physico-chimiques. Elle est maximale dans les formations volcaniques et minimale dans les terrains granitiques. La valeur prise a été calculée à partir des données de forages de la SONATRACH et est égale à 1°C pour 36m.

- La vitesse de circulation des eaux.

La température des eaux en profondeur est directement liée à leur vitesse de circulation. Plus celle-ci est grande, moins il y'aura d'échanges thermiques avec les roches traversées.

- La latitude.

La température varie avec la latitude du lieu. Cette variation est estimée à 1°C pour un éloignement de l'équateur de 2° de latitude.(Thèse ADJOUL 1984)

- Le volcanisme.

C'est une source de réchauffement des eaux. Le dégagement de flux de chaleur très importants lors du refroidissement des masses magmatiques conduit au réchauffement des nappes sus-jascente tel le volcanisme miocène de la région de Righa.

- Les réactions chimiques exothermiques.

Elles provoquent une augmentation de la température de l'eau (oxydation, réduction ou même hydratation.).

- Désintégration des minéraux radioactifs.

La désintégration de ces minéraux contenus dans les roches de l'écorce terrestre dégage de la chaleur.

- Les mouvements séismiques.

Ils agissent directement sur la température et le débit. Nous pouvons citer comme exemple dans notre région les sources de Righa et de Mouzaia ...etc.

Ces facteurs agissent positivement sur la température des eaux en l'augmentant. En revanche; d'autres facteurs ont des actions négatives sur ce paramètre:

- L'altitude.

Une augmentation de l'altitude entraine un abaissement de la température.

- Le mélange avec des eaux froides.

Une diminution de la température est souvent enregistrée lors d'un mélange avec des eaux superficielles froides en particulier dans les zones hautes enneigées.

- La température des eaux d'une source n'est pas la même dans tous les griffons situés sur une même fracture. Il existe un point ou la température est maximale, autour duquel elle diminue au fur et à mesure que la distance augmente. Ceci a été observé pour les griffons de Righa, Ibainem, les Bibans ...etc.

- La température diminue en traversant un terrain perméable renfermant une nappe d'eau superficielle et froide.

La température est donc un facteur important et doit être, en raison des informations qu'il apporte, suivi de près et en permanence dans le temps. Ceci a été pratiquement impossible pour nous en raison des difficultés d'accès rencontrées au niveau de certaines sources.

3.2- CLASSIFICATION DES SOURCES.

L'utilisation du facteur température pour la classification des eaux thermominérales est d'une extrême importance. Deux grandes catégories de classifications ont été utilisées jusqu'à présent:

- Une classification prenant en considération les températures des eaux et de l'air. Elle a pour objectif la distinction entre eaux chaudes et froides.
- Une classification basée uniquement sur la température des eaux aboutissant généralement à plusieurs classes.

Nous avons au cours de notre analyse utilisé ces différentes méthodes pour définir au mieux nos émergences.

3.2.1-TEMPERATURE EAU-AIR.

Plusieurs définitions émanant de plusieurs auteurs ont été proposées pour mieux cerner la catégorie des eaux thermominérales (L. MORET, G. CASTANY,... etc.).

L. MORET (1946) en a donné la définition suivante: **"Lorsque la température d'une eau dépasse de 5 à 6°C la température moyenne annuelle de l'air au lieu considéré, celle -ci est dite thermale."**

L'application de cette méthode aux sources de notre secteur, a nécessité l'utilisation de deux séries de données climatiques caractérisant chacune une période

STATIONS	PERIODES	MOYENNES	M (moy. des max)	m(moy.des min	(M+m)/2
Blida	58-63	18.1	34.9	7.3	21.1
Blida	47-63	18.7	36.2	6.35	21.27
Bouira(Hydr)	67-84	16.75	34.9	10.75	17.98
Boukhalfa	64-78 80-84	18.05	36.30	3.67	19.98
Bouzareah	60-84	16.82	34.23	5.31	19.76
B.B.Arreridj	60-76	14.7	30.3	-0.35	14.97
B.B.Arreridj	79-84	14.36	29.66	0.025	14.84
Bejaia	64-84	16.84	35.24	5.56	20.04
C.Bengut	60-80 83-84	18.21	34.08	8.025	21.05
B.E.Bahri	60-62 66-81	17.60	33.45	6.15	19.
Cherchell	60-84	18.54	33.40	5.2	19.30
Chleff	60-63 65-84	18.14	37.24	3.11	20.17
Dar e.BEIDA	60-84	16.9	35.76	3.33	19.54
Djelfa	66-73	13.37	29.28	-1.65	13.81
Djelfa	60-62 71-84	13.95	30.28	-1.96	14.16
M'sila	77-84	18.65	32.85	3.0	17.92
Miliana	60-62 66-84	15.74	32.59	2.99	17.79
Médéa	62-80 82-84	14.02	31.06	0.8	15.13
M'sila (FAO)	68-73	17.90	31.58	4.39	17.98
Tissemsilt	60-62 73-82	14.24	32.19	-3.1	14.54
Tiaret(Hydr)	65-76 79-84	14.00	29.97	0.65	15.31
Tablat	77-84	16.90	33.29	3.075	18.18
Sidi Aissa	60-63 65-83	16.2	35.08	-0.3	17.39
Sétif (PC)	70-82	14.20	30.03	0.42	15.22

Tab(II.2)- Données de température de la deuxième période.

détérminée. Ceci nous a permis de mettre en évidence, malgrè l'hétérogénéité des périodes de la deuxième série, en raison des changements et du mauvais fonctionnement de certaines stations de mesure, la constance dans le temps des moyennes calculées pour les deux périodes.

La première série de données a été tirée de l'ouvrage de P.SELTZER. Elle couvre une période de 25 ans allant de 1913 à 1938.

La seconde série a été recueillie aux archives du Service de la Météorologie Nationale pour des périodes variables. Les résultats de cette période sont consignés dans le tableau. (2)

Les moyennes de la seconde série ont été obtenues en effectuant la somme des maximums et minimums qui a été divisée par deux. Elles sont peu différentes des moyennes ordinaires et de celles de P. SELTZER.

La classification des sources basée sur les données de la deuxième série , a donné les résultats suivants: (voir tableau II.3)

Près de 75% des sources inventoriées sont thermales, dépassant parfois de plusieurs degrés la moyenne de la température de l'air au lieu considéré. Cet écart a tendance à se réduire pour de nombreuses sources du Tell méridional central en particulier les sources d'Ain Boucif, de Béni Slimane et de quelques sources du Hodna et du Chéliff. Ces dernières sont probablement alimentées par les différents aquifères constitutifs de la plaine qui les renferme.

D'autres sources ont vu leur température varier au cours du temps en particulier les sources hypothermales. Ceci est lié à la faible profondeur du réservoir et aux effets de saison.

3.2.2- TEMPERATURE - EAU.

Le domaine de variation des températures des eaux a été soumis également à des découpages aboutissant à diverses classifications. Ces intervalles permettent le regroupement des sources thermales en plusieurs familles bien définies. Ainsi deux classifications des sources thermales de l'Algérie, émanant respectivement de G. CASTANY (1963) et P. VERDEIL (1983):

G. CASTANY (1963) définit quatre groupes de sources:

1- Les sources hyperthermales lorsque T > 50 °C

2- Les sources mésothermales " " 50°C > T > 35 °C

3- Les sources hypothermales " " 35 °C > T > 20 °C

4- Les sources froides " " 20 °C > T

Les résultats obtenus à partir de l'application de cette méthode sont consignés dans le tableau (II.4).

Les sources hyperthermales sont au nombre de cinq dont quatre sont situées au Nord dans le domaine tellien, hors des plaines alluviales, souvent dans des endroits géologiquement très accidentés. Le cinquième point d'eau est un forage hyperthermal situé dans la plaine du Hodna.

La famille des sources mésothermales comprend au total neuf émergences dont la majorité se situe au Nord dans le domaine tellien.

Les sources hypothermales, représentant presque le tiers du total, sont réparties

SOURCES	T°(eau)	STATIONS	T°(air)	T°(eau)-T°(air)	CLASSES
Hm TELLAT	32	BORDJ EL BAHRI	19,8	12,2	THERMALE
Hm KSENNA	63	BOUIRA	17,98	45,02	//
Hm BIBANS	68	BORDJ BOU ARRERIDJ	14,84	53,16	//
Hm MANSOURAH	28	//	//	13,16	//
Hm IBAINEM (1)	56,5	BOUKHALFA	19,98	36,52	//
// (2)	59	//	//	39,02	//
// (3)	50	//	//	30,02	//
// (4)	57,5	//	//	37,52	//
Hm SIDI YAHIA	42	BEJAIA	20,4	21,6	//
Hm SILLAL	46	//	//	25,6	//
Hm KIRIA	44	//	//	23,6	//
Hm TOUENSA	16,5	TABLAT	18,18	-1,68	FROIDE
Hm BERROUAGHIA	36	MEDEA	15,13	20,87	THERMALE
Hm SID EL HABCHI	20	SIDI AISSA	17,39	2,61	FROIDE
Hm CHBEIKA	16	//	//	-1,39	//
Hm OULED CHNEF	20	//	//	2,61	//
Hm JORDANI	—	//	//	—	—
Hm SOUARI	16	//	//	-1,39	//
Hm EL ANNASSEURS	20	//	//	2,61	//
Hm CHENIGUEL	—	//	//	—	—
Hm KSOB	29	M'SILA	17,98	11,02	THERMALE
Hm DELAA	41	//	//	23,02	//
Hm MELOUANE	38	DAR EL BEIDA	19,54	18,46	//
Hm SERGUINE	38	TIARET	15,31	22,69	//
Hm CHAREF	41,7	DJELFA	14,16	27,54	//
Hm SID EL HADJ	20	TIARET	15,31	4,69	FROIDE
Hm TIRÈS	—	//	//	—	—
Hm SIDI SLIMANE	40,3	TISSEMSILT	14,54	25,76	THERMALE
Hm SOFRANI	—	//	//	—	—
Hm RIGHA	68,5	MILIANA	17,79	50,71	//
Hm BOUTRIG	25	//	//	7,21	//
Hm TENES	—	—	—	—	—
AIN TINZERT	12	BOUKHALFA	19,98	-7,98	FROIDE
AIN SOLTANE	13,5	//	//	-6,48	//
AIN EL HAMED	17	MEDEA	15,13	1,87	//
AIN EL DJERABAA	24	M'SILA	17,98	6,02	THERMALE
AIN EL HAMMAM	25,5	MILIANA	17,79	7,71	//
AIN CHERITA	16	TIARET	15,31	0,69	FROIDE
AIN GARÇA	—	—	—	—	—
AIN TIFENSOUR	—	—	—	—	—
AIN MOUILHA	23	DAR EL BEIDA	19,54	3,46	//
AIN TIHAMMAMINE	30	//	//	10,46	THERMALE
FGE MOUZAIA	23,5	BLIDA	21,27	2,23	FROIDE
FGE AIDAT	21,8	//	//	0,53	//
FGE OUED EL ALLEUG	27,8	//	//	6,53	THERMALE
FGE HASSI BAHBAH	51	DJELFA	14,16	36,84	//
PUITS TOCHE	17	BLIDA	21,27	-4,27	FROIDE
AIN BOUCHAKOUR	—	—	—	—	—
FONTAINE DU GENIE	—	—	—	—	—

Fig(II.3)- Classification des sources à partir des températures eau-air.

SOURCES HYPERTHERMALES

Hm KSENNA
Hm BIBANS
Hm IBAINEM
Fgs EL-MESRANE
Hm RIGHA

SOURCES MESOTHERMALES

Hm SIDI YAHIA
Hm SILLAL
Hm KIRIA
Hm BERROUACHIA
Hm DELAA
Hm MELOUANE
Hm SERGUINE
Hm CHAREF
Hm SIDI SLIMANE

SOURCES HYPOTHERMALES

Hm TELLAT
Hm MANSOURAH
Hm SID EL HABCHI
Hm OULED CHNEF
Hm KSOB
Hm BOUTRIG
AIN EL DJERABAA
AIN MOUILHA
AIN TAHAMMAMITE
AIN SID EL HADJ
AIN EL HAMMAM
Fgs MOUZAIA
Fgs AIDAT
Fgs OUED EL ALLEUG
Fgs EL IDRISSIA

SOURCES FROIDES

PUITS TOCHE
AIN TINZERT
AIN SOLTANE
AIN EL GARÇA
Hm TOUENSA
Hm CHBEIKA
Hm SOUAGUI
Fgs EL IDRISSIA
EL HAMEDH
EL BIR EL MENTEN

Fig(II.4)- Classification des sources à partir des températures eau.

dans tout le secteur concerné.

Les sources froides émergent souvent aux pieds de massifs calcaires ou au centre des plaines alluviales.

Pour P. VERDEIL (1983); les eaux thermales peuvent être classées de la manière suivante:

- Eaux hypothermales.
La température est inférieure à celle de la partie supérieure de la zone d'homothermie ou à la température extérieure plus 4°C.

- Eaux athermales.
La température est égale à celle de la partie supérieure de la zone d'homothermie ou à la moyenne des températures extérieures plus 4°C.

- Eaux Méthriothermales.
La température est comprise entre celle de la partie supérieure de la zone d'homothermie ou à la moyenne des températures extérieures plus 4°C mais inférieure ou au plus égale à 30°C

- Eaux orthothermes.
La température de l'eau est égale à la température moyenne du corps (37°C).

- Eaux mésothermales.

La température de l'eau est comprise entre 30°C et 50°C.

- Eaux hyperthermales.

La température est comprise entre 50°C et 100°C.

- Eaux hyperthermales surchauffées.

La température de l'eau est supérieure à 100°c.

- Fluides hydrothermaux.

La température de l'eau peut être supérieure à 300°C.

Les résultats de cette classification sont peu différents des précédents.
Les sources hypothermales sont au nombre de neuf,cependant une seule source appartient à la classe des athermales.
La classe des eaux orthothermales ne renferme aucune source.
La classe méthriothermale renferme sept sources.
Le nombre de sources mésothermales est passé à 11.
Les sources hyperthermales gardent cependant le même nombre que celui obtenu par la méthode précédente.

II. 4- CONCLUSION.

Cette brève analyse hydroclimatique a permis le dégagement d'un certain nombre d'observations qui se résument comme suit:

- PLUVIOMETRIE.

- La diminution progressive et homogène du Nord vers le Sud, dûe à la disparition des hauts reliefs, coincide avec la réduction du nombre de sources chaudes.

- Le plus grand nombre de sources hyperthermales et mésothermales coincide avec les zones caractérisées par une forte pluviométrie et un enneigement important.

- Vers le Sud, la disparition des hauts reliefs est compensée par l'existence de vastes plaines pouvant recueillir des quantités importantes d'eau. Ces dernières peuvent cependant alimenter les réservoirs thermaux. Les sources inventoriées dans le secteur sont en majorité hypothermales avec cependant quelques émergences et forages mésothermaux ou hyperthermaux.

- TEMPERATURE.

L'analyse de ce paramètre et l'application des méthodes qui en découlent, a donné les résultats suivants:

- La classification de nos sources par la méthode de L.MORET (1946) a permis la séparation des sources chaudes et froides. Cependant cette technique nous paraît limitée en raison des variations spatiales de ce paramètre. Une source chaude au Nord peut devenir froide au Sud.

- L'utilisation des deux dernières méthodes a permis de départager l'intervalle de variation de ce paramètre en plusieurs classes. Cette technique montre la forte concentration des eaux hyperchaudes dans les zones du Nord trés accidentées et caractérisées par une forte séismicité. Au total près de 70% des sources chaudes sont liées à des massifs montagneux.

APERCU GEOLOGIQUE

III.1- APERCU GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE.

III.1.1-INTRODUCTION.

Les analyses tectoniques faites en Algérie ont abouti à une subdivision faisant apparaître quatre grands domaines fortement différenciés au cours des phases tectoniques mésozoiques et cénozoiques. On peut distinguer du Sud vers le Nord (fig III.1):

III.1.2- LE DOMAINE SAHARIEN.(ou plate-forme saharienne).

Géographiquement, ce domaine, tectoniquement stable, couvre près de 2 millions de km2 de surface. Sa limite nord est soulignée par une série d'accidents souples ou cassants marquant l'accident Sud Atlasique. Classiquement, il est subdivisé en deux grandes régions naturelles: Le Haut Sahara (ou Sahara occidental) et le Bas Sahara (ou Sahara oriental).

III.1.3- LE DOMAINE ATLASIQUE.(ou avant pays tellien de la chaîne alpine).

Ce domaine est limité au Nord par l'accident Nord Atlasique. Il est caractérisé par la présence de chaînes intracontinentales et de môles.

Ce domaine a pris naissance à la faveur d'un sillon subsident plongeant vers l'Est entre les hautes plaines et la plate-forme saharienne. La sédimentation, d'âge mesozoique et cénozoique, est essentiellement néritique et continentale.

Cette chaîne est formée par de grands plis d'orientation WSW-ENE.

III.1.4- LE DOMAINE DES HAUTES PLAINES.

Il représente le domaine présaharien. Il est constitué par les unités suivantes:

- **Le môle oranais.**
- **Les hautes plaines oranaises.**
- **Les hautes plaines algéroises.**
- **Les hautes plaines constantinoises.**
- **Le môle d'Ain M'Lila.**

Il est caractérisé par une série stratigraphique plus épaisse à l'Est qu'à l'Ouest avec de fréquentes variations de faciès au sein du même étage en particulier dans le Sénonien.

III.1.5- LE DOMAINE TELLO-RIFAIN.

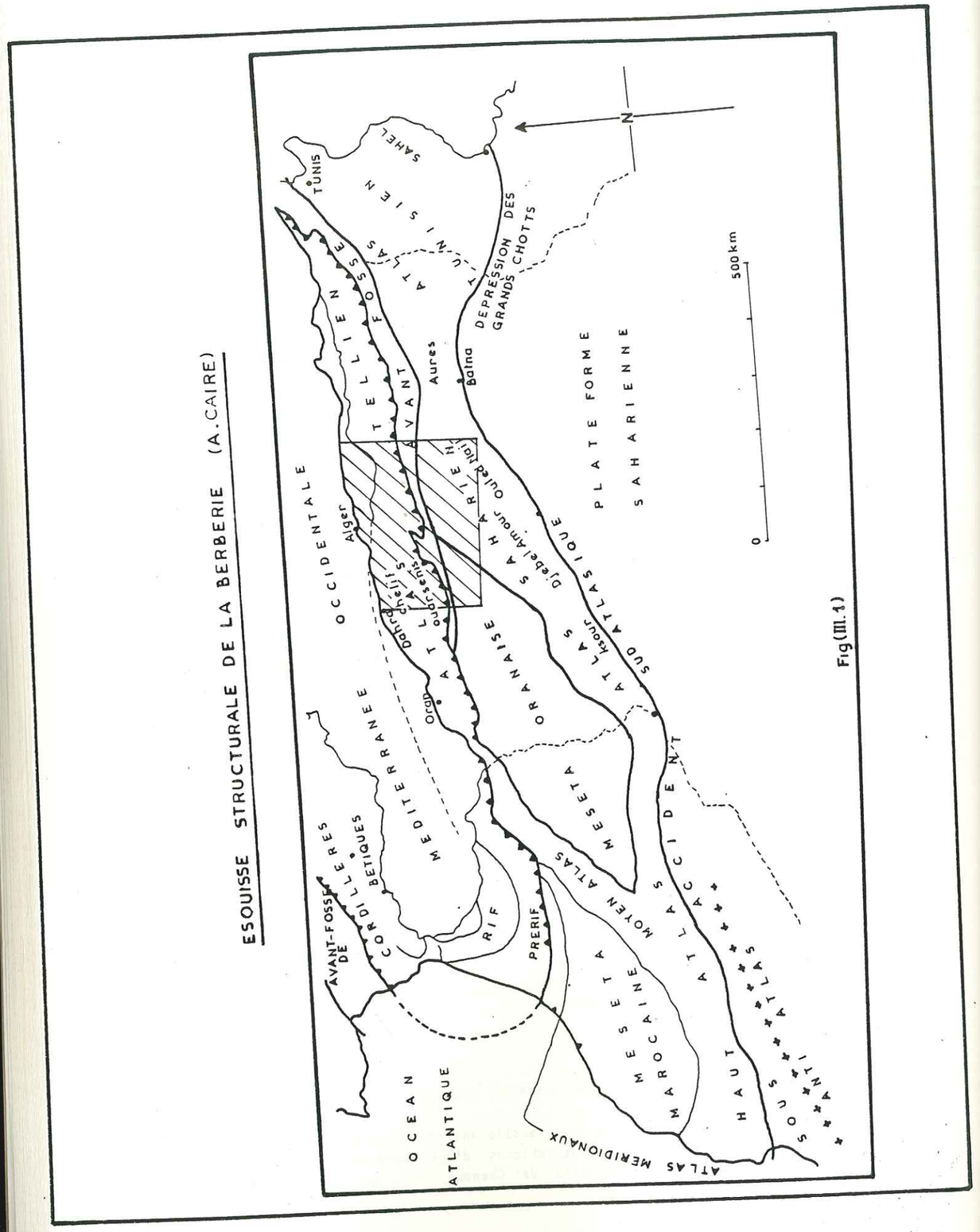
Cette partie de la chaîne alpine se raccorde à l'Ouest au niveau de l'arc de Gibraltar aux chaînes Bético-Baléares et à l'Est à l'Appenin par l'intermédiaire du système Sicilo-Calabrais.

Ce domaine est subdivisé en deux grands ensembles:
Au Nord: le Tell septentrional. **Au Sud:** le Tell méridional.

- LE TELL SEPTENTRIONAL.

Il est caractérisé par deux grands ensembles géologiques très distincts:

- Les noyaux anciens. appelés encore massifs anciens ou noyaux Kabyles autochtones. Ce sont des massifs essentiellement métamorphiques d'âge anté-gothlandien(DURAND DELGA 1956.). Ces noyaux constituent les massifs de Chenoua, d'Alger, de Grande et de Petite Kabylie.



Fig(III.1)

- La chaine calcaire ou dorsale Kabyle..

Elle représente la couverture mésozoico- éocène du socle ancien des noyaux Kabyles. Cette couverture s'est scindée en diverses unités au cours des orogénèses. Ces unités, superposées en un paquet d'ecailles bordant au Sud les noyaux Kabyles, sont disposées de la manière suivante: la dorsale interne -la dorsale médiane -la dorsale externe.(Voir coupe N°2 fig (III.2).

Les flyschs.

Ils se présentent en plusieurs unités en fonction de leurspositionspar rapport au bourrelet kabyle. Ils sont appelés soit flysch nord Kabyles "FNK" quand ils sont au Nord du bourrelet, soit flysch sud Kabyles quand ils se trouvent au Sud du bourrelet. L'origine et la mise en place des flysch ont été longuement discutées et ont été le sujet de plusieurs hypothèses.Parmi ces dernières on peut citer celles de DURAND DELGA, ANDRE CAIRE...etc.

- LE TELL MERIDIONAL.

Ce domaine est constitué de plusieurs unités souvent du même âge qui sont:

- Les unités autochtones ou paraautochtones..

Dans le centre algérien, elles représentent les massifs du Chéliff, de l'Ouarsenis, de l'Algérois, des Bibans et des Babors. Ces séries, souvent réduites, sont constituées de formations d'âge mésozoique et parfois paléozoique.

- Les nappes telliennes (ou masses allochtones).

La mise en place des nappes telliennes, appelées encore nappes d'écoulement, s'est effectuée au Miocène. Ce dernier est subdivisé en Miocène anté-nappe (MI) et post-nappe (MII). Le glissement des nappes s'est effectué depuis les zones hautes de l'Algérie septentrionale jusqu'au bassin subsident "ouarsenis-hodna". On rencontre ainsi les unités suivantes:

- LA NAPPE INFRATELLIENNE.

Elle est connue de Oued Okhris à l'Ouest jusqu'à Bordj Bou Arreridj à l'Est. Elle forme la base de l'édifice allochtone de l'Ouarsenis. Elle est constituée essentiellement de blocs calcaires jurassiques et de lentilles argilo-gréseuses crétacées qui passent latéralement à des conglomérats et marnes miocènes.

- LA NAPPE SUD TELLIENNE.

C'est une vaste nappe d'écoulement connue depuis Sebaa Chioukh à l'Ouest jusqu'à Bordj Bou Arreridj à l'Est. Elle est formée de séries essentiellement tertiaires et de quelques lambeaux du Crétacé supérieur avec des marnes et grès du Miocène et de l'Oligocène. Le Lutétien et l'Yprèsien sont marneux.

- LA NAPPE EPITELLIENNE.

De Sebaa Chioukh à l'Ouest jusqu'à Bordj Bou Arreridj à l'Est, cette vaste nappe chevauche la nappe sud tellienne. Plus à l'Est, elle repose sur l'autochtone. Les éléments constitutifs de cette nappe sont en grande partie d'âge crétacé moyen et supérieur et parfois tertiaire. L'ensemble des nappes précédentes est chevauché localement au Nord par d'autres nappes d'extension réduite. Ces dernières sont appelées nappes numidienne et sous numidienne.

COUPES GEOLOGIQUES INTERPRETATIVES DES REGIONS TELLIENNES (d'après W. WILDI 1983)

N — S

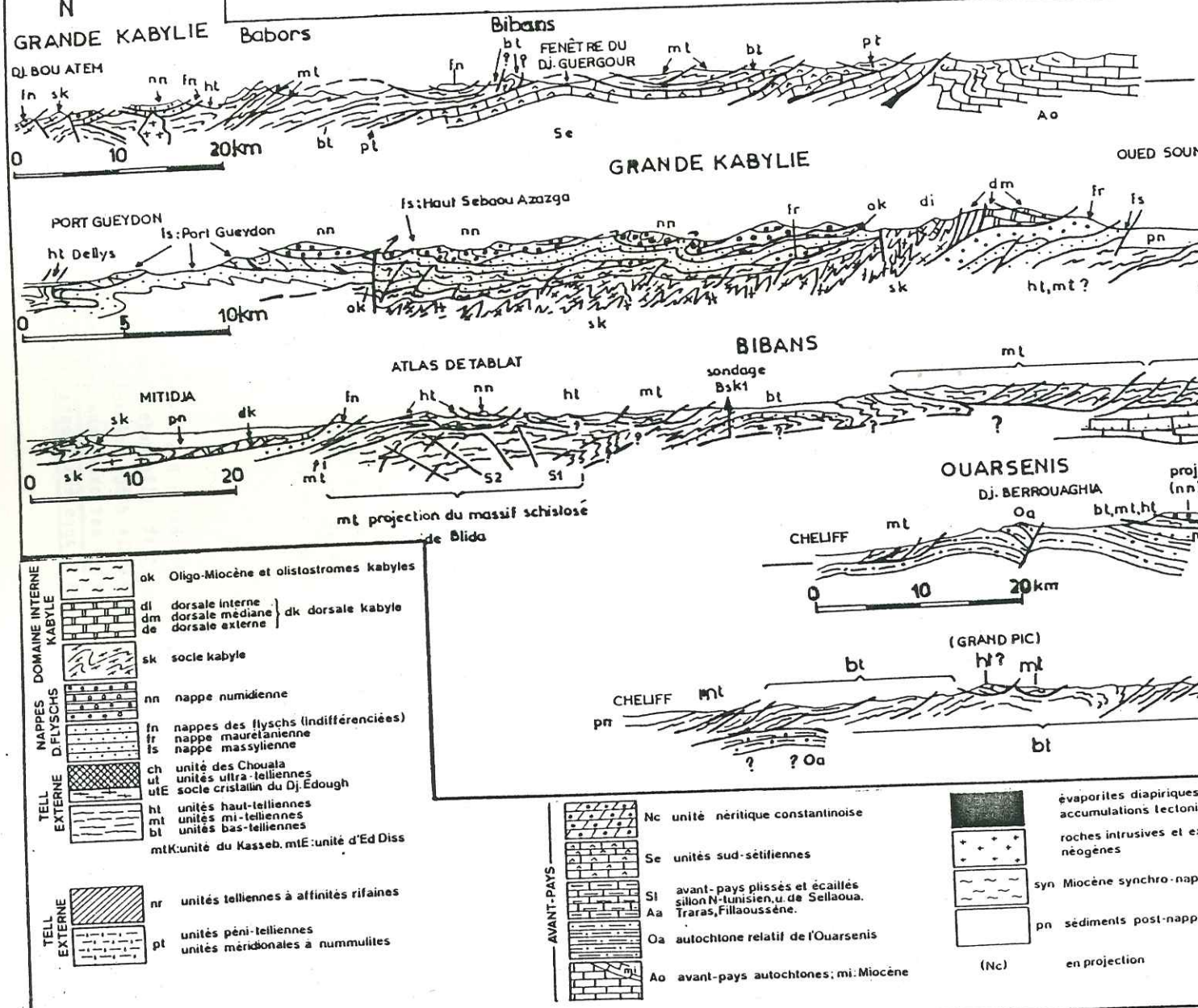
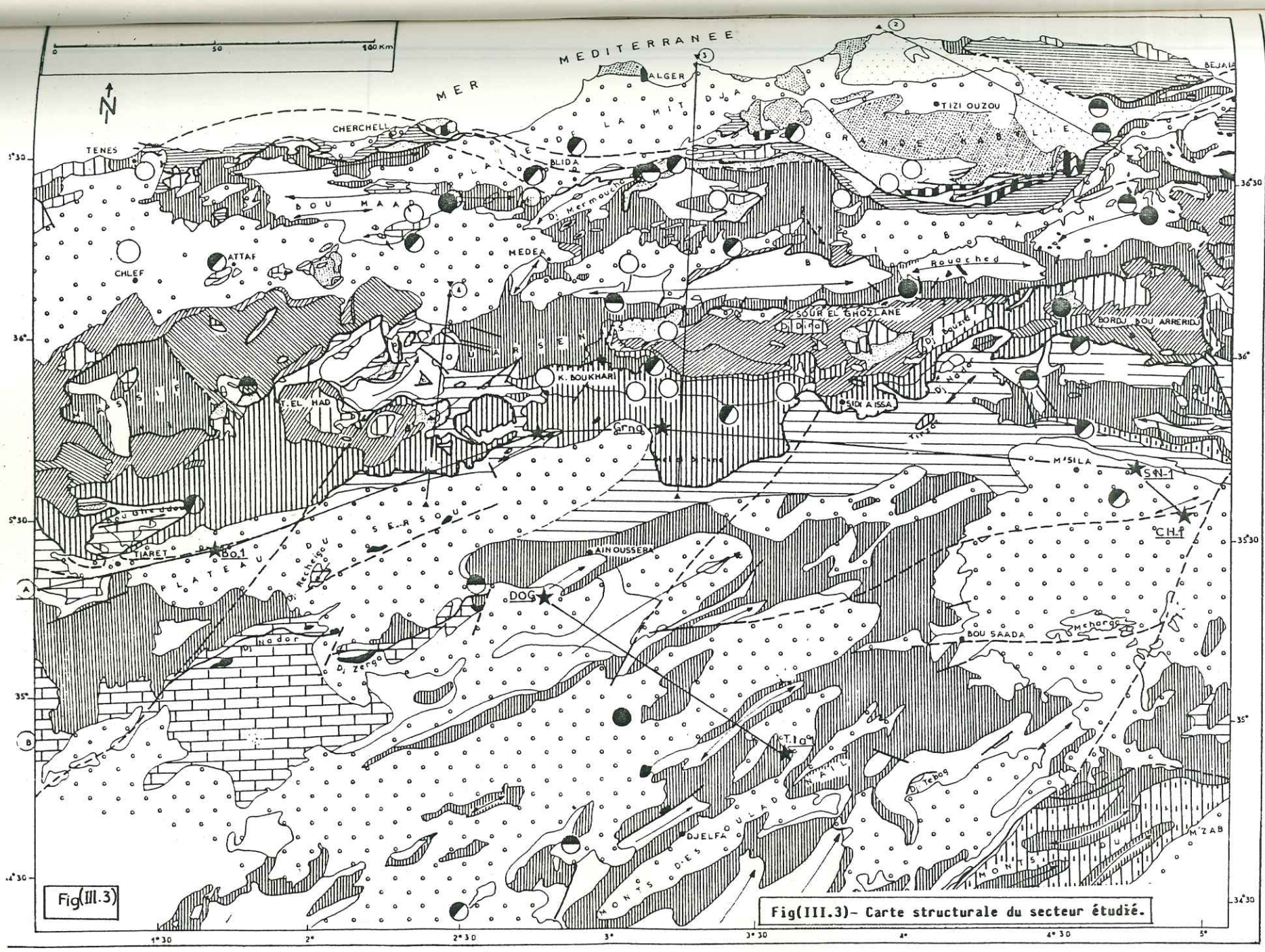


Fig (III.2)



Fig(III.3)

Fig(III.3)- Carte structurale du secteur étudié.

AUTOCHTONE

- Formations post miocène MI
- Miocene MI
- Tertiaire anté-miocène
- Crétacé supérieur (Paléocène à Cénomanien)
- Crétacé inférieur (Néocomien à Albien)
- J rassique
- Trias
- Socle (Paléozoique inclus)

ALLOCTHONE

- Nappe Numidienne
- Nappe du flych
- Nappe sous numide
- Nappe épitellienne
- Nappe sud tellienne
- Nappe infratellienne
- Klippes sédimentaires

SOURCES THERMOMINERALES (LEGENDE)

- SOURCES HYPERTHERMALES
- SOURCES MESOTHERMALES
- SOURCES HYPOTHERMALES
- SOURCES FROIDES
- Forages.

HAUT FOND BERBERE

- Oligocène de faciès Kabyle
- Trias Jurassique à Eocène(faciès chaine calcaire)
- Socle(Paléozoïque inclus)
- Contact anormal majeur
- Faille principale
- Glissements posthumes à partir des amygdales autochtones.

Elles sont connues au Nord et au Sud de l'ensemble Chaîne calcaire- Massif ancien. Ces nappes reposent au Nord sur l'Oligocène à faciès kabyle et au Sud sur le Crétacé tellien.

- LA NAPPE SOUS NUMIDE.

Elle est constituée essentiellement du Sénonien à microbrèches et lits à éléments jurassiques et du Miocène conglomératique à faciès deltaique discordant sur le Sénonien.

Le Miocène renferme de nombreux et volumineux blocs de calcaires lutétiens et jurassiques de faciès "chaîne calcaire".

- LA NAPPE NUMIDIENNE.

Elle repose localement sur des résidus de la nappe du flysch. Elle comprend de l'Oligocène à faciès numidien dans les zones telliennnes.

L'ensemble de ces unités structurales est résumée dans la figure (III.3).

- III.6-DONNEES STRUCTURALES -

L'essentiel de la morphologie et de la structure actuelle de l'Algérie résulte de la phase orogénique alpine. Quatre étapes ont marqué l'évolution tectonique de l'Algérie septentrionale.

- Du Trias au Néogène.

C'est une période où la glyptogenèse est prépondérante. Des mouvements différentiels du tréfonds entraînent, entre le Cénomanien et le Sénonien, la formation de hauts-fonds et l'individualisation d'un ensemble d'unités paléogéographiques d'orientation générale Est -Ouest. Du Nord au Sud, on rencontre les unités suivantes:

- **Un sillon interne à l'emplacement actuel de la Méditerranée.**
- **La ride kabyle.**
- **Un sillon externe ou sillon tellien.**
- **Le domaine pré-saharien.**

Le sillon externe est caractérisé par deux périodes très importantes:

Au Crétacé inférieur: on observe la prédominance du faciès flysch marqué par des discordances et des lacunes de sédimentation traduisant l'instabilité du milieu.

Au Crétacé supérieur: des sous zones s'individualisent permettant ainsi la précision de l'origine des différentes nappes.

-La phase paroxysmale:

Deux périodes importantes caractérisent cette phase.

- Eogène.

C'est **la phase atlasique** dont les mouvements affectent les bordures mobiles du sillon. Les plissements résultant de cette phase sont orientés N40° à N60° E recoupant obliquement les différentes structures d'orientation Est-Ouest. Cette phase se situe entre le Lutétien supérieur et l'Oligocène.

- Miocène inférieur.

C'est la période de mise en place des nappes.

-La période post orogénique:

C'est au cours de cette période, dite de relaxation, que le schéma structural de l'Algérie a pris sa forme actuelle. Cependant au Miocène supérieur de grands fossés subsidents s'ouvrent avec en parallèle la mise en place de roches intrusives.

Le matériel qui permet le comblement des bassins a été fourni par le soulèvement des différents massifs au cours de la même période.

-Au Pliocène supérieur et au Quaternaire.

A la suite de mouvements tectoniques violents, les séries tertiaires vont être déformées donnant des systèmes structuraux du type jurassien suivant des directions calquées sur celles de l'orogenèse atlasique.

-Les temps modernes.

Les nombreux travaux faits et qui continuent encore, lient les mouvements orogéniques actuels au rapprochement et à la confrontation des deux plaques: l'Eurasie au Nord et l'Afrique au Sud.

III.7- QUELQUES DONNEES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DES DOMAINES ATLASIQUE ET PREATLASIQUE.

III.7.1-INTRODUCTION.

Nous avons, pour les descriptions lithostratigraphiques et hydrogéologiques de ces domaines,utilisé les données de forages pétroliers, situés près des sources thermales. Un certain nombre d'aquifères importants ont été déterminés.

Description des faciès.

A mi-distance entre Ksar Chellala et Ain Oussera et à quelques dizaines de kilomètres de Hammam Serguine, le forage DOG(1) de coordonnées X: 505.98 Y: 227.3 , a été implanté. Les formations se résument comme suit:

1- Crétacé inférieur (Néocomien).

De 0 à 574 m de profondeur, la série est constituée de grès fins à moyens avec quelques intercalations métriques d'argiles et de dolomies. Vers la base, la série passe à des dolomies grenues à fines passées d'argiles puis à des argiles silteuses à intercalations de grès fins.

2- Portlandien.

De la base du Néocomien et sur 278m de profondeur, la série est formée d'une alternance de dolomies microcristallines parfois vacuolaires et gréseuses et de calcaires graveleux, des dolomies cristallines, des calcaires dolomitiques, dolomies et intercalations argileuses.

3- Oxfordien supérieur- Kimméridjien.

La série a été rencontrée à partir de 852m de profondeur jusqu'à 1965m. Les

formations recoupées se résument comme suit:

- des argiles carbonatées passant parfois à des marnes indurées dolomitiques.
- des intercalations de calcaires à grain fin et de calcaires argileux avec présence de veinules de calcite et de pyrite.
- des argiles, calcaires et marnes qui se poursuivent par un second niveau à intercalations de calcaires argileux, pyrite et veinules de calcite.
- un niveau d'argile carbonatée à nombreuses veinules de dolomies secondaires.

4- Formation fracturée.

Entre 1965 et 2280m de profondeur, le forage recoupe une formation trés fracturée, constituée de dolomies filoniennes (avec quelques films d'argiles plus ou moins schisteuses et pyriteuses); dont l'âge est incertain.

5- Lias moyen.

Cet étage a été recoupé entre 2280 et 2478 m de profondeur. Il est composé essentiellement de:

- calcaires argileux.
- dolomies microcristallines à veinules de dolomies secondaires.
- dolomies compactes et calcaires microcristallins injectés de dolomies secondaires.

6- Infralias.

De 2478 à 2672 m de profondeur, la série est formée d'anhydride massive avec quelques passées d'argiles schiteuses, de dolomies avec injection de dolomies cristallines et d'intercalations de calcaires cryptocristallins et enfin d'anhydride avec des intercalations de dolomies microcristallines et d'anhydride indurée. Ce niveau est recoupé une seconde fois par suite d'une inversion due à un pli important.

7- Lias moyen.

Entre 2672 et 3092 m de profondeur, cet étage réapparaît probablement en série inverse. Il est essentiellement carbonaté, dolomitique avec quelques intercalations d'argiles. La série se poursuit par des calcaires cryptocristallins à passées dolomitiques et dolomies microcristallines avec injection de dolomie blanche

8- Infralias.

La formation précédente repose sur l'Infralias, recoupé jusqu'à 3570.6 m de profondeur, et est constitué essentiellement de dolomie microcristalline, d'argiles et d'anhydride.

9- Trias.

Le forage recoupe sur 341m, entre 3092 et 3433m de profondeur, des formations d'âge triasique formées d'argiles bariolées silteuses avec de rares bancs de dolomies. Elles reposent sur des séries à dominante gréseuse et grès quartzitiques à intercalations d'argiles silteuses et enfin des argiles indurées et micacées. La base de cet étage est marquée par des brèches à éléments de roches éruptives,cimentés par des argiles silteuses.

10- Viseen.

Cette formation a été recoupée sur 70 m à partir de la base de l'étage précédent. La série est essentiellement constituée d'andésite à structure porphyrique microlitique et fluidale indiquant le socle cristallin.

Région de Hassi Bahbah.

A environ 20 km à l'Est de Hammam El Mesrane (ou Hassi Bahbah), le forage TTA-1 a été effectué à djebel Testara. Ses coordonnées sont X:3° 36' 22". Y:34° 55' 11". La profondeur totale atteinte par le forage est de 3932m. Les formations rencontrées sont:

1- Cénomanien.

Sur 376m, le forage recoupe des calcaires plus ou moins argileux, du gypse avec des passées de calcaire et d'argile, des alternances de gypse massif,de l'anhydride, des calcaires crayeux, des argiles et des dolomies cristallines.

2- Albien supérieur.

Sur 255m de profondeur et de la base de l'étage précédent, la série est formée de calcaires parfois graveleux et oolithiques avec des intercalations de dolomies et d'argiles.

3- Albien inférieur.

Recoupé de 631 à 1408m de profondeur, il est formé par des grès fins à moyens et à passées d'argiles silteuses et de rares intercalations de dolomies. Quelques traces de lignite et de pyrite ont été rencontrées.

4- Aptien.

De 1408 à 1500m et sur 92m, ce sont essentiellement des dolomies microcristallines à cristallines à passées d'argiles silteuses et de grès.

5- BARREMO-NEOCOMIEN.

Cet étage est recoupé entre 1500 et 2052m de profondeur. La série est formée de grès fins à moyens, friables, de silts, d'argiles silteuses avec quelques rares intercalations de dolomies microcristallines et de calcaires argileux avec des traces de pyrite et de lignites.

6- PORTLANDIEN- BERRIASIEN.

Sur 1131 m à partir de la base de la série précédente, et du haut vers le bas, les formations rencontrées sont: - un ensemble carbonaté, constitué de dolomies fines à moyennes et au sommet des calcaires dolomitiques et calcaires argileux parfois biomicritiques. Cet ensemble admet quelques passées d'argiles.

- des alternances régulières de calcaires argileux et d'argiles noires feuilletées.
- du calcaire microcristallin parfois argileux.
- une alternance d'argile indurée et de calcaire micro à cryptocristallin renfermant des traces de pyrite.

7-KIMMERIDGIEN.

Cet étage a été recoupé sur 849 m à partir de la base de la série précédente. Il est formé d'une alternance de calcaire argileux micro à cryptocristallin et crayeux et

d'argiles et marnes indurées et feuilletées.

Plus au Nord, dans le Préatlas, d'autres forages ont été utilisés pour la description lithostratigraphique des régions proches de nos sources thermales. De l'Ouest vers l'Est, quatre forages pétroliers ont été utilisées.

A environ une dizaine de kilomètres à l'Est de Tiaret, le forage Bo-1 (Bourlier N°1) , d'une profondeur totale de 3094m, recoupe les séries suivantes:

1- PLIOCENE.

Sur 18m, la série débute par des conglomérats.

2- PLIOCENE INFERIEUR.

Cet étage est recoupé sur 476m à partir de la base de l'étage précédent. Il renferme des marnes à passées de grès fins glauconieux à ciment calcaire. Vers la base et sur 84m, la série se termine par des microconglomérats à lithotamniées.

3- JURASSIQUE SUPERIEUR- OXFORDIEN.

La série a été recoupée entre 476 et 506m de profondeur. Elle est en majorité calcaire parfois sublithographique à passées de marnes et grès calcaréo-dolomitiques puis dolomies et calcaires dolomitiques à passées d'argile lie de vin. La série se termine par des argiles lie de vin à passées de dolomies graveleuses.

4- JURASSIQUE INFERIEUR.

Cet étage a été recoupé sur 246m à partir de la base de l'étage précédent. Les faciès rencontrés se résument comme suit:

- dolomies et calcaires dolomitiques à passées de marnes.
- des grès calcaréo-dolomitiques puis des dolomies et calcaires dolomitiques à passées d'argiles lie de vin et enfin des argiles lie de vin à passées de dolomies graveleuses.

5- PERMO-TRIAS.

Sur 253m, la série débute par une formation argilo-gréseuse et se poursuit vers la base par des argiles lie de vin.

6- STEPHANO-AUTUNIEN.

Le forage se termine au niveau de cet étage formé essentiellement d'une alternance continue de silts, silts argileux et d'argiles silteuses.

Plus à l'Est et à quelques kilomètres au Sud-Est de Ksar-El-Boukhari à Kef el Birine, on rencontre le forage GRNA ayant une profondeur totale de 3000m. Il recoupe les formations suivantes:

1- MIOCENE AUTOCHTONE.

Ce sont essentiellement des marnes entrecoupées de grès massifs qui se terminent vers la base par des grès grossiers ou conglomérats transgressifs.

2- TURONIEN-SENONIEN INFERIEUR.

Ce sont des calcaires fins et calcaires argileux séparés par des lits de marnes esquilleuses. Vers la base, la série est formée de schistes pyriteux légèrement bitumineux.

3- CENOMANIEN.

Sur environ 300m, à partir de la base de l'étage précédent, la série est essentiellement marneuse à intercalations de bancs de calcaires grumeleux. Cette série se termine sur 350m de profondeur, par des calcaires argileux et des marnes. Des calcaires récifaux et des dolomies peuvent se développer dans cette série.

4- VRACONIEN (ALBIEN SUPERIEUR CALCAIRE).

Il est constitué de niveaux calcaires fins à intercalations de marnes dures.

5- L'ALBIEN ARGILO-GRESEUX (FACIES FLYSCH).

Il est essentiellement argileux et gréseux quartzitique lenticulaire avec de rares passées calcaires. Des grès grossiers littoraux ou même continentaux peuvent apparaître.

6- APTIEN

Il a été recoupé à une profondeur de 3000m et est formé de calcaires récifaux et dolomitiques.

Région de M'Sila.

Dans la région de M'Sila, à l'Est du bassin du Hodna, deux forages de faible profondeur ont été sélectionnés en raison de leur emplacement proche à la fois de Hammam Ksob et de Ain el Djerabaa.

Le forage SN-1, situé au Nord de la ville de M'Sila et à quelques dizaines de kilomètres de Hammam Ksob, recoupe les séries suivantes:

1- MIOCENE MII.

Sur 350m de profondeur à partir de la surface du sol, on trouve des formations essentiellement marneuses, gréseuses et conglomératiques. Au delà, et jusqu'à 1100m, le forage recoupe la série dite d'El Mouilha constituée des formations suivantes:

2- LUTETIEN SUPERIEUR.

Cette série est essentiellement marneuse et marno -gréseuse.

3- OLIGOCENE.

Il est composé de marnes gypsifères à passées de sables et de grès tendres.

4- MIOCENE.

Il est formé de marnes avec des intercalations de grès et est donc chevauché par l'Oligocène.

Au-delà de 1100m, les formations rencontrées appartiennent au MII du monoclinal du Nord du Hodna.

Au Sud - Est de la ville de M'Sila et à quelques kilomètres, le forage CH-1 d'une profondeur de 1450 m, recoupe les étages suivants:

1- MIOCENE.

Son épaisseur est de 1200m. On peut distinguer du bas vers le haut:

- des bancs de gypse et de marnes.
- une série rouge avec un niveau conglomératique.
- une série marneuse.

2- YPRESIEN.

- Au sommet, il est formé de calcaires marneux et de calcaires phosphatés.
- A la base, Il est constitué par des calcaires à silex.

- CONCLUSION -

Le secteur se caractérise par la présence de quatre grands ensembles géostructuraux très individualisés possédant chacun des caractéristiques bien particulières. Ces différents ensembles se relaient du Nord au Sud, accompagnés souvent par une augmentation des épaisseurs des assises et une diversification du matériel sédimentaire.

Au Nord, le secteur est marqué par de faibles déplacements se terminant souvent par des chevauchements et par des affleurements du socle cristallin. Ces derniers sont généralement matérialisés par de petits pointements qui se relaient d'Est en Ouest souvent en contact direct avec des masses calcaires très importantes constituant la chaîne calcaire. La majorité des émergences thermales se situent au sein de cet ensemble souvent sur des accidents importants affectant l'ensemble des formations jusqu'au socle.

Au Sud, cet ensemble est relayé par le domaine des nappes dites d'écoulement souvent superposées et séparées par des contacts très importants orientés Est -Ouest. Ces derniers sont généralement soulignés par du Trias et accompagnés de sources thermales ou froides très minéralisées. L'augmentation de l'épaisseur des sédiments et la diversification du matériel sont remarquables.

Cette augmentation se poursuit vers le Sud dans le domaine des hautes plaines qui jouent le rôle d'un vaste sillon subsident. Les épaisseurs dépassent souvent 4000 m se traduisant par un fort gradient géothermique. La variété des faciès et l'abondance des formations évéporitiques explique le chimisme de certaines sources thermales. Ces fortes épaisseurs s'accompagne et à l'inverse du Nord par une diminution de l'activité séismique comme nous allons le voir ultérieurement.

III.2- FRACTURATION.

III.2.1-INTRODUCTION

De nombreuses études thermales ont tendance à montrer l'étroite relation entre la fracturation et le thermalisme. Presque la totalité des remontées chaudes sont facilitées par une ou plusieurs fractures importantes se recoupant souvent et affectant des reliefs plus ou moins favorables à l'installation d'une source.

Pour cela, une analyse détaillée de notre secteur s'est avérée necessaire. Cette étude s'est effectuée en deux grandes étapes.

Dans un premier temps, l'analyse est purement déscriptive basée sur les anciens travaux effectués dans notre secteur par de nombreux auteurs en particulier J. DEVAUX(1969)...etc.

En seconde étape, nous avons effectué une analyse statistique sur l'ensemble des fractures et linéaments détérminés sur photosatellites et affectant notre secteur afin de confirmer ou d'infirmer l'existence des différentes familles d'accidents décrits par les différents auteurs.

Enfin cette étude sera par la suite résumée par une carte interprétative mettant en relief les relations entre fracturation et thermalisme.

III.2.2- APERCU DETAILLE DES TRAVAUX EFFECTUES.

Les résultats des investigations effectuées sur le littoral algérien se résument comme suit:

- plusieurs fractures profondes ont été décrites pouvant se regrouper aisement en familles d'après leurs directions (J.DEVAUX).

2.a- LES ACCIDENTS WNW-ESE. (J.DEVAUX 1969).

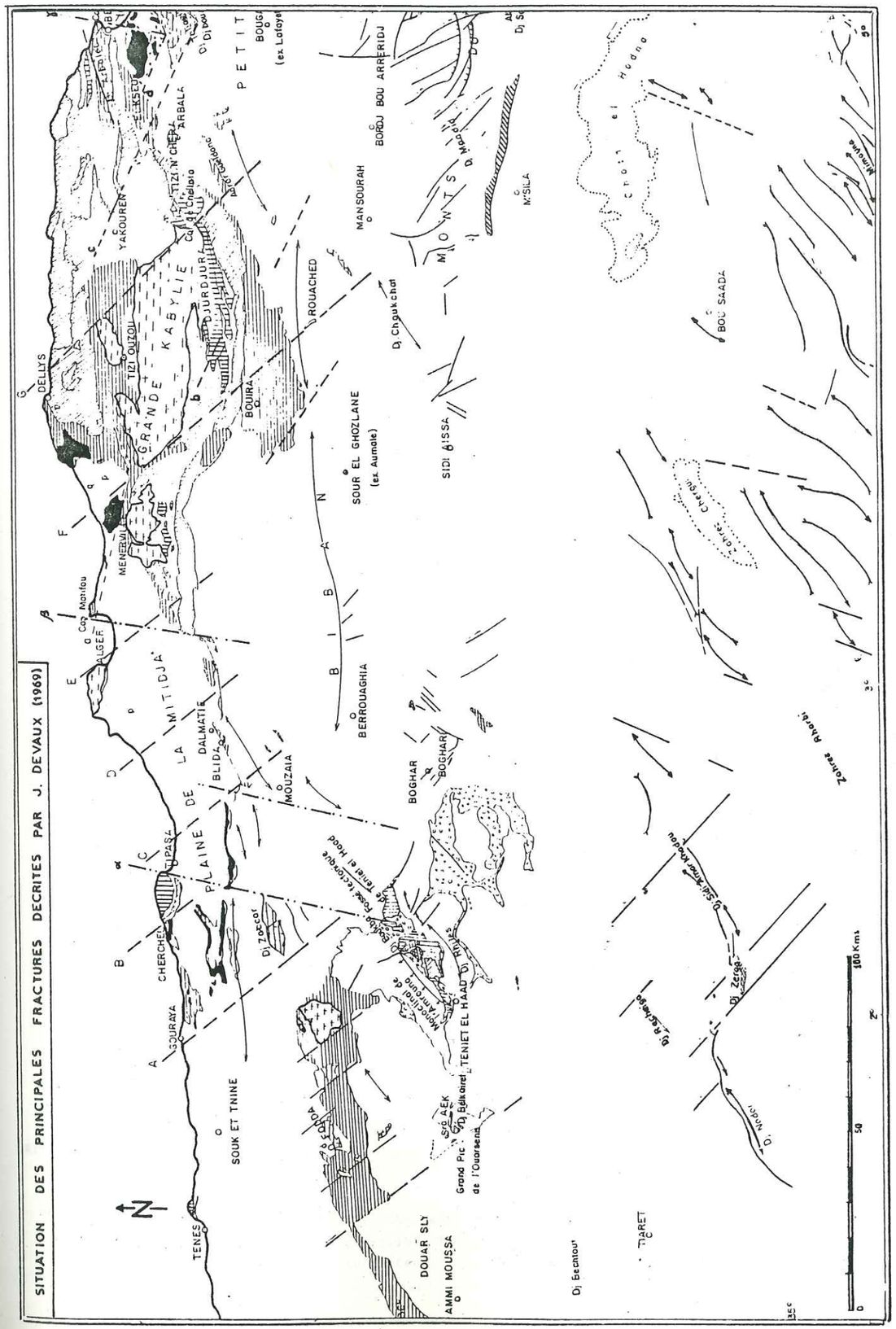
Au total, quatre fractures de cette famille affectent notre secteur d'étude.Ces dernières, nommées a,b,c,d, sont en étroite liaison avec le métamorphisme ou le volcanisme cénozoique.

- Accident a: Ayant une direction N 75° E , est matérialisé à l'affleurement par une faille mettant en contact sur près de 8 km (L. GLANGEAUD 1932) le granite de Ménérville au Nord et du Miocène au Sud.

-Accident b: Ayant à peu près la même direction que l'accident précédent, affecte les séries chevauchantes du massif du Djurdjura sous forme de décrochement dextre (J.FLANDRIN 1952).

- Accident c: Localisé à l'Est de la grande Kabylie et des Babors, cet accident s'observe sur une centaine de kilomètres. Il est matérialisé à l'Est de Yakouren par une fracture de douze kilomètres ayant une direction N 65°W qui représente probablement la fracture thermale de Hammam EL Kéria.

-Accident d: Il est probablement le satellite du précédent. Cet accident constitue la limite entre une zone à abondantes extrusions volcaniques cénozoiques, une zone métamorphisée et une zone indemne.


SITUATION DES PRINCIPALES FRACTURES DECRITES PAR J. DEVAUX (1969)
PETIT
GRANDE KABYLIE
DJURDJURA
MENERVILLE
TIZI OUZOU
YAKOUREN
DELLYS
ROUACHED
BOURA
MANSOURAH
BORDJ BOU ARRERIDJ
MONTS
SOUR EL GHOZLANE
(ex Aumale)
SIDI AÏSSA
M'SILA
BOU SAADA
LA MITIDJA
DALMATIE
BLIDA
MOUZAIA
BERROUAGHIA
BOGHAR
CHERCHEL
TIPASA
SOURAYA
SOUK ET TNINE
TENES
DOUAR SLY
AMMI MOUSSA
TENIET EL HAAD
Grand Pic de Belkoniet
de l'Ouarsenis
Zones Rhodaniennes
Zones Mauritaniennes
Zones Internes
Zones Externes
Nappe de Tenes
Nappe de Tenes Recouverte
Nappe de Tenes Recouverte
Nappe de Tenes Recouverte

LEGENDE STRATIGRAPHIQUE

QUATERNAIRE — q

PLIOCENE — p

MIOCENE POST-NAPPE

NAPPE ULTRA — Oligocène numidien; Flysch

HAUT-FOND BERBERE — Oligocène Kabyle; Paléozoïque à Eocène; Socle

MIOCENE ANTE-NAPPE AVEC OLISTOSTROMES

ELEMENTS CHARRIES AU NUMMULITIQUE SUP.

CRETACE (Bati rigide)

JURASSIQUE (Bati rigide)

JURASSIQUE ET CRETACE A FACIES MARNEUX

TRIAS

PALEOZOIQUE ET SOCLE

VOLCANISME CÉNOZOÏQUE
(Extrusions et effusions non différenciées)

METAMORPHISME
(Engendré par le volcanisme cénozoïque)

FIGURES

Accidents importants appartenant à diverses familles

Faille d'importance secondaire

Faille à rejet vertical avec indication (triangles) du coté affaissé

Faille chevauchante avec barbules vers le compartiment chevauchant

Faille de décrochement avec sens du déplacement horizontal

Axe anticlinal

Axe anticlinal avec culmination

Axe synclinal

Axe synclinal avec dépression maxima

0 — 50 — 100km.

ECHELLE : 1/1.000 000

J DEVAUX

Publ. Serv. géol. Algérie (Nlle Série) Bull. Nº 39

2.b–LES ACCIDENTS NW– SE.

L'ensemble du littoral algérien est affecté par treize accidents (voir carte) nommés A à M. Parmi ces derniers, sept seulement affectent notre secteur. Ces accidents sont appelés A à G et ont généralement une direction N50° W à N45° W. Les importants décrochements latéraux auxquels ils donnent naissance sont tous dextres. D'Ouest en Est on rencontre les accidents suivants:

–Accident A: cette suture borde au Sud-Ouest le massif du Zaccar et limite en même temps les fractures qui lui sont associées.

– Accident B: c'est un accident profond limitant les plans de chevauchement. Il joue le même rôle que F et I.

–Accidents C.D.E: ces accidents ne sont cités qu'à titre d'hypothèse (J. DEVAUX 1956).

–Accident F: : Cette importante géosuture est caractérisée par l'extravasion du Trias à Rouached. L'origine profonde du Trias a été démontrée par géophysique (KIEKEN 1960–1962). Certaines anomalies géochimiques et géothermiques constatées dans la région peuvent trouver une explication grâce à cet accident.

–Accident G: il limite aussi, au moins partiellement, les massifs cristallins de la chaîne calcaire (L. DUPLAN 1952).

2.c – ACCIDENTS N10° E.

Cette famille n'est représentée, dans notre secteur, que par trois accidents qui affectent le littoral algérien. Ils sont nommés α, β, γ . Cette direction est très nette dans tout le domaine rifain et atlasique. Dans la région de Mouzaia, un accident du même type a été déterminé que nous avons nommé accident de Mouzaia

–Accident α: appelé encore faille de Cherchell, il sectionne abruptement vers l'Est les unités chevauchantes ou nappées de Cap Chenoua et forme aussi la bordure orientale du djebel Zaccar.

–Accident β: cet accident est appelé encore faille de Cap Matifou. Il met fin à l'Ouest aux affleurements de la chaîne calcaire et de la nappe du flysch.

– La faille de Bougie: bien que située en dehors de notre secteur, il est cependant important de la mentionner.

Cette direction peut être interprétée comme une série d'accidents conjugués à la direction NW-SE traduisant une compression Nord-Sud (Revue I.F.P 1976).

Au Sud, dans le domaine atlasique, quatre familles d'accidents ont été mises en évidence. Elles se présentent comme suit:

2.c– Accidents E-W (direction telliennne).

Les monts du Hodna sont affectés à l'Est par des failles de direction approximative E-W. Leur bordure méridionale est cependant soulignée par une importante flexure de même direction.

Au Nord, une flexure plurikilométrique, se transformant en profondeur en faille franche (M.KIEKEN 1975) de direction toujours E-W, sépare les zones bibanique et subbibanique. Cette grande fracture court sur environ 150 km de Berrouaghia à l'Ouest

jusqu'aux Bibans (Portes de Fer) à l'Est. Cependant les coeurs des anticlinaux, formant l'essentiel de la structure bibanique, de direction E-W, sont bourrés de Trias ayant une origine profonde. Cette formation explique les importants dépôts observés autour des griffons des différentes émergences chaudes jalonnant ce contact.

Dans la région de M'Sila, ces cassures peuvent correspondre à des rejeux plus ou moins successifs du socle.(A. GRANDJEAN, R. GUIRAUD et J.POLVECHE(1965).

2.d- ACCIDENTS WSW-ENE.(direction atlasique).

Cette direction est très nette dans le domaine rifain. Elle est également caractéristique de l'Atlas saharien où de nombreuses flexures lui correpondent. La plus méridionale de ces dernières, englobant en réalité divers accidents, est couramment nommée " flexure saharienne".

2.e - TRANSVERSALE SW-NE.

Cette direction, oblique aux édifices structuraux superficiels (nappes, plis... etc.),est primordiale et connue dans la virgation de la flexure saharienne au Sud du Hodna. Elle est également prépondérante partout à l'Est de la vallée de la Soummam (Revue I.F.P1976). Elle peut correspondre à d'anciennes structures primaires ou précambriennes ayant rejoué lors des plissements alpins (A. GRANDJEAN, R.GUIRAUD et J.POLVECHE 1965).

Ces fractures transversales, appelées géosutures de troisième ordre par L. GLANGEAUD (1951), se matérialisent par des failles injectées de Trias ou d'autres perturbations dans les structures telliennes atlasiques. Une seule faille de ce réseau affecte notre secteur. Elle est connue sous le nom de transversale de Souagui-Boughzoul.

Ces failles ont joué un rôle trés important lors des seismes à des époques trés récentes selon de nombreux auteurs.

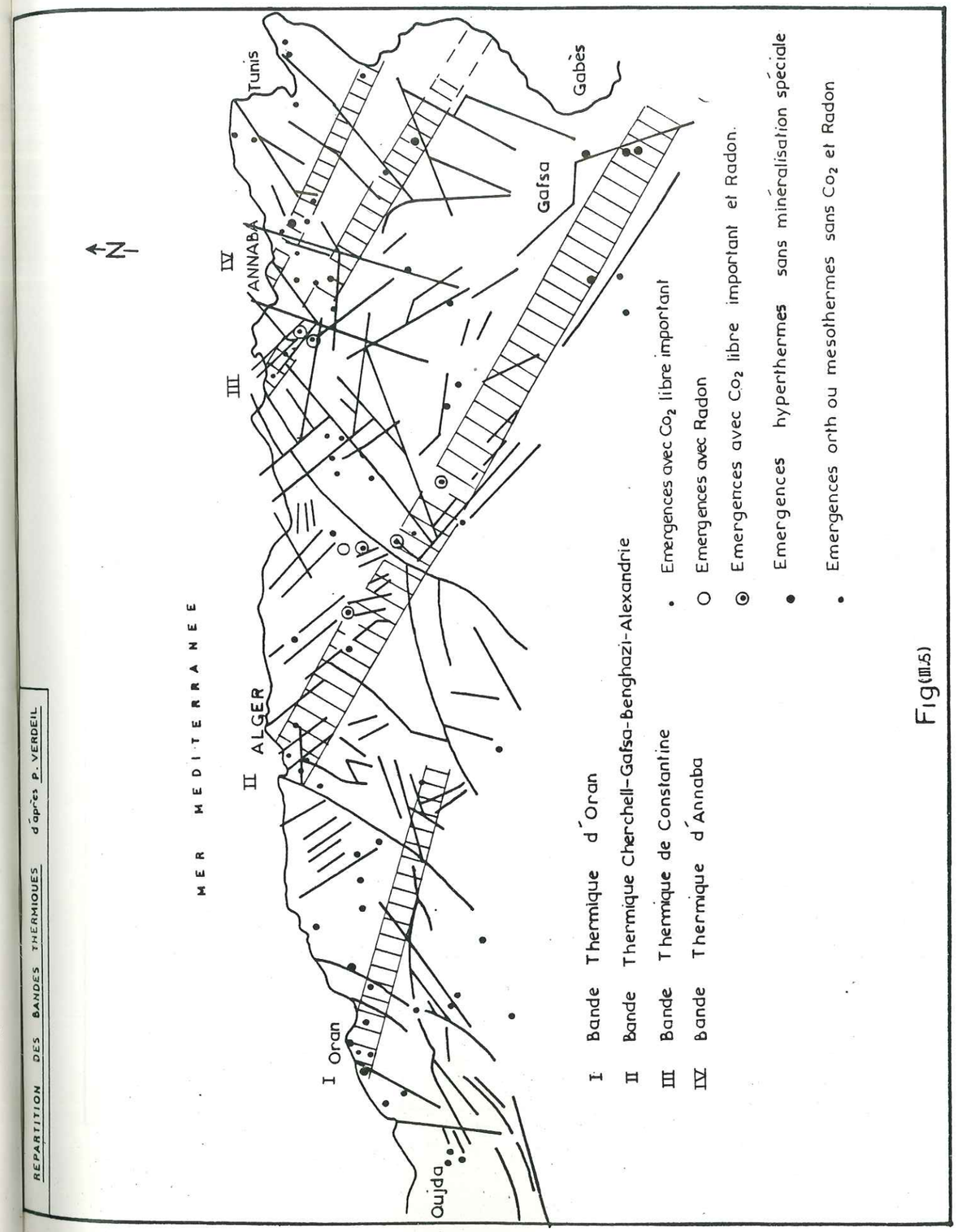
D'après P. VERDEIL (1980), l'évolution tectonique de l'Algérie septentrionale semble compter quatre périodes au cours de l'orogenèse alpine. La plus importante est la période post-orogénique au cours de laquelle le schéma structural prend son aspect actuel. Elle débute au Miocène, aprés la mise en place des nappes et des séries chevauchantes.

Durant le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur et parallèlement à la mise en place de roches intrusives (granodiorites) ou effusives de types divers, les effets de relaxation permettront l'ouverture de grands fossés subsidents obliques par rapport à la zonalité Est-Ouest.

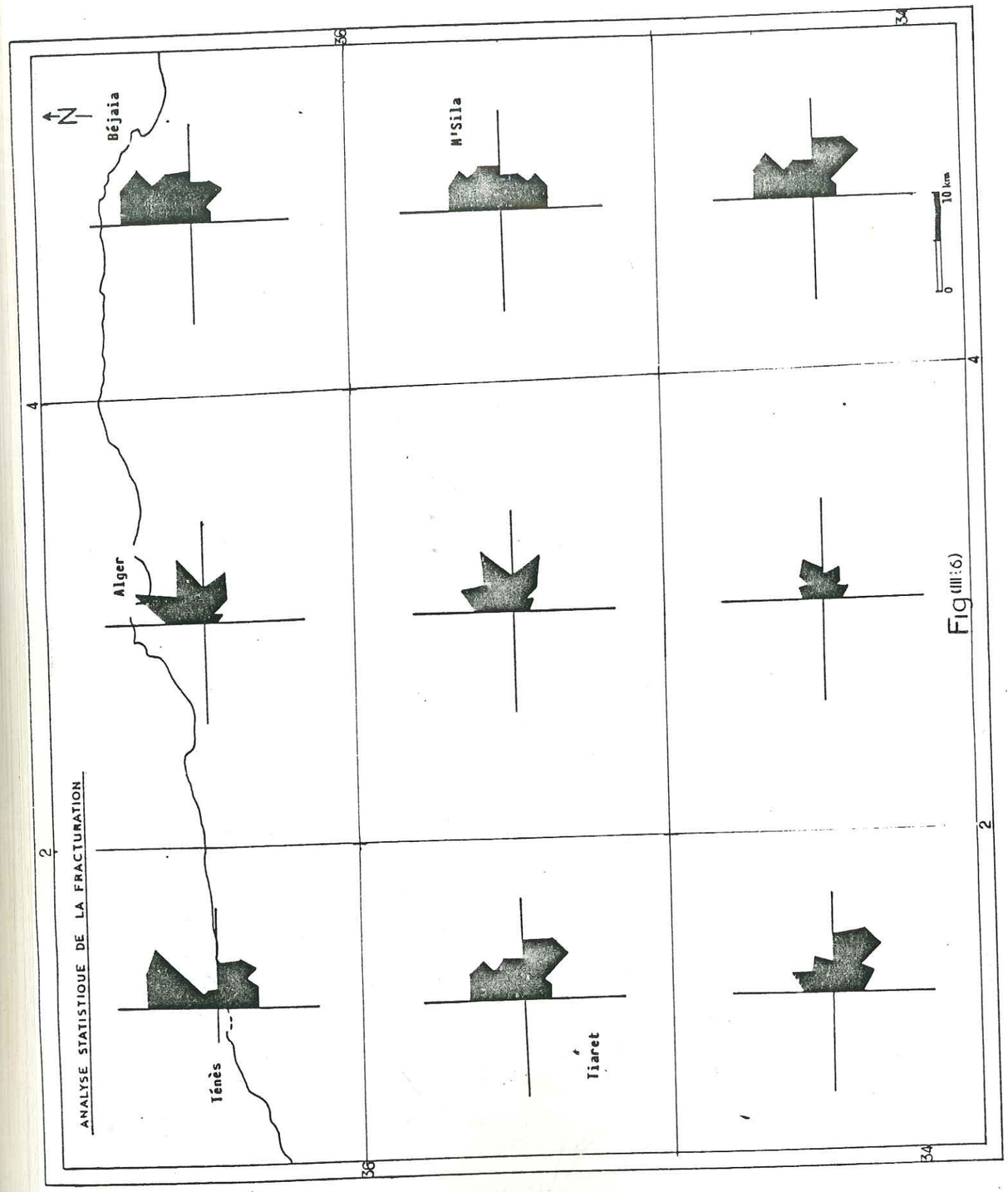
Un très grand accident se suivrait à travers les territoires de l'Algérie, de la Tunisie et de la Lybie pour venir en Egypte ou il se conjugue au système de fracturation de Suez et des grands lacs de Paléstine. Il se prolonge également à travers la Méditerranée, jalonné par, une série de points chauds. Ce couloir présente une série de repliques qui sont autant de failles transformantes présentant une orientation similaire jalonnées par des griffons thermaux.

Toujours selon le même auteur, quatre bandes thermiques ont été définies. Ces dernières sont:

- **la bande thermique d'Oran.**
- **la bande thermique de Cherchell, Ténès, Gafsa, Alexandrie.**
- **la bande thermique de Constantine.**



Fig(III.5)



Fig(III.6)

- la bande thermique d'Annaba.

Notre terrain d'étude est parcouru par la plus importante bande partant de Cherchell jusqu'à Alexandrie. (voir fig(III.5)).

Sur ces bandes thermiques, les griffons thermaux sont inégalement répartis. Ils se regroupent en nids sur les zones d'interférence entre ces accidents N 115° et N 140° E et des réseaux de failles conjuguées d'âge quaternaire et d'orientation voisine de N 20° E.

III.2.3-Travaux effectués.

La deuxième étape de notre travail est basée sur les cartes interprétatives établies à partir des photosatellites. Les linéaments déterminés par ce type de photos ont été soumis, en particulier ceux affectant notre terrain d'étude, à une analyse statistique et à une comparaison avec les travaux décrits en première partie de cette étude afin de confirmer ou au contraire d'infirmer la liaison entre le thermalisme et la fracturation d'une part et les hypothèses émises par les nombreux auteurs d'autre part.

Deux méthodes différentes ont été utilisées pour la détermination des différentes familles. Les résultats de cette analyse se résument comme suit:

1ere- METHODE.

Cette méthode, très courante en géologie structurale, repose sur le comptage des fractures d'une région donnée. Le pourcentage que représente chaque famille ayant une direction donnée par rapport à l'ensemble sera reporté sur un cercle. Ce dernier donne ainsi la répartition spatiale des différentes familles et la direction prédominante dans la zone étudiée. L'utilisation de cette méthode dans notre secteur a imposé le découpage de ce dernier en plusieurs zones arbitraires ayant des surfaces plus ou moins égales. Les résultats obtenus confirment l'existence des différentes directions précitées. (voir fig(III.6)

Nous avons noté la prédominance de la direction NNW - SSE à WNW - ESE au Nord dans tout le Tell avec en parallèle la direction conjuguée à la précédente en l'occurrence NNE - SSW.

Dans la partie méridionale du Tell, les mêmes directions persistent avec cependant une légère variation à l'Ouest où nous avons noté dans les monts de l'Ouarsenis le développement de fractures ayant une direction NW - SE.

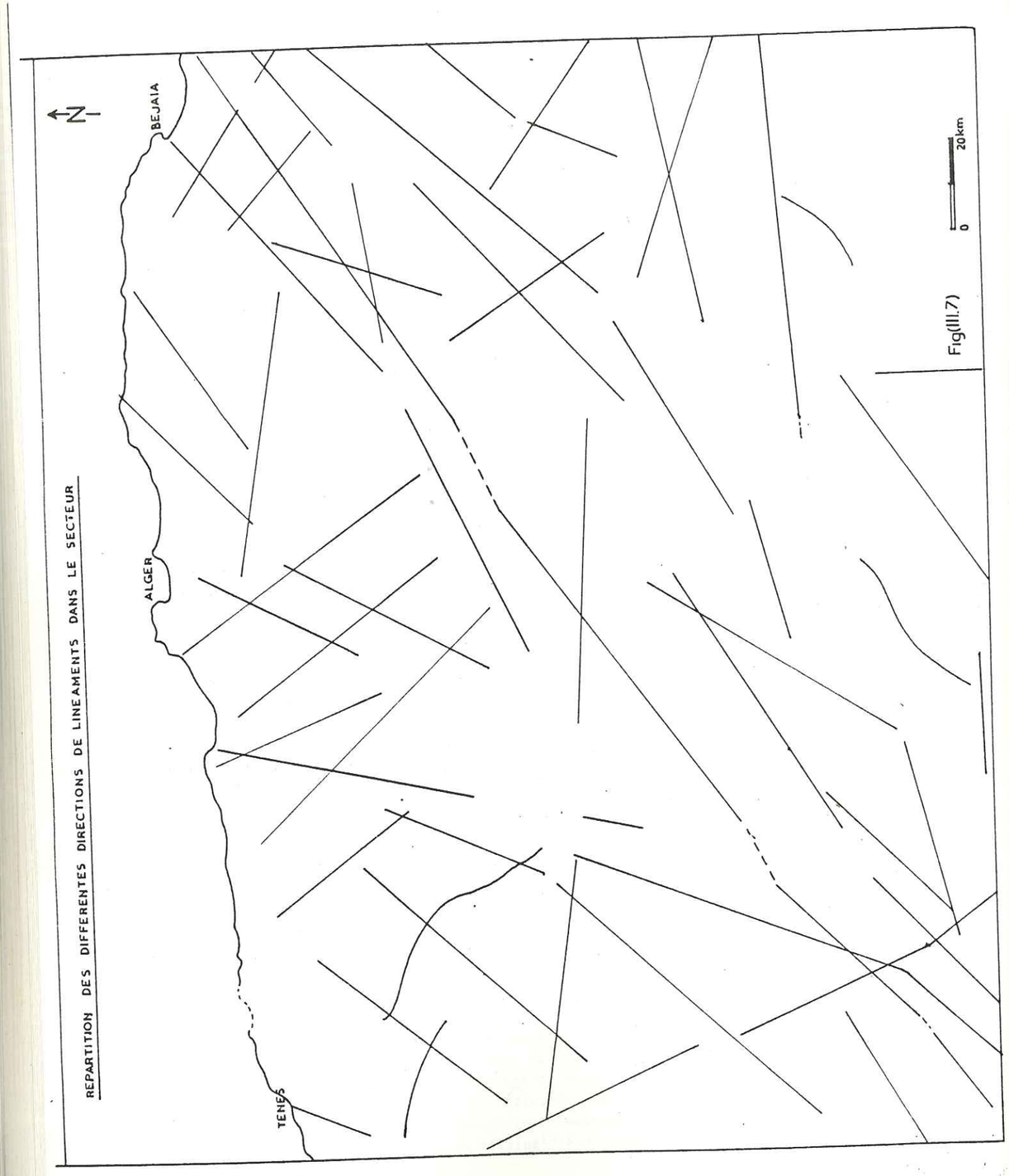
Au Sud de notre secteur, à l'Est comme à l'Ouest du domaine atlasique, les directions NW - SE prédominent toujours avec en parallèle une confirmation de plus en plus marquée de la direction E -W

Au centre, les fractures de direction NW - SE sont prédominantes dûes probablement à la strucutre profonde du bassin et aux mouvements du socle.

2eme - METHODE.

L'utilisation de cette seconde méthode est moins courante que la précédente. Elle est basée sur le carroyage plus ou moins serré de tout le secteur considéré et par la suite sur le comptage des fractures passant dans chaque carreau qui couvre dans notre cas une surface d'environ 1 km2. Des courbes d'isodensités de fracturation seront par la suite tracées donnant des formes ayant des directions d'allongement à peu près identiques à celles des fractures prédominant dans la région. Les résultats de cette analyse sont reportés dans la figure (III. 7).

On distingue la prédominance de la direction NW -SE de même que leurs conjuguées



dans tout le Tell.

Dans le Tell méridional, en plus des directions précitées s'ajoute la direction E - W, appelée encore direction atlasique.

Au Sud, dans le domaine atlasique, la direction NE - SW apparaît avec cependant la disparition presque quasi-totale à l'Est et au centre des directions conjuguées.

Du point de vue thermal, seulement trois directions sont en étroite relation avec les nombreuses émergences chaudes. Un grand nombre de sources chaudes hyperthermales ou mésothermales et parfois même des hypothermales se situent sur une ou plusieurs fractures souvent entrecroisées, de direction soit NE -SW soit E -W généralement très importantes, affectant les formations profondes et arrivant parfois jusqu'au socle.

III.2.4- CONCLUSION -

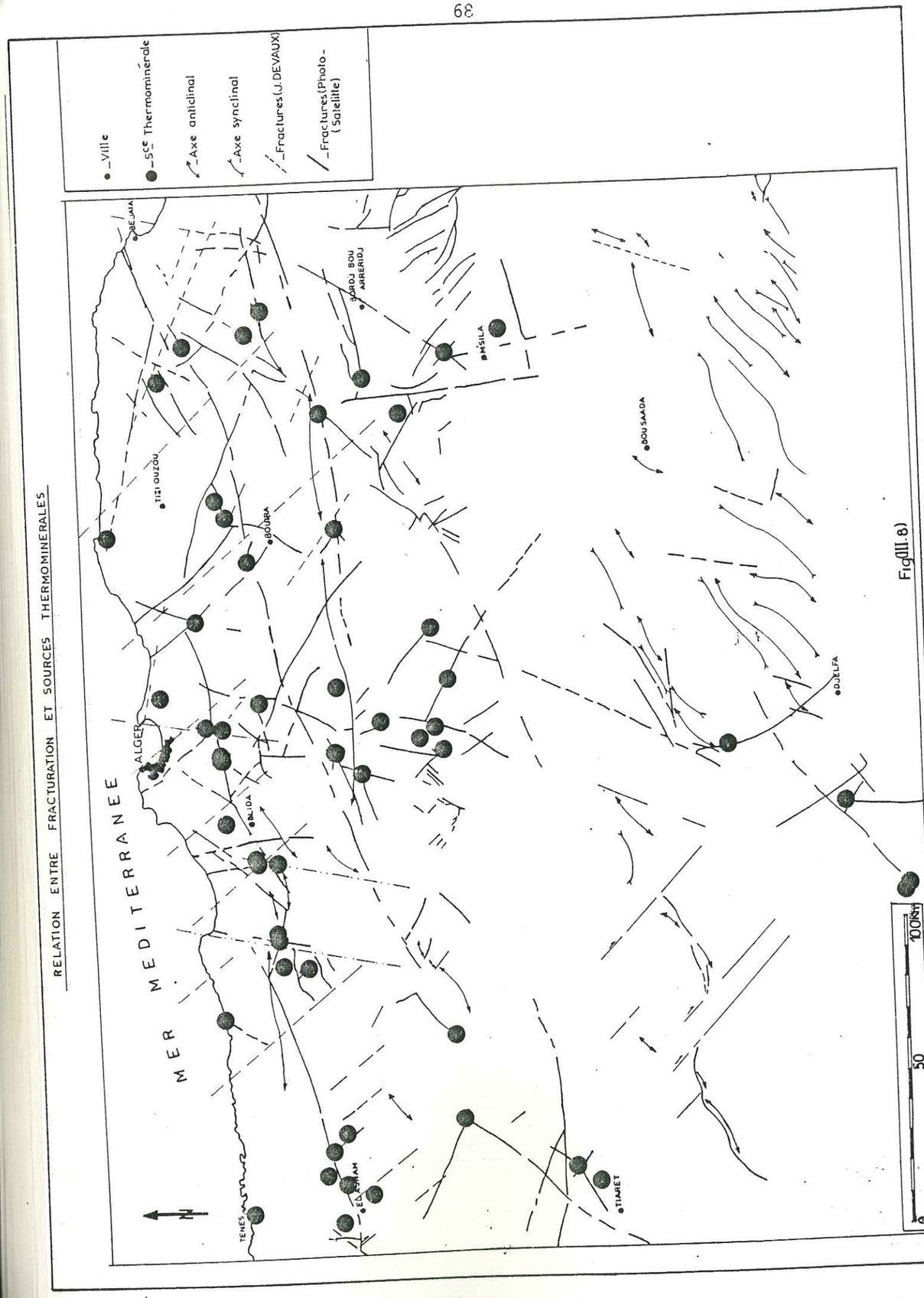
Le réseau de fractures affectant l'ensemble de l'Algérie du Nord, est le résultat des différentes phases tectoniques qui se sont succédé dans le temps. Les différentes familles résultant de ces phases sont généralement orientées suivant trois grandes directions qui sont:

- **WNW - ESE.**
- **N 10° E, N 50° E et ENE - WSW.**
- **Les accidents directionnels E - W.**

Ces accidents sont généralement plurikilométriques et entrecroisés. Leurs points d'intersection sont souvent jalonnés par une ou plusieurs émergences chaudes tres importantes.

Une grande partie de ces émergences est située sur des fractures d'orientation NW - SE ou sur leurs conjuguées. Le rejeu de certains accidents par suite de séismes récents dûs probablement à la confrontation des plaques africaine et européenne, a fait à la fois disparaître et apparaître certaines sources.

Il n'est pas exclu, en raison de l'ampleur des fractures, que ces dernières affectent le socle cristallin et permettent ainsi la libération d'un flux de chaleur très important réchauffant les nappes aquifères sus-jacentes.



Fig(III.8)

III.3- GRAVIMETRIE.

III.3.1- INTRODUCTION.

Les travaux de recherche gravimétrique entrepris au cours de cette étude, ont pour objectif la confirmation de certaines hypothèses structurales et leur liaison avec les sources thermales. J. LAGRULA (1951) ont établi une carte gravimétrique du centre algérien faisant ressortir les différentes anomalies. Ces dernières nous ont permis cependant de visualiser les variations, en particulier des épaisseurs, d'une région à une autre et par cela la disposition du socle cristallin.

III.3.2- APERCU DES TRAVAUX EFFECTUES.

Les travaux de J. LAGRULA, effectués en 1951, couvrent toute l'Algérie du Nord. Une carte isoanomale a été dressée faisant apparaître les zones à anomalies positives et les zones à anomalies négatives. (voir figure (III.9)).

III.3.2.1- ZONES A ANOMALIES POSITIVES.

L'analyse gravimétrique montre une forte anomalie positive variant de +40 à +70 milligals sur le littoral algérien. Ce phénomène peut s'expliquer par l'existence d'une érosion intense accompagnée d'une remontée du socle cristallin.

Au Sud, l'esquisse structurale de l'Atlas méditerranéen, montre que les affleurements primaires et antéprimaires sont bordés par la chaîne calcaire dont le tracé coincide sensiblement avec l'isoanomale + 50 de Ténès à Bougie. La deuxième zone à anomalie positive, moins importante que la précédente, couvre toute la région de Chellala ainsi que les régions voisines. Les anomalies enregistrées varient entre +20 et +30 milligals.

La troisième zone à anomalies faiblement positives, couvre d'Ouest en Est, le Nord de l'Ouarsenis, les Bibans et les Babors, allant jusqu'à Sétif et Batna.

A. GRANDJEAN, R. GUIRAUD et J. POLVECHE (1965), estiment que l'anomalie positive, en particulier dans les zones hautes de l'Ouarsenis, des Bibans, des Babors et des hautes plaines, ne s'explique que par une position du socle très proche de la surface.

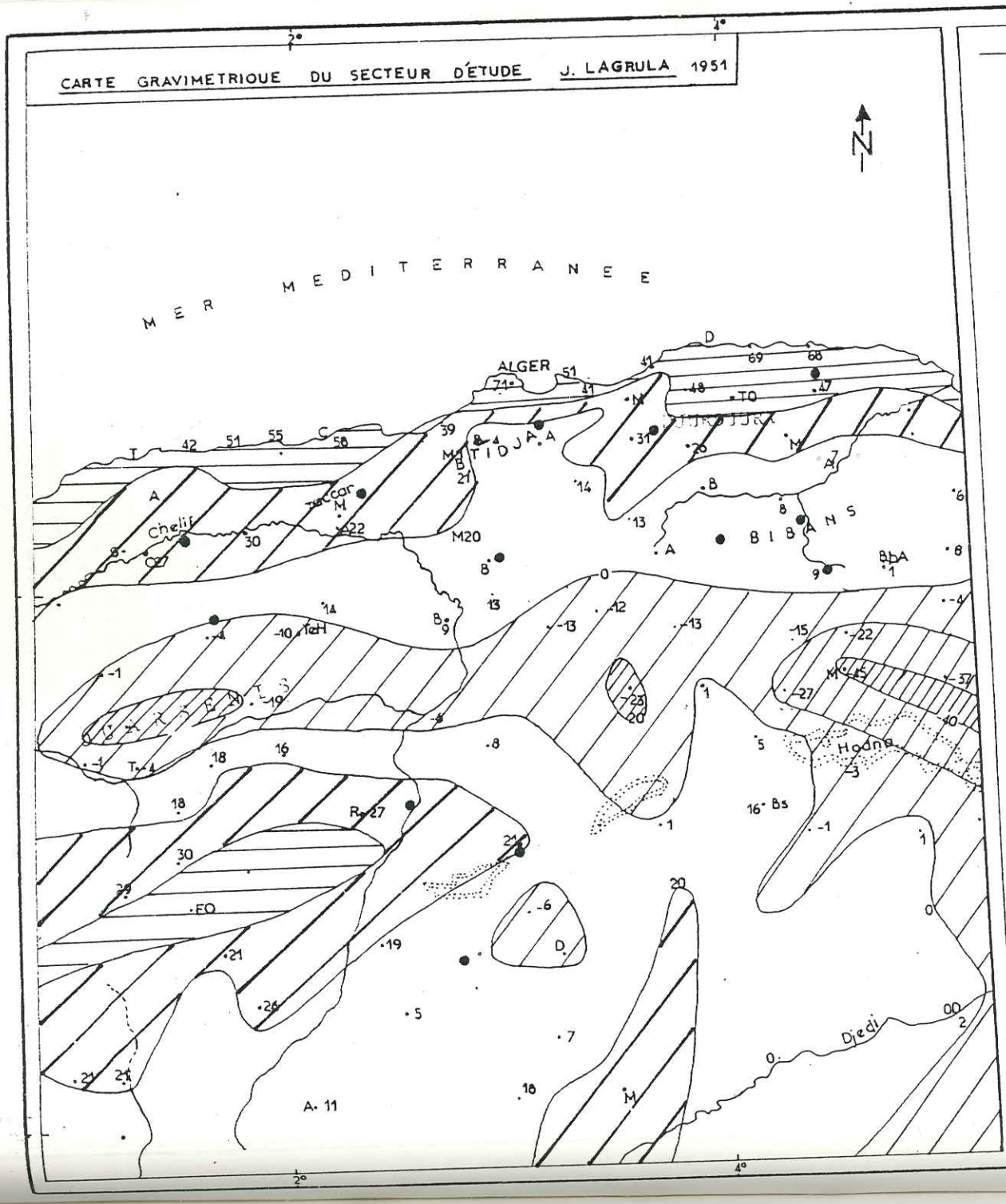
L'analyse des cartes géologiques de notre secteur montre en effet des affleurements du socle cristallin au Nord le long du littoral, de même que l'examen des forages pétroliers implantés par la SONATRACH au Sud, en particulier dans la région de Chellala proche de Hammam Seguine, montre une faible épaisseur des sédiments et par conséquent une position du socle relativement proche de la surface.

III.3.2.2- ZONES A ANOMALIES NEGATIVES.

Les anomalies négatives enregistrées dans notre secteur sont surtout prédominantes au Sud. L'ensemble du bassin subsident du Hodna ainsi que les monts des oulads Nails sont caractérisés par des anomalies négatives, variant entre -1 et -45 milligals.

Au Nord de l'Algérie, les anomalies négatives couvrent toute la zone s'étendant d'Est en Ouest depuis Barika jusqu'à Tissemsilt en passant par M'Sila. Trois bassins se relaient de l'Ouest vers l'Est, séparés par des seuils à anomalies réduites. Ce sont les bassins de Tissemsilt, Birine et M'Sila. Par ces seuils passent les transversales de Boughezoul entre Tissemsilt et Birine, et de Bordj Welvert entre Birine et M'Sila (GRANDJEAN, R. GUIRAUD et J. POLVECHE 1965).

CARTE GRAVIMETRIQUE DU SECTEUR D'ÉTUDE J. LAGRULA 1951



ANOMALIE

- _ Superieur à 40 milligals.
- _ De +20 à +40
- _ De 0 à +20
- _ De -20 à 0
- _ De -40 à -20
- _ Négatives superieures, en valeur absolue, à 40 milligals
- ● _ SOURCES THERMALES
- • _ VILLE

ECHELLE : 1/ 2.500.000

Fig (III. 9)

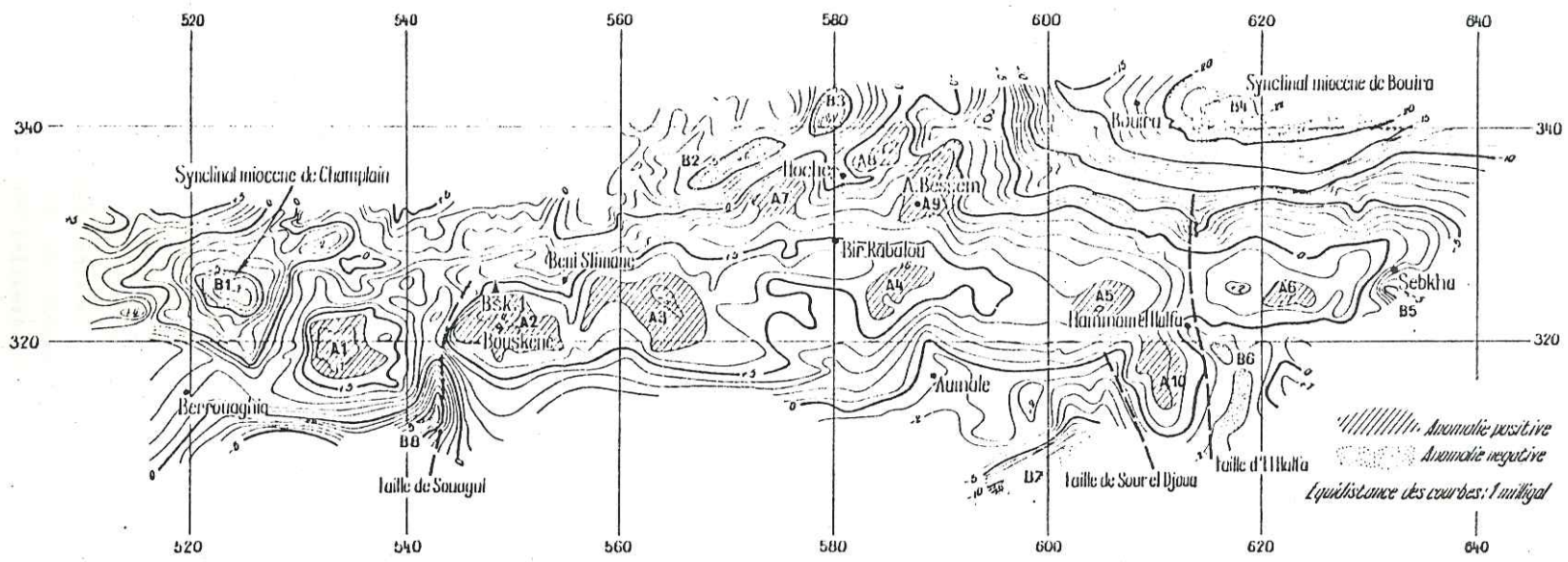


Fig (III. 9 bis) . — Résiduelle graphique de l'Anomalie de Bouguer (D = 2,4) établie par la Cie Gle de Géophysique pour la Cie Algérienne de Recherches pétrolières (C.A.R.E.P.).

Région Bibanique.

La seconde étude que nous avons utilisée est plus locale et a été effectuée par la CAREP dans la région bibanique. On constate un gradient très élevé au-dessus de la flexure décrite par M. KIEKEN (1975). Les anomalies positives, dispersées en petits noyaux se relaient d'Est en Ouest passant par Hammam El Halfa à l'Est et Bir Ghbalou, Bouskène jusqu'à Berrouaghia à l'Ouest. Il n'est pas exclu que cette anomalie se poursuive jusqu'au-delà des Bibans plus à l'Est. fig(III.10)

De part et d'autre de cet axe positif, les anomalies ont tendance à se réduire pour devenir négatives indiquant probablement un enfouissement du socle et l'augmentation de l'épaisseur des sédiments.

Parallèlement à la flexure, d'autres failles subperpendiculaires ressortent de cette analyse. A l'Est, on note la faille de Hammam Ksenna (El Halfa) avec, à l'Ouest de celle-ci, la faille de Sour el Djoua. A l'Ouest, la faille de Souagui, de direction approximative N -S, sépare une zone à anomalie positive à l'Est et une zone négative à l'Ouest.

Du point de vue thermal, deux importantes constatations résultent de cette analyse.

1- Les zones à anomalies positives couvrent près de 60% de la surface totale de notre secteur avec de fortes anomalies au Nord au niveau des affleurements primaires qui se réduisent au fur et à mesure que l'épaisseur des sédiments constitutifs de la couverture augmente. Elles deviennent de plus en plus négatives au niveau des bassins subsidents en particulier du Hodna ou l'épaisseur des sédiments dépasse 4000m.

2- La majorité des sources chaudes inventoriées, en particulier les hyperthermales ainsi que les mésothermales, se situent dans les zones à anomalies positives. Ceci peut en effet expliquer les anomalies thermiques et chimiques constatées dans la région.

- DOMAINE ATLASIQUE.

Les anomalies positives enregistrées dans le domaine pré-atlasique ont tendance à diminuer vers le Sud et le Sud-Est respectivement au Sud de Djelfa et au Nador marquant ainsi la réduction del'épaisseur des sédiments de nature variée (voir forage DOG.1) et donc la remontée du socle. Certains forages pétroliers effectués dans le secteur ont atteint le socle cristallin à environ 4000 m.

III.3.3- CONCLUSION -

La brève analyse gravimétrique, a fait apparaître les zones à anomalies positives et celles à anomalies négatives.

Au Nord, les zones à anomalies positives coincident avec les pointements métamorphiques et les secteurs caractérisés par une position du socle proche de la surface. Cette remontée du socle, caractéristique du Nord, s'observe également au Sud et au Sud-Ouest de notre secteur dans la région du Nador ainsi qu'au Sud de Djelfa.

Les zones à anomalies positives renferment le plus grand nombre de sources hyperthermales et mésothermales.

Vers le Sud et au-delà du domaine tellien, les anomalies gravimétriques ont tendance à se réduire et à passer à des valeurs négatives marquant ainsi à la fois l'augmentation des épaisseurs et l'enfouissement du socle cristallin .Les sources sont généralement hypothermales et froides. Les anomalies thermiques constatées dans la région sont probablement liées au gradient géothermique et aux réactions exothermiques résultant de la mise en solution de certains éléments d'origine évaporitique (hydratation des sulfates).

III.4- ANALYSE DE LA SEISMICITE.

III.4.1- INTRODUCTION.

Les nombreuses études effectuées dans différentes régions du monde, montrent en permanence les importants flux de chaleur dus aux frottements lors des séismes aboutissant à l'élévation de la température des eaux thermales. En revanche ces mouvements jouent négativement sur certaines sources provoquant parfois leur tarissement par suite du rejeu d'une fracture.

De nombreux travaux, entrepris dans toute l'Algérie du Nord, montrent la forte activité séismique des différents domaines structuraux, en particulier le Tell. Parallèlement à cela, la forte concentration des sources chaudes dans le secteur montre le rapprochement des deux phénomènes.

Nous essayons, au cours de ce bref aperçu, de faire ressortir les secteurs actifs et de confirmer dans la mesure du possible les relations qui existent entre le thermalisme et la séismicité.

Les différents auteurs qui se sont penchés sur le problème de la séismicité en Algérie, en particulier J.P ROTHE (1950), GUIRAUD (1974), ... etc, soulignent la forte séismicité du domaine tellien ainsi que de la flexure saharienne.

III.4.2- ETUDE DE LA SEISMICITE.

La carte au 1/200.000, établie par J.P ROTHE en 1950, regroupe la totalité des séismes depuis 1719. Les différentes régions séismiquement actives apparaissent.

Une grande partie des foyers sismiques se situe dans le domaine tellien sur des fractures ayant généralement des directions NW - SE.

GRANDJEAN et LAGRULA regroupent ces séismes en deux essaims principaux qui se présentent comme suit:

- le premier se localise à l'Ouest hors de notre secteur.
- Le second s'étend du Cheliff (Orléansville) à l'Ouest jusqu'à M'Sila à l'Est en passant par Médéa, Mansourah et Sétif. Il correspond le plus souvent à des bordures de bassins subsidents au Néogène, séparés ou limités par des zones anticlinales de surréction récente (Bou Maad, Atlas de Blida, Bibans, Monts du Hodna, chaîne du socle Kabyle).

Ces différents ensembles structuraux sont eux-mêmes découpés par des accidents NW - SE, direction que l'on retrouve pour des fractures datant de l'époque hercynienne au niveau du Hodna et des Aurès.

Les massifs paléozoiques sont stables mis à part la bordure du Sahel où quelques séismes sont liés d'après J.P ROTHE (1955) à un pli masqué sous le bord nord de la Mitidja.

La majorité des séismes affectant la zone nord de notre secteur, suivent des bandes souvent orientées NW - SE ou encore NE -SW. Ces deux principales directions sont les plus fréquentes dans le domaine tellien.

Trois zones très actives, caractérisées par une forte concentration de foyers séismiques, apparaissent au Nord dans le bassin du Cheliff, Blida et à un degré plus faible au Sud de la Kabylie.

Au Sud, dans les domaines préatlasique et atlasique, l'activité séismique se réduit considérablement jusqu'à s'annuler dans certaines régions, en particulier dans toute la surface limitée par Boghar au Nord, Djelfa au Sud, Tiaret à l'Ouest et Bou Saada à l'Est. fig(III.11).

Récemment et suite au séisme du 10 octobre 1980, de nombreuses modifications ont été enregistrées au niveau des sources locales sur un rayon d'environ 100 km. Plusieurs sources ont tari; cependant certaines ont revu le jour plus tard. D'autres modifications ont été observées se traduisant par des variations du débit et par la diminution des dégagements gazeux au niveau de certains puits(Mouzaia) et sources thermales (Hammam Righa).

La région du Cheliff a été le siège de nombreux travaux à la suite de ce séisme. L'analyse de M. OUYED (1981) a donné les résultats suivants:

-la faille provoquée par le séisme est inverse, longue de 40 km et ayant une direction NE - SW. La distribution spatiale des repliques indique une profondeur de la faille de 12 km au maximum avec un pendage vers le NW. Ceci montre un chevauchement du compartiment nord sur celui du sud suivant une direction de compression NW -SE provoquant l'écrasement des circuits hydrothermaux de certaines sources situées sur des fractures ayant la même direction.

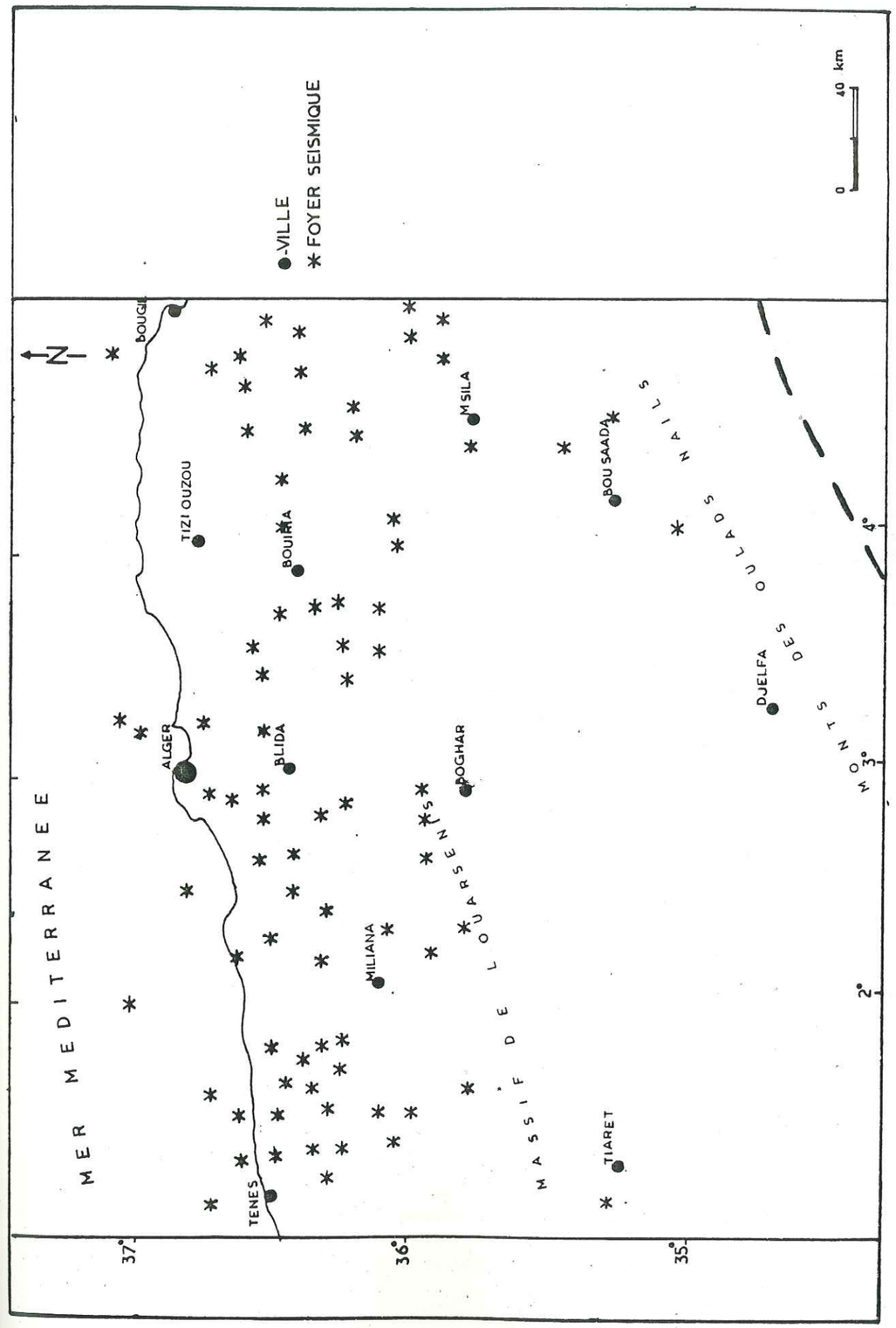
Ces observations faites sur le séisme du Cheliff sont fort intéressantes dans la mesure où elles permettent d'expliquer le tarissement de certaines sources de la région ou la modification de certains paramètres tels que le débit et la température.

III.4.3- CONCLUSION.

L'analyse séismique fait donc apparaitre un certain nombre d'observations très importantes qui sont: - une forte concentration des foyers séismiques dans le domaine tellien souvent près d'une ou plusieurs sources thermales.

- ces séismes sont souvent accompagnés de sources thermales et alignés le long d'une fracture ayant une des trois directions suivantes: NW-SE, NE-SW ou E - W.

- l'activité séismique de la région Nord se traduit souvent par une modification des caractères physico-chimiques des sources montrant ainsi l'étroite relation entre les deux phénomènes.



Fig(III.10): Répartition des principaux foyers séismiques en Algérie centrale.

III.5 - CONCLUSION -

Le secteur étudié est caractérisé par la présence de trois des quatres ensembles géostructuraux algériens. Ces ensembles se relaient du Nord au Sud selon le dispositif suivant:

- le domaine Tello-Rifain qui se subdivise en: Tell septentrional et Tell méridional.

- le domaine des hauts plateaux qui se poursuit plus au Sud par -le domaine Atlasique. Ces deux ensembles sont séparés par l'accident Sud atlasique.

Le domaine Tello-Rifain, caractérisé par une forte tectonisation se traduisant par des déplacements, est un domaine de chevauchement au Nord dans le Tell septentrional et de charriage vers le Sud dans le Tell méridional

L'analyse gravimétrique de cet ensemble montre de fortes anomalies positives traduisant une faible profondeur du socle, qui est matérialisé par de petits pointements en surface le long de la côte. Cette anomalie se réduit considérablement vers le Sud et devient assez fortement négative dans les domaines les plus méridionaux. Ceci traduit un enfouissement considérable du socle cristallin par suite d'une forte accumulation de sédiments. L'empilement des nappes dites de charriage a provoqué une augmentation des épaisseurs atteignant parfois 6000 m. Les différentes nappes sont limitées frontalement par des contacts anormaux souvent soulignés par du Trias évaporitique caractéristique de tout le Maghreb.

La fracturation des deux grands sous ensembles telliens, est caractérisée par l'apparition de deux familles de fractures conjuguées très fortement marquées dans tout le Tell. Leurs directions respectives sont NW -SE et NE -SW et sont dans leur majorité séismiquement actives. Les différents foyers séismiques du Nord Algérien s'alignent suivant ces deux importantes directions.

Les plus importantes sources thermales de l'Algerie centrale apparaisent à la faveur de ces accidents et en particulier les fractures NE - SW. L'affrontement des plaques africaine au Sud et Européenne au Nord a donné une compression suivant un axe NW - SE perpendiculaire aux directions des fractures thermales. Ces dernières sont en distension permettant un fort dégagement de chaleur et de gaz de natures diverses. Les sources jalonnant ce type de fracture sont soit hyperthermales soit mésothermales .

Plus au Sud, une troisième direction de fracturation apparaît appelé direction atlasique. Elle sépare généralement les grands bassin et affecte profondémment les formations sédimentaires, atteignant probablement le socle. Les sources thermales émergeant à la faveur de ces accidents sont également très chaudes.

Au Sud, l'enfouissement du socle continue et inversement les épaisseurs de sédiments deviennent considérables. De vastes bassins subsidents apparaissent, caractérisés par une très faible activité séismique et une très faible thermalité des sources en surface. Les nombreuses émergences sont soit hypothermales, soit froides, très fortement chargées. Cependant les nombreux forages effectués sont hyperthermaux. L'augmentation des températures est liée directement au gradient géothermique ou aux réactions exothermiques. Cette zone est relayée vers le Sud par une autre caractérisée par une remontée hétérogène du socle se traduisant par une augmentation des anomalies gravimétriques. Les rares émergences naturelles de la région sont mésothermales. Nous avons, pour finir résumé les différentes données précédentes sur une carte et une coupe interprétative de notre secteur.

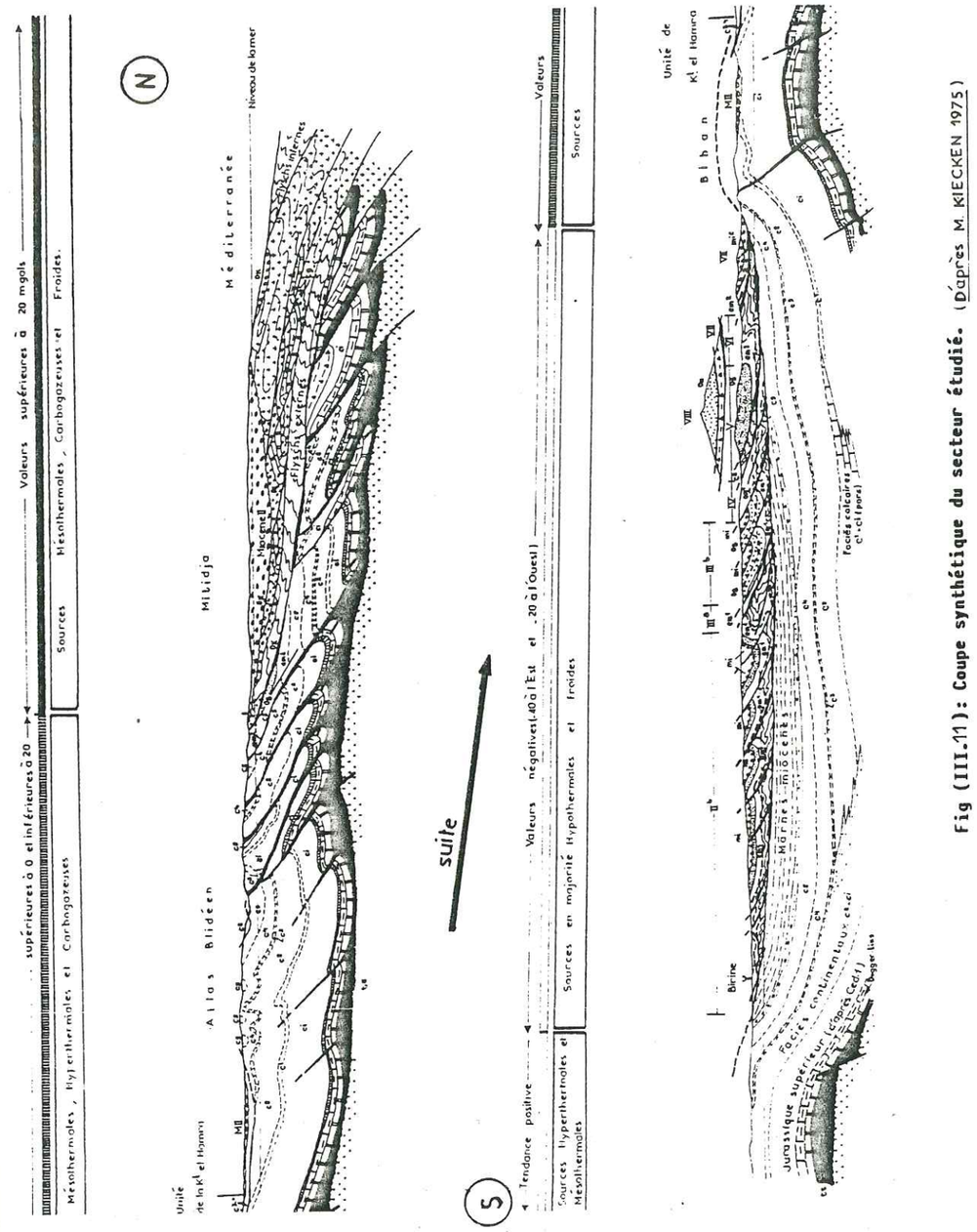


Fig (III.11): Coupe synthétique du secteur étudié. (Dáprès M. KIECKEN 1975)

ANALYSE DETAILLEE DES SOURCES.

ANALYSE DETAILLEE DES SOURCES.

REGION ALGEROISE

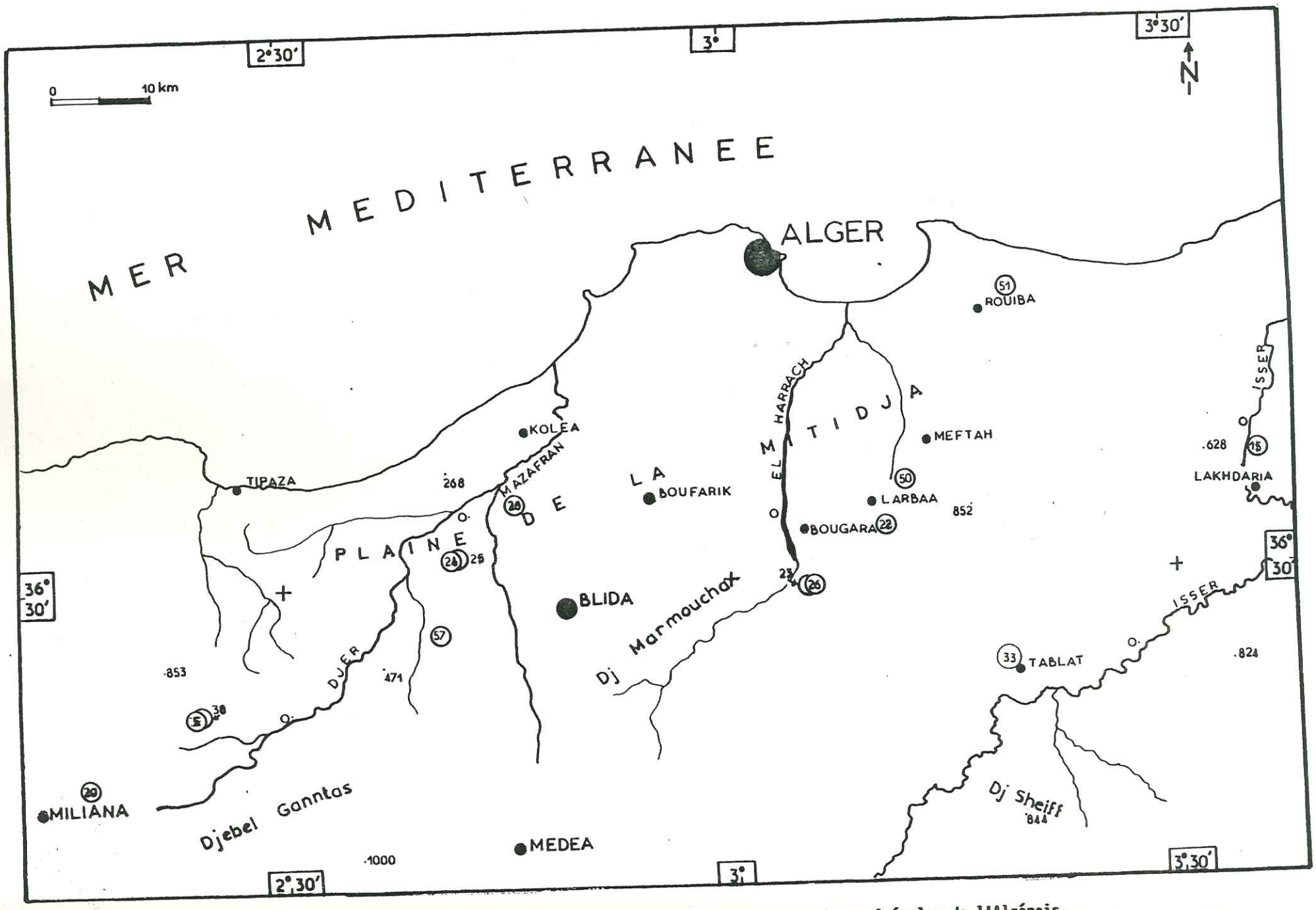


Fig (IV.1.1) –Situation géographique des sources thermominérales de l'Algérois.

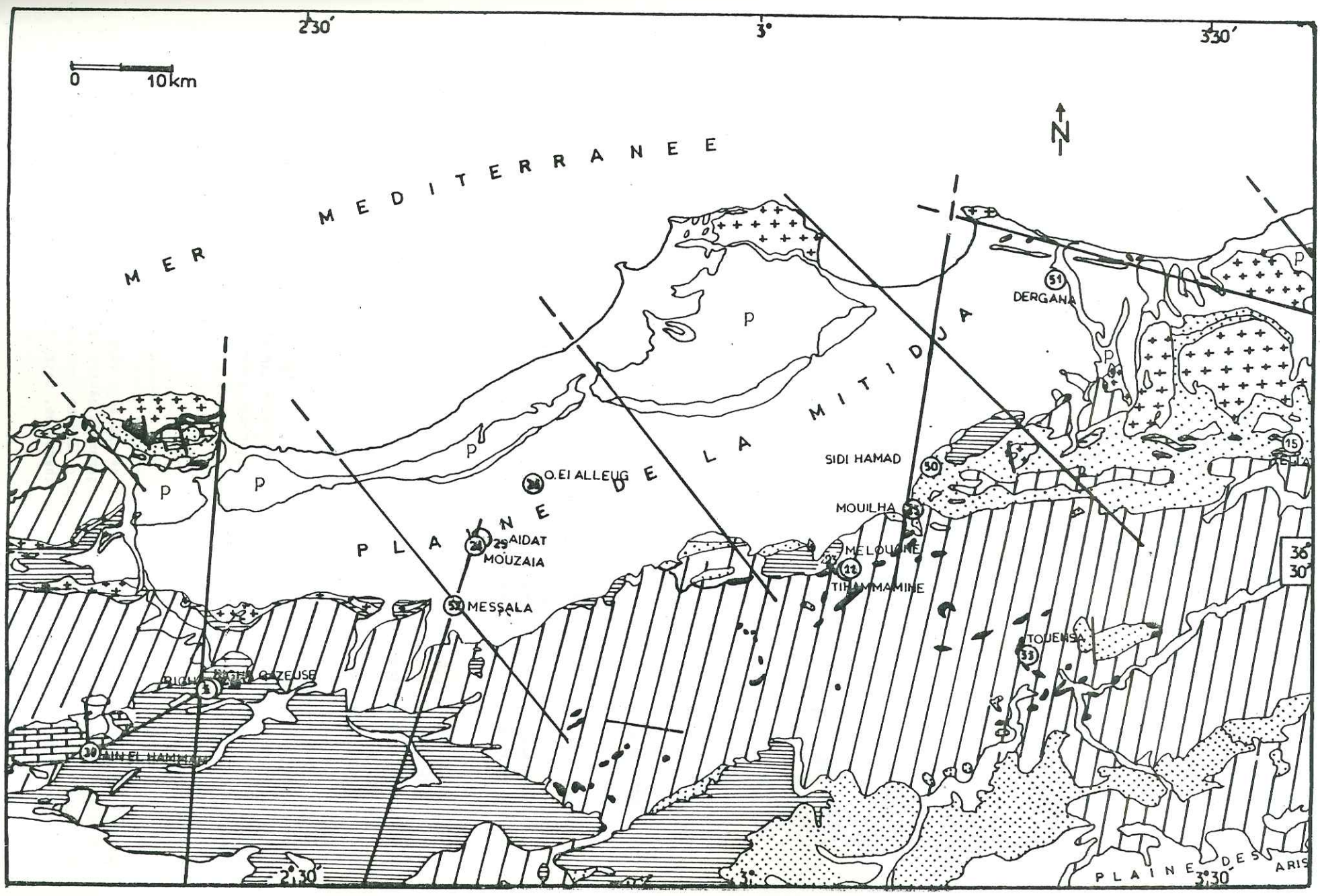


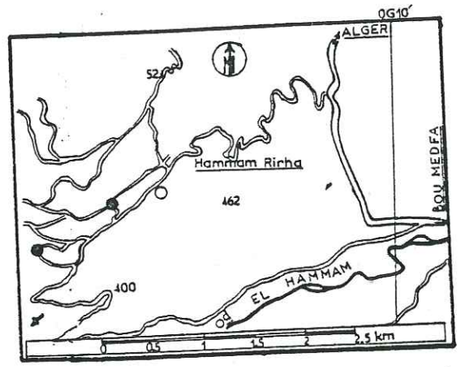
Fig (IV.1.2) –Situation géologique des sources thermominérales de l'Algérois.

IV.1.1- HAMMAM RIGHA N°5 et AIN EL GARCA N°38.

I- INTRODUCTION.

La station de Hammam Righa est connue depuis probablement l'époque romaine en Algérie. Les vestiges anciens témoignant de cette période sont inexistants. Une très ancienne infrastructure à architecture française témoigne des premiers intérêts qui ont été accordés à cette source pour ces multiples actions thérapeutiques. Actuellement, cette source constitue l'une des plus grandes stations balnéaires de tout le pays. Les travaux de recherches sont très nombreux datant du début de la période française et continuent toujours.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



La station de **Hammam Righa** et la source de **Ain el Garça** sont situées à environ 100 km au Sud Ouest d'Alger et à 60 Km de Blida. Le village le plus proche de la station est Bou Medfa situé à 16 km au Sud Est.

La ville de Miliana est à quelques dizaines de kilomètres au Sud Ouest.(Voir fig (IV.1.1). L'accès aux émergences est facilité par de nombreux chemins carrossables venant des différentes villes précitées. L'altitude moyenne de la source est voisine de 800 m.

Fig(IV.1.3)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les points d'alimentation de la station jalonnent une importante fracture mettant en contact des formations d'âge Miocène essentiellement marneuses et du Crétacé moyen à faciès calcaire à silex au sommet (Turonien). Ce dernier repose sur des marnes, des schistes et des marno-calcaires du Cénomanien. Le Vraconien est constitué de calcaires marneux très schisteux souvent phosphatés. Ces séries se rencontrent sur une épaisseur d'environ 800 m.

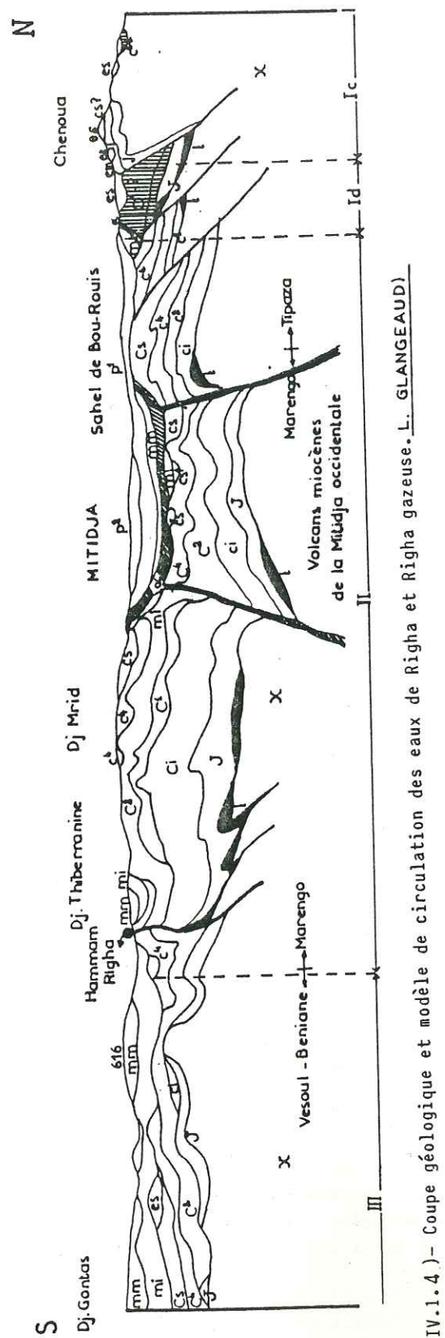
En profondeur, le Jurassique est à dominante, calcaire très fissuré et karstifié, reposant sur un Lias schisteux et quartzitique. Le Trias est formé de gypse, marnes bariolées et cargneules. L'ensemble de la série repose sur une formation volcanique à éléments andésitiques et dacitiques.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Le Vraconien et le Jurassique supérieur sont les deux principaux et importants réservoirs pouvant alimenter la source de Hammam Righa. Les analyses hydrogéologiques effectuées (carte hydro 1973) montrent un Vraconien caractérisé par un potentiel hydrique très faible, en revanche, le Jurassique supérieur est potentiellement plus important pouvant par cela être le réservoir d'alimentation de la source thermale.

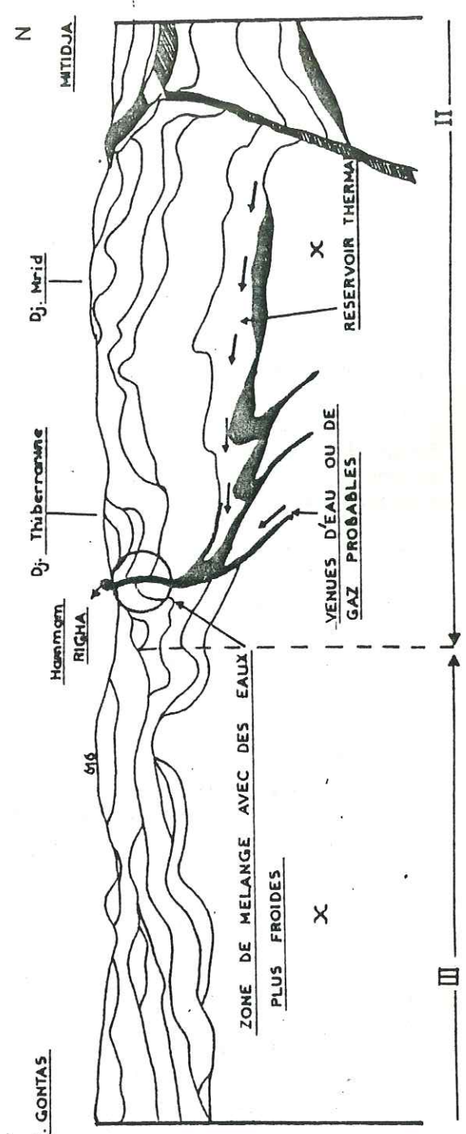
V- TECTONIQUE.

Le Zaccar oriental se termine à l'Est sous forme d'un pli anticlinal très aigu sans contact anormal (L. GLANGEAUD 1932). Cet axe se prolonge vers Hammam Righa se transformant en pli-faille à ce niveau avec un flanc Sud légèrement déversé et étiré. Les fractures du flanc Sud, parmi lesquelles se trouvent la flexure du Zaccar, ont probablement facilité la remontée des eaux chaudes et l'apparition de sources thermales. Cette faille est limitée à l'Est par une



Fig(IV.1.4)- Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Righa et Righa gazeuse. L. GLANGEAUD)

échelle: 1/200.000



importante fracturé plurikilomètrique orientée NNE - SSW nommée C (J.DEVAUX 1969) et KAZI TANI (1986).

L'utilisation de la photosatellite montre l'intersection de deux linéaments matérialisant probablement les failles thermales de directions respectives N-S et NE-SW. Cette dernière est probablement la grande fracture ayant rejoué au cours du séisme du 10 - 10 -1980.

VI- PROPRIETES PHYSICO - CHIMIQUES.

a: Température.

Hammam Righa.

Les mesures faites par L. POUGET et D. CHOUCHAK pour les différents griffons varient entre un maximum de 66°C et un minimum de 43°C.

S.GUIGUE (1946), a donné les résultats suivants:

La température maximale des eaux revient au griffon 5 bis. Elle est égale à 67°C; en revanche,la température minimale a été mesurée à Ain Tolba (33°C).

Pendant les campagnes que nous avons effectuées, les mesures faites au niveau du forage d'alimentation de la station ont donné une température égale à 67°C pour Novembre 84 et 68°C pour février 86. Les eaux de cette émergence sont classées dans le groupe des hyperthermales.

El Ain El Garça.

La température des eaux est relativement faible. La mesure effectuée par S. GUIGUE (1946) est de 21°C. Nous avons au cours de nos campagnes obtenu des valeurs très faibles variant autour de 17 °C. Les eaux sont classées dans la catégorie des froides.

pH

Hammam Righa.

Les eaux sont relativement acides. Le pH mesuré accuse une très faible variation dans le temps qui s'est traduite par une hausse entre les deux campagnes. Il est passé de 6.18 en Novembre 84 à 6.48 en février 86.

pH (Ain El Garça).

Les eaux sont relativement acides. Le pH mesuré est égal à 6.68. Cette acidité peut probablement être liée à des acides émanant des formations volcaniques profondes du Miocène.

c: Conductivité:

Hammam Righa.

Les eaux sont moyennement conductrices. La conductivité mesurée est relativement moyenne, de l'ordre de 5600 µmho/cm. Une légère variation a été enregistrée au cours du temps se traduisant par une hausse de quelques dizaines de µmho/cm en février 86. L'augmentation de la concentration est estimé à 2.6%.

Ain El Garça

Les eaux sont relativement très peu chargées en éléments. La conductivité mesurée à 20 °C est égale à 3120 µmho/cm.

Résidu sec:

Hammam Righa.

Les nombreuses mesures effectuées pour l'estimation du résidu sec de ces eaux ont donné les résultats suivants:

S. GUIGUE (1946) a obtenu, à 100 °C, un résidu sec minimal de 2535.4 mg/l et un maximal de 3214.6 mg/l. L'augmentation de la température de dessiccation à 180°C a donné un minimum de 2423.4 mg/l et un maximum de 3084 mg/l.

Le résidu sec que nous avons obtenu pour la première campagne d'analyse et pour une température de 110°C est de 2585 mg/l. Ces différentes valeurs du résidu sec traduisent la faible minéralisation des eaux de cette source.

Ain El Garça

Le poids des matières solubles dans l'eau est relativement faible traduisant une minéralisation moyenne donnant un résidu sec de 3.5 g/l.

Radon:

L'estimation de la quantité d'émanation en radon faite par L.POUGET et D.CHOUCHAK (1967) pour la totalité des griffons a donné un maximum de 1.62 nanocurie/l et un minimum de 0.06 nanocurie/l. Cette mesure a été répétée au cours de notre première campagne pour les eaux du griffon principal. La valeur obtenue est égale à 0.4 nanocurie.

VIII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les eaux sont caractérisées par une nette prédominance des teneurs en sulfates sur respectivement les chlorures et les bicarbonates. Les différentes concentrations accusent une très faible variation dans le temps liée probablment à des venues d'eau des formations voisines ou traversées au cours de la remontée.

Cations.

Les alcalino-terreux sont fortement prédominants sur les alcalins en particulier le calcium. Les teneurs sont relativement élevées et très faiblement variables dans le temps subissant probablement le même phénomène que les anions. Les teneurs en magnésium et en calcium varient en sens inverse l'un de l'autre.

- Rapports caractéristiques.

Campagne N°	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
1	-0.03	0.11	0.38	2.34	3.28
2	-0.058	0.15	0.49	2.27	3.27
3	-0.041	0.13	0.45	2.29	3.38

Tableau (IV.1.1)

L'abondance des sulfates et du calcium dans les eaux se traduit par des rapports relativement élevés. L'établissement du rapport SO4/Cl donne une valeur variant autour de 2.3 indiquant l'abondance des minéraux sulfatés dans les roches traversées. Inversement les rapports Na/Ca et Mg/Ca sont très faibles de l'ordre de 0.13 et 0.4. Ces deux rapports montrent la supériorité des teneurs en calcium dans les eaux. Les origines les plus fréquentes de cet élément sont les minéraux gypsifères et les carbonates tels que les calcaires ou les calcaires dolomitiques.

-Indice d'échange de bases.

La grande vitesse de remontée des eaux chaudes limite les échanges des éléments avec les roches traversées. Les indices d'échange de bases calculés pour les différentes campagnes sont très faiblement négatifs. Voir tableau (IV.1.1).

- Formule caractéristique.

Les eaux de Hammam Righa ont pour formule caractéristique :
rSO4 > rCl > rHCO3 et rCa > rNa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les eaux sont classées dans le groupe des **hypersulfatées calciques** et très faiblement **chlorurées sodiques.**

B: Eléments mineurs.

Le strontium est très fortement concentré dans les eaux. L'origine de cet élément peut être liée aux formations volcaniques cénozoiques ou aux formations triasiques évaporitiques.

Les concentrations en fer, chrome et fluor sont relativement élevées et légèrement supérieures à 1.5 mg/l. L'abondance de ces deux éléments résulte probablement d'un éventuel transit des eaux au sein de formations volcaniques peu profondes. La teneur en fluor élevée , fortement liée à la température, peut avoir également la même origine que les éléments précédents.

Le lithium, le bore et l'iode sont très faiblement concentrés dans les eaux . Leurs teneurs sont inférieures à 0.25 mg/l; en revanche, le manganèse, le zinc, le rubidium et le brome sont absents.

IX- GEOTHERMOMETRES.

Température (°C):	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
H. RIGHA :	82	100	131	176	119	185	147	340	92

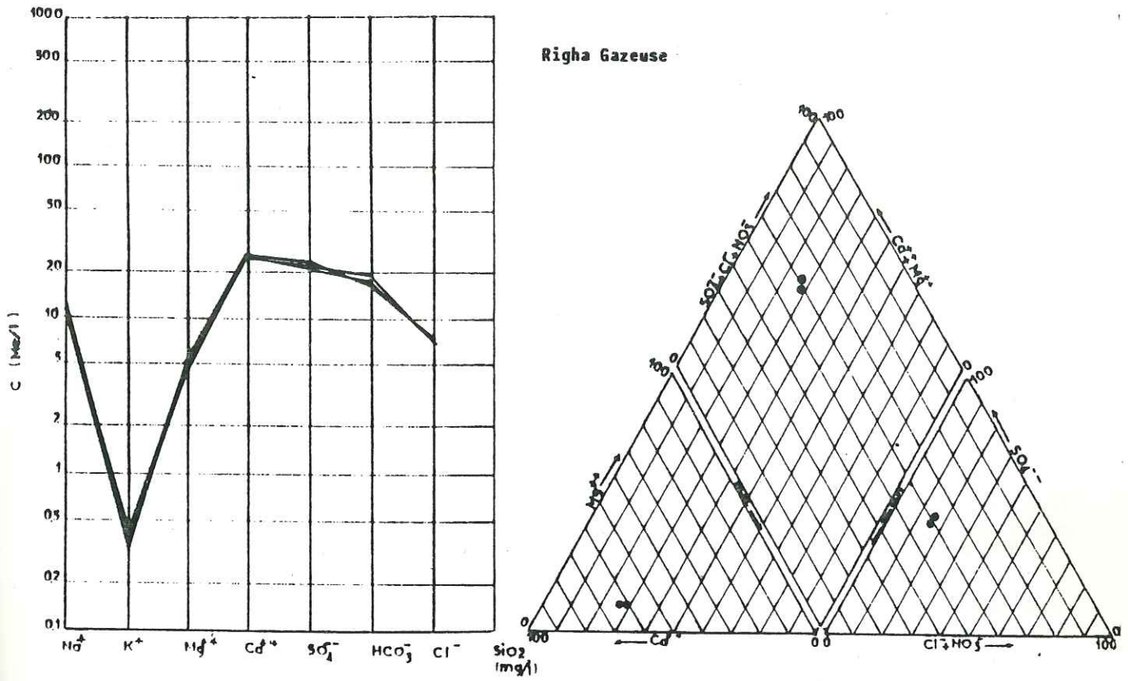
Tableau (IV.1.2)

Nous avons, pour l'estimation de la température des eaux en profondeur, utilisé au total huit géothermomètres pour avoir une idée plus précise sur la température du réservoir. Les résultats sont regroupés dans le tableau (IV.1.2).

Nous constatons que les températures sont toutes supérieures à 100 °C et en particulier T(4) et T(6). Ces deux dernières valeurs sont supérieures à 170°C.

Les températures T(3) , T(5) et T(7) sont respectivement de 131 °C, 119 °C et 147 °C. Ces valeurs sont relativement faibles et ne peuvent être prises en considération. La présence des formations volcaniques tertiaires dans la région contribue à une élévation de la température des eaux beaucoup plus importante.

Les courbes de mélanges ont donné un pourcentage d'eau froide contribuant au mélange de 92% et une température de 340°C. Cette valeur n'est pas concordante avec le taux de mélange et nous paraît très élevée. Elle est le résultat de deux facteurs géothermiques



Fig(IV.1.5) - Représentation graphique des sources de Righa et de Righa gazeuse.

qui contribuent au réchauffement des eaux: Le volcanisme tertiaire et la forte activité séismique de la région explique cette thermalité. Le rapprochement constaté entre les différentes autres valeurs nous parait influencé par la présence des évaporites dans la région et en profondeur. Notons cependant que les eaux entrent en contact des évaporites au cours de leur remontée suivant un modèle du type 2 ne nécessitant pas une correction de la silice qui est dans ce cas précis représentatives des conditions régnant au sein du réservoir.

Les températures T(1) et T(2) sont les seules que nous pouvons considérer comme représentatives en raison de leur indépendance des évaporites et en particulier des chlorures. Le contact s'effectue en dehors du réservoir et au cours de la remontée réduisant par cela l'influence des chlorures. La température du dernier mélange est de 100°C et nous pensons que la température du réservoir peut être légèrement supérieure de l'ordre de 150°C. La température T(4) peut dans ce cas être considérée comme proche de la réalité avec cependant un maximum de précautions.

X- CONCLUSION.

La situation de la source thermale de Hammam Righa est liée directement à la faille limitant au Sud le massif calcaire du Zaccar. La remontée rapide des eaux chaudes est facilitée par cette importante fracture profonde affectant l'ensemble des formations sédimentaires jusqu'aux formations volcaniques.

L'analyse des eaux a révélé des teneurs très élevées en sulfates et calcium. L'association de ces deux éléments et en de fortes quantités résulte du lessivage de niveaux très gypseux triasiques (Ca/Sr= 30) et (Sr/Rb =256), qui sont surmontés par une formation calcaire probablement identique à celle du Zaccar, formant le réservoir thermal (Ca/Mg= 2.77).

Les eaux sont faiblement conductrices et très peu minéralisées traduisant par cela un temps de séjour relativement court. Les contacts avec les formations sus-jacentes sont très limités en raison de la grande vitesse de circulation des eaux en profondeur, se traduisant en surface par des débits importants. Les échanges d'éléments avec l'encaissant ou les formations traversées sont très faibles. Le taux de dilution est relativement faible traduisant un faible taux de mélange avec les eaux superficielles.

Nous pensons que les eaux de Hammam Righa sont des eaux météoriques qui se sont infiltrées au niveau du massif calcaire du Zaccar à l'Ouest. Après infiltration et une circulation profonde au sein de cette formation, elles ont acquis une thermalité relativement importante ayant plusieurs origines. Cette dernière est liée principalement aux formations volcaniques, à la forte activité séismique et secondairement au gradient géothermique et aux réactions exothermiques.

L'abondance du strontium provient soit des des formations volcaniques, soit des évaporites du Trias.De même la teneur en fluor confirme l'origine profonde de ces eaux.

Le transit des eaux,au cours de leur trajet à travers les formations volcaniques contribue,à leur enrichissement en métaux lourds tels que le chrome. Ces eaux remontent par la suite le long de la faille thermale rapidement, et leurs mélanges,avec des eaux plus froides émanant des niveaux aquifères traversés, contribuent à la baisse de la température et à une dilution, se traduisant par des variations des teneurs dans le temps.(Voir fig IV.1.3)

EL AIN EL GARCA 38

X- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les teneurs en sulfates sont relativement élevées prédominant sur celles des chlorures et les bicarbonates. Les différents résultats d'analyses effectuées (S.GUIGUE et nos résultats) affichent une variation dans le temps. Cette dernière est liée probablement à des mélanges avec des eaux plus froides et moins minéralisées.

Cations.

Les teneurs en calcium des eaux sont relativement stables. Les variations dans le temps sont quasiment nulles ;en revanche, une très faible dimunition du magnésium a été observé pour la campagne de Novembre 84 résultant d'un mélange avec des eaux moins magnésiennes

Les concentrations en éléments alcalins sont relativement moyennes à élevées. Le sodium, avec une teneur moyenne d'environ 250 mg/l, est prédominant à la fois sur le magnésium et le potassium. Une variation sensible a pu être enregistrée dans le temps se traduisant par une diminution liée probablement au même phénomène précédent.

- Rapports caractéristiques.

N° de la camapagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
1	-0.57	0.18	0.39	2.86	2.20
2	-0.85	0.16	0.46	2.81	2.92
3	-0.78	0.16	0.43	2.77	2.57

Tableau (IV.1.3)

Les différents rapports effectués montrent une très faible variation dans le temps. Les rapports Mg/Ca et SO4/Cl ont diminué au cours de nos campagnes; en revanche, les rapports Na/Ca et Na/Mg ont subi une très faible augmentation. Ces différentes variations confirment probablement les hypothèses précédentes.

- Indice d'échange de bases.

Les différentes valeurs de l'I.E.B montrent une très faible variation dans le temps. Les valeurs sont très faiblement négatives variant entre -0.57 et - 0.87. Les eaux au cours de leur trajet souterrain ont échangé des alcalino-terreux contre le sodium de la roche.

- Formule caractéristique.

Les eaux de cette émergence ont une formule caractéristique :

rSO4 > rHCO3 > rCl et **rCa > rNa > rMg > rK**

- Faciès chimique.

Les différentes méthodes utilisées ont classé ces eaux sous un faciès **sulfaté calcique à bicarbonaté sodique.**

B: Eléments traces.

Les résultats d'analyses des différents éléments traces montrent la forte prépondérance de certains éléments.

La concentration en strontium est relativement élevée supérieure à 8 mg/l. La présence de cet élément est souvent liée à la présence des évaporites ou des carbonates, cependant une origine profonde n'est pas à exclure dans ce cas en raison de l'abondance des formations volcaniques dans la région.

Les eaux sont ferrugineuse caractérisées par une concentration en fer élevée variant autour de 4.7 mg/l. L'origine de cet élément peut être également profonde ou au contraire liée aux pyrites très abondantes dans le secteur. La remontée d'acides très forts contribue à la libération de cet élément.

Le chrome et le fluor ont des concentrations très proches respectivement égales à 1.7 mg/l et 1.4 mg/l. Ces teneurs élevées ne peuvent s'acquerir qu'à une très grande profondeur et au niveau des formations volcaniques. Le fluor est généralement lié à la température et sa présence dans les eaux est dûe probablement à la remontée soit d'une faible quantité d'eau chaude qui par la suite se mélange aux eaux de la source soit à des venues de vapeurs d'eau très chargées en éléments volatils.

Le zinc, le manganèse, le bore, le lithium et l'iode sont très faiblement concentrés dans les eaux. Les teneurs obtenues sont inférieures à 0.4 mg/l. Le rubidium et le brôme sont absents.

- Les gaz.

La mesure ,effectuée en 1940 par S.GUIGUE , a donné une forte teneur de CO2 (2250 (mg/l) d'origine profonde.

XI- CONCLUSION.

La situation de cette émergence à quelques centaines de mètres de la station thermale de Hammam Righa, n'exclut pas son eventuelle relation avec cette dernière. Cependant l'origine des eaux n'est pas la même.

Les diverses associations d'éléments sont liées à des formations gypseuses et carbonatées du Crétacé (Ca/Mg= 2.67). Cependant ce dernier faciès est dû à une substitution du calcium de l'eau par le sodium de la roche (i.e.b négatif). La teneur en CO2 dans l'eau très élevée, est incontestablement d'origine profonde liée aux formations volcaniques très abondantes dans la région.

D'après S.GUIGUE les eaux de cette source proviennent des formations du Miocène inférieur marno-calcaire qui, en dehors des intercalations de petits bancs grèseux, présentent par endroits des lits de gypse nettement stratifiés. Le rapport Ca/Sr = 57.5 traduit le lessivage d'évaporites.

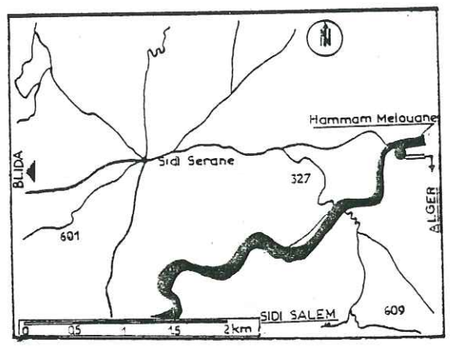
Nous pensons que les eaux proviennent des niveaux gréseux intercalés dans les marnes calcaires du Carténien (Miocène Inf). Au contact des niveaux gypseux, elles mettent en solution des sulfates et acquièrent le faciès sulfaté calcique tendant vers le bicarbonaté sodique. Le trajet est relativement court se traduisant par un faible contact avec les formations argileuses ou marneuses. Des remontées profondes soit de vapeur d'eau chargée d'éléments rares tel que le chrome ou le fluor soit également des gaz volcaniques profonds chargés en éléments volatils, sont favorisées par l'importante fracture déterminée par J.DEVAUX et reprise par KAZI TANI et notée transversale C. Cette fracture profonde véhicule des quantités notables de vapeur d'eau ou probablement de gaz qui se mélangeront avec les eaux superficielles alimentant la source.

IV.1.2 - HAMMAM MELOUANE N°11 et TIHANNAMINE N°23.

I-INTRODUCTION.

Les sources de Hammam Mélouane et de Tihammamine datent depuis bien avant l'arrivée des français. Les nombreuses études effectuées (S. GUIGUE 1946) ... etc, dans la région mentionnent systématiquement ces émergences. Seules les eaux de Hammam Mélouane sont captées et ont bénéficié d'un aménagement modeste destiné à l'accueil des nombreuses foules en provenance des diverses régions du pays. Les eaux de Tihammamine se deversent dans la nature sans être captées.

II - SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Les différentes sources sont situées dans le territoire appartenant à la wilaya de Blida (code 09) et précisemment dans la Daira de l'Arbaa à environ 15 kilomètres au Sud-Ouest d'Alger. Le village de Bougara (ex Rovigo) est situé à 8 kilomètres au Nord-Est.

Les eaux sourdent à gauche de la route principale (W 61) reliant les deux villages précédents et à quelques mètres du lit de Oued El- Harrach qui traverse la plaine de la Mitidja du Sud vers le Nord. L'altitude de l'émergence est de 200 m. Voir carte (IV.2.1)

Fig(IV.1.6)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les griffons sont alignés tout le long d'un important accident orienté E - W, mettant en contact des formations crétacées au Sud et du Miocène inférieur au Nord, constituées essentiellement de marnes schistoides, accompagnées de lentilles de calcaires d'âge sénonien et de grès et poudingues du Carténien.

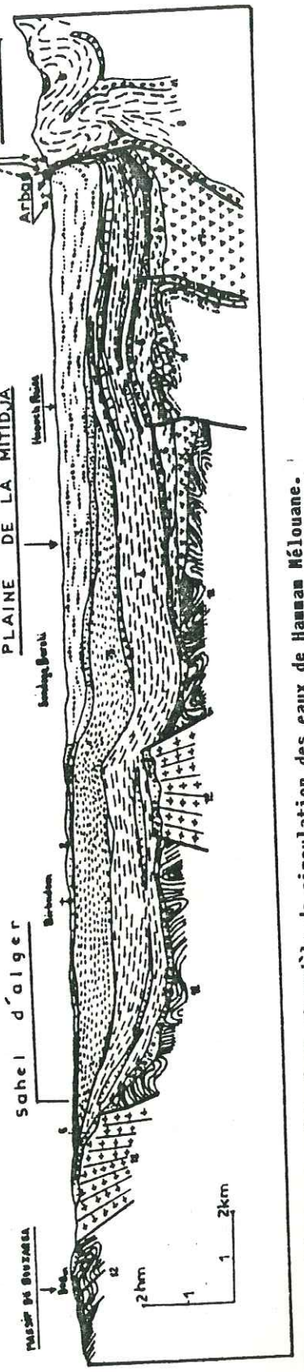
Cet important accident est jalonné par des pointements triasiques rouges assez remarquables sur place et formés de gypse, cargneules, et marnes bariolées. Ce faciès remonte le long du contact séparant les formations de la Mitidja et celles de l'Atlas Blidéen. (voir coupe IV.1.2).

Plus au Nord, les alluvions quaternaires couvrent une très grande surface constituant la plaine de la Mitidja sous laquelle ont été observés des schistes, cipolins ,micaschistes et gneiss. Elle est formée du bas vers le haut par du Plaisancien marneux et argileux surmonté par de l'Astien essentiellement calcaro-gréseux, de calcaires construits, marnes jaunes et sables. Cet ensemble est surmonté par des argiles du Villafranchien formant le substratum des alluvions quaternaires.

IV- HYDROGEOLOGIE.

La plaine de la Mitidja constitue avec ses différentes nappes (Quaternaire et Astien) superposées la plus importante réserve d'eau de la région.

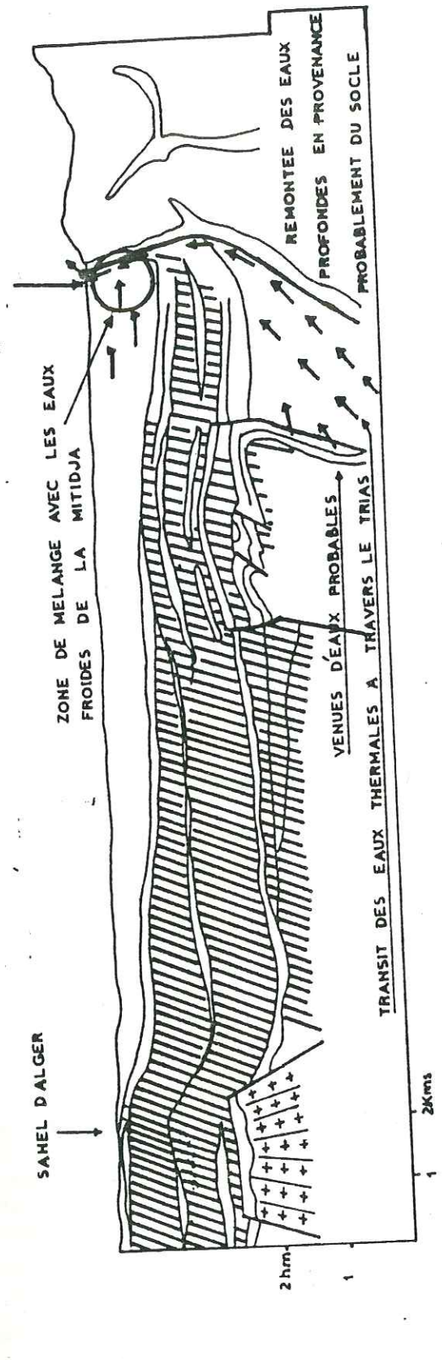
Les formations burdigaliennes sont les secondes formations pouvant être favorables à l'exploitation hydrique.



Fig(IV.1.7) Coupes géologique et modèle de circulation des eaux de Hammam Mélouane.

Coupe de la Mitidja passant par le massif de Bouzaréa, Birkadem, le sondage de 427 m de Baraki et l'Arba
(d'après L. Glangeaud et all., 1952, pl. C).

1 : remplissage plio-quaternaire de la Mitidja (marnes de Maison-Carrée et cailloutis calabro-villafranchiens); 2 : Astien; 3 : Plaisancien; 4 : marnes et calcaires à Lithothamnium du Vindobonien et du Burdigalien; 5 : poudingue et grès du Burdigalien; 6 : flysch oligocène; 7 : flysch crétacé de la zone Id; 8 : série crétacée de la zone II; 9 : calcaires lutétien et liasique de la zone I; 10 : Permo-Trias de la zone I; 11 : Trias gypso-salin de la zone II; 12 : Primaire et Cristallin (schistes, cipolins, micaschistes et gneiss); 13 : éruptif miocène (en noir).



Les calcaires lutétiens et liasiques peuvent aussi être aquifères et exploités sous réserve d'une karstification développée.

V- TECTONIQUE.

L'important accident, formant le circuit thermal sur lequel sont situés les différents griffons, est probablement le plus important conduit hydrothermal facilitant la remontée des eaux chaudes. Ce contact est souligné par des niveaux triasiques rouges à caractères gypsosalins.

D'autres fractures moins importantes, matérialisées par des linéaments sur photosatellite, affectent la région et n'ont probablement aucune relation avec l'émergence.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

Les mesures de température effectuées donnent toutes des valeurs variant autour de 38°C pour Hammam Mélouane et 30°C pour Tihammamine. Les variations dans le temps sont très faibles et souvent inférieures à 1°C liées aux variations saisonnières. Les eaux de ces émergences appartiennent respectivement aux groupes des eaux mésothermales et hypothermales

b: pH.

Les eaux sont faiblement acides. Le pH est égal à 6.44 pour Hammam Mélouane et 6.3 pour Tihammamine traduisant probablement la remontée de CO2 profond donnant un caractère agressif aux eaux.

c: Conductivité.

Les eaux sont très fortement minéralisées et très conductrices. La conductivité mesurée à 20°C, est supérieure à 20000 µmho/cm résultant des fortes teneurs en sel remobilisées par les eaux en provenance du Messinien. Elles appartiennent à la cinquième classe des conductivités.

d: Résidu sec.

Le résidu sec des eaux, obtenu à 110°C, est très élevé, égal à 35 g/l pour Hammam Mélouane et 45 g/l pour Tihammamine. Cette quantité confirme la forte conductivité mesurée et est souvent accampagnée par des dépôts importants de couleur blanchâtre ayant un goût de sel en particulier au niveau du captage de Hammam Mélouane.

e: Radioactivité.

Le taux d'émanation en radon des eaux, mesuré par L.POUGET et D.CHOUCHAK (1967) est de 0.02 nanocurie /l . Cette quantité est relativement faible traduisant une faible influence des formations cristallines situées très près de la surface dans la région. voir gravimétrie chp II).

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

a: Eléments majeurs.

- **Anions**

Les chlorures sont fortement prédominants. Les teneurs sont de 15 g/l pour Hammam Mélouane et de 22 g/l pour Tihammamine. Les teneurs en sulfates sont relativement moyennes à faibles et supérieures à celles des bicarbonates. Ces différentes teneurs accusent une très faible variation dans le temps estimée à quelques mg/l et liée à des phénomènes saisoniers.

- Cations.

Le sodium, généralement lié aux chlorures, est caractérisé par une teneur très forte dépassant la dizaine de g/l. Il prédomine sur le potassium et sur les alcalino-terreux. Le calcium, avec une teneur relativement élevée prédomine sur le magnésium et sur le potassium. Ces différents éléments accusent une variation dans le temps liée à des mélanges avec des eaux froides moins minéralisées provenant de la Mitidja.

- Rapports caractéristiques.

a: Hammam Mélouane.

Les rapports respectifs de Na/Ca et Na/Mg sont très élevés en particulier le second rapport. Cependant le rapport SO4/Cl est très faible, variant autour de 0.08, traduisant les fortes concentrations en chlorures.

Hammam Mélouane.						Ain Tihammamine.				
I.E.B :	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg	:	I.E.B :	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg.
-0.35	0.15	10.7	0.089	68.21	:	-	-	-	-	-
0.005	0.19	12.80	0.08	66.16	:	-0.04	0.14	9.34	0.11	65.77

Tableau (IV.1.4)

b: Tihammamine.

Les rapports Mg/Ca et SO4/Cl sont très faibles. Ils sont respectivement égaux à 0.10 et 0.15 marquant ainsi les fortes teneurs en chlorures et en calcium. En revanche,les rapports de Na sur respectivement le Ca et le Mg sont supérieurs à 1 , variant entre 9 et 70 traduisant la forte concentration du sodium dans les eaux.

- Indice d'échange de base.

- Hamman Mélouane.

Les eaux échangent peu leurs éléments avec l'encaissant ou avec les formations argileuses traversées. Le contact est très faible avec ces formations. Les indices d'échange de bases, calculés pour les deux périodes, se sont inversés passant d'une valeur négative très faible (-0.005) à une autre faiblement positive (0.005) pour la seconde campagne. Ils montrent l'échange relativement faible du calcium et magnésium de l'eau avec le sodium de la roche et dans un second temps une inversion de l'échange.

- Tihammamine.

L'i.e.b est très faible. IL est égal à -0.04 traduisant la substitution des alcalino-terreux par le sodium des niveaux argileux ou marneux des formations traversées.

- Formule caracteristique.

Les formules caractéristiques des eaux sont:

rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les différentes méthodes utilisées classent les deux sources sous un faciès **hyperchloruré sodique.**

b: Eléments mineurs.

Hammam Mélouane.

Les concentrations des différents éléments traces sont relativement importantes. Les teneurs en silice et en strontium sont supérieures à 15 mg/l. La silice traduit une profondeur moyenne à élevée; en revanche, le strontium est lié aux évaporites.

Les teneurs en fer et en brome varient entre 4 et 6 mg/l. Le fer résulte de la mise en solution des pyrites très abondantes cependant le brome, est souvent lié au gîtes évaporitiques d'âge triasique (Cl/Br >9000).

Les teneurs en bore et en lithium sont relativement fortes dépassant les 2.5 mg/l. Le bore est fréquemment rencontré à l'état d'acide borique ayant une origine profonde; cependant le lithium est un élément très lié aux gîtes évaporitiques et très abondant dans les formations superficielles. Il n'est cependant pas exclu que le socle cristallin constitue une seconde origine de ces éléments

Les teneurs en fluor et en rubidium sont supérieures à 1 mg/l. La forte présence du fluor traduit une origine relativement profonde de ces éléments, probablement le socle cristallin, et une température élevée.

Les concentrations respectives en manganèse, zinc, chrome, ammonium et iode sont très faibles et inférieures à 0.6 mg/l. Ce dernier est probablement d'origine superficielle organique. Les fortes teneurs constatées sont en partie d'origine cristallines remontant avec probablement une partie des eaux de Hammam Mélouane ou des gaz profonds.

Tihammamine.

La teneur en silice, est de 19 mg/ l.Cette teneur est identique à celle des eaux du forage de Oued El Allleug et pour lequel le réservoir est l'Astien. L'Ammonium a une concentration de l'ordre de 1.4 mg/l. Ce dernier est probablment lié aux formations superficielle chargées de matières organiques.

- GEOTHERMOMETRIE.

TEMPRERATURE	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	T(9)	%
H. Mélouane :	52	66	-	121	97	217	56			
Tihammamine :	52	67	-	108	81	240				

Tableau (IV.1.5)

L'estimation de la température des eaux en profondeur a été faite à l'aide de sept géothermomètres pour Hammam Mélouane et six pour Tihammamine. Les résultats sont résumés dans le tableau (IV.1. 5).

Les températures T(1) et T(2) sont relativement faibles indiquant une faible profondeur du dernier équilibre de la silice. L'influence des chlorures ne nous permet pas de

prendre en considération les résulats de ces deux géothermomètres.

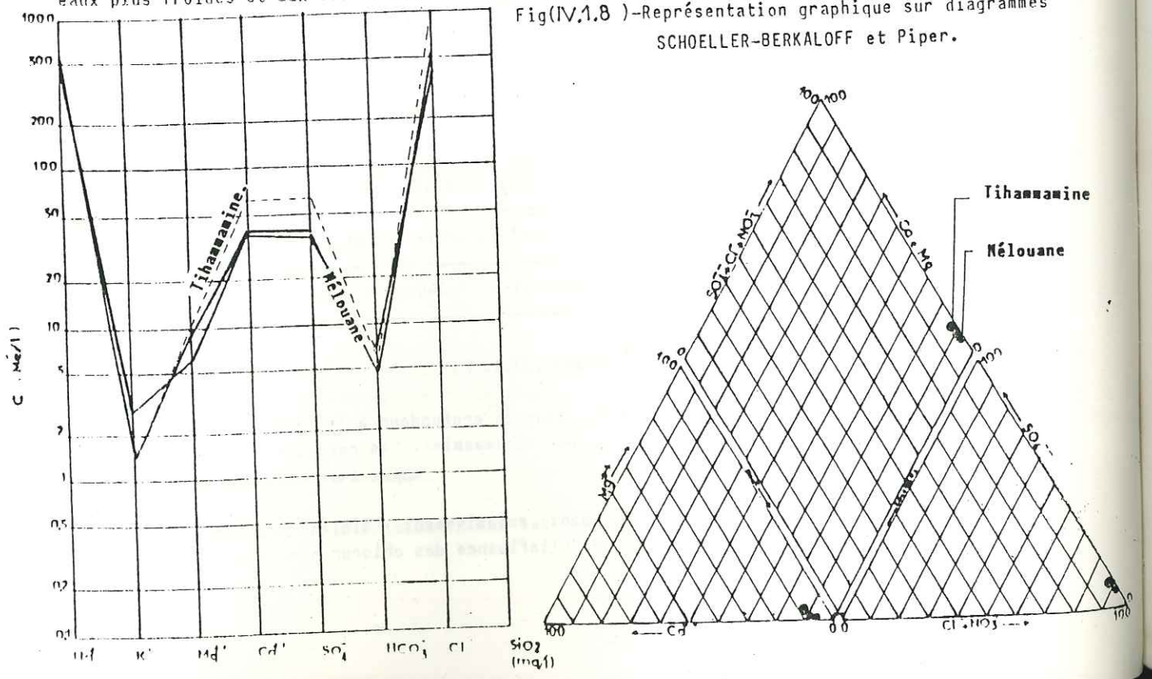
Le rapport Na/K (380),très élevé, donne une température très faible en raison du transit plus ou moins prolongé des eaux dans les formations triasiques évaporitiques et le Messinien très chargé en sel. Cette forte teneur en sodium se répércute sur le géothermomètre (7) donnant également une très faible température (Na/Li>1400).

Les températures T(4) et T(5) sont relativement élevées et trés voisines et sont sont respectivement égales à 121 °C et 97 °C pour Hammam Mélouane et 108 °C et 81°C pour Tihammamine; en revanche, l'abondance des sulfates dans les eaux provenant du lessivage des formations évaporitiques triasiques,entraine une valeur élevée de la température détérminée par le T(6).

L'utilisation des courbes de mélanges pour l'estimation du taux de mélanges des eaux froides a montré l'existence de plusieurs composantes, rendant ces résultats inutilisables.

VIII- CONCLUSION.

Nous pensons que l'origine des eaux est variable provenant en partie des formations de la plaine de la Mitidja (Astien) et en partie des autres aquifères. Cependant les fortes teneurs en éléments traces n'excluent pas la remontée d'une partie des eaux du socle cristallin. L'énergie nécessaire au réchauffement provient en grande partie des formations cristallines (volcaniques) et des réactions exothermiques. La forte activité séismique constitue la troisième source d'énergie. Les eaux ont circulé longuement dans les formations messiniennes très chargées en chlorures de sodium. Ceci s'explique de la manière suivante: La cuvette de la Mitidja s'est transformée en lagune au cours du Miocène dont le fond coincide avec la région da Hammam Mélouane. La forte évaporation a conduit au dépôt de chlorures de sodium qui sont remobilisés par les eaux de cette source. Nous pensons donc qu'un très grand pourcentage des eaux de ces sources provient des formations messiniennes. D'autres origines des eaux sont également envisageables probablement le socle crisatllin ainsi que les formations quaternaires de la plaine. Les fortes teneurs en éléments traces confirment l'origine profonde d'une partie des eaux ainsi que le contact avec des évaporites (SO4/Li>60000). Les variations des différents paramètres sont liées à des mélanges avec des eaux plus froides et aux effets saisonniers.



Fig(IV.1.8)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

IV.1.3- HAMMAM TELLAT N°15

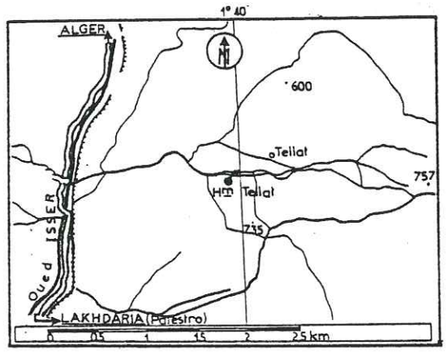
I- INTRODUCTION.

Les cartes et les documents consultés, datant du début de notre siècle , mentionnent tous la source de Hammam Tellat. Elle est connue depuis probablement bien avant la période coloniale française.

La source de Tellat n'est connue qu'à une échelle régionale par les habitants du village auquel elle doit son nom ou par les habitants les plus âgés de la ville de Lakhdaria (ex Palestro).

Les eaux de cette émergence sont généralement utilisées pour les besoins domestiques des villageois. Cependant quelques rares visiteurs utilisent le petit bassin, recueillant les eaux,pour se baigner dans l'espoir de trouver une guerison à leur maladie. Aucune odeur ni végétation n'ont été décelées au cours des différentes campagnes; cependant une très mince couche blanchâtre a été observée au bout de la rigole d'évacuation des eaux. Le débit,relativement faible,peut être estimé à environ 5 litres par seconde.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Le village de Tellat se trouve à quelques dizaines de kilomètres au N.N.E de la ville de Lakhdaria,chef-lieu de Daira. Il est également situé à environ 80 kilomètres au SSE de la capitale (Alger). Voir carte (IV.1.1)

La source est située à la sortie nord du village et sur la gauche de la route reliant Lakhdaria au village de Si Mustapha. L'altitude moyenne du secteur est de 900 m.

Fig(IV.1.9)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux de cette émergence remontent à la faveur d'un accident orienté NNE - SSW mettant en contact des calcaires massifs très diaclasés du Lias et une série formée d'une alternance de grès et de marnes de l'Eocène inférieur.

Une importante plage constituée de grès,dits de Béni Khalfoun,affleure au Sud Est de la source, se poursuivant vers le Sud par les assises gréseuses et argilo-gréseuses du Danien.

Vers le Nord, les grès dellysiens couvrent une grande surface.

IV- HYDROGEOLOGIE.

La perméabilité des différentes formations précitées est très variable. Elle est relativement importante au niveau des poudingues dellysiens et des grès de Béni Khalfoun. Les calcaires liasiques constituent le réservoir thermal alimentant la source de Tellat.

Les alluvions quaternaires peuvent être également aquifère et renfermer une nappe très importante répondant aux besoins de la localité.

V- TECTONIQUE.

L'utilisation des cartes des linéaments montre la coincidence de l'émergence avec le point de croisement de deux importants linéaments orientés NE - SW et NW - SE. Cette dernière direction est identique à celle de la faille thermale déterminée sur place, faisant plusieurs kilomètres.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux de cette source est relativement élevée, variant autour de 32 °C. La variation de la température au cours du temps est très faible. Une augmentation d'environ 1°C a été enregistrée pendant la seconde campagne effectuée en février 86. Les eaux de Hammam Tellat sont hypothermales.

b: pH.

Les eaux de cette émergence sont faiblement acides. Leur pH varie autour de 6.7. Cette acidité est probablement liée à des émanations de CO2 provenant du socle.

c: Conductivité.

Les eaux sont très peu minéralisées et faiblement conductrices. La conductivité moyenne est de l'ordre de 2800 µmho/cm. La minéralisation des eaux varie très faiblement. Le taux de dilution est très faible estimé à 0.7%. L'écart enregistré au cours du temps est estimé à environ 40 µmho/cm. Les eaux de cette source appartiennent au deuxième groupe des conductivités.

d: Résidu sec.

Le poids du résidu sec, obtenu à 110 °C, est faible. Il varie autour de 2.2 g/l.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

- Anions.

Les teneurs en sulfates, très élevées, sont de l'ordre de 27 méq/l. Ils sont dominants sur les bicarbonates et plus fortement sur les chlorures dont la teneur est très faible.

- Cations.

Les teneurs en calcium, très peu variables, sont très fortes dans les eaux. En revanche, le sodium ainsi que le potassium sont très faiblement représentés. Les teneurs enregistrées sont respectivement égales à 1.5 méq/l et 0.15 méq/l. Ces deux éléments accusent de faibles variations dans le temps liées a un mélange avec des eaux plus froides.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Mg	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.74	0.40	0.07	27.72	0.18
3	+0.70	0.43	0.042	36.70	0.09

Tableau (IV.1.6)

- Indice d'échange de bases.

L'indice d'échange de bases, calculé pour les deux campagnes, donne une valeur négative en Novembre 84 et une valeur positive en fevrier 86. Il se traduit par une substitution de Ca et Mg par le Na de la roche pour la première campagne et inversement pour la seconde. Cette forte variation est certainement liée à des venues d'eau du socle.

- Formule caractéristique.

La formule caractéristique des eaux est:

rSO4 > rHCO3 > rCl et rCa > rMg > rNa > rK

- Facies chimique.

Les eaux de Hammam Tellat sont **hypersulfatées calciques.**

b: Eléments traces.

La teneur en silice est la plus élevée variant autour de 19 g/l. Cette valeur est légèrement supérieure aux teneurs moyennes des eaux de surface traduisant par cela une origine des eaux de Hammam Tellat peu profonde. Les autres éléments, à l'éxception du strontium, sont faibles. Ce dernier est caractérisé par une teneur de l'ordre de 8 mg/l. Cette teneur caractérise les eaux ayant été en contact des évaporites.

La teneur en Fluor est élevée variant autour de 1 mg/l traduisant une circulation des eaux en contact du socle ou une remontée profonde de gaz ou de vapeur d'eau en provenance du socle cristallin très peu profond dans la région (voir gravi chpIII).

L'ensemble des autres éléments dosés en l'occurrence l'iode, le bore, le fer, et le chrome sont très faiblement concentrés dans l'eau. Les teneurs sont inférieures à 0.4 mg/l. Les teneurs des bromures, du rubidium, du zinc et du manganèse sont nulles.

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Température	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)
Tellat	53	68	262	213	112	194

Tableau (IV.1.7)

Les températures T(1) et T(2) sont très proches variant entre un maximum de 68°C et un minimum de 53°C. Les températures des eaux en profondeur, estimées avec les différents autres géothermomètres, sont élevées et très hétérogènes. Les écarts de température sont parfois importants en particulier pour les T(5) et T(3). Les résultats sont résumés dans le tableau (IV.1.**7**)

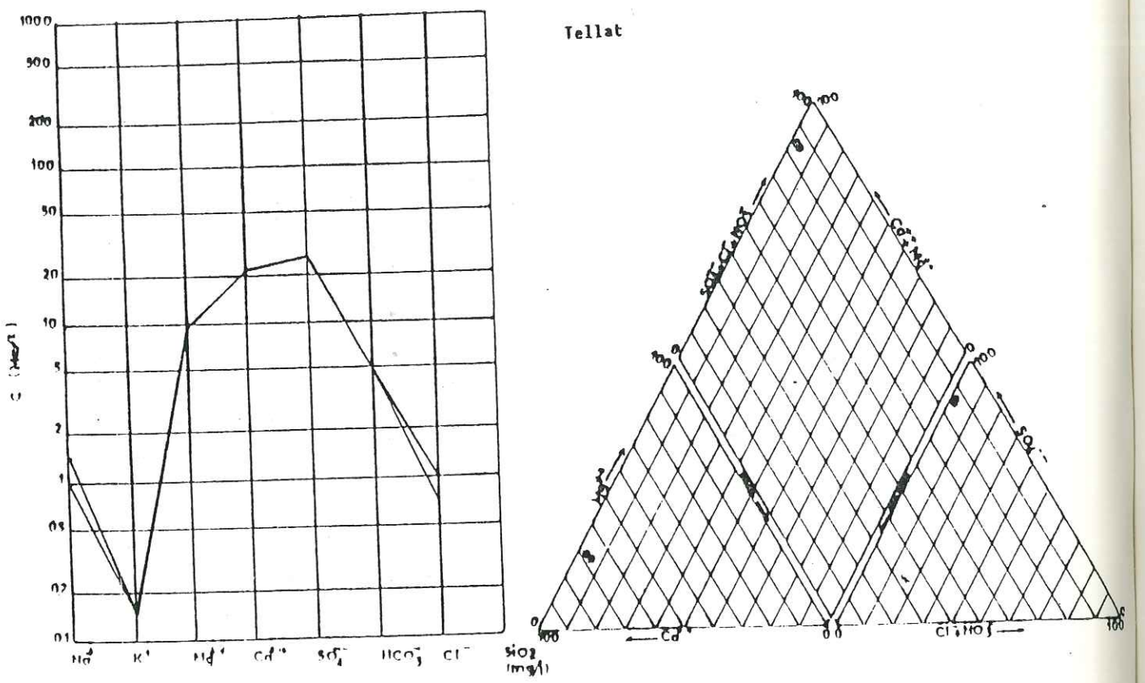
L'abondance du Na dans les eaux, donnant des rapports relativement élevés, donne des une forte température. Contrairement à cela, l'utilisation des sulfates a donné des résultats forts. Les températures T(4) et T(5) enregistrent un écart très important. Ces deux valeurs n'ont pas été prises en considération en raison de leur non représentativité. Cependant les T(1) et T(2) sont les seules à être prises en considération en raison de la faible abondance des chlorures. La teneur en silice du dernier équilibre nous paraît donc représentative du réservoir thermal.

IX- CONCLUSION.

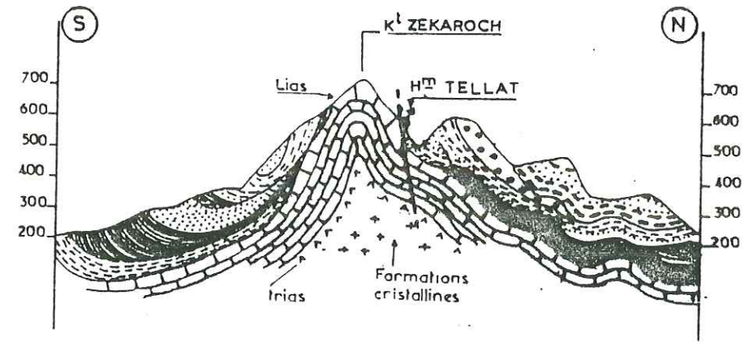
Les eaux de Hammam Tellat proviennent des calcaires liasiques (Ca/Mg 2.52) et probablement encore et en faible quantité du socle cristallin.

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

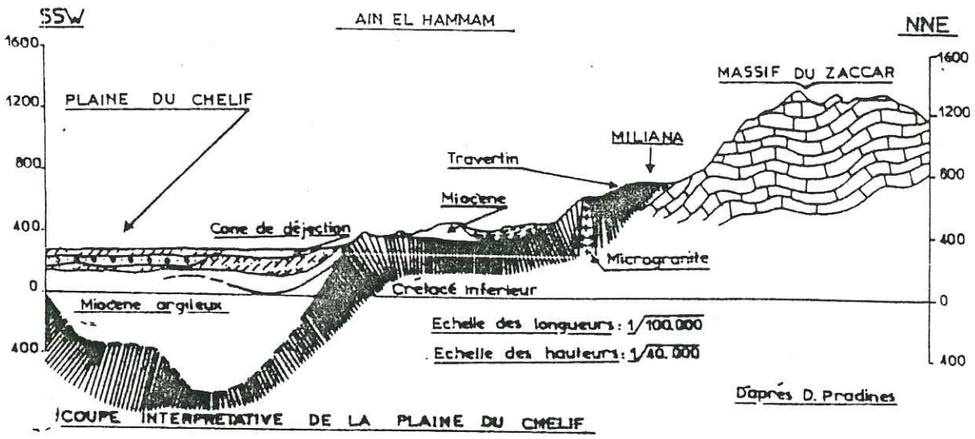
Le faciès chimique de ces eaux est hypersulfaté calcique traduisant le lessivage de formations évaporitiques fortement gypseuses (Ca/Sr 99.2) et Cl/SO4 0.072) qui sont d'âge triasique dans cette région. La température du réservoir varie autour de 60°C traduisant une faible profondeur du réservoir. Cependant les différentes teneurs en éléments traces émanent en grande partie du socle cristallin. Les eaux ont un circuit du type (2) voir modèle figure (IV.1.).



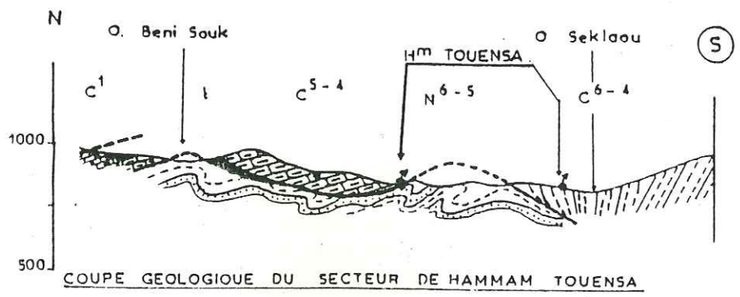
Fig(IV.1.10)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.



COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE PASSANT PAR HAMMAM TELLAT



COUPE INTERPRETATIVE DE LA PLAINE DU CHELIF



COUPE GEOLOGIQUE DU SECTEUR DE HAMMAM TOUENSA

Fig(IV.1.11)

IV.1.4- HAMMAM AIN EL HAMMAM N°29

I- INTRODUCTION.

Les informations recueillies sur les lieux ainsi que les quelques documents consultés ne rapportent pas la totalité de l'histoire de la source. Cette émergence est connue depuis le début du siècle, cependant aucun intérêt particulier ne lui a été accordé. Une ou deux analyses des eaux ont été effectuées par S. GUIGUE au cours des années 40.

Le débit de l'unique griffon est très faible. Nous l'avons estimé à quelques litres par minute.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source thermale d'Ain el Hammam se trouve à environ 4 km au NE de la ville de Miliana et à une altitude de 756 m. Elle est située en contre bas du point de rencontre des routes provenant respectivement de Menaceur au Nord et du col des Righa au NE. La source est située à quelques mètres du lit de Oued el hammam, affluent du Cheliff, provenant du massif calcaire du Zaccar oriental. Voir fig(IV.1.1)

IV- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux émergent au sein d'une formation d'âge Cartenien (miocène sup) essentiellement marneuse surmontant au Nord les calcaires liasiques du Zaccar. Au Sud Ouest, une importante masse travertineuse est en contact par faille avec cette dernière formation.

Les calcaires liasiques sont percés par des pointements de roches métamorphiques essentiellement microgranitiques.

Au Sud Ouest, le massif du Zaccar est surmonté par une formation schisteuse du Crétacé laquelle est recouverte par une formation d'âge quaternaire. Au Nord et au Nord Est, il est recouverts par une seconde formation schisteuse et quartzitique d'âge Jurassique supérieur.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les calcaires liasiques constituent la plus importante réserve hydrique de la région. Les importantes sources jalonnant le massif confirment les potentialités hydriques de cet important réservoir

V- TECTONIQUE.

La source se situe à quelques mètres de l'extrémité Nord d'une faille décamétrique orientée NNE - SSW constituant la faille thermale.

A quelques centaines de mètres plus à l'Est de la source, une importante faille plurikilomètrique de direction N -S,limite le massif calcaire du Zaccar.

VII- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux, relativement stable, varie autour de 25°C . Les eaux sont hypothermales.

b: pH.

Les mesures du pH effectuées accusent une très faible variation dans le temps qui se traduit par une hausse en période de début de crue. le pH est égale à 7.3 donnant un caractère légérement basique.

c: Conductivité.

La minéralisation des eaux est très faible. Les eaux ont une conductivité, mesurée à 20°C, de l'ordre de 1224 µmho/cm marquée par une très faible variation dans le temps estimée à quelques dizaines de µmho/cm, résultant d'un mélange avec des eaux superficielles moins chargées. Le taux de dilution est estimé à 2.6%. Ce dernier est identique à celui de Hammam Righa indiquant probablement l'origine météorique des eaux des différentes sources.

d: Résidu sec.

La faible minéralisation des eaux s'est confirmée par un faible résidu sec. Le poids des matières solubles dans l'eau obtenu par échauffement jusqu'à 110°C, est inferieur à 1g/l.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

Anions.

Les teneurs élevées en bicarbonates sont caractérisées par une faible variation liée à des mélanges avec des eaux plus froides . Inversement les sulfates et les chlorures sont très faiblement concentrés et possedant des teneurs relativement stables.

Cations.

Les concentrations des alcalino-terreux sont nettement supérieures à celles des alcalins. Le calcium est très fortement concentré dans les eaux. Il varie parallèlement aux bicarbonates.

Le sodium ainsi que le potassium enregistrent une faible baisse dans le temps, provoquée par des arrivées d'eau moins minéralisées.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.34	0.29	0.82	0.87	2.83
3	-0.15	0.33	0.69	0;87	2.08

Tableau (IV.1..8)

Les différents rapports calculés sont très faibles. Le rapport maximal revient au sodium sur le magnésium Na/Mg = 2. Nous remarquons que les sulfates ainsi que le calcium prédominent sur respectivement les chlorures, le sodium et le magnésium.(voir tableau IV.1.8)

Indice d'échange de bases.

Les valeurs de l'indice d'échange de bases,calculé pour les deux campagnes, sont

très différentes. Elles sont faiblement négatives traduisant une substitution assez rapide des alcalino-terreux de l'eau par le sodium des argiles.

- Formule carctéristique.

Les eaux d'Ain El Hammam ont pour formule carctéristique :

rHCO3 > rCl > rSO4 et rCa > rNa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les eaux de cette source sont fortement **bicarbonatées calciques** et faiblement **chlorurées sodiques.**

B: Eléments traces.

Le dosage des différents éléments traces montre une concentration moyenne en silice liée à la faible température des eaux et à leur faible profondeur de circulation. La teneur en strontium élevée est d'origine carbonatée dûe probablement aux calcaires liasqiues du Zaccar

Les autres éléments dosés ont des concentrations plus faibles et inférieures à 1 mg/l. Le fer, avec une teneur de l'ordre de 0.6 mg/l est d'origine superficielle provenant probablement des formations schisteuses. Plus faiblement encore le fluor est caractérisé par une concentration de l'ordre de 0.46 mg/l.

Les teneurs respectives du chrome et de l'iode sont très faibles égales à 0.32 et 0.2 mg/l. Le chrome peut être lié à la présence des formations primaires.

Le lithium et le bore sont presque à l'état de traces, le brome, le rubidium, l'ammonium, et le manganèse sont totalement absents.

IX- GEOTHERMOMETRIE.

Températures °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)
:	29	33	135	89	185	92

Tableau (IV.1..9)

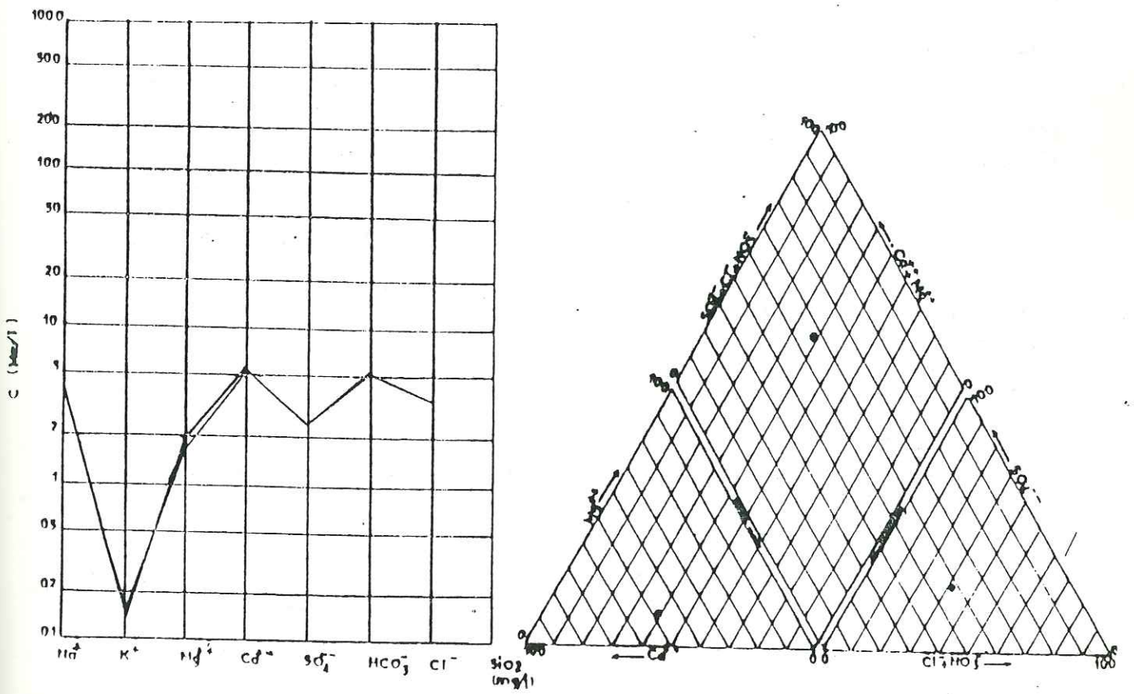
Les températures T(1) et T(2) sont trés faibles et très rapprochées. L'écart enregistrés est estimé à 4°C. Ces deux valeurs traduisent une faible profondeur du dernier équilibre de la silice. Cette valeur est cependant acceptable en raison de la faible influence des chlorures. Le circuit emprunté par les eaux est du type 2 ne nécessitant pas la correction de la teneur en silice.

Les températures T(4) et T(6) sont plus élevées que les précedentes et sont respectivement égales à 89 °C et 92°C; en revanche,les températures T(3) et T(5) liées à la faible présence du sodium et l'abondance des bicarbonates, sont très élevées et très différentes. L'écart entre les deux valeurs est important.

X- CONCLUSION.

Les teneurs relativement élevées en bicarbonates et en calcium donnant un faciès chimique bicarbonaté calcique fort,résultent du transit des eaux dans une formation

carbonatée (Ca/Mg = 1.43). Les calcaires liasiques fortement karstifiés constituent l'unique réservoir pouvant répondre aux différents resultats d'analyses. Les eaux sont faiblement minéralisées et très peu conductrices issues des calcaires liasiques du Zaccar. Leur parcours est relativement court se traduisant par un contact très limité avec des formations argileuses. L'éstimation de la température du réservoir a donné une valeur de l'ordre 30 °C concordant parfaitement avec la température des eaux à l'émergence. Les variations des teneurs de certains éléments sont liées souvent à des mélanges d'eaux de nature et de composition différentes. Le circuit hydrothermal est du type 2 c'est à dire que les eaux de Ain El Hammam après leur infiltration circulent dans les calcaires karstifiés du Zaccar et réapparaissent en surface sans être interceptées par les formations évaporitiques. L'énergie nécessaire au réchauffement est liée en grande partie au gradient géothermique et à l'activité séismique. Il n'est pas exclu qu'une partie de la chaleur provient des microgranites. Cependant le faible rapport de Ca/Sr(34.16) indiquent une indépendance totale des eaux des formations évaporitiques. Les chlorures et les sulfates sont probalblement d'origine météorique.



Fig(IV.1.12)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

IV.1.5 HAMMAM TOUENSA N°33

I-INTRODUCTION.

La faible importance de cette source n'a pas marqué l'histoire. Les études de recherche faites sont très rares. Elle n'est cependant utilisée que par les habitants locaux.Les eaux empruntent une petite rigole qui est tapissée d'une mince couche blanchâtre.

Un léger dégagement gazeux probablement d'anhydride sulfureux à été observé au niveau du bassin ,probablement du H2S ,se matérialisant par des bulles à la surface.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source se trouve à environ 2 kilomètres au N.W du village de Tablat. Une piste carossable mène de ce dernier à la source ainsi qu'aux localités voisins. Elle est située en contre bas et à quelques mètres du lit de la rivière qui est un des affluent de Oued Isser. L'altitude moyenne des lieux est de 600 m.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Le secteur de la source est constitué de plusieurs unités superposées et séparées par des contacts anormaux souvent soulignés par du Trias évaporitique. Le griffon est situé à l'aplomb du contact séparant les lames 3a et 2a (voir schéma) . Ces dernières sont constituées respectivement de:

Lame 3a: Lentille à matériel ressédimenté essentiellement argileux avec des lentilles calcaires vers le haut. Vers le bas, un ensemble jaune pulvérulent est formé de gypse et de sel triasique et d'argiles. Au dessus, le Santonien - Maestrichtien est constitué d'argiles vers le haut et de calcaires vers le bas.

L'Albien, forme l'étage le plus bas de la lame et est constitué de petits bancs de quartztites, de grès et de pélites.

Lame2a: Elle est formée uniquement de Cénomanien constitué à la base de marnes schistosées à sphéroides radiées de barytine et de bancs de calcaires à la base.

IV- HYDROGEOLOGIE.

La diversité des faciès se traduit par une pérméabilité variable d'une formation à une autre. Dans la lame 3a, la base du Santonien-Maestrichtien ainsi que les bancs de quartzites et grès sont les seuls niveaux pouvant être aquifères. Les réserves de ces niveaux sont très limitées.

La lame 2a, avec les quelques bancs de calcaires, est cependant très peu importante.

V- TECTONIQUE.

Le secteur de la source est formé de plusieurs unités superposées et séparées par des contacts anormaux orientés E - W . La source coincide avec le contact séparant les lames 3a et 2a.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

La température des eaux est faible et égale à 16.5°C. Elles appartiennent au groupe des eaux froides. Le pH est faiblement supérieur à 7 donnant aux eaux un caractère

faiblement basique. Le résidu sec ainsi que la minéralisation sont très élevés se traduisant par une très forte conductivité. Cette dernière mesurée à 20°c varie autour de 7800µmho/cm. Ces eaux sont classées dans la classe des eaux froides et minérales TSD > 1000 mg/l (Vuataz 1979). Le débit est relativement faible. Ila été estimé à quelques litres par minute.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

N° de la campagne :	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
Tellat	-0.93	0.65	30.25	0.33	46.35

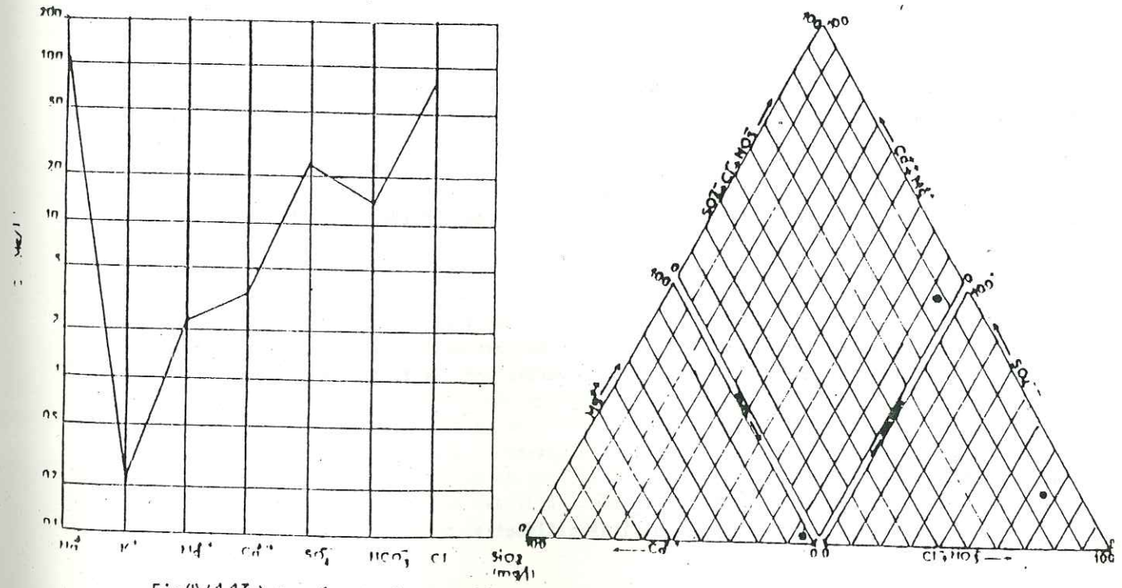
Tableau (IV.1.10)

Les chlorures ainsi que le sodium sont fortement prédominants sur les ions de leurs familles respectives. Les sulfates sont également fortement concentrés dans les eaux. Ce type d'association est originaire des formations évaporitiques à fortes teneurs en halite. Les différentes représentations graphiques montrent dans leur totalité la prédominance des chlorures et du sodium et plus faiblement encore des sulfates donnant ainsi une formule caractéristique du type: **rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK.** Les eaux de cette émergence sont **hyperchlorurées sodiques** ayant des rapports caractéristiques du sodium sur respectivement le calcium et le magnésium très élevés voir Tableau (IV.1.10); en revanche, le rapport des sulfates sur les chlorures est très faible.

La minéralisation des eaux a été acquise au cours du transit des eaux dans les formations évaporitiques. L'indice d'échange de bases est négatif traduisant un échange de Ca et Mg de l'eau par le sodium des permutolites probablement les argiles du Trias.

VIII- CONCLUSION.

Les résultats des différentes méthodes plaident pour une origine évaporitique de la minéralisation. Cependant nous pensons que les eaux ont transité assez rapidement par les formations calcaires du Cénomanien avant d'atteindre les formations triasiques évaporitiques où le temps de séjour à été plus long. Les eaux ont par la suite circulé le long du contact anormal séparant les deux lames en échangeant des éléments conduisant à la transformation totale de leur chimisme originel.



Fig(IV.1.13)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

IV.16- FORAGES CARBOGAZEUX DE LA MITIDJA -

I- INTRODUCTION.

Quatre forages au total ont été inventoriés au cours de nos campagnes d'echantillonnage. Deux d'entre eux sont très anciens, connus depuis le début de la période française; quant aux deux autres ,ils ont été implanté recemment après les années 70.

Plusieurs travaux de recherches ont été effectués sur les deux premiers points pour l'explication des forts dégagements gazeux constatés (Aymé 1956, Benetton et Truillet 1979 ...etc). Les différentes hypothèses ont été controversées et sont actuellement le sujet de nombreuses discussions.

Le forage de Mouzaia (ex Leblanc) est le seul exploité . Une usine de mise en bouteille a été installée sur les lieux pour la commercialisation de ces eaux.

Les eaux des quatres forages recensés ont un gout aigrelet au fond de la gorge. Elles sont claires et limpides souvent accompagnées d'un fort dégagement gazeux qui se traduit par des bulles en surface. Ces derniers sont plus importants au niveau du forage de Messala (Toche) très peu profond et situé au pied de l'Atlas Blideen. Une légère odeur sulfureuse a été cependant sentie au niveau du forage de Bouremroum captant l'Astien.

Le débit d'exploitation de ce dernier forage est estimé à environ 10l/s. La profondeur de ces différents puits et forages est variable. Elle est égale à 163 m à Mouzaia et 80 m à Aidat; en revanche, elle est de 530 m à Bouremroum.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

Les quatres forages sont situés au Sud-Ouest de la plaine de la Mitidja. Du Sud au Nord, on rencontre les forages suivants:

- **Le puits de Messala:** Il se trouve à environ trois kilomètres au Sud-Ouest du village de Mouzaia. Une route mène de la nationale reliant El Affroun à Mouzaiaville, jusqu'au puits.

- **Mouzaia et Aidat:** Ils sont situées à environ 11 kilomètres au Nord de la ville de Mouzaia de part et d'autre de la route reliant cette dernière à la ville de Attatba.

Le forage de Aidat est situé à quelques centaines de mètres au Nord-Est du forage précédent.

- **Forage de Bouremroum:** Ce forage est également appelé forage d'Oued El Alleug en raison de sa situation proche du village d'Oued El Alleug. Il est situé à quelques kilomètres au Nord-Ouest de ce dernier village sur la route reliant ce dernier à Attatba.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les différents forages carbogazeux se trouvent en amont de la vaste plaine de la Mitidja. Cette dernière, très étroite et allongée, est en forme de synclinal ayant un axe d'allongement NE -SW, comblée d'un matériel varié. On distingue ainsi les formations suivantes:

Quaternaire: Il constitué essentiellement de graviers et d'argiles surmontés au Nord par des limons.

Villafranchien: formé d'argiles et de cailloutis

Pliocène supérieur (Astien): Il est constitué de calcaires gréseux, de calcaires construits et de marnes jaunes et sables.

Pliocène inférieur: essentiellement marneux et argileux.

Cette plaine est séparée de l'Atlas Blidéen par un important contact. Des niveaux d'âge Miocène marquent la limite et sont essentiellement marneux souvent accompagnés de pointements Oligocènes constitués de schistes rouges, poudingues et sables argileux. Ces séries reposent vers le Sud sur des formations d'âge Crétacé.

- **Crétacé supérieur:** a:**Sénonien:** marnes schistoides renfermant des lentilles de calcaires.

- **Crétacé moyen:** a: **Turonien:** n'a jamais été caractérisé paléontologiquement.

b: **Cénomanien:** marnes, schistes et marno-calcaires.

c: **Vraconien:** calcaire marneux très schisteux et souvent phosphatés.

- **Crétacé inférieur:** a: **Albien inférieur et moyen:** faciès schisteux profond,argiles et quartzites.

b: **Aptien:** calcaires et marnes

c: **Barremien:** schistes et quartzites, calcaires schisteux avec fossiles pyriteux

d: **Néocomien:** d1: Autochtonne: schistes et grès siliceux.
d2: Allochtone: argiles noires avec quelques petits bancs de grès.

Les formations constitutives de la plaine reposent sur des formations cristallines généralement éruptives qui affleurent à l'Ouest dans la région de Marceau et à l'Est dans la région de Thenia. Elles se subdivisent en trois grands types:

- **a: série éruptive d'âge primaire:** formée de roches intrusives holocristallines, de roches d'épanchement vitreuses et de tufs volcaniques.

- **b: roches éruptives en relation avec les affleurments triasiques:** Elles se présentent sous forme de blocs isolés plus ou moins concassés dans les gisements de trias gypsosalins. Elles sont essentiellement gneissiques et micashisteuses.

- **c: Roches éruptives d'âge Tertiaire:** Elles se présentent en deux types: - des roches intrusives (granite ou monzonites) -des roches d'épanchement (rhyolite, andésite) accompagnées de tufs (voir coupe IV.1.15).

V- HYDROGEOLOGIE.

Au niveau de la plaine, deux formations sont aquifères. Les formations quaternaires renferment les plus importantes réserves et sont les plus exploitées en raison de leur faible profondeur. L'Astien calcaire et gréseux qui en dépit de sa grande profondeur (500m) est exploité pour l'alimentation de la capitale en eau potable.

A l'extérieur de la plaine et vers le Sud, les formations perméables sont rares . Les schistes du Crétacé moyen du massif de Blida sont relativement perméables et sont les sources d'alimentation de la plaine de la Mitidja.

V- TECTONIQUE.

La plaine de la Mitidja est une cuvette synclinale coincée entre l'Atlas Blidéen au Sud et le Sahel d'Alger au Nord. Elle est affectée par plusieurs fractures qui la parcourent généralement du Sud vers le Nord. D'après J.DEVAUX (1969) , deux familles de fractures sont présentes :

Une première famille orientée NW - SE traverse toute la plaine et une partie de l'Atlas. Ces fractures sont au nombre de deux et sont nommées C et D (voir carte chp III).

Au Sud de la plaine, une deuxième famille, probablement conjuguée de la précédente, orientée NE - SW affecte toute la région de Mouzaia, facilitant la remontée de CO2.

Sur photosatellite, des linéaments soulignent les mêmes fractures précédentes avec cependant l'apparition d'autres linéaments matérialisant des fractures importantes plurikilomètriques. C'est à ces dernières que revient l'explication des dégagement gazeux.

VI- GEOPHYSIQUE.

L'utilisation des coupes géoéléctriques effectuées perpendiculairement à la plaine de la Mitidja nous a donné des résultats forts intéressants. Les forages de Mouzaia et Aidat sont situées au dessus du contact séparant le Miocène et le Crétacé. L'Astien est absent dans cette partie de la plaine permettant une remontée relativement rapide du CO2 profond à partir du socle cristallin. Le forage de Oued El Alleug est cependant situé sur le conact séparant les argiles Plaisanciennes et les formations Miocènes. La grande profondeur de ce forage (530 m) explique partiellement la forte quantité de CO2. Cependant le puits de Méssala est situé sur le contact séparant l'Atlas Blideen au Sud et la plaine de la Mitidja au Nord. Les importants dégagements gazeux constatés remontent à la faveur de cet important accident.

VII- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température:

La température des eaux de Messala est faible variant autour de 17°C; en revanche, les trois autres forages sont thermaux. Le maximum de température a été enregistré à Oued El Alleug (28.1°C). Les variations de la température sont relativement faibles dans le temps liées aux variations saisonnières et au temps de réponse relativement court.

b: PH:

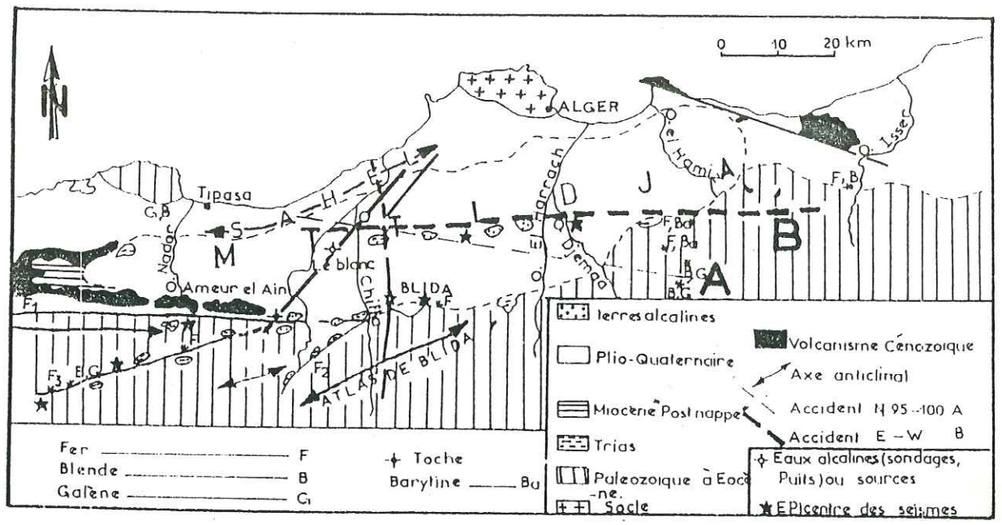
Les eaux des différents points ont un caractère acide. Les PH mesurés varient entre 6.2 et 6.6 . Il est cependant plus faible au niveau d'Oued El Alleug. Pour les forages du quaternaire, une évolution du PH a été constatée du Sud vers le Nord se traduisant par une hausse estimée à environ 0.4 pH.

c: Conductivité.

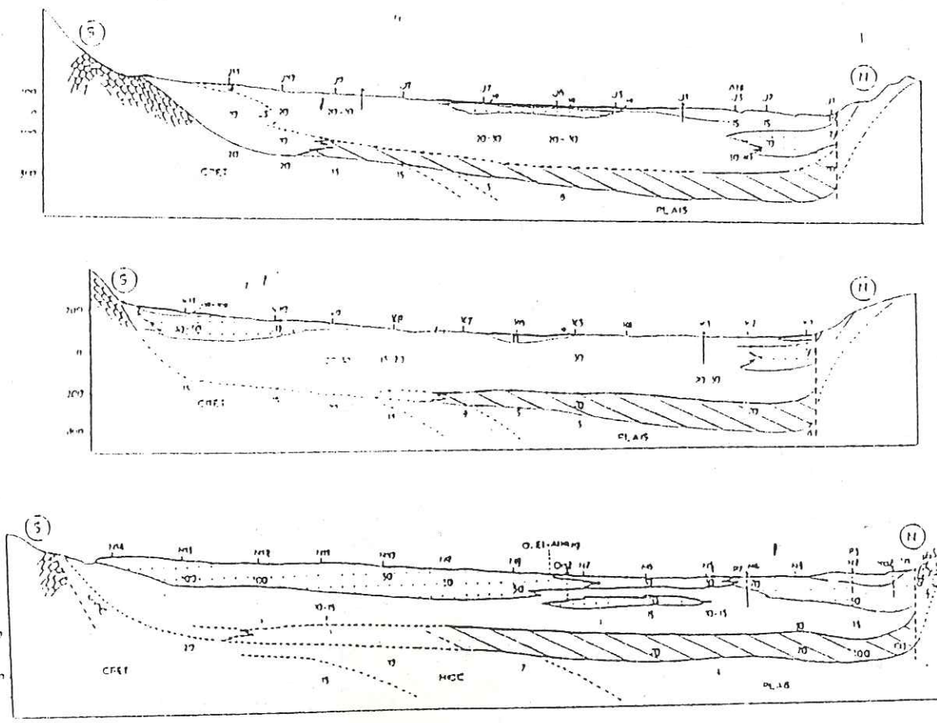
La plus forte conductivité a été enregistrée pour les eaux du forage de Oued El Alleug (4480 µmho/cm). Inversement la plus faible conductivité revient aux eaux de Messala (1328 µmho/cm). Les eaux de Mouzaia ont cependant une conductivité moyenne légèrement supérieure à 2000 µmho/cm. Ces dernières montrent une très faible variation dans le temps. Les taux de dilution sont respectivement de 3.1% à Oued El Alleug et 8.6 à Mouzaia. Ceci s'explique par une différence des temps de séjour et donc par le temps de contact qui est plus ;important à Oued El Allueg. Les eaux sont d'origine météoriques provenant des formations crétacées de l'Atlas Blidéen.

d: Résidu sec.

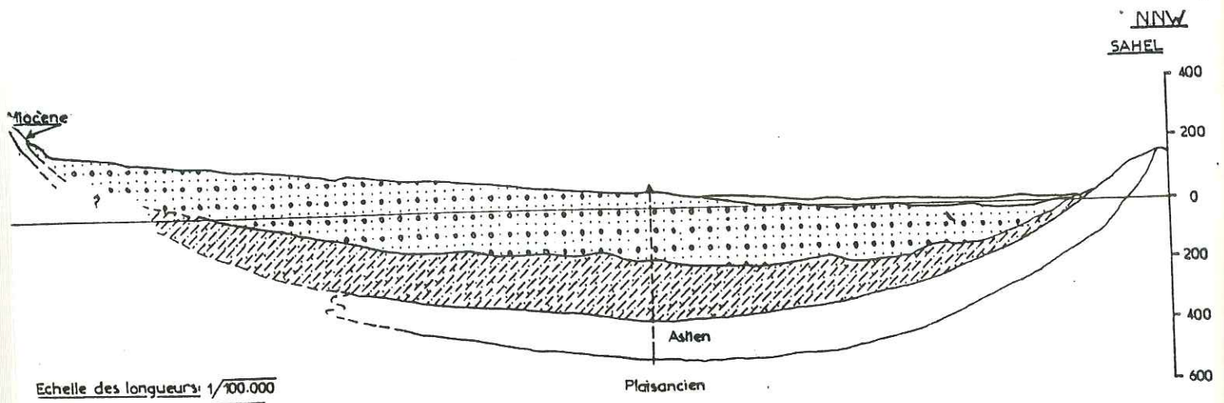
Le résidu sec des différentes eaux est relativement élevé à Oued El Alleug et



D'après BENETON et TRUILLET 1979 (modifié)



Fig(IV.1.14) - Cadre géostructural et coupes géoéléctriques de la Mitidja occidentale.



(3) COUPE INTERPRETATIVE TRANSVERSALE DE LA MITIDJA DANS LE BASSIN DU MAZAFRAN

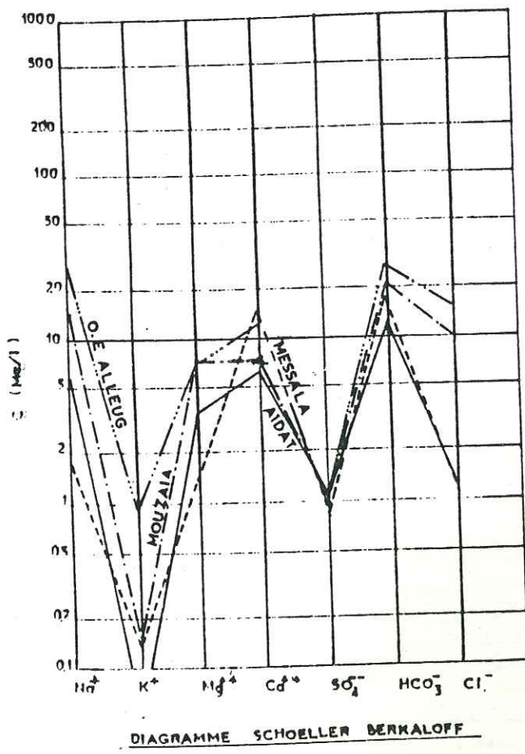


DIAGRAMME SCHOELLER BERKALOFF

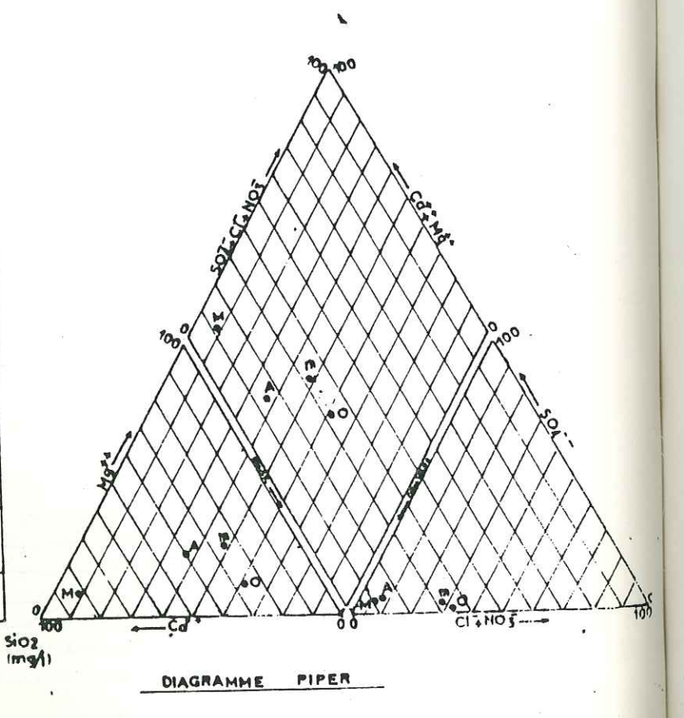


DIAGRAMME PIPER

Fig(IV.1.15)

faible à Aidat . Il varie entre un maximum de 3700 mg/l et un minimum de 1258 mg/l à Aidat. Les eaux de Messala n'ont pas été analysées.

e: Gaz.

Les mesures de CO2 qui ont été faites à Oued El Alleug et Mouzaia ont donné des teneurs respectivement égales à 2000 mg/l et 563 mg/l donnant un caractère carbogazeux à ces eaux. L'origine de ce gaz a été longuement discutée en particulier par AYME, BENETTON et TRUILLET...etc.

VIII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les bicarbonates sont prédominants sur les chlorures et plus fortement sur les sulfates. Les rapports effectués entre les bicarbonates et ces deux derniers sont systématiquement supérieurs à 1.

Cations.

Le calcium est prédominant pour l'eau de Messala et tend à s'équilibrer avec le sodium pour les eaux de Mouzaia et Aidat. Cet équilibre s'inverse à Oued El Alleug ou le sodium devient dominant.

- Rapports carctéristiques.

Nom de la source	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
Messala	-0.52	0.09	0.1	0.67	1.10
Mouzaia	-0.66	1.15	1.93	0.15	1.66
Aidat	-3.81	0.59	0.92	0.97	1.56
O.E.Alleug	-0.85	0.52	2.16	0.05	4.10

Tableau (IV.1.11)

Les rapports Mg/Ca, des trois premiers points, d'eau augmentent depuis Messala jusqu'a Aidat, en revanche, une diminution a été enregistrée à Oued El Alleug.

Les rapports Na/Ca et Na/Mg augmentent de l'amont vers l'aval en direction de Oued El Alleug. Inversement le rapport SO4/Cl se traduit par une hausse de Messala jusqu'à Aidat et une diminution pour les eaux de Mouzaia et Oued El Alleug.

- Indice d'échange de bases.

Les eaux au cours de leur circulation souterraine ont effectué des échanges d'éléments avec l'encaissant. Les indices d'échanges de bases sont négatifs variant entre un minimum de -0.032 à Messala et -0.42 à Oued El Alleug. Ces différentes valeurs sont directement liées au temps de contact des eaux avec l'encaissant.

- Formule caractéristique.

Les eaux de Messala et Aidat ont pour formule caractéristique :
rHCO3 > rCl >rSO4 et rCa > rNa > rMg > rK.

La substitution de Ca par Na à modifié la formule des eaux des deux derniers forages. Elle est:

rHCO3 > rCL > rSO4 et rNa > rMg > rCa > rK pour Mouzaia
et " rNa > rCa > rMg > rK pour Oued El Alleug.

- Faciès chimique.

Les eaux de Messala et de Aidat sont bicarbonatées calciques; en revanche, les deux autres forages sont bicarbonatés sodiques.

B: Eléments mineurs

Le dosage des éléments traces a donné une teneur en silice égale à 19 mg/l pour les eaux de Oued El Alleug traduisant une profondeur des eaux relativement importante.

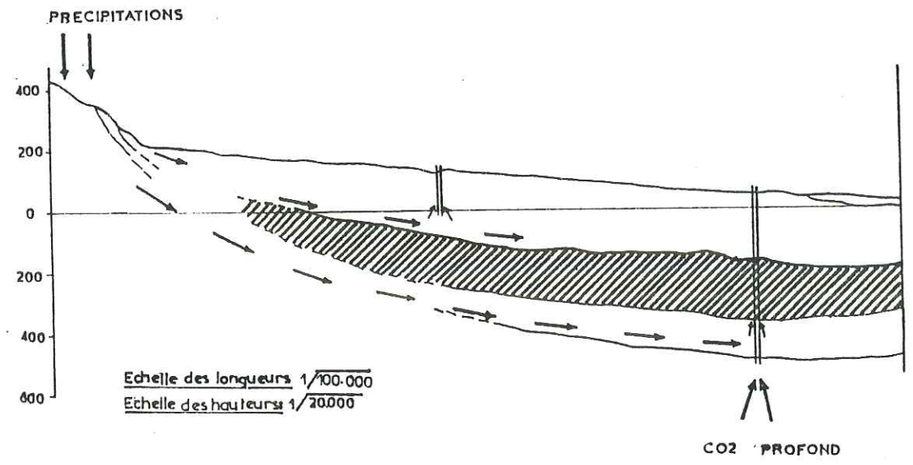
- CONCLUSION -

Les résultats des différentes méthodes imposent l'hypothèse suivante: Les nappes de la plaine de la Mitidja sont alimentées par les formations Crétacées de l'Atlas Blidéen. Les eaux après leur infiltration, circulent en contact avec les substratums respectifs des deux aquifères en échangeant des alcalino-terreux contre les alcalins tendant vers une modification presque totale du faciès qui était préalablement bicarbonaté calcique. Cette évolution se répercute sur les différents paramètres analysés traduisant systématiquement une évolution du Sud vers le Nord.

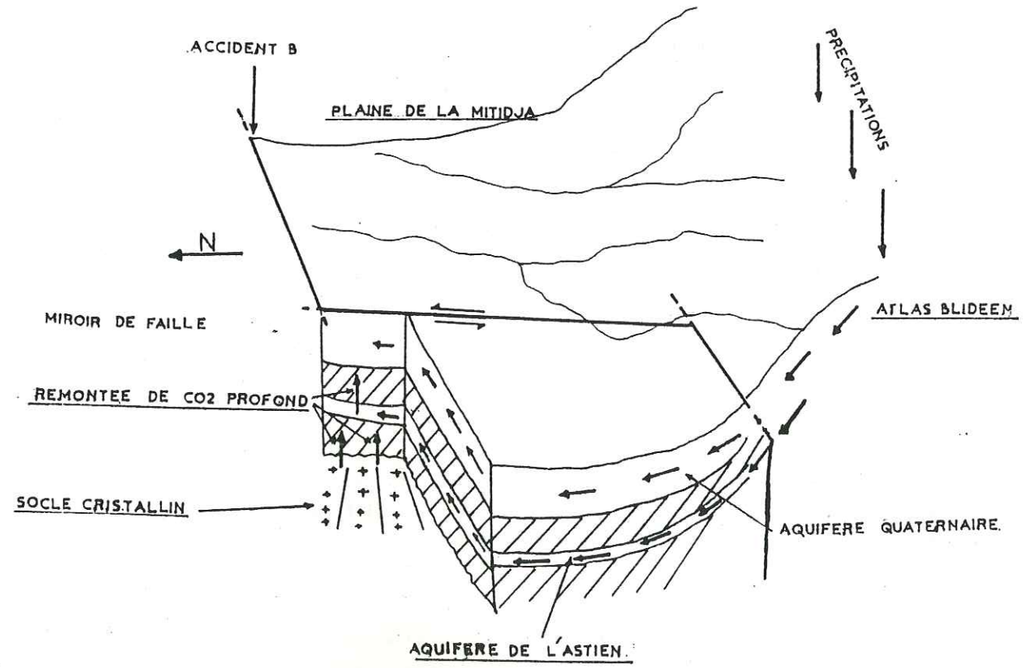
L'enfouissement des eaux à travers les couches aquifères contribue à l'élévation de la thermalité des eaux. Cette dernière est plus élévée pour Oued El Alleug en raison de la profondeur du réservoir et moyenne pour les eaux de Mouzaia et Aidat et faible pour Méssala. L'écart de température entre Mouzaia et Aidat est estimé à quelques degrès en raison également des profondeur des forages et donc des niveau exploités.

Les deux uniques mesures de CO2 qui ont été effectué ont donné des teneurs relativement importantes pour les forages de Mouzaia et Oued El Alleug et sont respectivement égales à 536 mg/l et 2000 mg/l. L'origine du CO2 est profonde indépendante des eaux des différents aquifères. La remontée de ce gaz a été expliquée par différents auteurs en particulier Aymé (1956), Benetton et Truillet (1979). Ces deux derniers ont, après examen de la photosatellite détérminé deux linéaments nommés A et B qui correspondent à des fractures profondes de la Mitidja affectant le substratum rigide. Ces derniers coincident avec les terres stériles détérminées par Aymé (1956) et les épicentres des séismes (J. ROUSSEL 1975). Plus au Sud la même direction correspond à un contact anormal séparant l'Atlas de Blida de la plaine.

L'examen de la carte interprétative des linéaments détérminés par photosatellite montre en effet la présence de ce dernier linéament qui correspond à un accident et qui se poursuit vers le Nord par un second linéament orienté NNE -SSW joignant les deux lignes des terres stériles. Sur ce linéament s'alignent les trois derniers points carbogazeux, en l'occurence Messala ,Mouzaia et Aidat . Cette direction caractérise les accidents distensif en prenant en considération l'hypothèse de M.OUYED (1981) selon lequel le seisme du Cheliff a été provoqué par une compression ayant une direction NW -SE. Ce type d'accident permet la remontée d'eau et de gaz vers la surface donnant à la fin des eaux carbogazeuses. De même l'examen des coupes géoéléctriques montre des discontinuités se traduisant par des contacts anormaux permettant également la remontée des gaz profonds. Les faciès bicarbonatés sodiques des eaux des deux derniers forages résultent des échanges d'éléments avec les foramtions argileuses constituant le substratum et il n'est pas exclu que ces eaux aient transité par les niveaux évaporitiques du Trias empruntant des sulfates. Les eaux sont par la suite pompées à différentes profondeurs tout en gardant leur thermalité. Voir figure N°(IV.1 .16)



MODELE DE CIRCULATION DES EAUX EN PROFONDEUR



Fig(IV.116) SCHEMA INTERPRETATIF DU FONCTIONNEMENT DES FORAGES CARBOGAZEUX

IV.1.4 AIN MOUILHA N° 25

I- INTRODUCTION.

L'histoire de la source de Mouilha est limitée aux informations que nous avons pu recueillir sur les lieux. L'absence de documents et de vestiges anciens ne nous ont pas permis d'avoir une idée sur l'histoire exacte de cette émergence.

La source de Mouilha est caractérisée par un faible débit et une très importante salinité des eaux. Malgré l'absence totale de l'infrastructure d'accueil, les visiteurs sont très nombreux en provenance des régions voisines et parfois même de très loin. Une seule étude effectuée par le Ministère du Tourisme recemment dans le cadre de l'établissement d'un inventaire des sources thermominérales algériennes. Les eaux déposent à leur émergence une mince couche ferrugineuse.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source de Mouilha se situe au contre bas de la nationale N°8, reliant les villes de L'Arbaa au Nord et Tablat au Sud. Elle se trouve à quelques centaines de mètres au Sud de L'Arbaa et à quelques mètres du lit principal de Oued Djemaa sur la rive droite.

Pour y acceder aucune piste carrossable n'existe, cependant un chemin longeant le lit de la rivière mène jusqu'à la source. L'altitude moyenne du lieu est de 170 m.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les formations géologiques constitutives du secteur de la source se résument comme suit:

QUATERNAIRE: Il constitue le remplissage de la plaine de la Mitidja. Il est formé d'une alternance d'argiles et de graviers. Cette formation repose vers l'Est sur l'Oligocène constitué de schistes, poudingues et de sables argileux.

L'ensemble des formations précédentes repose sur du Crétacé supérieur (Sénonien), formé essentiellement de marnes schistoides et de lentilles calcaires marneux très schisteux parfois phosphatés. Ces dernières formations sont en contact anormal avec le Crétacé inferieur à l'Ouest de Oued Djemaa.

Crétacé inférieur: Il est généralement schisteux, argileux avec quelques intercalations de quartzites, calcareux et marneux; parfois des bancs grèseux s'intercalent en particulier au Néocomien. Des fossiles pyriteux sont observés au Barremien.

A l'Est de Oued Djemaa, l'Oligocène repose en contact anormal sur le Crétacé inférieur. Ce dernier est une seconde fois en contact anormal sur le Crétacé superieur. Le Trias se présente en petits affleurements jalonnant les différents contacts anormaux. Il est constitué de gypse, marnes bariolées et cargneules.

IV- HYDROGEOLOGIE.

La Mitidja constitue avec ces deux importantes nappes la plus grande réserve d'eau de la région. Au Sud de la source, les formations précédentes sont quasiment stériles. Cependant il n'est pas exclu que certaines formations d'extension réduites puissent être aquifères et alimenter la source de Mouilha ou également d'autres sources.

V- TECTONIQUE.

La source de Mouilha se situe à quelques centaines de mètres d'un important contact séparant les formations Oligocènes de celles du Crétacé inférieur. Sur photosatellite un important linéament plurikilomètrique affecte la région ayant une direction N - S. Au niveau de l'émergence, les eaux sourdent a la faveur d'un joint séparant deux bancs calcaires de teinte bleutée très diaclasés.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les eaux de la source de Mouilha sont très faiblement hypothermales. La température est égale à 23°C. Elles sont très faiblement basiques ayant un pH légèrement supérieur à 7 et fortement conductrices. La conductivité, mesurée à 20°C, est égale à 10.000 µmho/cm appartenant au 4 groupe. Le résidu sec obtenu à 110°C est égal à 6.5 g/l traduisant la forte minéralisation des eaux.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

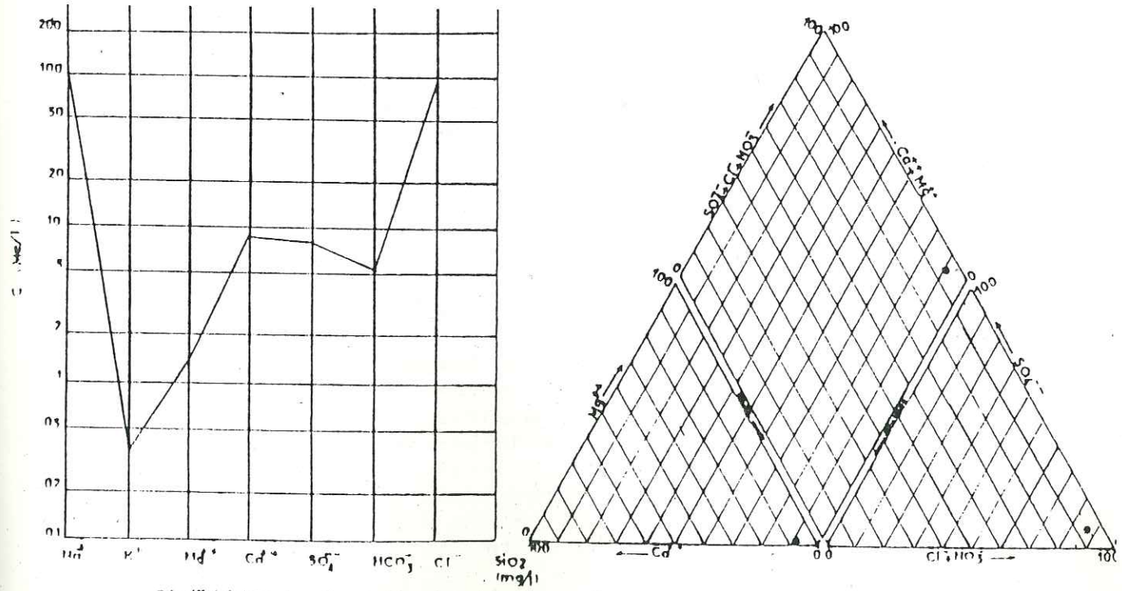
Les chlorures sont fortement prédominants (90 méq/l) sur respesctivement les sulfates et les bicarbonates dont les teneurs sont inférieures à 10 méq/l.

Le sodium est prépondérants sur le reste des éléments dosés. Sa concentration est d'environ 98 méq/l.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.10	0.17	10.97	0.09	64.09

Tableau (IV.1.12)



Fig(IV.1.17)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

-Indice d'échange de bases.

Les eaux au cours de leur trajet souterrain effectuent des échanges d'éléments qui se résument en une substitution du calcium et magnésium de l'eau, provenant probablement d'une formation carbonatée, par le sodium de la roche argileuse. Cet échange a abouti à une modification de la composition chimique originelle de l'eau.

- Formule carctéristique.

Les eaux de Mouilha ont pour formule caractéristique :

rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les résultats d'analyse classent les eaux de Mouilha sous un faciès **hyperchloruré sodique et faiblement sulfaté calcique.**

B: Eléments traces.

La teneur en silice peu élévée (17 mg/l) est voisine des teneurs moyennes des eaux froides de la région traduisant l'origine superficielle des eaux de cette émergence.

L'ammonium est assez fortement concentré ayant une teneur égale à 1.75 mg/l. L'origine de cet élément est probablement superficielle en provenance des matières organiques putréfiées. Une origine profonde est difficile à envisager.

La teneur en fer est très faible. Ce dernier au contact de l'oxygène précipite en donnant une couche ferrugineuse en suface tapissant les calcaires constituant le griffon. Son origine est liée à la présence de pyrites.

Le reste des éléments dosés en l'occurence le chrome, le cuivre, le zinc et le manganèse sont absents. Les teneurs sont nulles.

VIII- GEOTHERMOMETRES.

TEMPERATURE:	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)
MOUILHA :	50	64	20	111	158	13	-	-

Tableau (IV.1.13)

Les températures T(3) et T(6), calculées respectivement du rapport Na/k et des sulfates, sont relativement faibles. L'abondance des formations évaporitiques du Trias ont influencé ces deux géothermomètres. Inversement les températures T(4) et T(5) sont très élevées. Elles sont respectivement égales à 111°C et 158°C. Ces deux dernières sont liées au même phénomène que pour les températures précédentes. Cependant les températures estimées par les gothermomètres silices sont les seules à pouvoir être prises en considération pour l'évaluation de la température du dernier équilibre . Elle sont très voisines et respectivement égales à 50°C et 64°C. Ces deux dernières sont à prendre avec un maximum de précaution. L'abondance des chlorures est leur réaction avec la silice entraine une diminution de ces derniers et donc des températures faibles non représentatives. Les eaux de Mouilha ont un modèle de type 2 ou une correction de la silice est nécessaire. Le manque de données dans la région ne nous a pas permis d'apporter cette correction.

IX- CONCLUSION

Nous pensons d'après les résultats précédents que les eaux de Mouilha sont des eaux ayant une origine très peu profonde . Les eaux au cours de leur remontée lessivent des formations évaporitiques du Trias jalonnant les contacts anormaux. Au cours de leur trajet elle se chargent en éléments minéraux de même elles échangent les alcalino=terreux contre le sodium des permutolites du Pliocène acquiérant une minéralisation du type hyperchlorurée sodique. Le fonctionnement de la paline comme une lagune au Pliocène entraîne la précipitation des chlorures de sodium qui sera par la suite remobillisé par les eaux de cette source et de Hammam Mélouane. La situation des griffons au sein d'un banc calcaire laisse penser à une nature carbonatée du réservoir. La présence des pyrites explique la fine couche ferrugineuse tapissant les calcaires. La thermalité des eaux est acquise probablement par la mise en solution des pyrites. Les différents éléments mineurs sont d'origine superficielle souvent liés aux formations évaporitiques gypsifères du Trias.

SIDI HAMAD N°.

Cette émergence est caractérisée par son faible dégagement d'odeur sulfureuse. Aucune particularité propre à cette source ne permet sa classification au sein des eaux thermominérales.

La source de Sidi Hamad se trouve à mi-distance entre les villages de Meftah (ex Rivet) et Larbaa à l'Ouest à environ 500 m au Sud de la nationale N°29.

Les eaux sourdent au pied du massif de Bouzegza dans une formation d'âge Oligocène formée essentiellement de schistes, poudingues et sables.

HAMMAM DERGANA N°

Il est situé à quelques kilomètres au Sud de Ain Taya. Ce dernier se trouve à environ 21 kilomètres à l'Est d'Alger. Cette source ne possède aucune carctéristique notable pouvant l'inclure au sein de la famille des eaux thermominérales.

Le nombre de visiteurs est extrêmement important en particulier en été en dépit de l'absence presque totale d'infrastructure d'accueil.

CONCLUSION.

Les sources thermominérales de cette région jalonnent le contact Mitidja-Atlas Blidéen et sont souvent en liaison avec les grands accidents qui l'affectent. Les eaux de ces différentes émergences se regroupent en trois faciès différents.

- Righa, Righa gazeuse et Tellat sont sulfatées calciques.
- Mélouane, Tihammamine, Mouilha et Touensa sont chlorurées sodiques.
- Les sources froides de Mouzaia, Aidat, Oued el Alleug et Messala sont bicarbonatées calciques ou sodiques. Ces dernières sont carbogazeuses situées toutes dans la plaine de la Mitidja.

Cette vaste cuvette synclinale, très encaissée, est limitée au Nord par des pointements métamorphiques de Chénoua et d'Alger et par le Sahel et au Sud par l'Atlas Blidéen. La limite avec ce dernier est matérialisée par un contact anormal de direction E -W, jalonné par du Trias évaporitique à faciès gypseux et marneux et parfois très peu gypsosalin. Les différentes émergences chaudes sont souvent liées à cet important accident ou à des fractures qui lui sont associées.

Les sources de Righa et Tellat, situées respectivement à l'Ouest et à 'Est de la cuvette montrent des faciès sulfatés calciques liés aux évaporites du Trias et inversement les sources de Mélouane, Tihammamine et Mouilha, situées au centre de la cuvette, sont hyperchlorurées sodiques. De la même manière la source de Touensa située plus au Sud de la plaine et loin du contact ,est chlorurée sodique.

Les sources de Righa et Tellat sont donc liées aux formations triasiques fortement gypseuses acquérant au cours de leur transit un faciès sulfaté calcique. Les rapport Ca/Sr et Ca/Mg comparables à ceux des sources alpines (La Léchère) confirment la nature carbonatée du réservoir et le contact plus ou moins prolongé avec les évaporites qui sont d'âge triasique. La présence de formations volcaniques dans la région de Righa et du socle proche de la source de Tellat n'exclut pas une éventuelle liaison des émergences avec ces formations.

A l'inverse des deux émergences précédentes, les eaux de Hammam Mélouane sont hyperchlorurées sodiques ayant des teneurs dépassant les 500 méq/l en chlorures et en sodium. Les différents rapports montrent une nette différence avec les eaux des évaporites du Trias en particulier Sr/Rb (10) pour Mélouane et Cl/SO4 (25). La présence de saumûres dans le Messinien est la seule hypothèse qui peut être retenue pour expliquer l'origine des eaux de ces émergences. En revanche; les eaux de Touensa sont liées au Trias evporitiques gypsosalin superficiel indépendant du faciès de la Mitidja.

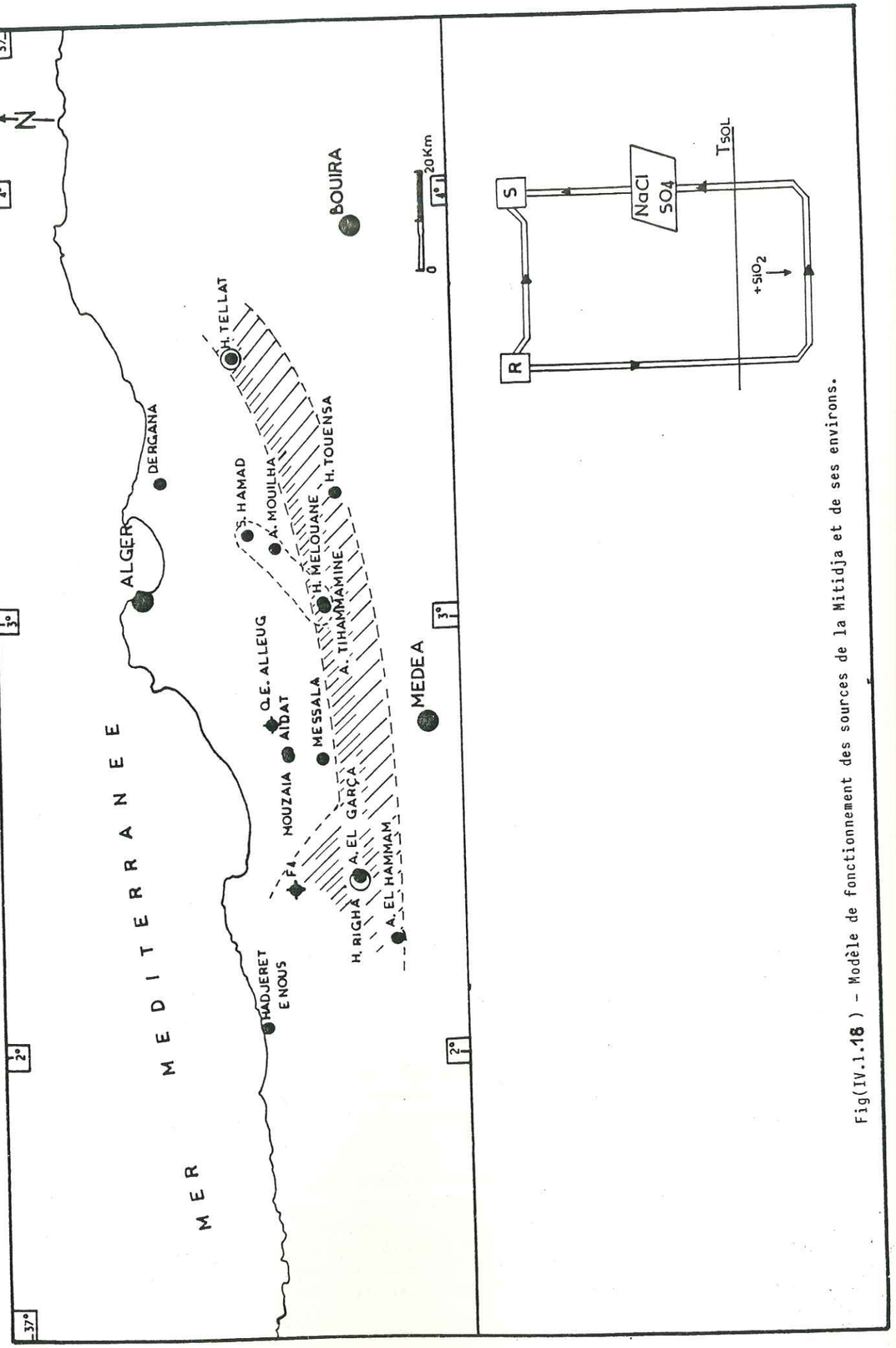
L'utilisation des géothermomètres classiques, ne nous a pas donné des résultats probants, à l'exception de la silice, pour la grande influence des évaporites. Cependant la faible présence du chlore n'influe pas beaucoup la silice ce qui rend les températures de ce dernier géothermomètre acceptables. Elles sont cependant inacceptables pour les sources de Tihammamine, Mélouane et Mouilha. Les chlorures sont présents dans le réservoir et leur réaction avec la silice donne une fausse valeur de la température du réservoir.

Le contact Plaine-Atlas peut être assimilé à un second front de faible envergure relativement peu important par rapport à celui des Bibans le long duquel d'importants flux de chaleur se dégagent conduisant au réchauffement des eaux et à l'apparition de sources thermales.

Les eaux des sources minérales carbogazeuses de la Mitidja sont d'origine superficielle provenant des masses schisteuses constituant l'Atlas Blidéen dans cette région. Les faciès des eaux du quaternaire et les sources de l'Atlas sont du type bicarbonaté calcique identique à celui du puits de Messala (Messaoud 1987). Les trois points d'eau sont situés sur le même accident NNE - SSW. L'enfouissement de ces eaux après infiltration au pied de l'Atlas et leur contact relativement prolongé et à une grande

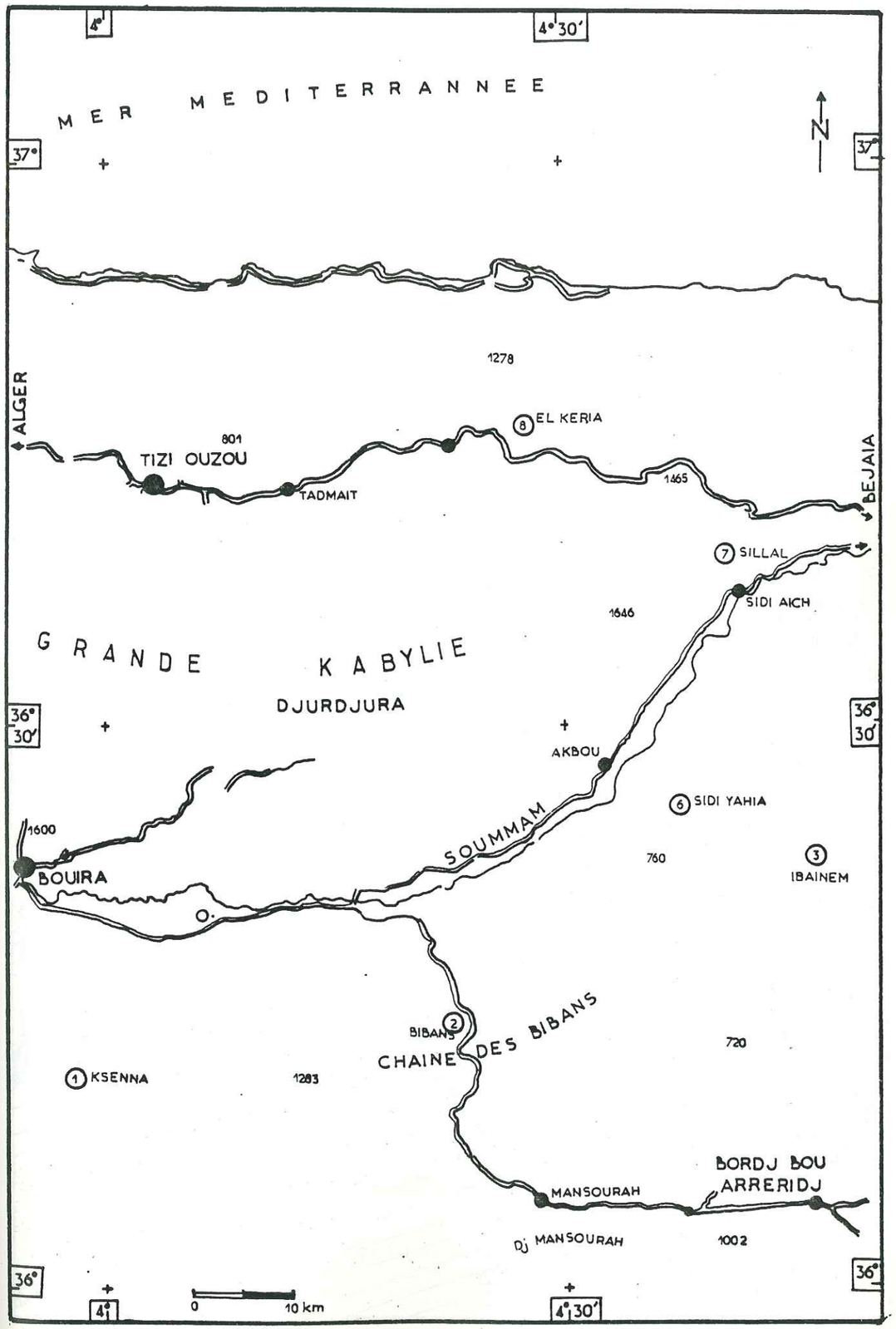
profondeur contribue à des échanges de bases conduisant à l'apparition du faciès bicarbonaté sodique et à l'élévation de la thermalité des eaux. Cependant il n'est pas exclut qu'une partie des eaux remonte à la faveur de l'accident précédent de la nappe astienne accompagnée de gaz carbonique (CO2) qui lui est d'origine plus profonde probablement le socle cristallin.

Cependant le forage de Oued El Alleug est situé sur un accident différent correspondant probablement à l'accident majeur passant au centre de la Mitidja et correspondant à l'accident B (Benneton & Truillet 1979). Cette accident profond est très nette sur coupe géoéléctriques (Voir fig (IV.1.14). La remontée de gaz CO2 & H2S est favorisée par cet important accident. Cependant la thermalité des eaux est liée au simple gradient géothermique et concorde parfaitement avec la teneur en silice (19mg/l). L'apparition du faciès bicarbonaté sodique est liée au même phénomène que pour les eaux des points précédents. Notons à la fin que l'essentiel de la minéralisation est acquis indépendemment des formations triasiques qui sont marneuses et gypseuses.



Fig(IV.1.18) - Modèle de fonctionnement des sources de la Mitidja et de ses environs.

REGIONS KABYLE et BIBANIQUE



Fig(IV.2.1): Situation géographique des sources thermominérales de Kabylie et des Bibans.

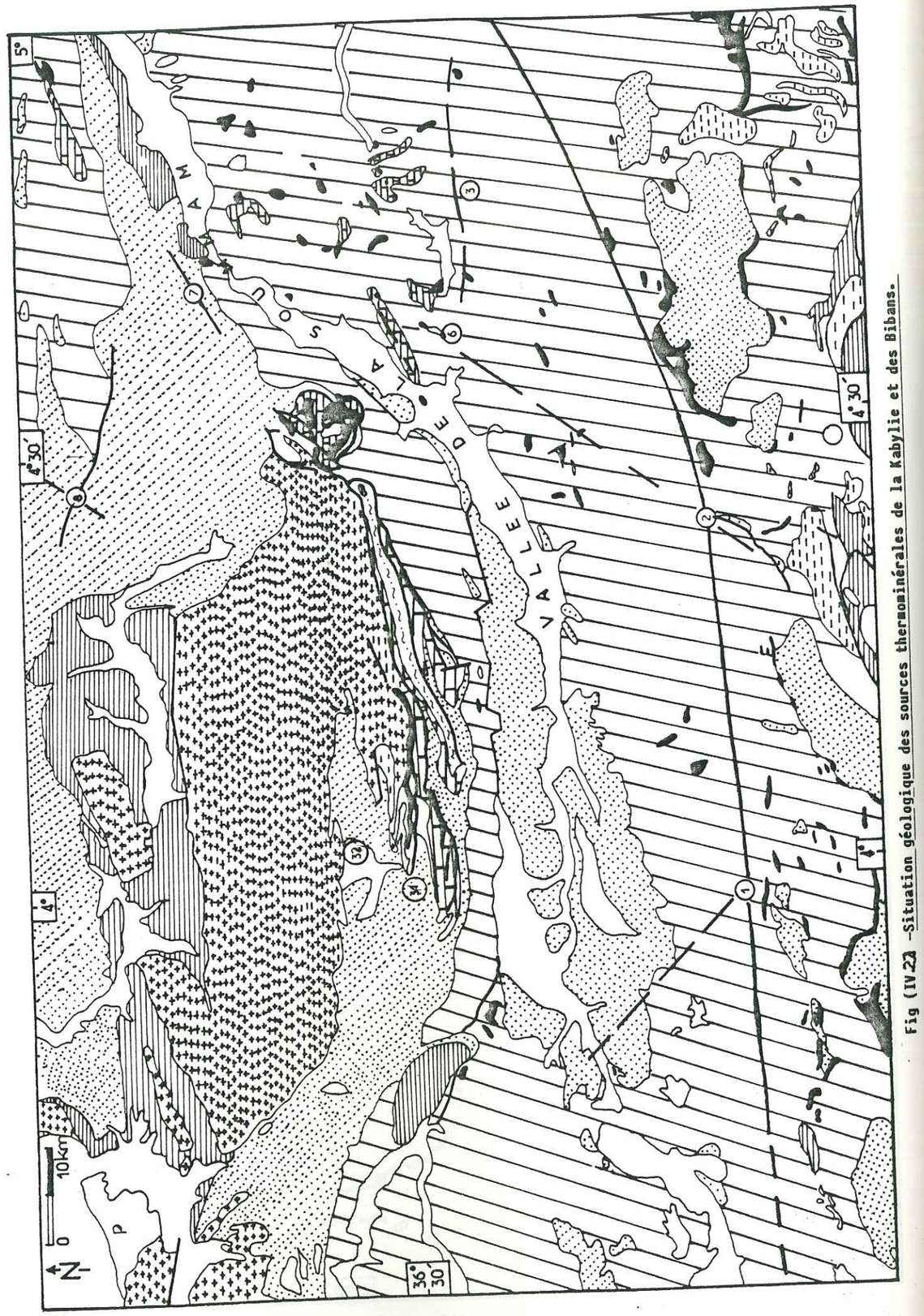


Fig (IV.2) -Situation géologique des sources thermominérales de la Kabylie et des Bibans.

IV.2.1- HAMMAM KSENNA N°1

I-INTRODUCTION

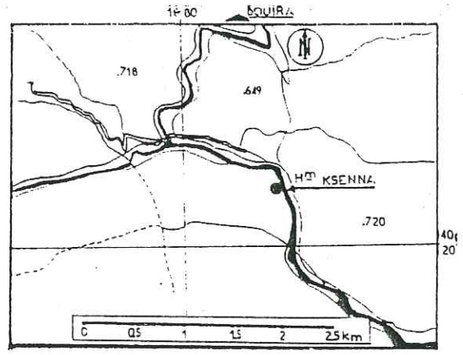
La majorité des vestiges, retrouvés sur place, datent de la période française. Les plus anciens documents, généralement des comptes rendus, datent du siècle dernier, traitant dans leur totalité l'action thérapeutique de ces eaux en vue de leur exploitation. Les anciennes infrastructures, encore utilisées, sont limitées à trois chambres destinées à accueillir les nombreux visiteurs.

Deux facteurs caractérisent cette émergence:

- **le débit.** Il est de l'ordre de 7 à 10 litres par seconde. Les trois salles d'accueil sont alimentées par trois conduites.

- **l'odeur et les dépôts** sont généralement sulfureux accompagnés d'un fort dégagement de vapeur d'eau au niveau de l'émergence. Plusieurs autres griffons s'alignent le long du pied de la falaise.

II - SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Fig(IV.2.3)- Situation géographique de la source.

A mi distance de Bouira et Sour el Ghozlane, se trouve le village d'El Hachimia, situé sur la route W 127. A l'Est de ce dernier et à environ 16 km, une route carrossable mène jusqu'aux émergences. Le village porte le nom de la source chaude. Le griffon principal, entouré d'un bassin, est situé à quelques mètres au dessus du lit de Oued el Hammam. L'altitude du lieu est de 550 m. (Voir figIV.2.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Cette émergence est située au Sud de la chaine Bibanique parcourue par une importante flexure de direction E-W. Cette dernière se transforme en faille franche en profondeur (M. KIECKEN 1975).

Les eaux émergent en surface au niveau du Sénonien essentiellement marneux et calcaréo-marneux reposant sur le Turonien à faciès calcaire. A l'Est comme à l'Ouest, le Sénonien est parfois en contact direct avec le Cenomanien calcareux et calcaréo-marneux.

Plus au Nord, la série repose sur du Vraconien calcaréo-marneux et sur l'Albien essentiellement argileux et schisteux avec des intercalations de grès et quartzites. Le Trias est formé d'argiles irisées, de cargneules et de gypse. Il se présente sous deux formes:

- Il jalonne les contacts anormaux et affleure à la faveur de ces derniers au Nord et au Sud de la source.

- La flexure jalonnant la zone bibanique et subbibanique est injectée en profondeur de Trias essentiellement gypsosalin.

Le potentiel redox.

Les importants dépôts sulfureux enregistrés au niveau de la source sont probablement liés à ce faciès.

Au voisinage de la source, des pointements d'âge Eocène, formés de calcaires à silex, affleurent.

V- HYDROGEOLOGIE.

Au Nord de l'émergence et à une dizaine de kilomètres s'annonce la plaine d'El Esnam constituée de formations récentes d'âge Miocène. Ce sont essentielllement des poudingues et alluvions. Cette plaine, renferme probablement plusieurs nappes superposées.

Le Turonien calcaire et le Cénomanien sont deux formations pouvant être aquifères.

IV- TECTONIQUE.

Les émergences de Hammam Ksenna s'alignent le long de la flexure séparant les zones bibanique et subbibanique. Cette flexure, qui se transforme en faille franche en profondeur, est injectée de matériel triasique. Elle apparait nettement sur photosatellite ayant une direction E - W. Une seconde fracture, moins importante et orientée N - S, passe par Hammam El Halfa.

L'utilisation des photosatellites, montre l'intersection de trois importants linéaments au niveau de la source chaude. Deux de ces linéaments sont conjugués ayant des directions respectives NE - SW et NW - SE quant au troisième, il est E -W coincidant avec la flexure bibanique affectant toute la série jusqu'au socle cristallin.

V - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

- Température.

Les différentes mesures effectuées au début du siècle donnent dans leur ensemble des valeurs de la température supérieures à 50°C.

En 1946, S. GUIGUE a donné une température de l'ordre de 67.5 °C pour la source d'El-Halfa (Ksenna).

Au cours des trois campagnes que nous avons effectué, la température affiche une trés faible variation. Elle est passée de 63°C à 62.6°C en Fevrier 86 appartenant à la catégorie des eaux hyperthermales.

- Le pH.

Les eaux sont faiblement acides. Le pH varie très faiblement entre 6.43 et 6.53 lié probablement aux importants dégagement de CO2 et d'H2S.

- La conductivité.

Les eaux ont une conductivité trés élevée, variant autour de 17680 µmho/cm. Une légère baisse a été enregistrée au cours de la campagne de Février 86 donnant un pourcentage de dilution de 1.4%, lié aux variations saisonnières et donc aux mélanges avec des eaux froides superficielles. Ces eaux appartiennent à la classe 5 des conductivités.

- Le résidu sec.

En 1946 S. GUIGUE a donné les valeurs suivantes: 5689.6 mg/l à 100 °C et 5508 mg/l à 180°C.

Les résultats d'analyse de nos échantillons pour la campagne de Novembre 84 ont donné une valeur du résidu sec de 6673 mg/l à 110°C.

Le potentiel redox mesuré est égal à +38 millivolts.

- Les Gaz.

Les teneurs en CO2 ainsi que l'H2S sont relativement élevées. Les valeurs ont été reprises de l'ouvrage de S.GUIGUE. L'abondance du CO2 (448 mg/l) implique une origine probablement profonde; en revanche, l'H2S provient de la réduction des sulfates par action des bactéries.

VI-PROPRIETES CHIMIQUES.

Eléments majeurs.

- Anions.

Les chlorures sont prédominants sur respectivement les sulfates et les bicarbonates. Une certaine stabilité des teneurs caractérise les chlorures et les bicarbonates; en revanche, la variation des teneurs en sulfates des eaux est sensible.

- Cations.

Les concentrations des alcalino terreux montrent une légère variation dans le temps. Elles varient dans l'intervalle 18.5 et 19.1 méq/l pour le calcium et 5.5 et 6 méq/l pour le magnésium.

Le sodium est fortement prédominant sur le reste des cations dosés. Les alcalins enregistrent une variation notable dans le temps qui peut être estimée à environ 6méq/l pour le sodium. Ces variations sont liées aux effets saisonniers et donc à des mélanges avec des eaux froides et superficielles.

-Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
1	-0.14	0.29	3.9	0.19	13.13
2	-0.23	0.31	4.4	0.35	13.98
3	-0.13	0.32	3.9	0.26	12.42

Tableau (IV.2.1)

Les rapports Na/Mg et Na/Ca sont trés élevés et supérieurs à 1 marquant par cela la prédominance du sodium sur les alcalino-terreux.

Les rapports SO4/Cl et Mg/Ca sont inférieurs à 0.5 montrant ainsi la supériorité des chlorures sur les sulfates et du calcium sur le magnésium. Ceci indique une nature calcareuse du réservoir thermal.

-Indice d'échange de bases.

Les eaux de Hammam Ksenna ont un i.e.b moyen négatif (-0.17). Pour les trois campagnes l'indice d'échange de bases est variable.(voir tableau IV.2.1). La première et la dernière campagne affichent un i.e.b négatif tendant vers l'équilibre. Cet échange de bases accuse une légère hausse au cours de la seconde campagne.

-Formule caractéristique.

La formule caractéristique de ces eaux est :

rCl>rSO4>rHCO3 et rNa>rCa>rMg>rK.

Faciès chimique.

Les eaux de Hammam ksenna sont **Hyperchlorurées sodiques et potassiques** tendant vers un faciès **sulfaté calcique.**

B- Eléments mineurs.

Les teneurs en manganèse et en zinc sont nulles. Les concentrations des différents éléments dosés sont faibles à l'exception du strontium (11 mg/l) dont l'origine est les évaporites du Trias (Sr/Rb=190).

Le lithium, les bromures et le bore ont des concentrations relativement faibles variant entre 1.25 et 1.83 mg/l. Les deux premiers sont liées aux évaporites, cependant le bore provient probablement du socle cristallin remontant avec les gaz et les éléments volatils. Lesautresdes élémens dosés ont des teneurs faibles toutes inférieures à 1 mg/l.

- GEOTHERMOMETRES.

Températures °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%	T(9)	%
	83	100	67	162	114	192	152	380	90	100	3

Tableau (IV.2.2)

Les températures estimées par les différents géothermomètres, sont résumées dans le tableau (IV.2.2) . Nous remarquons que la température obtenue par le géothermomètre Na/K est voisine de celle enregistrée au niveau de l'émergence. Cette valeur nous parait très faible en raison des fortes teneurs en sodium dans les eaux provenant des évaporites du Trias(Na/K= 92.6). Cette valeur est donc rejetée et ne peut être prise en considération.

Le géothermomètre 5, utilisant le rapport des bicarbonates et des sulfates, donne une température relativement faible à moyenne. La température T(6) est élevée variant autour de 190 °C. L'abondance des sulfates provenant des évaporites et des bicarbonates mis en solution dans le réservoir thermal influence considérablement ce géothermomètre. La température n'est donc pas représentative.

La température du géothermomètre Na/K/Ca, est égale à environ 162 °C. Ces trois éléments sont très abondants dans les formations sédimentaires et en particulier dans les calcaires pour les bicarbonates et les évaporites pour le sodium et le potassium.

L'utilisation de la courbe de mélange a donné un pourcentage d'eau froide de 90% et une température du réservoir de 380 °C. Cette température est relativement élevée et ne peut être acceptée. Les eaux de Ksenna ont un circuit du type 2, c'est à dire que les eaux entrent en contact des évporites au cours de la déscente ou pendant leur circulation dans le réservoir ce qui entraîne une réaction de la silice avec les chlorures émanant des évaporites. La remontée est extrêmement rapide ce qui élimine l'influence des évaporites. Ceci nous a conduit à effectuer une correction et calculerla température T(9) que nous considérons comme étant la température du réservoir, c'est à dire que l'équilibre est atteint au niveau ou proche du réservoir thermal qui est dans ce cas le réservoir des Bibans. La température est égale à 100°C et le pourcentage d'eau chaude avant le mélange est égal à 3%.

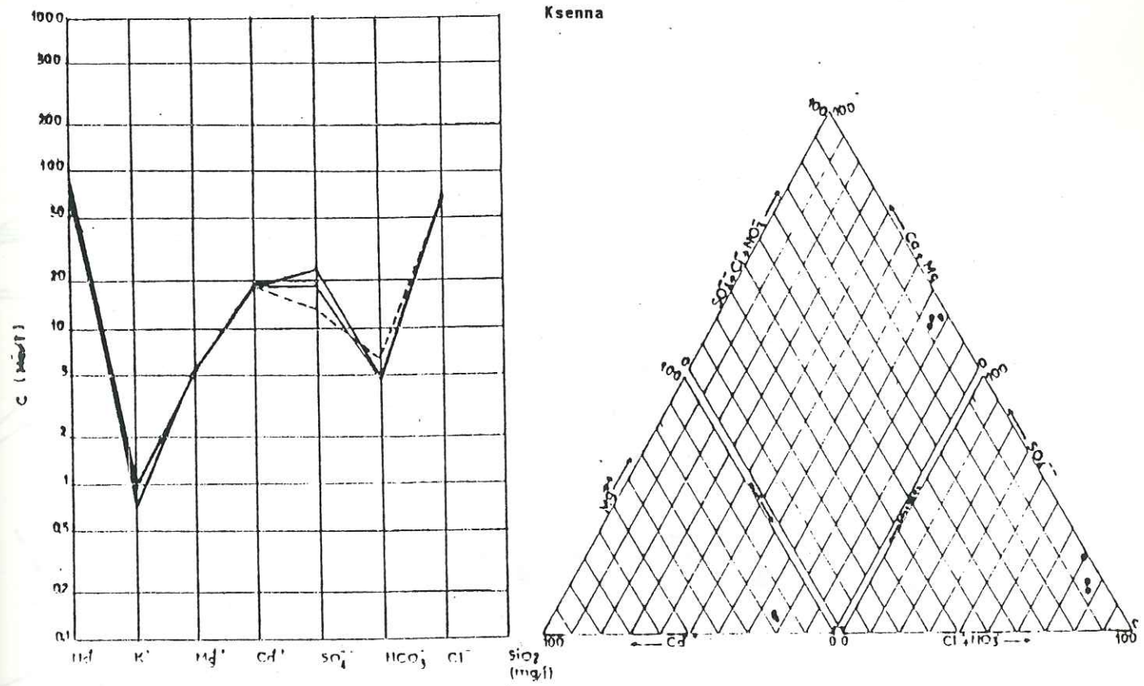
- CONCLUSION.

La source est située sur une importante flexure E - W, séparant sur environ 250 km

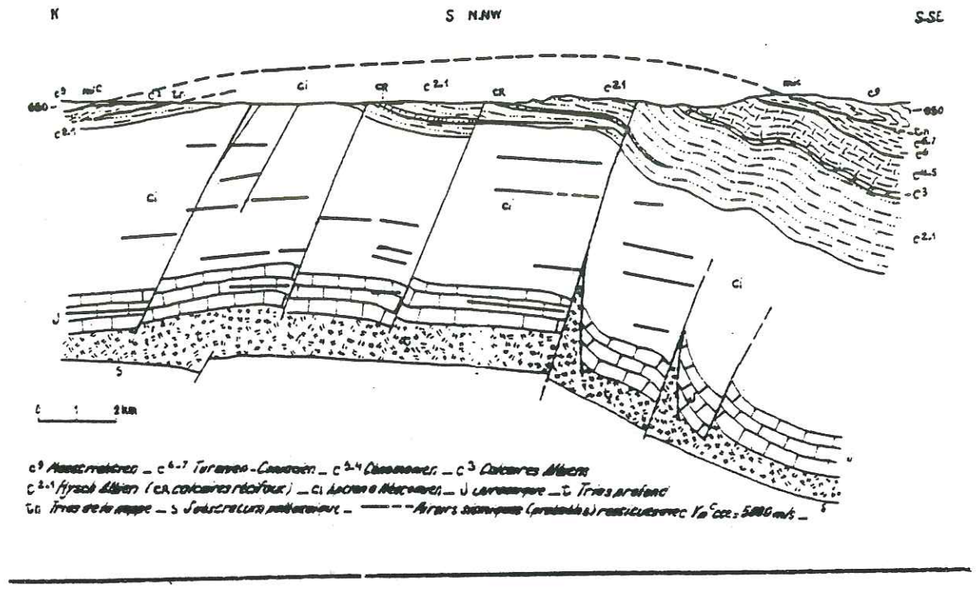
deux grands ensembles géologiques très distincts. Cette flexure très profonde affecte la totalité des formations sédimentaires ainsi qu'une partie du socle cristallin. L'analyse gravimétrique effectuée montre des anomalies positives traduisant une profondeur du socle relativement faible. L'activité séismique de la région et en particulier le long de la fracture est notable.

Les différents résultats amènent à penser que l'on affaire à des eaux tres profondes ayant circulé dans les formations jurassiques calcaires. L'abondance du strontium (11.6 mg/l), ne peut s'expliquer par la présence de formations évaporitiques ou carbonatées. L'origine du CO2 est probablment profonde confirmant encore une fois de plus la grande profondeur du réservoir et de la fracture E - W.

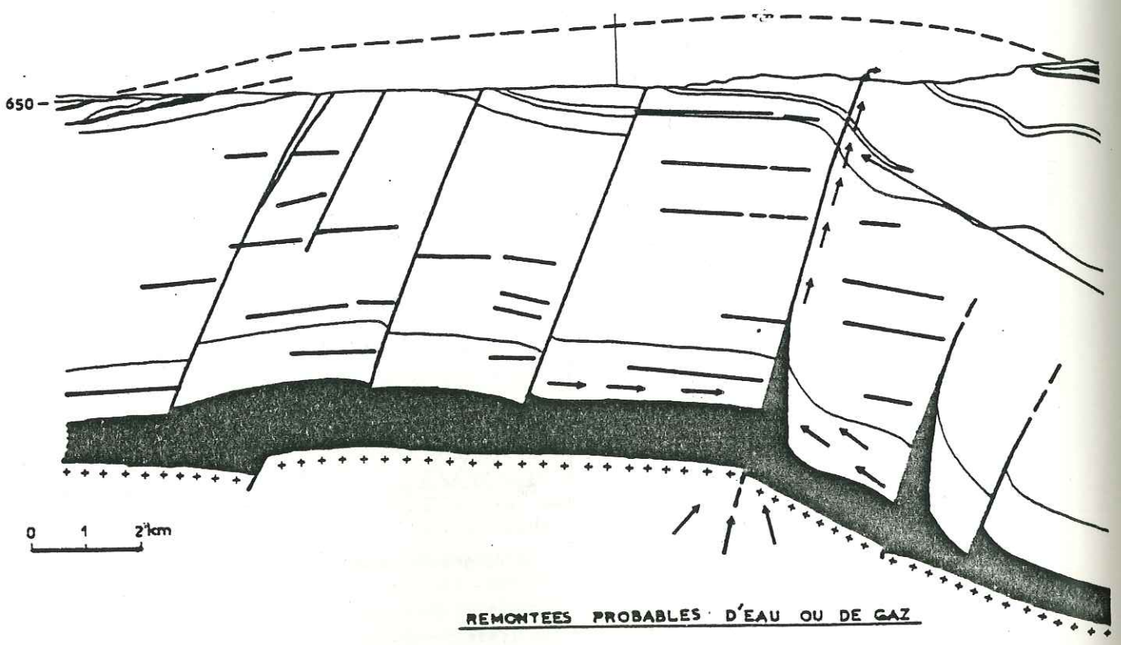
Le flux de chaleur nécessaire au réchauffement des eaux est emprunté au réservoir thermal des Bibans et véhiculé par la flexure bibanique. Les eaux au cours de leur remontée se mélangent avec des eaux froides superficielles conduisant à la variation de certains paramètres. Cette source est du même type que celle des Bibans jalonnant la zone de chevauchement d'un ensemble Nord bibanique et d'un ensemble Sud subbibanique. Les forts dégagements de CO2 ainsi que le taux d'émanation de Radon relativement important confirment l'origine profonde de ces eaux qui proviennent en partie probablement du socle cristallin et en grande partie des calcaires liasiques. Voir modèle (IV.2.5).



Fig(IV.2.4)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.



N S|NNW



Fig(IV.2.5)- Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Ksenna et des Bibans.

IV.2.2- HAMMAM EL BIBANS N°2

I- INTRODUCTION.

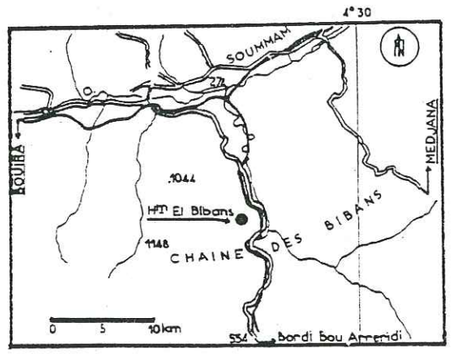
Les vestiges d'une construction en terre qui servait probablement à abriter les nombreux visiteurs ainsi que les restes d'une infrastructure à architecture française déstinée à l'accueil , montrent l'ancienneté et l'intérêt particulier qu'a obtenu cette source. Aucun vestige plus ancien n'a été constaté sur place. De nombreuses études généralement médicales ont été effectuées pour probablement une éventuelle exploitation de la source.

Deux caractéristiques essentielles distinguent cette source thermale.

- **Les dépôts.** L'importante quantité de dépôts de teinte blanchatre observée au niveau de la rigole d'évacuation montre la forte minéralisation des eaux. Ils sont généralement accompagnés d'un fort dégagement d'**odeur sulfureuse.**

Les griffons sont au nombre de sept distants de quelques dizaines de mètres les uns des autres. un seul est exploité servant à l'alimentation de la station balnéaire construite recemment près de l'émegence. Le débit des différentes émergences peut être estimé à quelques litres par seconde.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



La source chaude des Bibans est située près de la célèbre pércée de la vaste chaine des Bibans. C'est à cette dernière qu'elle doit son nom(portes de fer). La source est située à quelques mètres de la route nationale n° 5 reliant Bouira à Bordj Bou Arreridj et à mi-distance entre M'zita et Si Brahim. Voir fig(IV.2.1)

De la nationale n°5 une route carrossable faisant quelques centaines de mètres, traverse la ligne de chemin de fer et la rivière , affluent de la Soummam, et mène jusqu'à la station. L'altitude moyenne du lieu est de 1300 mètres.

Fig(IV.2.6)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

La source chaude se situe sur le contact séparant les zones bibaniques et subbibaniques. Le point d'intersection d'une faille faisant quelques dizaines de mètres orientées NE - SW et de l'accident E - W matérialise l'émergence. Ce contact sépare d'une part une alternance de calcaires , calcaires marneux et marnes de la zone subbibanique et les marnes schisteuses et les calcaires marneux lenticulaires du Sénonien de la zone bibanique d'autre part.

Plus au Sud, d'importants affleurements gypsifères d'âge triasique apparaissent. Cependant ce dernier est probablement plus chargé en halite en profondeur, surmonté par les calcaires du Lias. Les importants dépôts observés au niveau du griffon sont probablement liés à ces formations triasiques.

IV- HYDROGELOGIE.

Deux grandes zones peuvent alimenter cette émergence.

- **Au Nord:** La zone bibanique avec sa plaine de la Soummam qui est alimentée par le Djurdjura au Nord et les Bibans au Sud.

- **Au Sud:** La zone subbibanique. Quelques petites plaines sistuée au Sud des hauts reliefs bibaniques peuvent constituer l'impluvium des eaux froides superficielles.

- Les formations albiennes, essentiellement gréseuses, peuvent avoir un potentiel hydrique important et jouer négativement sur la thermalité de la source en modifiant les carctéristiques originelles par effet de mélange.

- Les formations carbonatées profondes du jurassique sont les seules à pouvoir expliquer les fortes quantités d'eau chaudes des Bibans.

V - TECTONIQUE.

Deux grands ensembles structuraux caractérisent cette région.

Au Sud: La zone subbibanique qui forme le lieu de rencontre d'une zone présaharienne et d'un ensemble de terrains très disloqués , souvent sillonnés par des contacts anormaux matérialisés par du Trias.

Au Nord: La zone bibanique: Elle recèle de nombreux chevauchements accentués. Plusieurs contacts en particulier dans la zone subbibanique sont injectés de Trias. Ces deux ensembles sont limités par une flexure orientée E - W injectée de Trias profond qui est très bien marquée sur photosatellite. Elle affecte profondément les formations sédimentaires jusqu'au socle cristallin.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

Les résultats des mesures effectués au début du siècle par M.HANRIOT et rapportés par J.SAVORNIN (1913) donnent une température égale à 90°C.

Les services des mines donnent pour les différentes émergences les températures suivantes 81°C,76°C,56°C et 35°C.

S. GUIGUE, en 1944, a donné pour les deux plus importantes sources les températures suivantes: Bibans N°1: 80°C et Bibans N°2: 80°C.

Au cours de nos campagnes, nous avons obtenu les températures suivantes: Novembre 1984: 68°C et en février 1986, la mesure effectuée sur un autre griffon très proche a donné une température de 75°C. Ces mesures ont été répétées en juin 86 sur le premier griffon. La température varie autour de 68.5°C.

Les différentes températures obtenues classent dans leur totalité les émergences dans le groupe hypothermal

b- pH:

Les eaux sont faiblement acides. Le pH mesuré au cours de nos campagnes est variable. Les valeurs obtenues sont passées de 6.54 en Novembre 84 à 6.19 en Février 86. Cette acidité est liée aux importants dégagement de CO2 et d'H2S. Cependant les fortes variations constatées sont dûes aux effet saisonniers.

c: conductivités

Les eaux sont trés fortement minéralisées. La conductivité est supérieure à 20000 µmho/cm. Elles appartiennent au groupe 5 des conductivités. Cette dernière est liée aux formations évaporitiques triasiques.

d- Résidu sec: 1913 J.SAVORNIN donne un résidu sec égal à 18 g/l. S. GUIGUE en 1944, a obtenu pour une température de 100°C un résidu de 15815 mg/l pour la source des Bibans 1 et 15824 mg/l pour la source des Bibans 2.

Les échantillons que nous avons analysés ont donné un résidu sec à 110°C égal à 17015 mg/l. Ce dernier traduit ainsi la forte minéralisation des eaux.

e-Radiactivité:

Le taux d'émanation de radon des eaux est égal à 0.12 nanocuries /l. Cette importante quantité, accompagnée d'éléments volatils, provient probablement des niveaux cristallins .

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

- Eléments majeurs.

- Anions.

Les trois éléments majeurs dosés enregistrent des variations plus ou moins importantes.

Les chlorures sont fortement prédominants sur respectivement les bicarbonates et à un degré plus faible sur le sulfates. La variation des teneurs de ces derniers est notable.

- Cations.

Les alcalino-terreux. Les teneurs en Ca et en Mg sont légèrement faibles. Elles enregistrent une légère variation dans le temps. L'intervalle de variation des teneurs est 28.5 - 29.5 méq/l pour le calcium et 7.9 - 8.4 méq/l pour le magnésium traduisant un phénomène de mélange avec des eaux froides.

Les alcalins. Le sodium est fortement concentré dans ces eaux prédominant sur le reste des cations dosés. Une très forte variation de la concentration de cet élément a été enregistrée au cours de nos campagnes. Le potassium est en revanche trés faiblement représenté.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne:	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
1	-0.29	0.27	7.8	0.089	28.25
2	-0.17	0.30	9.56	0.10	31.48
3	-0.14	0.28	8.21	0.08	28.6

Tableau (IV.2.3)

Le calcul des rapports caractéristiques a donné les résultats suivants:

Le rapport Mg/Ca est très inférieur à 1 marquant ainsi la supériorité des teneurs en calcium provenant des calcaires liasiques ou de la matrice de l'aquifère.

Les rapports Na/Ca et Na/Mg sont très élevés et très supérieurs à 1 traduisant ainsi la prédominance des alcalins sur les alcalino-terreux. Cette forte teneurs en sodium

est d'origine évaporitique.

Le rapport SO4/Cl est très faible. Il est de l'ordre de 0.1 marquant par cela les fortes teneurs en chlorures et leurs supériorité sur les sulfates. Les chlorures ont une même origine que les non alcalins.

- Indice d'échange de bases.

Le calcul systématique de cet indice pour les différentes campagnes donne de tres faibles valeurs. Elles varient entre -0.14 et -0.29. L'i.e.b est négatif traduisant la libération des alcalino-terreux empruntés au réservoir carbonaté et la récupération des alcalins en provenance des formations évaporitiques (argiles) en grande partie et des niveaux supérieurs crétacés . Les variations sont très faibles indiquant un faible mélange avec les eaux de surface probablement lié à une très forte vitesse de remontée.

- Formule caractéristique

Les eaux des Bibans ont une formule caractéristique du type:

rCl> rSO4> rHCO3 et rNa> rCa> rMg> rK

- Faciès chimique.

Les différentes méthodes appliquées aux eaux des Bibans les classent dans la famille des eaux **hyperchlorurées sodiques et potassiques.**

B- Eléments mineurs.

Les teneurs des différents éléments traces dosés sont relativement élevées.

La silice totale est fortement concentrée dans les eaux (59.2 mg/l). Cette teneur est fortement influencée par les chlorures des évaporites. Le circuit des eaux des Bibans est du type 1 caractérisé par un contact avec les formations évaporitiques au moment de la déscente ou au cours de la circulation des eaux dans le réservoir. Ceci impose la correction de la teneur en silice. La teneur obtenues à l'émergence traduit malgrè cela une température du dernier équilibre relativement élevée.

Les teneurs en strontium, lithium et bore sont également élevées dépassant 7mg/l pour le Lithium et le Bore et 12 mg/l pour le strontium. L'origine est probablement cristalline pour le lithium et le bore qui se manifeste sous forme d'acide borique; en revanche, le strontium est lié surtout aux formations carbonatées probablement aux calcaires liasiques ou également aux évaporites du Trias (Ca/Sr=30 et Sr/Rb= 70). Cette dernière valeur est caractéristique des eaux des évaporites en particulier dans les Alpes.

Les bromures et les fluorures sont caractérisés par des teneurs faibles variant entre 2 et 6 mg/l. La teneur en fluor dépend de la température du réservoir , qui est élevée. Les bromures sont liés aux évaporites du Trias (Cl/Br= 3359)

Les concentrations en ammonium, fer, chrome , zinc et magnésium sont trés faibles. Elles varient entre 0.1 et 0.9 mg/l.

- GEOTHERMOMETRIE.

Les différents géothermomètres que nous avons utilisé pour estimer la température du réservoir nous ont donné des valeurs supérieures à 100°C ,à l'exception du T(3). Ce dernier est fortement influencé par le lessivage des formations évaporitiques du Trias très abondantes en profondeur (Na/K = 118). La totalité des températures montre un léger rapprochement des valeurs. Elles varient entre un minimum de 103°C et un maximum de 188°C T(6).

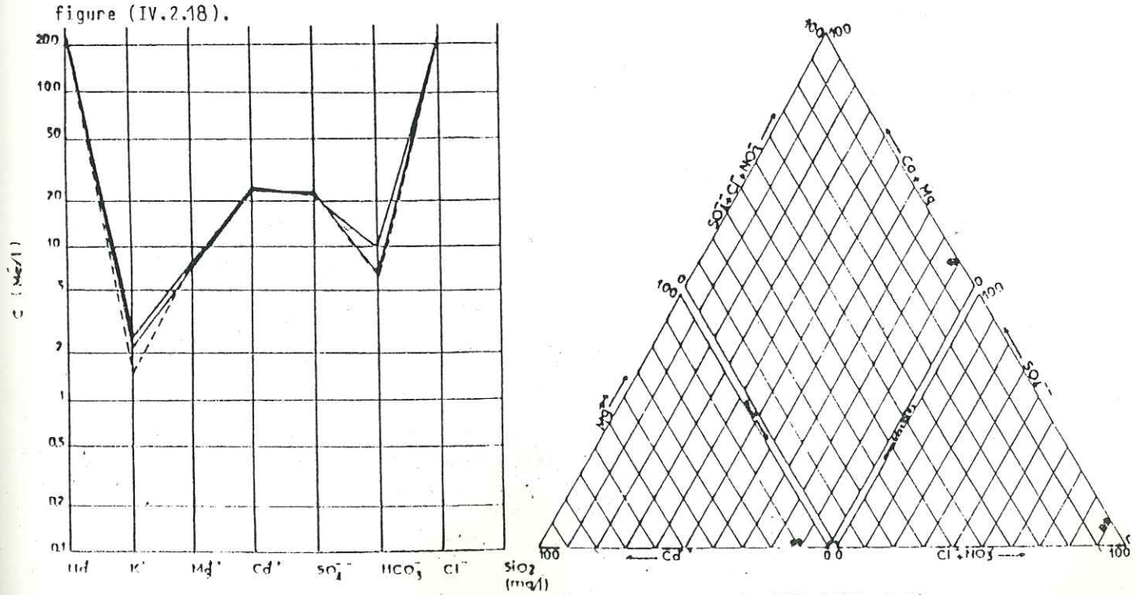
Température °C:	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%	T(9)	%
	103	119	54	169	127	188	174	150	60	205	10

Tableau (IV.2.4)

L'utilisation de la courbe de mélange a donné un pourcentage d'eau froide participant au mélange d'environ 60% et une température très concordante avec les précédentes (150°C). Ces différentes températures sont très influencées par les évaporites et ne peuvent être prises en considération. La correction de la silice a donné une valeur de 310 g/l avant le mélange donnant une température T(9) de 205°C que nous avons considérée comme celle du réservoir et un taux de mélange de 10% d'eau chaude remontant du socle cristallin.

- CONCLUSION.

La source des Bibans est située sur une très importante flexure séparant deux ensembles tectorogéniques très importants et affectant profondemment les formations jusqu'au socle cristallin (M.KIECKEN 1975). L'injection de cet accident par du Trias profond a conféré un faciès hyperchloruré sodique aux eaux chaudes lors de leur remontée. Les fortes concentrations des éléments imposent l'hypothèse suivante: Les eaux de Hammam El Biban ont circulé profondément dans les formations calcaires du Jurassique. Le contact relativement important avec les formations triasiques s'est traduit par une forte minéralisation des eaux. Lors de la remontée facilitée par la flexure, les eaux ont subi des échanges très peu importants avec les permutolites sans pour autant modifier le chimisme acquis au contact des formations triasiques. Le mélange avec des eaux superficielles plus froides (90%) et moins minéralisées a contribué à une dilution. Les fortes teneurs en gaz en particulier en CO2 et la forte quantité de radon confirment l'origine profonde des eaux en provenance certainement du socle cristallin très peu profond dans la région (voir gravimétrie chp III). La décomposition des sulfates par les bactéries se manifeste en surface par un fort dégagement d'H2S. Ce même modèle est constaté dans les Alpes au niveau du chevauchement des zones interne et externe. La source des Bibans est située au dessus du réservoir thermal alimentant toutes les sources chaudes de Kabylie en chaleur nécessaire au réchauffement des eaux. (voir figure (IV.2.18).



Fig(IV.2.7)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

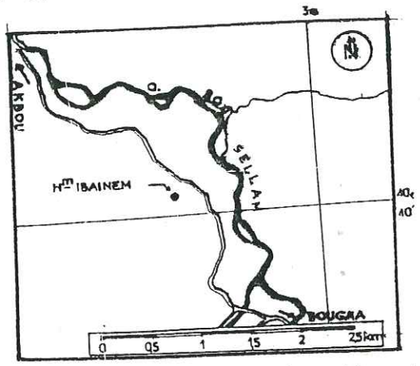
IV.2.3- HAMMAM IBAINEM N° 3

I- INTRODUCTION

La source chaude de Hammam **IBAINEM** n'est connue que par les autochtones. La documentation portant sur cette émergence est pratiquement absente.

Les importants dépôts ferrugineux observés autour des différents griffons ainsi que les forts dégagements gazeux, se manifestant en surface par des bulles accompagnées d'odeur sulfureuse,sont les principales caractéristiques de cette source.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Fig(IV.2.8)- Situation géographique de la source.

Hammam IBAINEM se trouve à quelques dizaines de kilomètres au Sud-Est de la ville d'Akbou. Il est situé entre les villages d'El Main au Nord-Ouest et Guenzet au Sud-Est. Une piste carrossable mène de la ville d'Akbou jusqu'à l'émergence.

A plus grande échelle, la source se trouve sur la rive gauche de Oued Bou Sellam à une altitude de 1000 m. voir fig(IV.2.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

La source est située en grande Kabylie, une des parties du Tell septentrional caractérisée par une tectonique très complexe.

L'émergence est située sur le contact séparant la klippe de Ras el Fedh au Nord et la vaste nappe de Djémila au Sud. Des formations du type flysch surmontent la Klippe précédente. Les différents contacts anormaux sont soulignés par du Trias formé essentiellement d'argiles, de gypse, de cargneules et de dolomies. Ces différentes formations sont traversées par Oued Bou Sellam dont le lit est comblé par du matériel d'érosion récent.

La coupe que nous avons choisie pour la description géologique de la source,passe à quelques centaines de mètres à l'Est de celle-ci. Les formations rencontrées se résument comme suit:

- **Flyschs maurétaniens:** formés essentiellement des grès Oligocènes de Ras el Fedh.

- **Flyschs massiliens:** essentiellement marneux microbréchiques et conglomératiques reposant sur la nappe du type Béni Abdallah.

- **Nappe du type Béni Abdallah:** formée d'un **Senonien** marno -calcaire à lentilles de calcaires jaunes et marnes à intercalations de calcaires marneux. Cette unité repose sur **la nappe** Bibanique composée de:- **Cenomanien-Turonien:** en série inverse, formé de micrite à phitonelles et marnes.

L'ensemble des unités précédentes est jalonné à la base par du Trias évaporitique et repose en contact anormal sur la nappe de Djemila. Cette unité est constituée de:

- **Maestrichtien** marneux noir parfois à boules jaunes.

- **Campanien supérieur- Maestrichtien** calcaire se présentant en une alternance de calcaire marneux et marnes.

Les unités précédentes reposent sur les séries néritiques des Djebels Guergour et Amini. Cette dernière unité représente un autochtone relatif. Elle est constituée de dolomies, calcaires sparitiques zoogènes et micrites respectivement du Cenomanien moyen et supérieur et du Turonien. Cette formation est caractérisée par des niveaux à remplissage karstique anté-nappe (hydroxyde de fer). En profondeur la série se termine par du Vraconien et du Cénomanien inférieur (marno- calcaires et marnes) et enfin du Jurassique dolomitique.

Notons enfin que l'ananlyse gravimétrique effectuée en Algérie du Nord montre des anomalies positives indiquant une forte remontée du socle cristallin dans cette région.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les différentes unités géologiques décrites renferment des aquifères plus ou moins importants:

- **Les remplissages quaternaires des oueds:** des nappes très locales peuvent être constituées donnant des quantités d'eau peu importantes.

- **Les Flyschs:** L'abondance du faciès gréseux peut fournir un niveau exploitable; mais la présence des marnes réduit considérablement leur capacités hydrique les rendant parfois stériles.

- **La nappe de Beni Abdallah:** Le Lias et le Dogger sont les deux uniques niveaux pouvant être aquifères et renfermer une nappe d'eau importante.

- **La nappe de Djémila:** l'Yprèsien et le Lutétien inférieur calcaire, peuvent être aquifères sous réserve d'une karstification bien développée.

- **Campanien superieur_ Maestrichtien:** Ce sont également des niveaux aquifères.

- **L'autochtone relatif:** Le Cénomanien et le Turonien constituent un niveau très favorable hydriquement. Les dolomies et les calcaires, karstifiés et injectés d'hydroxyde de fer, constituent le réservoir thermal.

V- TECTONIQUE.

Le secteur de Hammam IBAINEM est,comme le reste de la grande Kabylie,caractérisé par la superposition d'un ensemble d'unités sous forme de nappes et souvent limitées par des contacts anormaux. Ces derniers sont jalonnés par du Trias évaporitique et orientés E - W.

La région du Hammam est affectée par un réseau de fracture très dense donnant des failles conjuguées orientées soit NW - SE soit NE - SW. Certaines fractures, très importantes plurikilométriques, affectent probablement le socle cristallin peu profond. Ces diverses fractures apparaissent très nettement sur photosatellite sous forme de linéaments.

VII - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES.

- **Température:**

Une seule campagne de mesure a été effectuée pour l'ensemble des griffons. Les résultats de ces mesures ont donné une valeur minimale de 50°C et maximale de 58°C. Ces eaux appartiennent au groupe des hyperthermales.

- pH.

La mesure a été faite sur les eaux émanant du griffon le plus chaud. Elles sont légèrement acides ayant un pH égal 6.2 lié au fort dégagement de CO2 provenant du socle cristallin.

- Conductivité.

Les eaux du griffon le plus chaud ont une forte conductivité. Cette dernière mesurée à 20°C est supérieure à 20000 µmho/cm. Elles sont classées dans le groupe 5 des conductivités, liée au Trias.

- Residu sec.

Les eaux sont très chargées en éléments minéraux. Leur résidu sec à 110°C est de 13214 mg/l traduisant la forte minéralisation de ces eaux.

- Radioactivité.

Une mesure pour la quantification des émanations en radon a été effectuée au cours de notre campagne. La quantité de radon qui se dégage pour un temps de deux minutes est égale à 0.8 nano curies/l. Cette quantité est relativement moyenne par comparaison aux eaux des Bibans. Elle confirme ainsi la remontée très rapide d'eau ou d'éléments volatils en provenance du socle.

VII- DONNEES CHIMIQUES.

a: Eléments majeurs.

Les chlorures sont très fortement concentrés dans les eaux. Ils prédominent sur les sulfates et en particulier sur les bicarbonates .

Les fortes teneurs en chlorures s'accompagnent souvent de teneurs très élevées en alcalins et en particulier en sodium. La concentration de ce dernier est relativement élevée dépassant les 4 g/l. Cette association est très fréquente pour les eaux ayant lessivé des formations évaporitiques à forte quantité de halite. Le potassium est en revanche très faiblement concentré ayant une teneur inférieure à 1 méq/l.

Les concentrations des alcalino-terreux sont faibles. La teneur en calcium des eaux est légèrement supérieure à celle du magnésium.

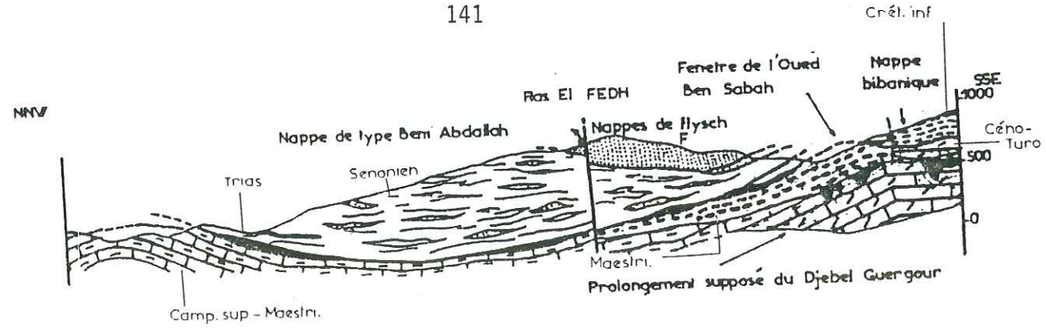
- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.34	0.15	6.47	0.24	42.04

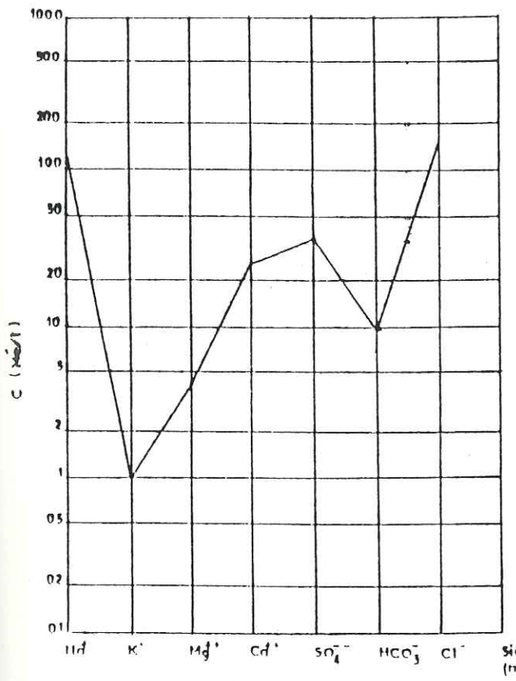
Tableau (IV.2.5)

- Indice d'échange de bases.

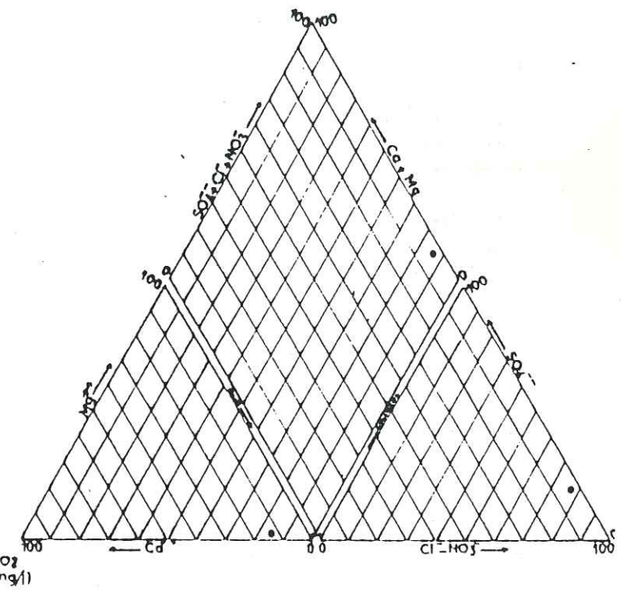
L'indice d'échange de bases, calculé pour la série de Novembre 84, est faiblement négatif(-0.34). Les eaux au cours de leur trajet souterrain ont échangé leurs cations alcalino-terreux (Ca,Mg) provenant des carbonates contre les alcalins (Na) des évaporites du Trias. Cette faible valeur est liée à la forte dissolution de halite provenant du Trias provoquant une saturation en alcalins et la limitation des échanges avec les permutolites.



Fig(IV.2.9)- Coupe géologique interprétative de la région d'Ibainem.



Fig(IV.2.10)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.



- Formule caractéristique.

Les eaux de cette émergence ont pour formule caractéristique :

rCl>rSO4>rHCO3 et rNa>rCA>rMg>rK

- Faciès chimique.

L'ensemble des méthode utilisées classent les eaux de Hammam Ibainem sous un faciès **hyperchloruré sodique.**

b: Eléments mineurs.

Aucune trace de zinc, d'iode et de brome n'a été décelée dans les eaux; en revanche, les concentrations des autres éléments dosés sont relativement élevées.

La silice totale et le strontium sont très fortement concentrés possédant des teneurs respectivement égales à 37 mg/l et 20 mg/l. La forte teneur en silice indique une température élevée du réservoir , cependant le strontium confirme l'origine

évporitiques(Sr/Rb=59.2) et carbonatée (Ca/Sr=60)de ces eaux.

Les fluorures, le lithium, le bore et plus faiblement encore le fer, sont très peu concentrés. Leurs teneurs varient entre 1.84 et 2.8 mg/l. Elles sont d'origine évporitique ou encore cristalline. Ils sont souvent entraînés en surface accompagnant les dégagements gazeux provenant de la zone bibanique accompagant le flux de chaleur.

Le reste des éléments sont très faiblement concentrés dans les eaux. Les teneurs obtenues sont généralement inférieures à 1 mg/l.

IX- GEOTHERMOMETRIE.

L'estimation de la température du réservoir des eaux de Hammam Ibainem est faite à l'aide de huit géothermomètres.

- Le géothermomètre silice a donné une température du dernier équilibre supérieure à celle mesurée en surface traduisant une température du réservoir d'environ 90°C. Cette valeur est acceptable pour la seule raison qu'elle n'est pas influencée par les formations sédimentaire en particulier les chlorures émanant des évaporites.

- Le géothermomètre Na/k: La température obtenue est très faible en raison probablement de l'abondance des formations évaporitques dans la région (Na/Li=443) . L'utilisation de ce type de géothermomètre dans des formations sédimentaires nécessite une grande prudence.

- Les geothermomètres Na/K/Ca, HCO3/SO4 et Na/Li. Les températures estimées par ces trois géothermomètres sont relativement très rapprochées. Elles sont respectivement égales à 140 °C, 123 °C et 126°C.

- Le géothermomètre sulfates. L'abondance des évaporites et la forte teneurs en sulfates dans les eaux, résultant du lessivage de ces formations, a donné une température du réservoir très élevée.

IX- CONCLUSION.

L'ensemble des résultats nous oriente vers l'hypothèse suivante.
Les calcaires et dolomies de l'autochtone relatif d'âge Cénomanien-Turonien constituent le réservoir (Ca/Mg= 6.5) de cette source. Ce niveau est karstifié et rempli d'hydroxyde de fer. Ce dernier est lessivé par les eaux chaudes et déposé en surface. Les eaux,en quittant le réservoir carbonaté, remontent à la faveur de fractures. Au cours de leurs trajet, elles transitent par les formations évaporitiques d'âge triasiques (Sr/Rb=59) qui jalonnent les contacts des différentes unités en particulier celle de Beni Abdallah se chargeant en éléments aboutissant à un faciès hyperchloruré sodique. La température des eaux diminue considérablement par suite de mélanges avec d'autres eaux plus froides. Les variations des teneurs des éléments dosés dans le temps confirment cette dernière hypothèse. Un modèle a été proposé dans la figure (IV.2.18). Nous avons estimé la profondeur du réservoir, pour un gradient géothermique moyen d'environ 36 m à 1152 m. Cette valeur nous paraît faible cependant elle est acceptable pour les raison suivantes: Les eaux de cette émergence sont météoriques qui après infiltration circulent en profondeur dans les formations carbonatées. Le flux de chaleur nécessaire au réchauffement est fourni par le réservoir géothermal des Bibans et est souvent accompagné par des dégagements de gaz et de vapeur d'eau entraînant souvent des éléments volatils provenant du socle. Ceci explique les fortes teneurs en éléments traces en particulier le fluor. Le modèle de circulation des eaux est du type 2 et la teneur en silice obtenue ne nécessite pas une correction.

IV.2.4- HAMMAM SIDI YAHIA N° 6

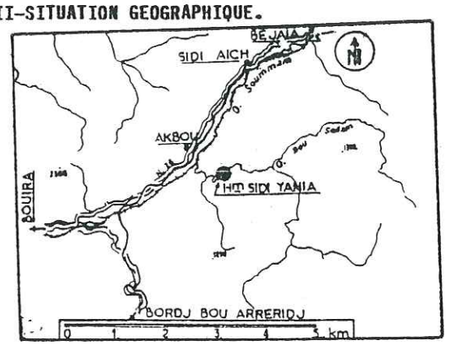
I- INTRODUCTION

Cette émergence est utilisée depuis probablement bien avant la période française.

La source a un faible débit que nous avons estimé à quelques litres par minute. Ces eaux sont démunies de toute odeur et de dépôt; en revanche, une teinte ferrugineuse a été observée lors du mélange avec les eaux de Oued Bou Sellam, un des affluents principaux de Oued Soummam.

L'infrastructure d'accueil et de captage est très modeste se limitant à de petites chambres de quelques mètres carrés parfois munies d'un petit bassin.

II-SITUATION GEOGRAPHIQUE.



L'émergence se trouve à environ 5 km au Sud du village d'Akbou. Une route carrossable mène du village et en longeant Dj. Trouna vers le Sud jusqu'à la source (voir fig IV.2.1) dont l'altitude est de 600 m.

Fig(IV.2.11)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

La remontée des eaux est favorisée par un important contact anormal séparant les unités de Bou Hamza et des Bibans. Cette dernière est en contact anormal avec une formation d'âge Jurassique (Voir Carte IV.2.2).

a: Unité des Bibans. Elle est constituée des formations suivantes:

Lias: calcaréo dolomitique (au moins 100 m à Tizi Haffaf).
Jurassique supérieur: calcaire sur une épaisseur de 20 m puis il se transforme en pélites et grès sur une même épaisseur.

Néocomien: calcaires marneux en bancs décimétriques (l'épaisseur varie de 0 à 25 m), surmontés par des pélites claires localement discordantes sur le Jurassiques (jusqu'à 100m).

Vracono-Cénomanien: alternance de calcaires marneux noirs en bancs métriques à plurimétriques et de marnes noires (1500 m au moins).

Unité de Bou Hamza.

Au Sud de l'Azrou Sidi Yahia, les pélites claires néocomiennes arrivent en contact vertical avec les dolomies et calcaires liasiques de la même unité.

Au NNW de la source, le contact des pélites se fait par l'intermédiaire d'un niveau

peu épais de pélites à cubes de pyrites.

A Sidi Yahia, le contact marque la limite entre les calcaires francs parfois oolithiques et les dolomies secondaires du jurassique établissant ainsi l'ancienneté du phénomène de dolomitisation (A.COUTELLE 1979). Quelques rares pointements triasiques affleurent au niveau de la source jalonnant les contacts séparant les différentes unités.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les pélites constituent de véritables écrans imperméables, cependant les calcaires jurassiques sont les plus importants niveaux pouvant renfermer un potentiel hydrique considérable et alimenter par cela la source de Sidi Yahia. Le contact anormal parfois vertical est probablement le circuit emprunté par les eaux au cours de leur remontée.

V- TECTONIQUE.

La source se trouve dans le domaine séptentrional caractérisé par une structure et une tectonique relativement complexes. Les déformations tectoniques aboutissent généralement à des chevauchements et parfois même à des stades plus poussés à des charriages donnant des nappes. Ces dernières sont limitées par des contacts anormaux soulignés par des niveaux triasiques jouant le rôle de semelle.

L'émergence se situe également à proximité d'une importante fracture orientée NW - SE nommée G (J.DEVAUX 1969). Le contact séparant les deux unités précédentes est le circuit de remontée des eaux chaudes alimentant la source.

VI - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

Les mesures de température effectuées pendant les différentes campagnes ont donné des valeurs variant entre 44.1 °C (L.POUGET et D.CHOUCHAK) et 42°C. Les eaux sont classées dans le groupe des mésothermales. Une très faible variation de quelques degres liée aux variations saisonnières, a été enrégistrée au cours de nos différentes campagnes..

b: pH.

Les eaux sont relativement acides. Le pH mesuré varie autour de 6 et accuse une très faible variation dans le temps.

c: Conductivité.

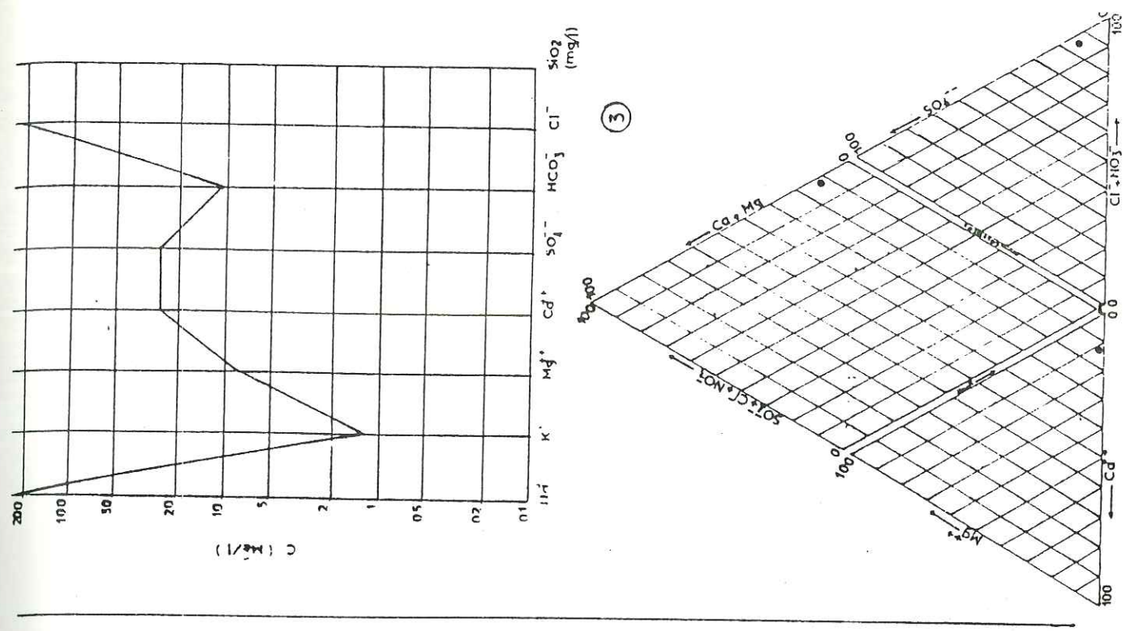
Les eaux de Hammam Sidi Yahia sont très fortement minéralisées. Leur conductivité à 20°C est supérieure à 20000 µmho/cm. Elles se classent dans le cinquième groupe des conductivités. Le taux de dilution estimée est supérieur à 7.2% traduisant une origine superficielle des eaux et un temps de séjour relativement court.

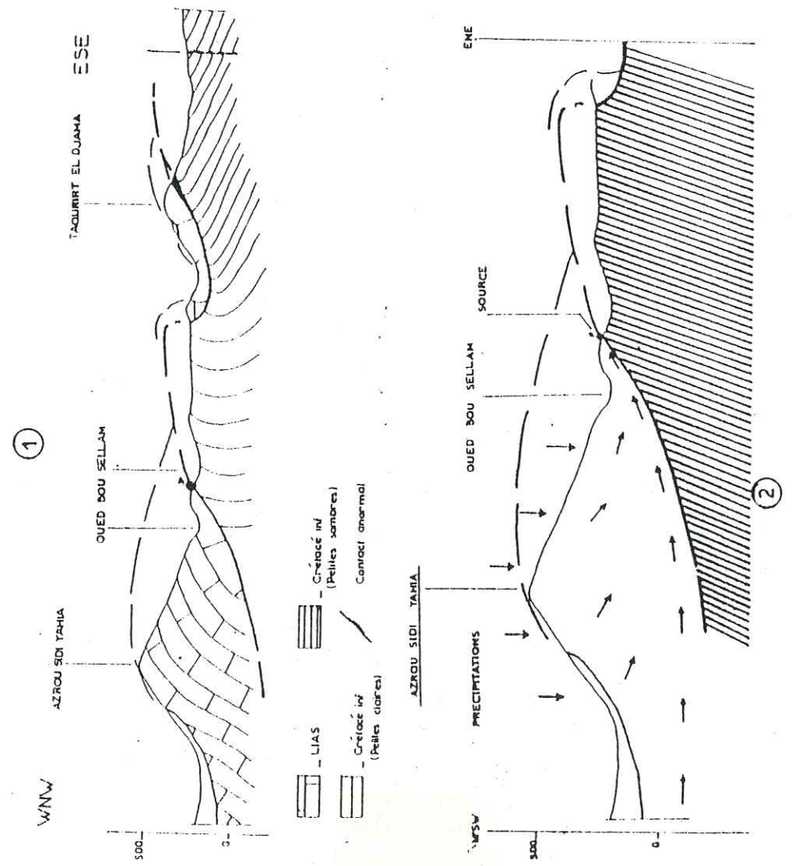
d: Résidu sec.

La forte conductivité des eaux s'est traduite par un fort résidu sec de 16 g/l

e: Radioactivité.

L'unique valeur mesurée est de 0.94 nano curies/l (L.POUGET et D.CHOUCHAK). Cette forte valeur est liée aux formations cristallines du socle très peu profond dans la région. Il n'est pas exclu qu'une partie des eaux ou de gaz remonte de cette formation.





Fig(IV.2.12)- 1- Coupe géologique de la région de Sidi Yahia

2- Modèle de circulation des eaux thermales de Sidi Yahia

3- Représentation graphique sur diagramme SCHOELLER-BERKALOFF et PIPER.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les chlorures sont très fortement concentrés dans les eaux prédominant sur les sulfates et en particulier sur les bicarbonates. Ces derniers sont très faiblement concentrés ayant une teneur moyenne d'environ 10 méq/l

Cations.

Les concentrations des alcalino-terreux dans les eaux sont relativement faibles; en revanche, les teneurs en alcalins et en particulier en sodium sont relativement élevées (5g/l).

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne :	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.35	0.27	7.34	0.13	26.72

Tableau (IV.2.6)

Indice d'échange de bases.

Les eaux au cours de leur trajet souterrain ont subi des échanges d'éléments. L'i.e.b calculé est négatif (-0.35) traduisant un échange des alcalino-terreux de l'eau par le sodium de la roche. voir tableau (IV.2.6)

- Formule carctéristique.

Les eaux de cette source ont pour formule caratéristique :

rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK.

- Faciès chimique.

Les eaux sont **hyperchlorurées sodiques** et très faiblement **sulfatées calciques.**

B: Eléments mineurs.

La teneur en silice totale dans les eaux est relativement élevée. Elle est de 26 mg/l traduisant une profondeur et une température du dernier équilibre relativement moyenne. Cet équilibre peut être considéré comme atteint dans ou à la sortie du réservoir. L'influence des chlorures est très faible et les corrections ne sont pas nécessaires dans ce cas.

Le fer est caractérisé par une concentration relativement importante variant autour de 3.2 mg/l. L'origine de ce fer est probablement liée aux petits cubes de pyrites des pélites marquant le contact séparant les deux unités (voir géol).

Les teneurs en zinc, manganèse et ammonium sont très faibles et inférieures à 0.36 mg/l. Les autres éléments dosés sont totalement absents (cuivre,chrome, NO2 et PO4).

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Les températures T(1) et T(2) sont relativement proches. Le dernier équilibre de la silice a été atteint à une faible profondeur estimée à environ 700 m pour un gradient moyen de 30m. Ces deux valeurs sont acceptables et peuvent représenter la température du réservoir. L'influence des chlorures est très faible voire absente. Le contact des évaporites du Trias se fait au cours de la remontée selon le modèle 2 d'ou l'inutilité des corrections.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
	60	77	34	143	136	197	123	100	70

Tableau (IV.2.7)

Les températures T(4) et T(5) sont très rapprochées l'une de l'autre. L'écart entre les deux valeurs est estimé à 7°C.

Les températures T(3) et T(6) sont abérantes (Na/Li =461) par suite de l'abondance du sodium et des sulfates en provenance des évaporites.

Le taux de mélange des eaux froides est estimé à 70% donnant une température des eaux avant le mélange de 100°C. Cette valeur de la température proche des T(4) et T(5) confirme ces deux dernières. Ceci indique la présence de deux composantes d'eau provenant en partie de grande ou moyenne profondeur et en partie superficielle qui sont les principaux facteurs du mélange et des variation des paramètres. Cependant cette valeur ne peut être prise en considération si on la compare avec les eaux des Bibans et aux température T(1) et T(2). Le taux de mélange est plus fort et la température en profondeur est plus faible.

Les températures T(1) et T(2) peuvent considérées comme acceptables en raison de leur indépendance totale des évaporites. La profondeur estimée avec ces valeurs représente le seuil limite à partir duquel le réservoir peut exister. Cependant nous pensons que la température du réservoir varie autour de 130°C.

IX- CONCLUSION.

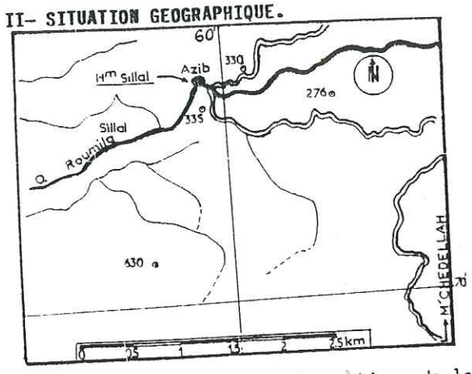
Nous pensons que le réservoir thermal est carbonaté formé par les calcaires du Lias. Après infiltration des eaux et enfouissement, elles acquièrent une thermalité considérable que nous avons estimée à environ 70°C. Cette thermalité provient du grand réservoir géothermal des Bibans suivant des fractures du socle. Les eaux remontent par la suite à la faveur du contact anormal jalonné par du Trias évaporitique. Le lessivage de ce dernier contribue à la modification quasi-totale de la minéralisation orginelle des eaux donnant par cela des eaux hyperchlorurées sodiques. Les eaux de Sidi Yahia ont empruntée un circuit du type 2 voir figure (IV.2.12).La radioactivité des eaux,relativement élevée,confirme l'origine profonde de gaz ou de vapeur d'eau entrainant des éléments volatils. Cette teneur a été cependant comparée aux sources du Porutgal émanant de formations granitiques et nous pensons que les eaux se chargent en gaz et éléments volatils profonds.

IV.2.5- HAMMAM SILLAL N°7

I- INTRODUCTION.

Les nombreuses et très vieilles habitations existant sur les lieux témoignent d'une période d'exploitation relativement longue. L'infrastructure, dont a bénéficié la source thermale est très modeste limitée à deux petites salles destinées à l'accueil.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



La source thermale se trouve en Grande Kabylie à environ 16 km au NW de Sidi Aich, dans la commune d'Akfadou .

Les émergences s'alignent le long de la rive gauche de Oued Roumila,affluent secondaire de Oued Soummam. L'altitude du lieu est de 330 m. voir fig(IV.2.13)

Fig(IV.2.13)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux émergent à la faveur d'une importante faille mettant en contact les grès Oligocènes ,les marnes de type Kabyle et les conglomérats. A quelques mètres des griffons affleurent des pointements gypseux accompagnés de tufs interstratifiés dans le Miocène.

Au Sud de la source, des formations d'âge Crétacé,constituées essentiellement de grès et de marnes schisteuses,sont surmontées par les séries précédentes.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les sources font partie du grand bassin de Oued Soummam. La perméabilité des formations constitutives du secteur est moyenne. Elle est cependant très importante au niveau des formations calcaires du Jurassique de la grande chaine du Djurdjura qui entourent le secteur et constituent une très importantes réserve d'eau souterraine. Cependant il existe d'autres formations carbonatées essentiellement calcaires d'âge Lutétien, relativement perméables pouvant être le réservoir thermal de cette source.

V- TECTONIQUE.

La région d'Akfadou fait partie du Tell séptentrional fortement accidenté. De nombreuses failles s'entrecroisent parcourant tout le secteur ainsi que les régions voisines. Les griffons coincident avec le point de croisement de deux importants accidents perpendiculaires ayant des directions respectives E - W et N - S.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

Les eaux sont mésothermales . Les températures varient entre un maximum de 48.1°C (L.POUGET et CHOUCHAK 1967) et un minimum de 46°C.

b: pH

Les eaux sont relativement acides le pH voisin de 6 ne présentant qu'une faible variation dans le temps dûe à de probables mélanges avec d'autres eaux.

c: conductivité.

Les eaux sont faiblement minéralisées ayant une conductivité de 6430 µmho/cm . Cette dernière est variable dans le temps liée aux phénomènes de dilution saisoniers. Le taux de dilution est le plus importants égal à 28.8% traduisant par cela l'origine météorique des eaux. Ces dernières sont classées dans le second groupe des conductivités.

d: Résidu sec:

La faible minéralisation des eaux s'est traduite par un faible résidu sec d'environ 3 g/l

e: Radioactivité:

Les résultats des mesures effectuées par L.POUGET et CHOUCHAK varient entre un taux d'émanation de 0.16 et 0.2 nano crocurie. Ces dernières sont en relation directe avec les formations cristallines du socle Kabyle.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les chlorures sont fortement dominants sur respectivement les sulfates et à un degré plus faible sur les bicarbonates. Les teneurs respectives de ces éléments sont 30 méq/l, 5 méq/l et 10 méq/l.

Cations:

Le sodium est prépondérant sur les alcalino-terreux. Sa teneur moyenne varie autour de 30 méq/l. Les concentrations moyennes du calcium et du magnésium varient autour de 10 méq/l.

- Rapports carctéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.025	0.33	3.27	0.17	10.00
3	+0.13	0.25	2.42	0.61	9.49

Tableau (IV.2.8)

De la même manière le sodium est fortement prépondérant sur les alcalino-terreux. Les variations des teneurs, d'une campagne à l'autre sont liées probablement à des mélanges avec des eaux froides superficielles.

-Indice d'échange de bases.

Les variations de l'indice d'échange de bases sont notables. Il est égal à -0.025 pour la campagne de Novembre 84 traduisant un échange des alcalino-terreux de l'eau avec le sodium des permutolites et inversement pour la campagne de Fevrier 1986, pour laquelle l'indice est égal à +0.13.

- Formule caractéristique.

La formule caractéristique des eaux de Sillal:

rCl > rHCO3 > rSO4 et rNa > rCa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les eaux de Sillal ont un faciès **chloruré sodique** tendant vers le faciès **bicarbonaté calcique.**

B: Eléments mineurs.

La silice totale et le strontium sont fortement concentrés ayant des teneurs respectives de 30 mg/l et de 15 mg/l. La silice traduit une température relativement élevée du dernier équilibre; en revanche, le strontium est d'origine évaporitique (Sr/Rb= 180) ou carbontée dû aux calcaires constituant le réservoir ou également cristalline.

Les teneurs en fer et ammonium sont moyennes à faibles. Elles varient autour de 3.1 mg/l pour le premier et 1.2 mg/l pour le second probablement liées aux formations cristallines . Le reste des éléments dosés ont des teneurs relativement faibles toutes inférieures à 1 mg/l.

IX- GEOTHERMOMETRIE.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
	72	90	91	173	187	117	118	175	85

Tableau (IV.2.9)

Les températures estimées par les différents géothermomètres sont relativement élevées.

Les températures T(1), T(2),sont très rapprochées variant entre un minimum de 72°C et un maximum de 90°C. La faible influence des chlorures n'impose pas la correction des teneurs en silice ce qui rend acceptable ces températures. La T(3) est faible en raison de sa liaison directe avec l'abondance du sodium dans les eaux (Na/K= 61.5).

Les température T(4),T(5) et T(8) sont très élevées et très proches. Elles varient autour de 180°C. Le pourcentage des eaux froides est important et estimé à 85% dans le mélange parvenant à l'émergence. Les températures T(6) et T(7) sont elles nettement plus faibles puisqu'elles sont voisines de 120°C. Elles sont probablement inférieures à la température réelle du réservoir que nous pensons voisine de 180°C.

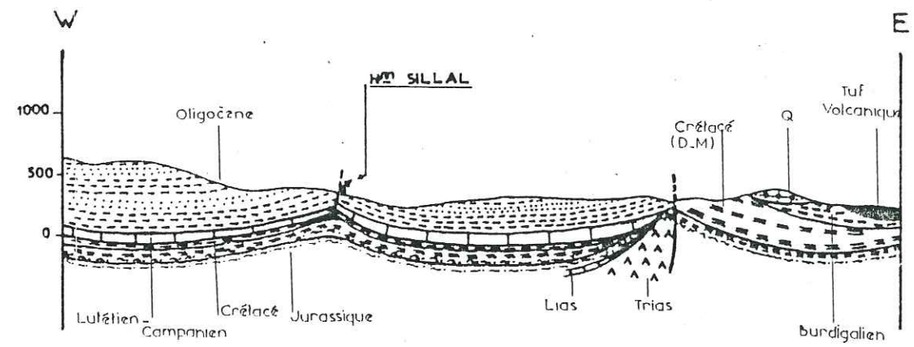
X- CONCLUSION.

Les eaux de Hammam Sillal remontent à la faveur de deux fractures subperpendiculaires faisant plusieurs kilomètres de longueur.

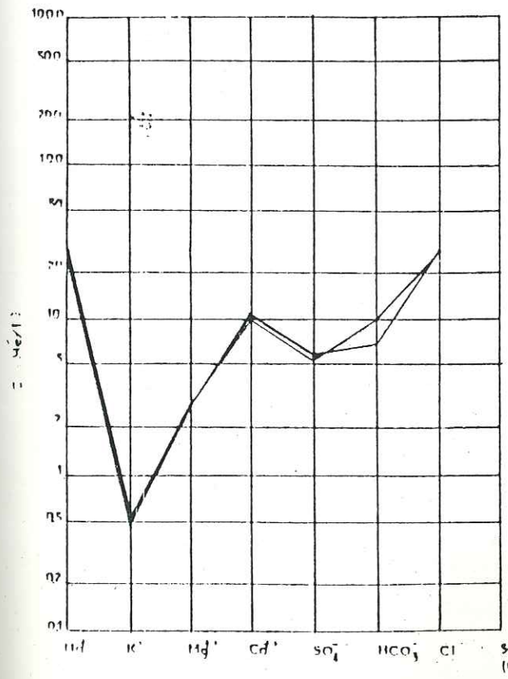
Nous pensons que les eaux de Sillal proviennent des calcaires du Lutétien supérieur ou liasiques , circulent profondemment acquérant une thermalité importante tout en subissant des échanges d'éléments avec les marnes ou argiles . Le contact avec des formations triasiques confère un faciès chimique chloruré sodique aux eaux (Sr/Rb= 180) et

Cl/SO4= 11.78).

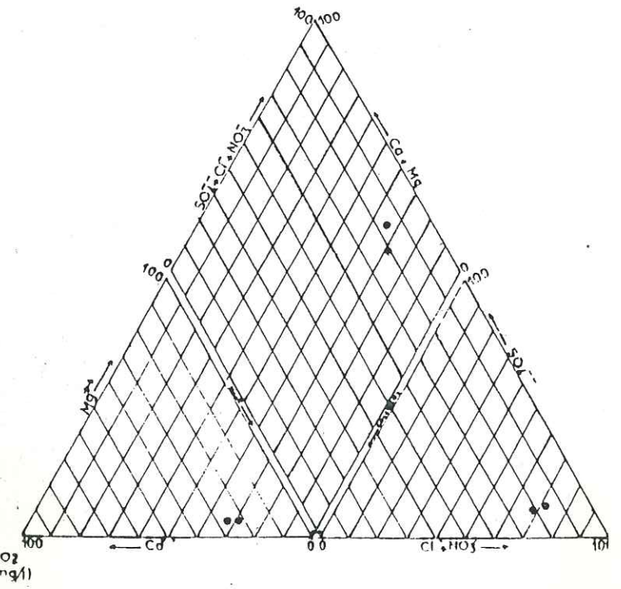
La remontée des eaux à la faveur des fractures et leur traversée de niveaux aquifères conduit à la diminution de la température ainsi qu'à la variation des teneurs des différents éléments. La teneur en radon traduit une profondeur moyenne du réservoir et une alimentation partielle en provenance du socle cristallin. Les eaux de Sillal ont un circuit du type 2 c'est à dire une infiltration des eaux météorique qui après une circulation relativement profonde remontent à la faveur d'accidents plurikilométriques. La thermalité nécessaire provient du réservoir bibanique probablement par l'intermediaire de grandes fractures affectant le socle. Les fortes teneurs en éléments traces sont en grande partie d'origine cristalline. Ceci confirme la remontée d'une partie des eaux ou de gaz profonds émanant du socle.



Fig(IV.2.14)- Coupe géologique du secteur de Sillal.



Fig(IV.2.15)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.



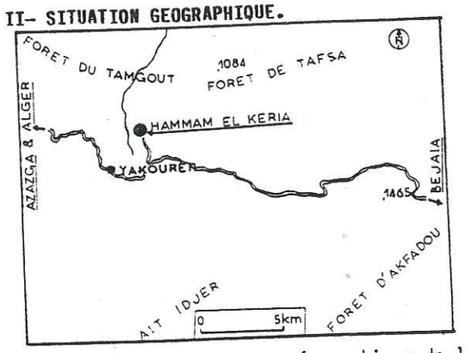
IV.2.6-HAMMAM EL KERIA N°8

I- INTRODUCTION.

La source d'El Kéria est renomée dans toute la région kabyle. Elle est connue depuis probablement bien avant la période coloniale française. Les quelques documents que nous avons trouvés, mentionnent tous cette émergence. Les constructions d'accueil ne montrent aucune trace plus ancienne que l'époque française.

Les eaux chaudes, claires démunies de tout dépôt et d'odeur, coulent dans un petit bassin faisant quelques mètres carrés de dimension.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Fig(IV.2.16)- Situation géographique de la source.

La source d'El Kéria se trouve à quelques kilomètres de la route reliant la ville de Béjaia au village de Yakouren. Un chemin carrossable mène de la route au village d'El Kéria. Ce dernier se situe à quelques dizaines de kilomètres du village de Yakouren.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux de Hammam El Kéria émergent au sein d'une formation d'âge Oligocène constituée essentiellement de grès directement transgressifs sur le massif ancien Kabyle au Sud et sur les flyschs quartziteux du Crétacés au Nord.

Au Sud de la source, la faille thermale met en contact les flyschs Albo-aptien et les grès Oligocènes.

A l'Ouest , les formations miocènes , constituées de marnes grises, de grès et de formations lenticulaires de conglomérats polygéniques, sont recouvertes par les grès Oligocènes. Ce Miocène est parfois transgressif (dans la région de la vallée de la Soummam) sur les flyschs calcaires et quartziteux du Crétacé supérieur.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Du point de vue hydrogéologique, nous pouvons distinguer les ensembles suivants:

Les plaines de Oued Soummam au Sud et de Oued Sébaou à l'Ouest constituent les plus importantes réserves de la région. Plusieurs aquifères se superposent et sont souvent alimentés par les eaux provenant en particulier du Djurdjura. Ce dernier constitue la seconde plus importante réserve de la région. Les calcaires du Jurassique, très fortement fracturés et karstifiés, renferment une très importante nappe d'eau inexploitée à l'heure actuelle.

Les formations Oligocènes et Miocènes sont cependant moins importantes que les deux précédentes et peuvent en effet être des aquifères de faible envergure.

V- TECTONIQUE.

Les eaux de la source d'El Kéria sourdent à la faveur d'une fracture plurikilomètrique de direction NW - SE. Les grès Oligocènes forment d'étroites gouttières synclinales. Des failles post-oligocènes découpent l'ensemble du synclinorium en compartiement disposés en gradins qui s'abaissent du Sud au Nord en s'éloignant du massif ancien

Sur photosatellite, la source coincide avec le point d'intersection d'un linéament de direction NE - SW et la fracture nommée C par J. DEVAUX (1969).

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

Température.

La température des eaux, relativement élevée, varie très peu autour de 44°C appartenant au groupe des eaux mésothermales.

pH.

Les eaux sont légèrement basiques ayant un pH de 7.10. Une faible augmentation a été enregistrée au cours de la seconde campagne que nous avons estimée à environ 0.16.

Conductivité.

Les eaux de Kéria sont très peu minéralisées ayant une conductivité de l'ordre de 400µmho/cm. Cette conductivité est caractéristique des eaux ayant circulé dans des formations cristallines. Elles appartiennent au premier groupe caractérisant les eaux potables. Une très forte baisse a été enregistrée au cours de la seconde campagne donnant une dilution de 22%. Ceci est liée à de forts mélanges avec les eaux superficielles.

Résidu sec.

La faible conductivité s'est traduite par une très faible minéralisation. Le résidu sec très faible, varie autour de 0.28 g/l.

Radioactivité.

La quantité d'émanation de radon estimée par L.POUGET et C CHOUCHAK (1967)est égale à 0.25 . nano.curies/l.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES

- Eléments majeurs.

- Anions.

Les bicarbonates prédominent sur respectivement les chlorures et les sulfates. Les trois anions accusent une augmentation au cours de la seconde campagne.

- Cations

Les teneurs des alcalino-terreux sont relativement élevées prédominants sur les alcalins. Ces derniers ainsi que le magnésium enregistrent une légère baisse en seconde campagne à l'inverse du calcium.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne:	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
El Kéria	-0.13	1.00	0.68	2.52	0.68
	-0.034	0.64	0.57	1.86	0.88

Tableau (IV.2.10)

Trois des quatres rapports habituels accusent une décroissance pendant la seconde campagne. Cette diminution est relativement élevée liée à des phénomènes de mélanges avec des eaux froides superficielles au cours de la remontée des eaux chaudes.

Indice d'échange de bases.

Les différents indices d'échange de bases, calculés pour les différentes campagnes que nous avons effectuées, sont négatifs et inférieurs à 1. Des échanges d'alcalino-terreux de l'eau par le sodium se sont alors effectués au cours de la circulation souterraine et au contact des formations argileuses sans pour autant modifier la composition chimique originelle de l'eau. Les variations de cet indice sont très importante liées aux effet saisonniers.

-Formule caractéristique.

Les eaux de Hammam El Kéria ont pour formule caractéristique:
rHCO3 > rSO4 > rCL et rCa > rMg > rNa > rK

Faciès chimique.

Les eaux de Hammam El Kéria appartienent au groupe des **bicarbonatées calciques faiblement sulaftées**

B- Eléments mineurs.

Les différents éléments mineurs dosés, sont très faiblement concentrés dans les eaux. La silice totale ,égale à 37.2 est supérieure en teneur à celles des eaux de Sidi Yahia et de Sillal traduisant une liaison plus étroite avec le socle.. Le chrome et les fluorures sont relativement plus abondants. Les teneurs respectives sont de 0.30 mg/l et 0.16 mg/l. Le fer est par contre plus abondant(1.16 mg/l) ayant une origine cristalline.

Le strontium et le manganèse ne sont présents qu'en de très faibles teneurs, inférieures ou égales à 0.4 mg/l. L'origine de ces éléments est probablement superficielle. L'absence d'évaporites est la cause de cet appauvrissement en stronitum (Ca/Sr= 1670).
Le manganèse , le zinc, le lithium le rubidium, et le brome sont absents.

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	:
	73	91	289	243	181	46	194	

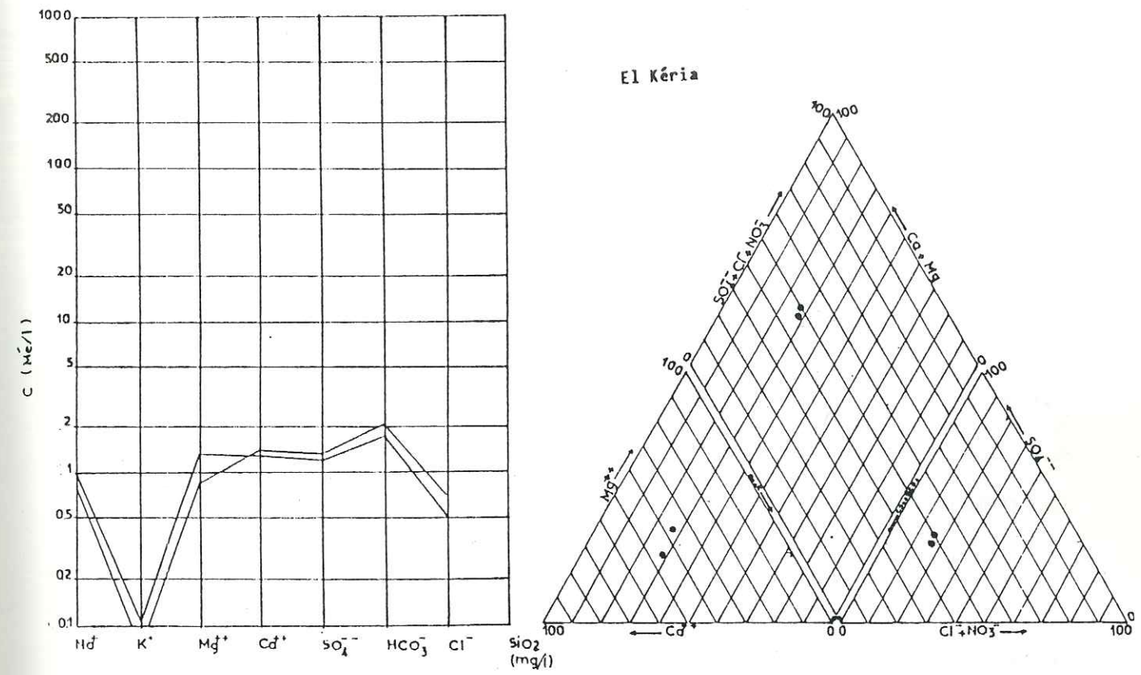
Tableau (IV.2.13)

Les températures estiméees par les différents géothermomètres montrent une certaine homogénéité à l'exception de T(6) basée sur les sulfates qui sont très peu concentrés dans les eaux d'El Kéria.

Les températures T(3), T(4) et T(5) sont relativement élevées variant entre 240 et 290°C.
L'utilisation des courbes de mélanges donne une température du réservoir comparable à celle des géothermomètres précédents et un taux de mélange de l'ordre de.

L'absence d'évaporites rend ces résultats acceptables bien que les températures T(4), T(5) et T(7) soient plus bons. Les géothermomètres silice, donnent une température du

dernier équilibre de 90°C. Cette valeur peut être considérée comme limite inférieure de la température des eaux.



Fig(IV.2.17)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

IX- CONCLUSION.

L'examen des différents résultats montre que les eaux de Hammam El Kéria proviennent du socle cristallin très peu profond dans la région. Cependant la présence de niveaux aquifères renfermant des nappes d'eau importantes et plus froides conduit généralement à une diminution considérable de la température acquise dans le réservoir thermal. La température des eaux dans ce dernier est relativement importante variant autour >100°C. Le transit à travers les flyschs Albo-aptien et le conatct avec les formations argileuses se traduit par un échange d'éléments alcalino-tereux par les alcalins de la roche sans pour autant modifier considérablement la nature chimique de l'eau acquise dans le réservoir. L'énergie nécessaire au réchauffement provient comme pour toutes les sources de cette région du réservoir géothermal des Bibans. Cependant on peut considérer également qu'une partie du flux est le résultat des mouvements du socle accompagnés par des dégagements gazeux et d'éléments volatils ou encore la désintégration radioactive de certains éléments radiogéniques.

IV.2.7- AIN TINZERT N°31

I- INTRODUCTION.

La source de Tinzert est connue depuis très longtemps, probablement dès le début de la période française. Les vestiges d'une ancienne construction qui servait au captage de cette source, témoignent de son ancienneté. Une seule étude à été effectuée recemment cependant les documents anciens qui ont été consultés ne mentionnaient pas cette émergence.

Les caractéristiques principales de cette émergence résident dans sa potabilité et son très fort débit estimé à plusieurs dizaines de litres par seconde. Les eaux sont froides ne dégageant aucune odeur. Cependant un développement d'algues à été observé au niveau de l'exutoire.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source se trouve au pied d'un important massif calcaire du Djurdjura et à quelques mètres du lit d'un affluent de Oued Sébaou. Une piste carrossable mène de la route de Tala Guilef jusqu'à l'émergence. Elle se trouve à quelques kilomètres au Sud du village des Ouacifs. fig(IV.2.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Le griffon est constitué d'une masse calcaire grisâtre d'âge liasique appartenant à la chaine calcaire. Un important niveau conglomératique jalonne le passage d'une importante fracture recoupant l'accident principal de la source.

IV- HYDROGEOLOGIE.

La source de Tinzert est l'une des sources jouant le rôle de trop plein du massif calcaire du Djuradjura. Ce dernier, très fortement karstifié, est connu pour ses importantes réserves hydriques.

IV- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les eaux sont froides, légèrement basiques et très peu minéralisées. Leur minéralisation totale varie autour de 2g/l

Les teneurs en chlorures et en sodium sont prépondérantes et sont respectivement égales à 28.56 méq/l et 35.33 méq/l. Les rapports de ces deux éléments sur les sulfates et sur les alcalino-terreux sont supérieurs à 1. Les eaux sont hyperchlorurées sodiques et très faiblement sulfatées calciques ayant une formule caractéristique: **rCl > rSO4 rHCO3 et rNa >** rCa > rMg > rK.

Les échanges d'éléments sont relativement importants se traduisant par la substitution des alcalino-terreux par le sodium des permutolites modifiant par cela leur composition chimique originelle.

La situation de cette émergence au pied de la chaine calcaire implique la nature carbonatée du réservoir. Cependant les eaux au cours de leur trajet ont transité par une formation évaporitique à dominante salifère r(Ca+Mg)/(Na+K) est inférieur à 1. Ce transit s'est traduit par la substitution de Ca et Mg de l'eau par le Na de la roche modifiant le chimisme de l'eau en totalité et aboutissant à une eau hyperchlorurée sodique.

La faible minéralisation ainsi que la faible température s'expliquent par un temps de séjour relativement court et à faible profondeur.

IV.2.8- AIN SOLTANE N°32

I- INTRODUCTION.

Une station de pompage a été installée recemment pour l'alimentation en eau potable du village de Méchtras.Cependant, les informations que nous avons recueillies sur les lieux confirment toutes l'ancienneté de cette émergence.

Le débit et la bonne qualité des eaux sont les deux principales caractéristiques de cette émergence. Les eaux sont claires et limpides ne dégageant aucune odeur. La température est très faible classant par cela ces eaux dans le groupe des eaux froides. Quelques poussées végétales ont été cependant observées tout le long de la rigole reliant la station à la source. Les dépôts sont totalement absents.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source se situe au NE du village de Méchtras à quelques centaines de mètres de W.136, reliant ce dernier village à la ville de Tizi Ouzou qui se trouve plus au Nord. L'altitude du lieu est de 1000 m. fig(IV.2.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

La source se situe au sein d'une formation d'âge Oligocène à faciès Kabyle et au pied de la chaine du Djurdjura caractérisée par d'importants affleurements calcaires.

Au Nord et à quelques kilomètres, les formations sont d'âge Paléozoique constituant le socle Kabyle.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les calcaires du Djurdjura sont les plus importantes réserves de la région et de toute la Kabylie. La situation de ces émergences au pied des massifs calcaires favorise une alimentation par ces derniers. Cependant la faible distance séparant la source du socle n'exclu pas une éventuelle alimentation hydrique.

V- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les eaux de la source d'Ain soltane sont très froides ayant une température de 13.5°C. Elles sont faiblement basiques (PH=7.65) et très faiblement minéralisées. Leur conductivité varie autour de 278 µmho/cm appartenant au 1 groupe des conductivités.

VI- PROPRIETES CHIMIQUES.

Les bicarbonates ainsi que le calcium sont prépondérants. Leurs teneurs sont supérieures à 3.2 méq/l. Les différents rapports caractéristiques montrent la prédominance de ces deux éléments dans leurs familles respectives. La formule caractéristique de ces eaux est **:rHCO3 > rCl > rSO4 et rCa > rNa > rMg >rK.** Les eaux sont fortement **bicarbonatées calciques** et très faiblement chlorurées sodiques.

Les échanges de bases effectués au cours du trajet sont très faibles se traduisant par un indice de +0.06. Les eaux ont libéré du sodium pour s'enrichir en calcium et magnésium. Ces indices positifs caractérisent les eaux issues des formations cristallines.

La situation de la source au pied du Djurdjura et à l'aval d'un affluent impose l'hypothèse suivante:

Les eaux d'Ain Soltane proviennent soit des masses calcaires d'âge liasique du Djurdjura soit également du socle cristallin. Cependant la faible minéralisation des eaux conduit à des apports importants de la seconde origine. La forte pluviométrie caractérisant cette région de Kabylie est une source d'alimentation permanente des différentes émergences jalonnant le massif. La très bonne karstification de ce dernier permet une infiltration assez rapide des eaux se traduisant par une faible minéralisation des eaux. Les eaux de la source sourdent en faveur d'une fracture empruntée par le petit affluent.

CONCLUSION.

Les sources de cette région sont, à l'exception de Hammam El Kéria , Ain Soltane, Berrouaghia et El Hamedh, liées à des formations évaporitiques souvent d'âge triasique. Le rapport Sr/Rb est supérieur à 50 de même que les rapports Ca/Sr et Ca/Mg varient respectivement autour de 100 pour le premier et tous inférieurs à 10 pour le second. Hammam El Kéria constitue une exception et présente des rapports totalement différents. L'utilisation des méthodes interprétatives habituelles, a dégagé trois grands groupes chimiques qui sont:

- Les sources des Bibans, Ksenna, Ibainem,Sillal, Tinzert et Sidi Yahia sont chlorurées sodiques.
- Les sources de Berrouaghia, El Kéria et El Hamedh ont un faciès bicarbonaté calcique ou sodique.

Les sources des Bibans, Ksenna, Berrouaghia et El Hamedh sont étroitement liées à la flexure bibanique, de direction E - W, jouant le rôle d'un front de chevauchement du même type que le front pennique et à un stade moins avancé. Cette dernière est jalonnée en surface par des foyers séismiques actifs parallèlement aux manifestations thermiques.

Les eaux, au cours de leur transit souterrain, ont été au contact des évaporites du Trias. La minéralisation des eaux est pour la majorité des émergences secondaires acquise au cours de la remontée ou pendant la circulation dans le réservoir. Deux modèles de circulation sont cependant envisageables dans cette région. Les sources de la flexure bibanique ont un modèle du type 1 et inversement les sources liées au socle kabyle ont un modèle de circulation du type 2.

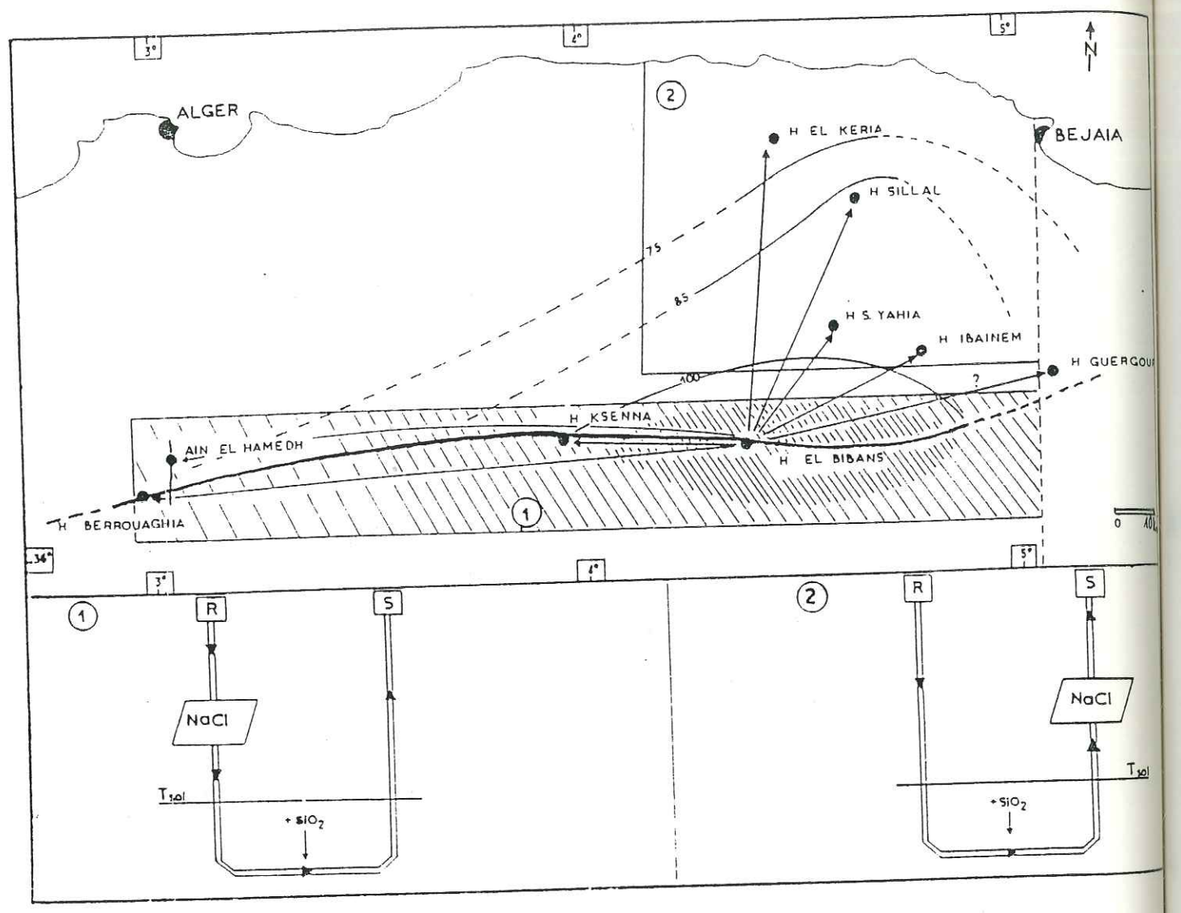
L'abondance des évaporites du Trias comportant des nodules de sel en profondeur a fortement influencé les températures calculées par les différents géothermomètres en particulier pour les sources de la zone bibanique. Les corrections apportées aux teneurs en silice , par utilisation du géothermomètre (9) Bortolami et al . ont donné des températures très élevées aux Bibans qui diminuent au fur et à mesure que l'on s'eloigne de cette zone. La source d'El Kéria a la plus faible température du réservoir (70°C). Cette diminution s'accompagne d'une augmentation du pourcentage d'eau froide contribuant au mélange.

Les rapports Ca/Mg sont comparables à ceux des sources alpines variant entre 3 et 6.5 à l'exception de Hammam El Kéria dont le rapport est voisin de 10 et comparable aux eaux du Massif Central. Cependant dans cette région, les eaux des Bibans, Ksenna, Sidi Yahia et Sillal ont des rapports très rapprochés variant autour de 3.2 traduisant une même nature des réservoirs thermaux qui sont probablement calcaréo-dolomitiques. La source d'Ibainem est cependant plus riche en calcium donnant un Ca/Mg très élevé (6.5) indiquant un réservoir calcaire.

Les différentes températures des réservoirs profonds, enregistrent une décroissance des Bibans vers les sources les plus externes traduisant par cela une diminution du flux de chaleur provenant du réservoir géothermique des Bibans (II.2.18). Ce flux de chaleur est véhiculé par de grandes fractures profondes affectant le socle cristallin accompagné d'un fort dégagement d'élément volatils et de gaz.

La forte abondance des chlorures et du sodium est liée au Trias évaporitique profond injecté soit dans les fractures soit jalonnant les contacts anormaux des différentes unités tectoniques. L'absence de sel (NaCl) en surface peut être liée, comme dans les Alpes, à des phénomènes d'halocinèse, à des compressions et à des lessivages superficiels. La présence de NaCl en profondeur au sein d'amas évaporitiques résiduels constitue la seule sources de sel pouvant expliquer les fortes teneurs en NaCl constatées dans toutes les sources de la région. Ces niveaux salifères, injectées dans la flexure, constituent un écran imperméable vis -à-vis du flux de chaleur pour les sources du Sud. La conductivité thermique du sel est très faible (Na=0.29). Ceci explique l'orientation du flux de chaleur vers les sources de Kabylie et des Bibans et pas vers les sources du Hodna.

En considérant un gradient géothermique moyen de 36 m, la profondeur du réservoir au niveau des Bibans sera supérieure à 4000m ce qui concorde avec les données de forages de BSK-1. Cette même profondeur à été obtenue dans les Alpes ce qui nous permet d'effectuer des comparaisons avec les sources alpines en raison des grandes ressemblances.



Fig(IV.2.18)- Modèle de fonctionnement des sources kabyles et bibaniques

REGION du HODNA

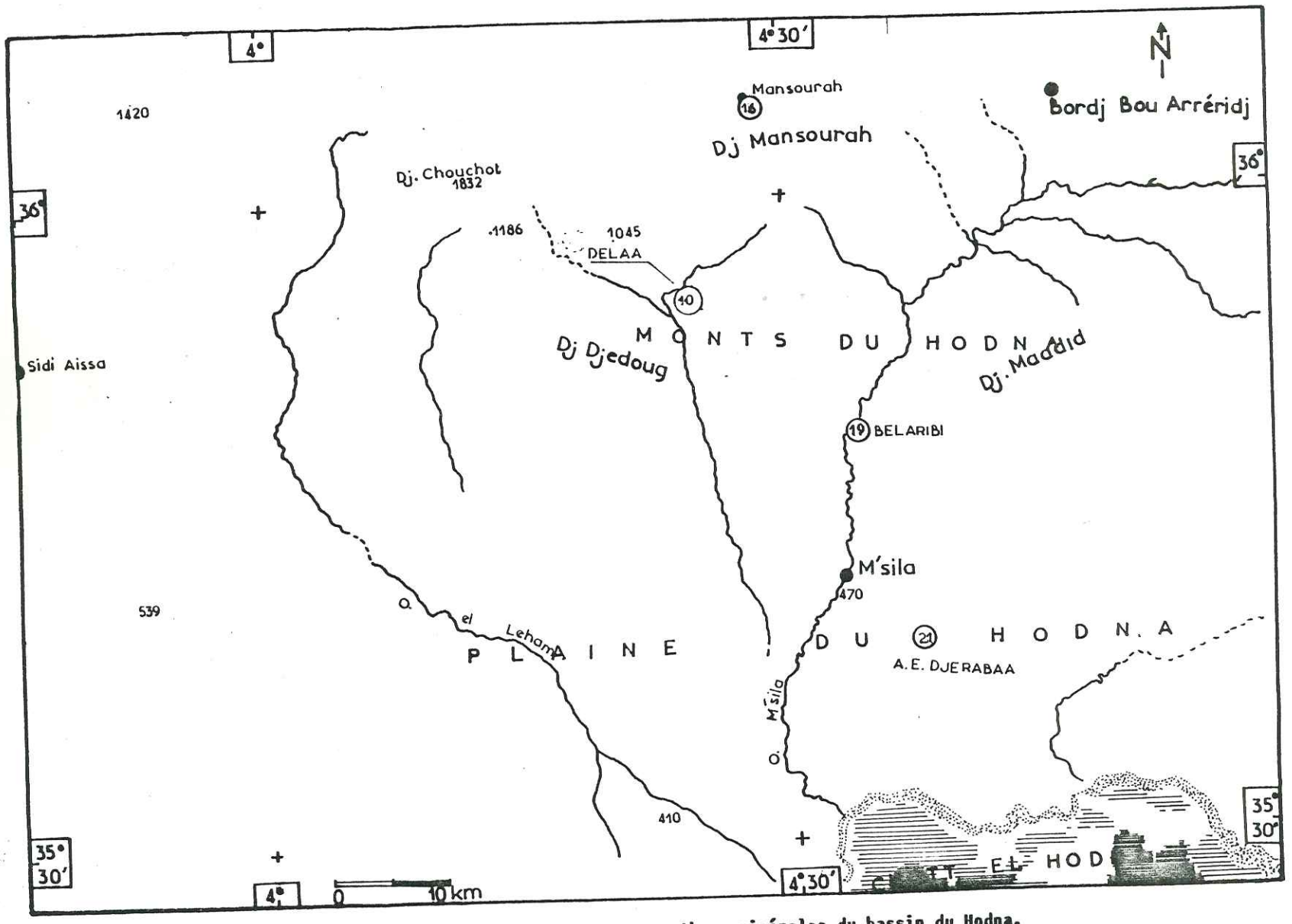


Fig (IV.3.1) – Situation géographique des sources thermominérales du bassin du Hodna.

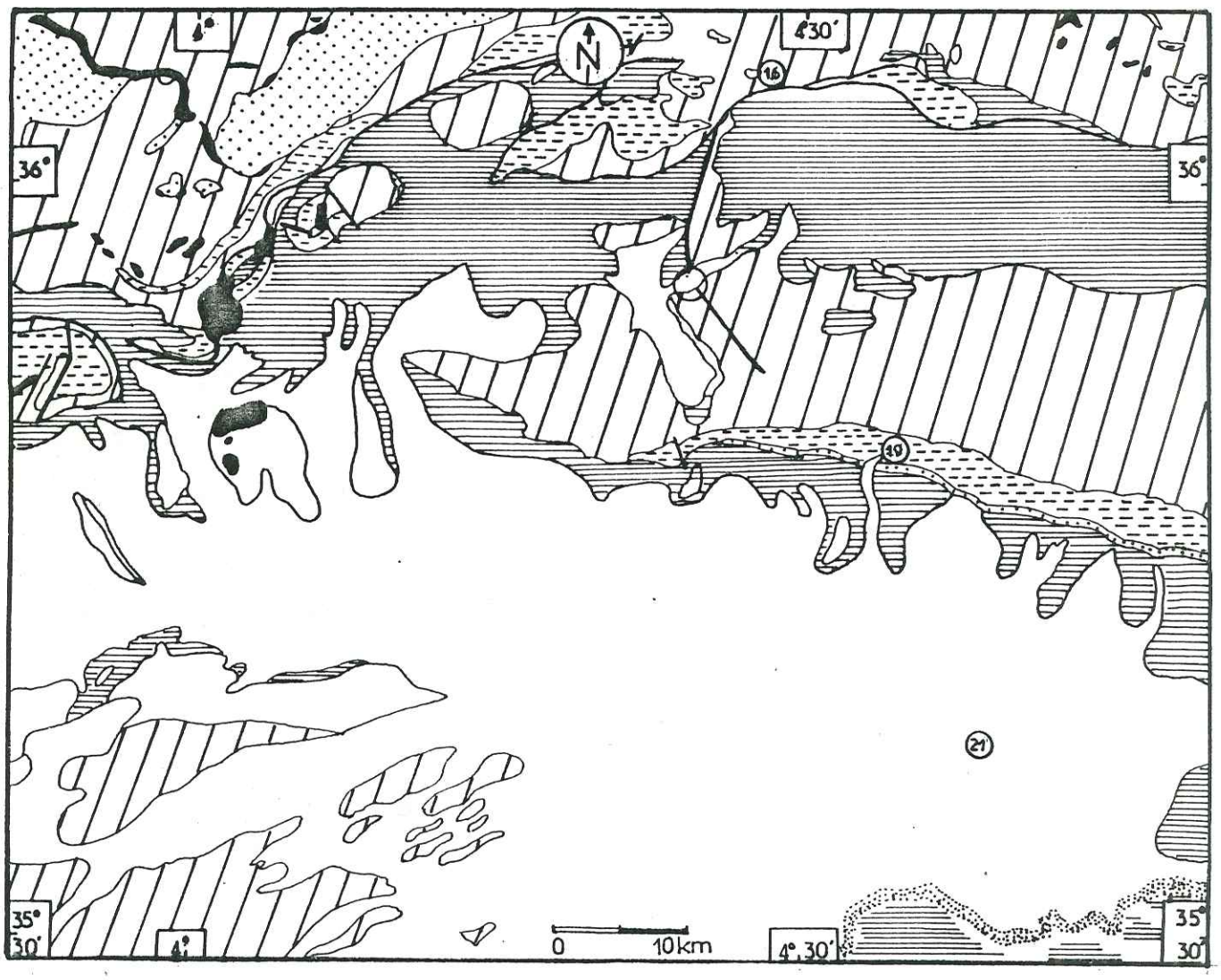


Fig (IV.3.2)-Situation géologique des sources thermominérales du bassin du Hodna.

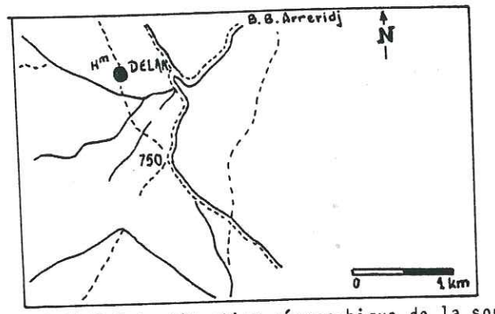
IV.3.1-HAMMAM DELAA N° 10

I- INTRODUCTION.

La source de Délaa est très renommée au sein de la population locale. Son exploitation date probablement de la période française en Algérie. Cependant aucun vestige n'a été constaté sur les lieux pouvant nous donner plus de renseignements sur la période d'exploitation de cette émergence.

Au total trois griffons caractérisent cette source dont un seul est exploité pour l'alimentation de la station. Le débit est relativement important; en revanche,aucune odeur ni dépôt n'ont été décelés.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Fig(IV.3.3)- Situation géographique de la source.

Le village de Délaa, qui porte le même nom que la source, se trouve à environ 15 km à vol d'oiseau au Sud de Mansourah et à une trentaine de kilomètres au NW de M'Sila. Pour y accéder, il existe trois possibilités. Voir fig(IV.3.1)

- Soit prendre la piste vers l'Ouest depuis la nationale N°45, reliant M'Sila à Bordj Bou Arreridj.

- Soit depuis le village d'El Mhir sur la nationale N°5, reliant Bouira à Bordj Bou Arreridj à une dizaine de kilomètres avant les gorges des Portes de fer.

- Soit en partant du village de Mansourah vers le Sud.

Quel que soit l'itéinéraire choisi, les pistes sont carrossables. L'altitude des émergences est de 750m

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux émergent au sein de dépôts récents d'âge quaternaire qui reposent sur des grès glauconieux au Nord et sur des marnes d'âge Miocène inférieur au Sud.

Au Sud Ouest du Hammam et à quelques kilomètres, un important affleurement calcaire santonien repose sur des marnes et calcaires lumachelliques du Coniacien. L'ensemble repose sur des calcaires dolomitiques et dolomies du Turonien. Plus à l'Est, une importante formation marneuse d'âge Cénomanien-Vraconien affleure.

Au Sud Est de la source d'importants affleurements de dolomies, grès fins et argiles silteuses de l'Albien inférieur et moyen reposent sur des calcaires et dolomies du Barrémo-Aptien. Des niveaux triasiques apparaissent , constitués essentiellement de cargneules.

IV- HYDROGEOLOGIE.

La source de Hammam Délaa se trouve au sein d'une formation perméable, probablement celle exploitée pour l'alimentation du village.

Les grès d'âge Miocène inférieur sont favorables pour l'exploitation et peuvent renfermer une nappe aquifère très importante. Cependant les calcaires du Santonien et les

calcaires dolomitiques et dolomies du Turonien sont hydriquement favorables à une exploitation.

Le dernier niveau favorable est constitué par l'Albien inférieur et moyen, formé de dolomies et grès fins, et par les calcaires et dolomies du Barrémien-Aptien pouvant constituer le réservoir thermal.

V- TECTONIQUE.

La structure caractérisant la région de Hammam Délaa se résume en un vaste synclinal relayé vers le Nord par un anticlinal constitué de formations d'âge Aptien dont l'axe est pratiquement orienté E-W .

Une importante fracture plongeant vers le Sud affecte le flanc du synclinal et constitue probablement la faille thermale facilitant la remontée des eaux chaudes.

Aucun linéament ne passe dans la région de la source; cependant un quadrillage de fractures a été observé à quelques kilomètres de là.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux est relativement élevée se caractérisant par une faible augmentation en seconde campagne. Les eaux de Hammam Délaa, avec une température de 41°C, appartiennent à la classe mésothermale.

b: pH.

Le PH moyen des eaux faiblement acide varie autour de 6.9. Le caractère acide des eaux disparaît parfois passant à un caractère basique. Ces variations sont estimées à environ 0.5 pH.

c: Conductivité.

Les eaux ont une conductivité moyenne à faible. La moyenne obtenue varie autour de 3800 µmho/cm. Les eaux appartiennent à la deuxième classe des conductivités. Le taux de dilution est estimé à 1.4% traduisant une origine superficielles des eaux.

d: Résidu sec.

Les eaux sont faiblement minéralisées caractérisées par un résidu sec de 2157 mg/l. Cette valeur concorde parfaitement avec la conductivité.

e: Radioactivité.

Les émanations en Radon sont quasiment nulles traduisant une indépendance totale des eaux des formations cristallines du socle profond . et en particulier des émanations provenant de la région bibanique.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les teneurs en sulfates sont prépondérantes; en revanche,les concentrations en chlorures et en bicarbonatés sont respectivement moyennes et faibles.

Cations.

La concentration en sodium est dominante sur le reste des cations. Les alcalino-terreux ont des teneurs moyennes à faibles inférieures à 10 méq/l.

- **Rapports caractéristiques.**

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.32	0.35	1.71	1.23	4.84
3	-0.22	0.31	1.46	1.07	4.73

Tableau (IV.3.1)

Le rapport du magnésium sur le calcium est faible, variant autour de 0.30 ce qui traduit par cela la prédominance du calcium.

- **Indice d'échange de bases.**

L'indice d'échange de bases, calculé pour les deux campagnes que nous avons effectuées, est caractérisé par une constance relative dans le temps. Les eaux, au cours de leur trajet souterrain, échangent les élémenst alcalino-terreux contre le sodium de la roche (permutolites). L'i.e.b est négatif montrant des valeurs moyennes de l'ordre de -0.25.

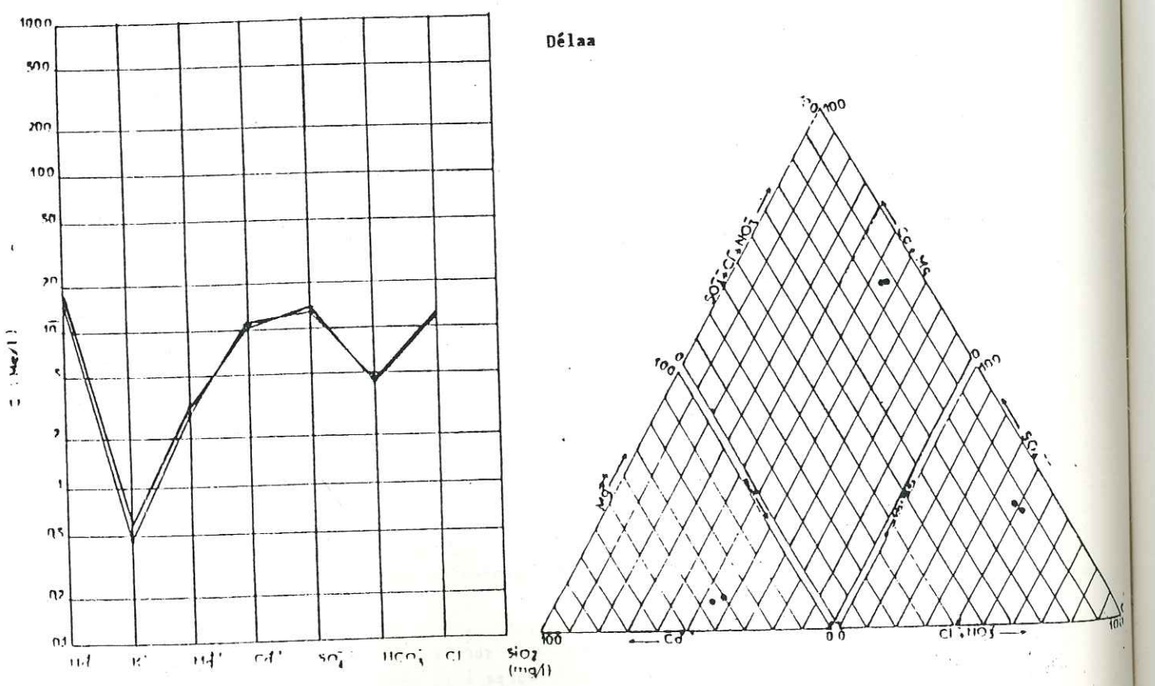
- **Formule caractéristique.**

Les eaux de Hammam Délaa ont pour formule caractéristique:

$rSO4 > rCl > rHCO3$ et $rNa > rCa > rMg > rK$

- **Faciès chimique.**

Les eaux de cette émergence sont **sulfatées sodiques et chlorurées calciques.**



Fig(IV.3.4)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

B: Eléments mineurs.

Les teneurs en silice et en strontium sont très élevées et respectivement égales à 19 mg/l et 3.59 mg/l traduisant une circulation profonde dans une formation essentiellement carbonatées.

Le fer et le lithium ont des teneurs relativement proches variant autour de 0.34 mg/l. L'origine du lithium est probablement évaporitique; en revanche, le fer peut être d'origine superficielle.

Les autres éléments dosés, en l'occurrence le manganèse, le rubidium, le cuivre et le zinc, ont des teneurs très faibles, généralement inférieures à 0.02 ppm. Le plomb est absent.

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Températures °C	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
Delaa	77	96	139	198	130	164	137	173	85

Tableau(IV.3.2)

Les températures T(1) et T(2), déterminées par les géothermomètres silice,sont relativement faibles et très proches. Elles sont respectivement égales à 77°C et 96°C.

Les températures T(3), T(5) et T(6) sont supérieures à 130°C. L'écart enregistré est égal à 30°C. Ces différents géothermomètres sont basés sur le sodium et les sulfates lequels ont probablement la même origine.

L'utilisation du géothermomètre Na/K/Ca a donné une température beaucoup plus élevée voisine de 200°C. Ce dernier est très fortement influencé par les formations sédimentaires traversées. Son résultat ne peut être utilisé.

L'utilisation de la courbe de mélange pour l'estimation du pourcentage de mélange d'eau froide a donné une valeur de 85% et une température du réservoir de 175 °C . Cette valeur concorde parfaitement avec les températures T(6) et T(4). Par contre elle est légèrement supérieure aux températures T(3) et T(5). Cette température est cependant concordante par comparaison aux températures T(1) et T(2) qui correspondent au dernier équilibre. La teneur en silice est cependant très peu ou pas influencée par les chlorures.

Les températures T(1) et T(2), en raison de leur indépendance totale des formations sédimentaires et en particulier des chlorures, nous donnent la valeur minimale de la température des eaux en profondeur. Le modèle de circulation des eaux de Délaa est du type 2 et la teneur de silice obtenue peut être considérée comme étant en équilibre à l'intérieur ou proche du réservoir thermal.

IX- CONCLUSION.

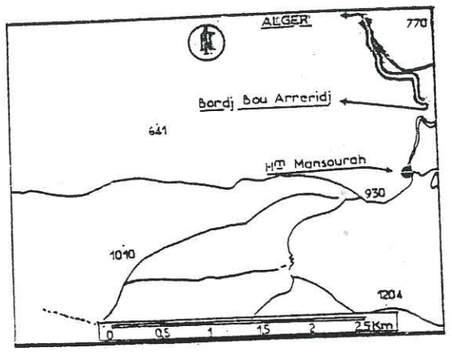
Nous pensons que les calcaires et dolomies du Barrémo-Aptien constituent le réservoir thermal (Ca/Mg= 2.84) lequel est alimenté par les massifs voisins. Les eaux ont au cours de leur circulation en particulier pendant la remontée lessivé des évaporites à fortes teneurs en sulfates. Les rapports Ca/Sr varient autour de 100 et Sr/Rb (178).Les différentes variations des teneurs enregistrées au cours des campagnes sont probablement le résultat de mélanges avec des eaux froides superficielles. Les eaux en quittant leur réservoir remontent à la faveur de la faille thermale et des échanges avec les niveaux argileux ou marneux modifient leur chimisme originel. La température moyenne du réservoir varie autour de 90°c. La faible présence des chlorures rend ce dernier résultat acceptable . Malgrè la situation proche du réservoir géothermal des Bibans, l'énergie nécessaire au réchauffement des eaux de Délaa est liée uniquement au gradient géothermique et très faiblement aux réactions exothermiques et à l'activité séismique.

IV.3.2-HAMMAM MANSOURAH N°16

I- INTRODUCTION.

La faible thermalité de la source ne lui a confié faible intérêt de la part de la population locale ou des régions voisines malgrè sa situation très proche du centre de la ville de Mansourah. Les vestiges d'exploitation sont totalement absents . Les visiteurs sont assez rares et l'infrastructure d'accueil est limitée à une simple petite chambre construite récemment. Les eaux, légèrement troubles, ont une faible thermalité ainsi qu'un faible débit estimé à quelques litres par minute. Aucun dépot, ni odeur n'ont été décelés.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Cette émergence doit son nom au village de Mansourah dans lequel elle est située. Il se trouve à environ 29 km à l'Ouest de la ville de Bordj Bou Arréridj et sur la route nationale N° 5 reliant cette dernière ville à celle de Bouira.

L'accès à la source est facilité par une piste carrossable menant à la fois aux villages situés plus au Sud et à la source. Cette dernière est située en contre bas de la piste à quelques mètres du lit de la rivière centrale. L'altitude est de 1200 m. Voir fig(IV.3.)

Fig(IV.3.5)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

L'émergence est située sur le flanc Nord du Djebel Mansourah sur une importante faille de direction NE - SW mettant en contact à la fois les grès Carteniens, les calcaires marneux du Sénonien-Danien et les dolomies du Valanginien. Ces dernières sont surmontées au Nord par des formations d'âge Cartenien essentiellement marneuses et gréseuses comportant des poudingues et grès à leur base.

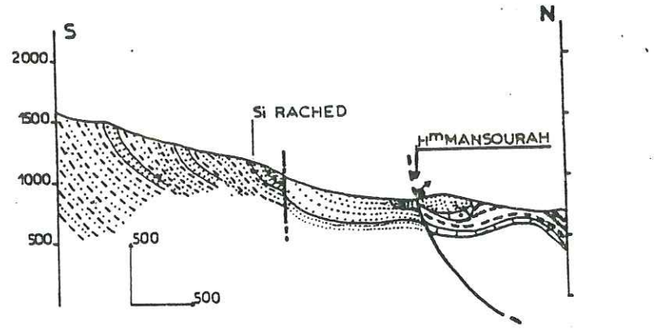
Au Nord et au Nord- Ouest, le Sénono-danien est recouvert par des calcaires marneux et des calcaires à silex du Suessonien.

IV- HYDROGEOLOGIE.

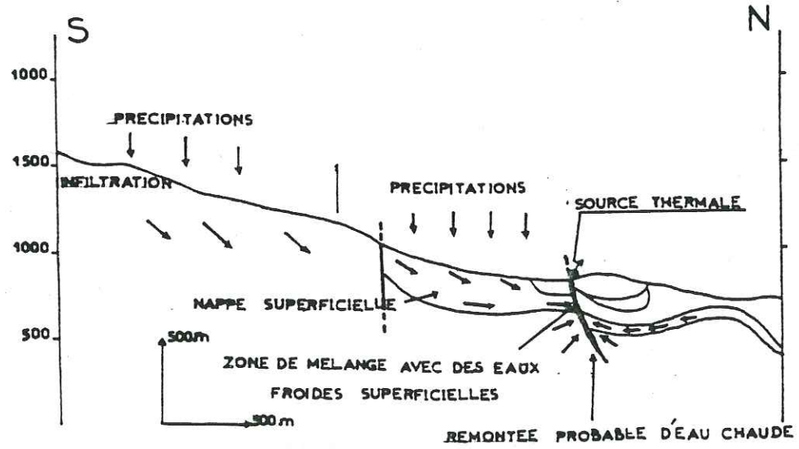
Les grès du Cartenien peuvent être potentiellement favorables à une exploitation hydrique de même que les niveaux gréseux de la base de ce même étage peuvent être l'origine des eaux de la source. Partout ailleurs la faible pérméabilité des formations ne permet pas de trouver une quelconque nappe aquifère susceptible d'être exploitée.

V- TECTONIQUE.

La source coincide avec la terminaison occidentale d'un important accident orienté NE - SW devenant E - W plus à l'Est. Il recoupe dans la région de Bordj Bou Arreridj l'importante fracture passant près de Hammam Belaribi.



COUPE GEOLOGIOUE PASSANT PAR HAMMAM MANSOURAH



MODELE DE CIRCULATION DES EAUX THERMALE DE HAMMAM MANSOURAH

Fig(IV.3.6)

V- PROPRIETES PHYSICO - CHIMIQUE.

a: Température.

La température moyenne des eaux de cette émergence est de 29°C. Elles appartiennent , au groupe des eaux hypothermales. Une variation de la température de 2°C a été enregistrée pendant nos différentes campagnes. Elle traduit un très fort mélange avec des eaux froides.

b: pH.

Les eaux sont très faiblement basiques. Leur pH varie autour de 7.12. Ce paramètre accuse également une très faible variation de 0.02 pouvant résulter du même phénomène que celui ayant influencé la température.

c: Conductivité.

Les eaux sont très peu minéralisées. Leur conductivité faible varie autour de 2400 µmho/cm appartenant par cela au deuxième groupe des conductivités. Une diminution estimée à 300 µmho/cm a été enregistrée liée à des mélanges. Le taux de dilution est estimé à 11.9% traduisant un contact important avec des eaux de surface et un temps de réponse important.

e: Résidu sec.

Le résidu sec, obtenu à 110°C, correspond à la minéralisation indiquée par la valeur de la conductivité. Il confirme par cela la faible minéralisation de ces eaux et donc un faible temps de séjour en profondeur.

VI- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les teneurs des différents éléments sont relativement faibles. Les bicarbonates sont faiblement dominés par respectivement les sulfates et les chlorures dont la teneur varie autour de 6 méq/l. Les variations de concentrations sont relativement importantes pour les chlorures et les sulfates.

Cations.

Les concentrations en sodium et calcium sont très voisines et faiblement prédominantes sur le magnésium et sur le potassium. Ce dernier est caractérisé par une variation importante de la teneur au cours du temps se traduisant par une baisse estimée à environ 0.3 méq/l.

- Rapports caracteristiques.

N° de la campagne :	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.23	0.35	1.54	0.79	4.33
3	-0.16	0.40	1.38	0.80	3.44

- Tableau (IV.3.3) -

Les différents rapports calculés montrent une faible variation dans le temps correspondant à une diminution du sodium et plus faiblement encore du calcium et inversement à une augmentation du magnésium. Les différents résultats sont résumés dans le tableau(IV.3.3).

Indice d'échange de bases.

Le calcul de l'i.e.b par la première formule de Schoeller, a donné des résultats relativement proches variant entre -0.23 et -0.16. Les eaux au cours de leur circulation souterraine subissent une substitution du calcium et du magnésium de l'eau par le sodium de la roche. La diminution de l'indice peut être liée à des venues d'eau moins chargées en chlorures, en sodium et calcium et inversement plus magnésiennes.

- Formule caractéristique:

Les eaux ont pour caractérisique :

rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les eaux de Hammam Mansourah sont **Chlorurées sodiques et faiblement sulfatées calciques.**

B: Eléments mineurs.

La teneur en silice des eaux est légèrement supérieure à 26 mg/l. Cette teneur peut s'acquerir à une température et une profondeur relativement moyenne, cependant la forte prépondérance des grès dans la région est une seconde origine également envisageable.

Les eaux sont relativement chargées en strontium provenant probablement des formations soit évaporitiques soit également carbonatées d'âge Eocène ou des ciments des grès. Le reste des éléments dosés est très faiblement concentré dans les eaux. Leurs différentes teneurs sont inférieures à 1 mg/l. La concentration du fluor est légèrement supérieure à 0.6 mg/l traduisant une température moyenne à faible, en revanche, les teneurs en brome, iode, ammonium, fer, lithium et en manganèse sont très faibles. Elles sont inférieures à 0.55 mg/l.

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
	62	79	182	224	155	143	170		

Tableau(IV.3.4)

L'estimation de la température en profondeur a été effectuée à l'aide de sept géothermomètres. Les résultats sont résumés dans le tableau (IV.3. 4) .

Les températures détérminées par la silice sont très proches l'une de l'autre respectivement égales à 62 et 79°C traduisant une faible profondeur du réservoir. L'influence des évaporites et en particulier des chlorures est très faible voire absente. Les températures sont donc acceptables et plus représentatives que celles obtenues par les autres géothermomètres.

L'ensemble des autres températures sont relativement fortes dépassant les 140°C . Ces différentes températures sont très élevées et ne peuvent être considérées comme acceptables. Elles sont directement influencées par les différents éléments provenant des différentes formations sédimentaires. Nous remarquons que les températures T(3) et T(7)

calculées à partir du sodium sont très proches de la même manière les températures T(5) et T(6) déterminées par des géothermomètres sulfates sont très rapprochées.Cependant la température T(4) est très élevée ne pouvant expliquer la faible thermalité des eaux en surface.

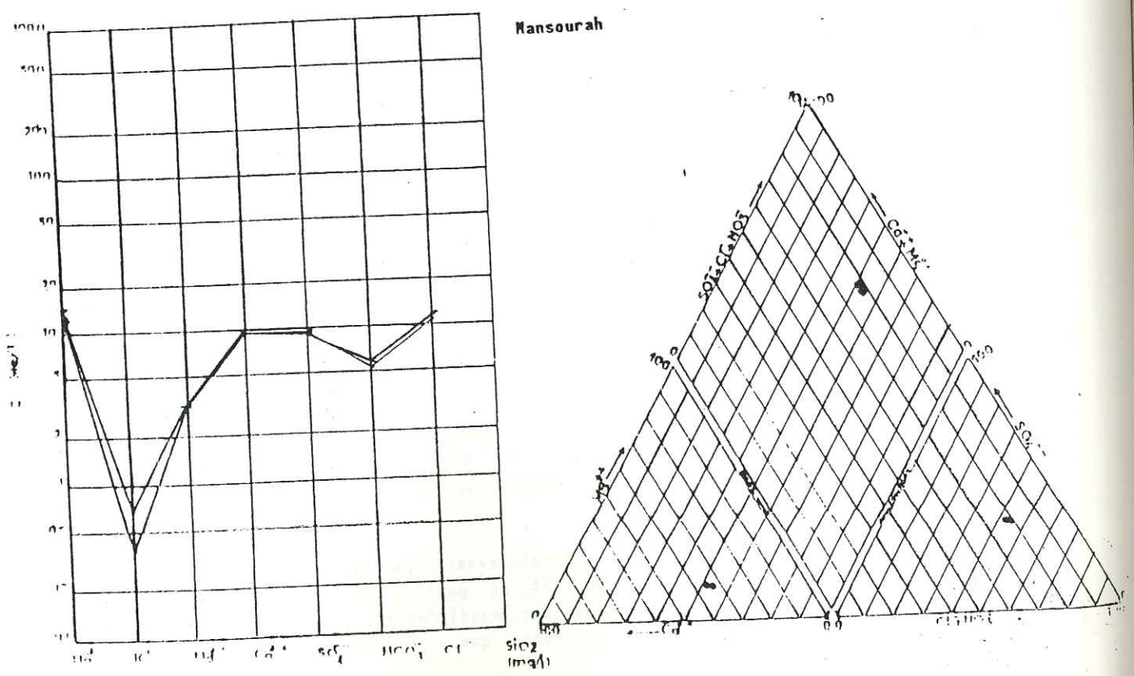
IX- CONCLUSION.

La remontée des eaux de Hammam Mansourah est facilitée par l'importante fracture sur laquelle est située l'émergence.

Les faibles variations des différents paramètres dans le temps sont le résultat d'une arrivée et d'un mélange de deux ou plusieurs eaux de concentrations différentes. Les faibles concentrations des différents éléments traces dosés témoignent de l'origine superficielle de ces eaux. es dernières au cours de leur parcours souterrain ont échangé de façon limitée des alcalino-terreux contre les alcalins des roches argileuses. les coefficients sont très faibles et variables dans le temps confirmant par cela l'hypothèse précédente.

Nous pensons que les eaux de Hammam Mansourah proviennent d'un réservoir très peu profond probablement les grès du Cartenien. La mise en solution d'une quantité importante de silice s'explique probablement par la présence de formations grèseuses. Cependant des venues d'eau beaucoup plus profondes provenant des dolomies du valanginien peuvent être mélangées aux précédentes. Les eaux après leur infiltaration acquièrent une thermalité liée directement au gradient géothermique. La profondeur du réservoir, estimée pour un gradient géothermique de 1°C pour 36 m, est supérieure à 1300 m. Cependant la présence de séries grèseuses dans la région ne nous permet pas de prendre cette valeur comme définitive. Le strontium abondant dans les eaux est d'origine sédimentaire lié à la présence d'évaporites (Ca/Sr = 118 et Sr/Rb = 261.6) ou des carbonates cimentant les grès ou des calcaires éocènes (voir fig (IV.3.6).

La circulation des eaux en profondeur est du type (1) et est totalement indépendantes du réservoir geothermal des Bibans en raison de l'écran formé par les évaporites du Trias.



Fig(IV.3.7)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

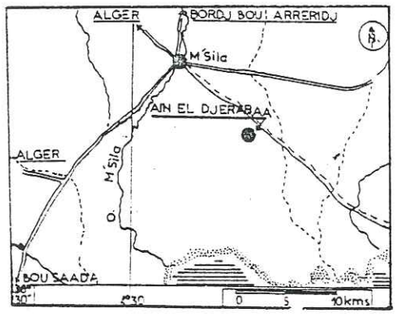
IV.3.3-HAMMAM BELARIBI ou(KSOB) N°19 et Ain El Djerabaa N°21

I-INTRODUCTION.

Les différents documents consultés, datant de la période française, mentionnenent tous l'ancienneté de cette émergence. Cependant aucun vestige ancien datant d'une époque précise n'a été observé.

La source est connue dans toute la région de M'Sila sur un rayon d'environ 40 kms et parfois même dans les milieux âgés des grandes villes voisines.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



La source de Belaribi est située à environ 13 km au Nord de M'Sila, à quelques centaines de mètres de la nationale N°5 reliant cette dernière ville à Bordj Bou Arreridj. Elle se trouve également à quelques centaines de mètres au Sud du grand barrage de Oued Ksob. Les griffons (3) s'alignent le long de la rive gauche de Oued Ksob proche du lit principal. L'altitude de l'émergence est d'environ 1000m.Voir fig (IV.3.1)

La source de Ain El Djerabaa se situe à environ 16 km au Sud-Ouest de la ville de M'sila. Une route carrossable mène jusqu'au lieu de l'émergence. L'altitude de l'émergence est de 430m.

Fig(IV.3.8)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

La source de Belaribi se trouve au pied de Djebel Mahdid surmontant la vaste plaine du Hodna. Les eaux émergent d'une formation essentiellement calcaréo-marneuse très fracturée datant du Lutétien inférieur - Yprésien.

Au Nord, cette formation repose sur une série de marnes gypsifères renfermant des niveaux calcaires phosphatés d'âge paléocène (voir coupe IV.3.11).

Au Sud, la série est constituée essentiellement d'argiles vertes alternant avec des niveaux gypsifères du Lutétien supérieur entrant en contact plus au Nord avec une formation gréseuse de l'Oligocène continental.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les sources sont situées sur le flanc nord d'un vaste synclinal comblé d'un matériel sédimentaire formant l'importante plaine du Hodna qui renferme plusieurs aquifères importants superposés .

- Le remplissage alluvial de la plaine de Oued Ksob, constitue un niveau de moyenne à faible importance pouvant être la source de refroidissement des eaux des différentes émergences chaudes.

- Le Lutétien inf-Yprésien constitue probablement le réservoir thermal des sources étudiées.

- Le Miocène II est un niveau pouvant renfermer un potentiel hydrique important.

- L'Oligocène continental gréseux, reposant sur le Lutétien lagunaire et l'Eocène inférieur donnent, un ensemble hydrogéologique important.

- Le dernier niveau pouvant être exploitable est le Maestrichtien calcaire et marneux.

V- TECTONIQUE.

Les monts du Hodna ainsi que la plaine se situent dans le domaine des hauts plateaux. L'émergence de Belaribi se trouve sur le flanc sud de l'anticlinal formé par les monts du Hodna, au niveau du Lutetien inférieur- Yprésien calcaire très fracturé.

Plusieurs fractures parallèles, formant un réseau très dense, affectent les formations situées près de la source. Au niveau du site thermal, un très dense diaclasage, probablement lié au réseau de fractures précité, a été observé.

Deux importantes fractures conjuguées, plurikilométriques, affectent la région, ayant des directions respectives NNE -SSW et NNW - SSE. La plus importante passe au Nord de la ville de M'Sila et au Sud de Bordj Bou Arreridj.

Plus au Nord, d'autres linéaments de faible importance matérialisant probablement des fractures,apparaissent sur photosatellite.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

Les mesures effectuées au cours de nos différentes campagnes montrent une variation considérable de la température que nous pouvons estimer à environ 5°C. La température moyenne des eaux est de 31°C, appartenant au groupe des hypothermales.

b: pH.

Le pH est également très variable dans le temps. L'écart peut être estimé à 1. Les eaux sont basiques.

c: Conductivité.

Les eaux sont très peu conductrices ayant une conductivité légèrement supérieure à 2000 µmho/cm. Une importante variation a été enregistrée au cours du temps se traduisant par une diminution de la conductivité. Le taux de dilution est de 1.2%.

d: Résidu sec.

Le poids du résidu sec obtenu à 110°C, varie autour de 1.5 g/l. Les eaux de cette source sont relativement très peu minéralisées.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les teneurs en sulfates sont relativement élevées. Ceux-ci prédominent sur les bicarbonates et les chlorures qui ont des teneurs faibles et très voisines.

Cations.

La concentration en calcium des eaux est forte dominant l'ensemble des cations et en particulier le sodium. Le magnésium est caractérisé par une teneur moyenne; en revanche,le potassium est très faiblement concentré.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.43	0.56	0.73	2.32	1.29
3	-0.25	0.73	0.62	2.4	0.85

Tableau (IV.3.5)

Les différents rapports calculés sont variables dans le temps.

Indice d'échange de bases.

L'indice d'échange de bases calculé pour les deux campagnes, montre une variation très importante dans le temps. L'écart est estimé à environ 0.2. Les différentes valeurs obtenues indiquent un remplacement des alcalino-terreux par le sodium de la roche au cours du trajet souterrain.

- Formule caractéristique.

Les eaux de Hammam Ksob ont pour formule caractéristique:

rSO4 > rHCO3 > rCl et rCa > rMg > rNa > rK

- Faciès chimique.

Les eaux de cette source sont **sulfatées calciques.**

B: Eléments mineurs.

Le dosage des différents éléments mineurs a donné des résultats comparables à ceux de Ain EL Djerabaa. La teneur en silice est égale à 11,6 mg/l traduisant une faible profondeur du réservoir thermal. Le fer, souvent présent dans les eaux chaudes,est très faiblement concentré. La teneur obtenue varie autour de 0.88 mg/l. L'origine de ce dernier peut être liée au sulfates.

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Température °C:	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)
	41	52	93	148	208	151

Tableau (IV.3.6)

Les températures T(1) et T(2) sont très proches, l'une de l'autre. L'écart entre les deux valeurs est très faible et peut être estimé à environ 11°C.

Les température T(3), T(4), T(5) et T(6) sont très élevées, liées directement à la présence des niveaux évaporitiques à dominante sulfatée.

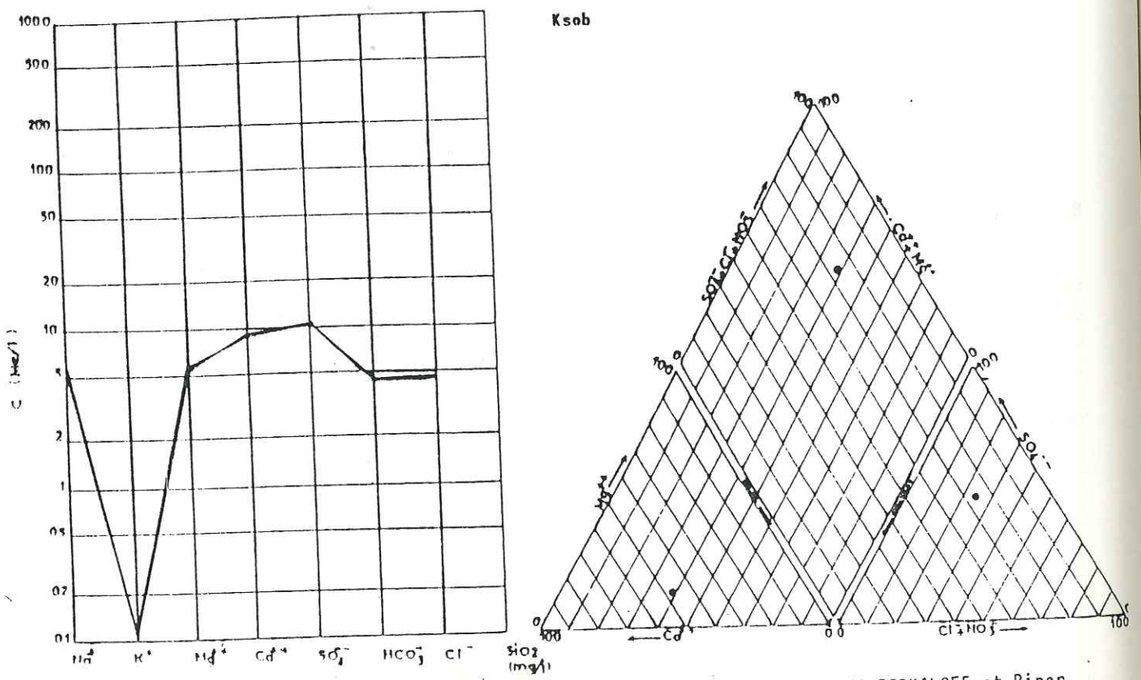
Les deux premières températures en l'occurence T(1) et T(2) sont les seules à pouvoir être prises en considération pour leur totale indépendance des formations évaporitiques.

IX- CONCLUSION.

Les eaux hypothermales de Hammam Ksob émergent au sein des calcaires bleutés très diaclasés du Lutétien inférieur-Yprésien. Ces derniers constituent probablement le réservoir thermal. Le rapport Ca/Sr (139) traduit un contact avec des niveaux évaporitiques. Les variations enregistrées ainsi que les inversions de certains rapports résultent probablement d'un mélange plus ou moins important avec des eaux plus froides venant de la surface.

Les différentes associations d'éléments fréquentes dans ces eaux, en particulier des sulfates et du calcium et plus faiblement encore des chlorures et du sodium, sont le résultat d'un transit assez rapide au sein d'une formation évaporitique. L'association des bicarbonates et du magnésium et probablement du calcium, est liée à la nature calcaréo-marneuse du réservoir. La température moyenne des eaux dans leur réservoir varie autour de 50°C.

Les eaux après leur infiltration, transitent par les différentes formations, en particulier évaporitiques à dominante gypseuse. Au cours de leur trajet, des échanges d'éléments avec des niveaux argileux probablement maestrichtiens auront lieu. Une très rapide diminution de la température suit l'arrivée d' eau froide aux approches de la surface. Le diaclasage important facilite l'apparition des eaux en surface.



Fig(IV.3.9)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.
- Ain El Djerabaa.

X- CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES.

La température des eaux d'Ain El Djerabaa, mesurée en Novembre 1984, est de 24°C. Le pH très légèrement supérieur à 7 traduit un caractère basique des eaux . En revanche, les eaux sont très peu minéralisées ayant une conductivité de l'ordre de 600 µmho/cm. Le résidu sec relativement faible varie autour de 700 mg/l, traduisant une bonne qualité des eaux favorable à la consommation.

XI- CARACTERES CHIMIQUES.

Les teneurs en bicarbonates et en calcium sont prépondérantes donnant un faciès **bicarbonaté calcique** à ces eaux.

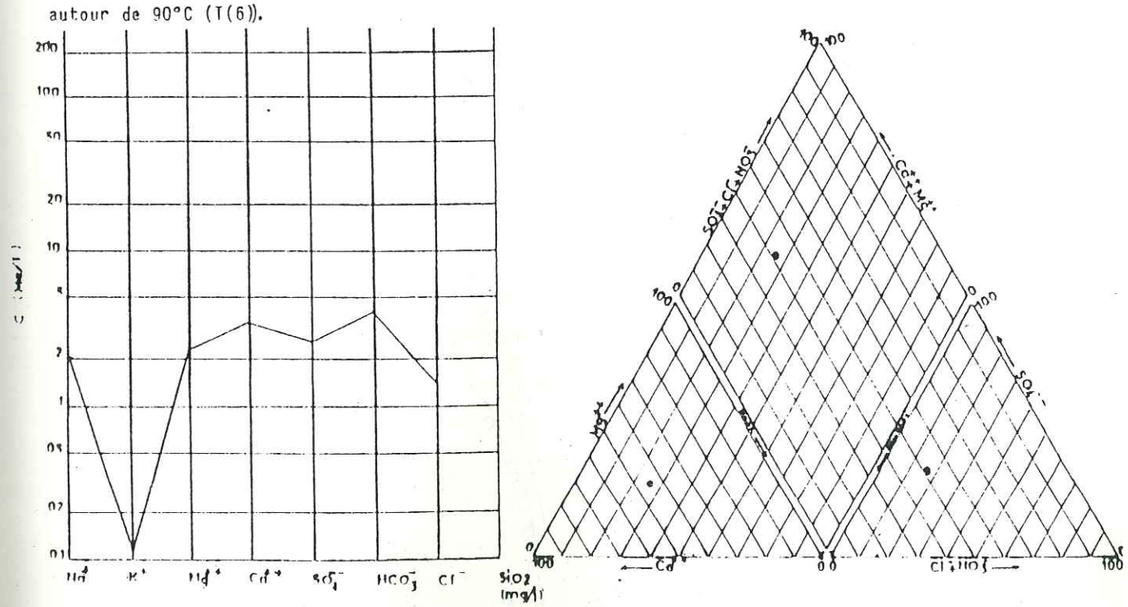
La représentation graphique de ces eaux sur les deux diagrammes habituels montre une nette dominance des bicarbonates et du calcium donnant un faciès bicarbonaté calcique et magnésien tendant vers un faciès sulfaté calcique.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.4	0.65	0.52	1.97	0.8

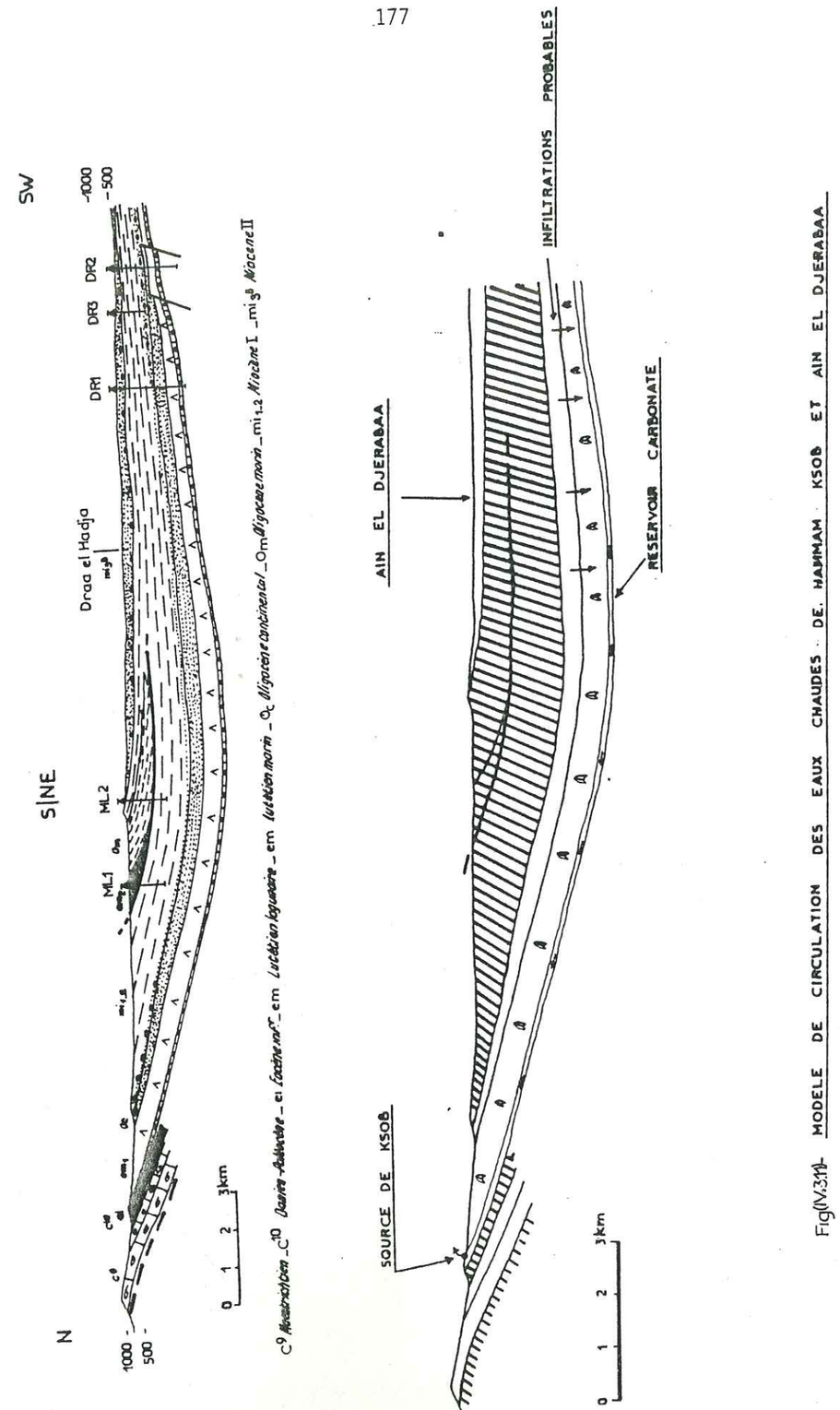
Tableau (IV.3.7)

Le rapport des alcalino-terreux sur les alcalins ((Ca+Mg)/Na+k) est supérieur à 2 traduisant le lessivage de formations évaporitiques très fortement sulfatées. Le transit est relativement court limitant les échanges d'éléments avec les formations traversées. L'indice d'échange de bases est faiblement négatif traduisant une substitution limitée du calcium et du magnésium de l'eau par le sodium de la roche.

Les différents résulats d'analyses imposent l'hypothèse suivante:
Les eaux artésiennes d'Ain El Djerabaa proviennent sans doute des formations basales du Mio-plio-quaternaire. Leur remontée très rapide, donnant un fort débit leur a conféré une minéralisation très faible. Cette remontée se répercute sur les échanges de bases qui sont relativement faibles traduisant un contact très limité avec les niveaux argileux. Les températures obtenues par les différents géothermomètres nous paraissent élevées et trop influencées par la présence d'évaporites fortement gypseuses. La présence de formations gréseuses explique la teneur en silice ainsi que les températures importantes T(1) et T(2). Cependant nous pensons que le eaux au cours de leur remontée, ont été en contact avec des niveaux aquifères renfermant des nappes d'eau plus froides. Ces dernières ont contribué à la diminution de la température originelle des eaux de Ain El Djerabaa qui varie porbablement autour de 90°C (T(6)).



Fig(IV.3.10)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.



Fig(IV.3.1)- MODELE DE CIRCULATION DES EAUX CHAUDES DE HAMMAM KSOB ET AIN EL DJERABAA

CONCLUSION.

Parmi les quatres sources thérmominérales de la région, trois ont un faciès sulfaté sodique , en l'occurence Délaa, Ksob, Mansourah. La source de Ain El Djerabaa a cependant des eaux bicarboantées calciques. Les rapports Ca/Mg sont relativement très proches indiquant la nature carbonatée des réservoirs des différentes sources. Le rapport Sr/Rb est voisin de 100 pour les sources de Délaa et Mansourah indiquant un transit ou un contact plus ou moins prolongé avec des formations évaporitiques. Le rapport Ca/Sr est supérieur à 100 pour les sources de Ksob, Délaa et Mansourah confirmant l'hypothèse d'un transit au sein d'une formation évaporitique. Ces derniers ne sont pas d'âge triasique dans la région et sont souvent d'un âge plus récent.

L'énergie nécessaire pour le réchauffement des eaux souterraines est liée comme dans toutes les régions du Sud au simple effet du gradient géothermique et plus faiblement encore aux réactions exothermiques. Les circuits des différentes sources sont du type 2 ne nécessitant pas une correction des teneurs en silice. Les températures détérminées par les géothermomètres 1 et 2 sont donc les seules prises en considération pour l'estimation de la température du dernier équilibre.

Il est important de noter à la fin que les sources de Délaa et de Mansourah ne reçoivent aucun flux de chaleur de l'important réservoir bibanique en raison de l'écran formé par les évaporites du Trias en profondeur.

REGIONS de DJELFA et

du SERSOU ORIENTAL

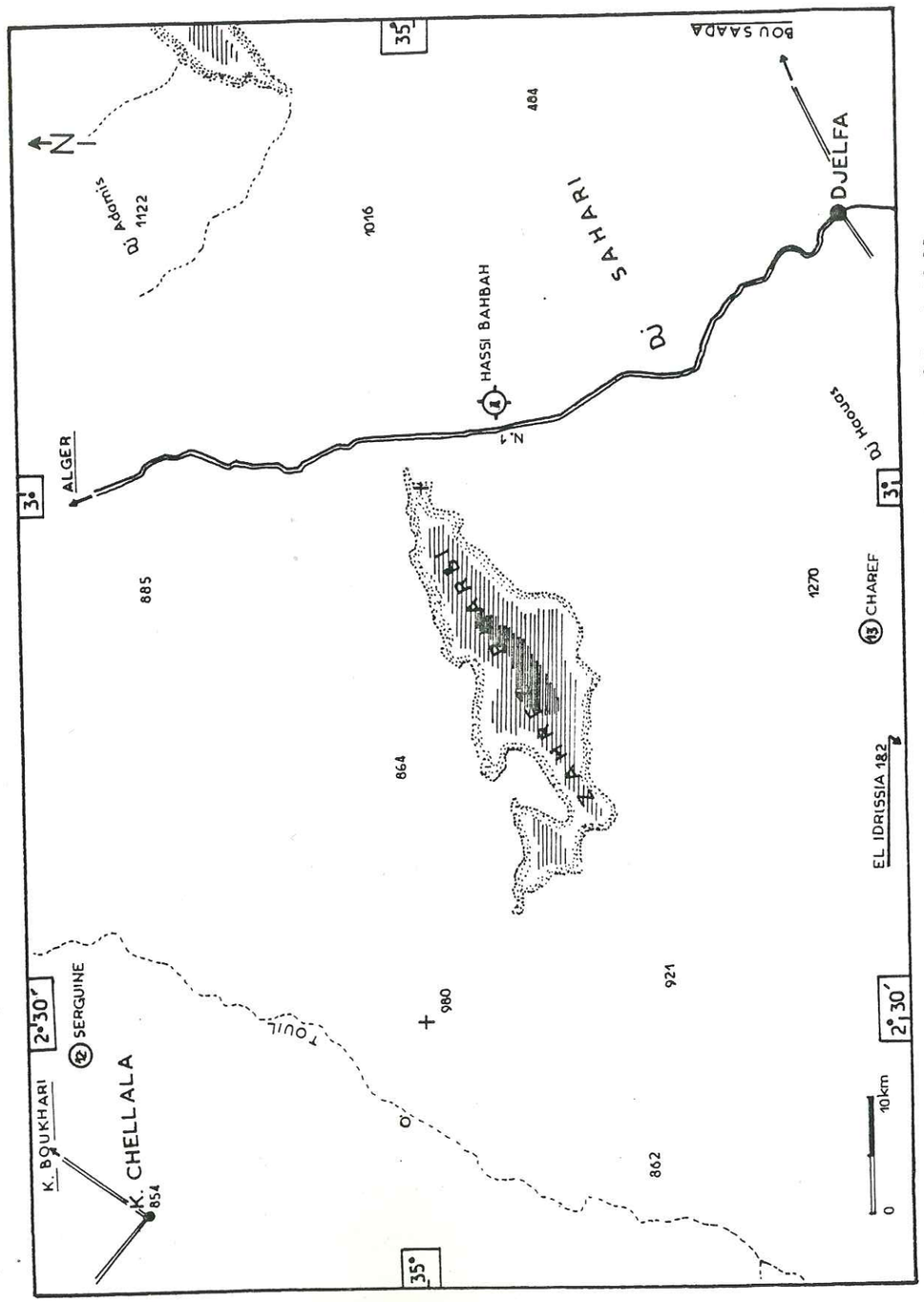


Fig (IV.4.1) -Situation géographique des sources thermominérales de la région de Djelfa.

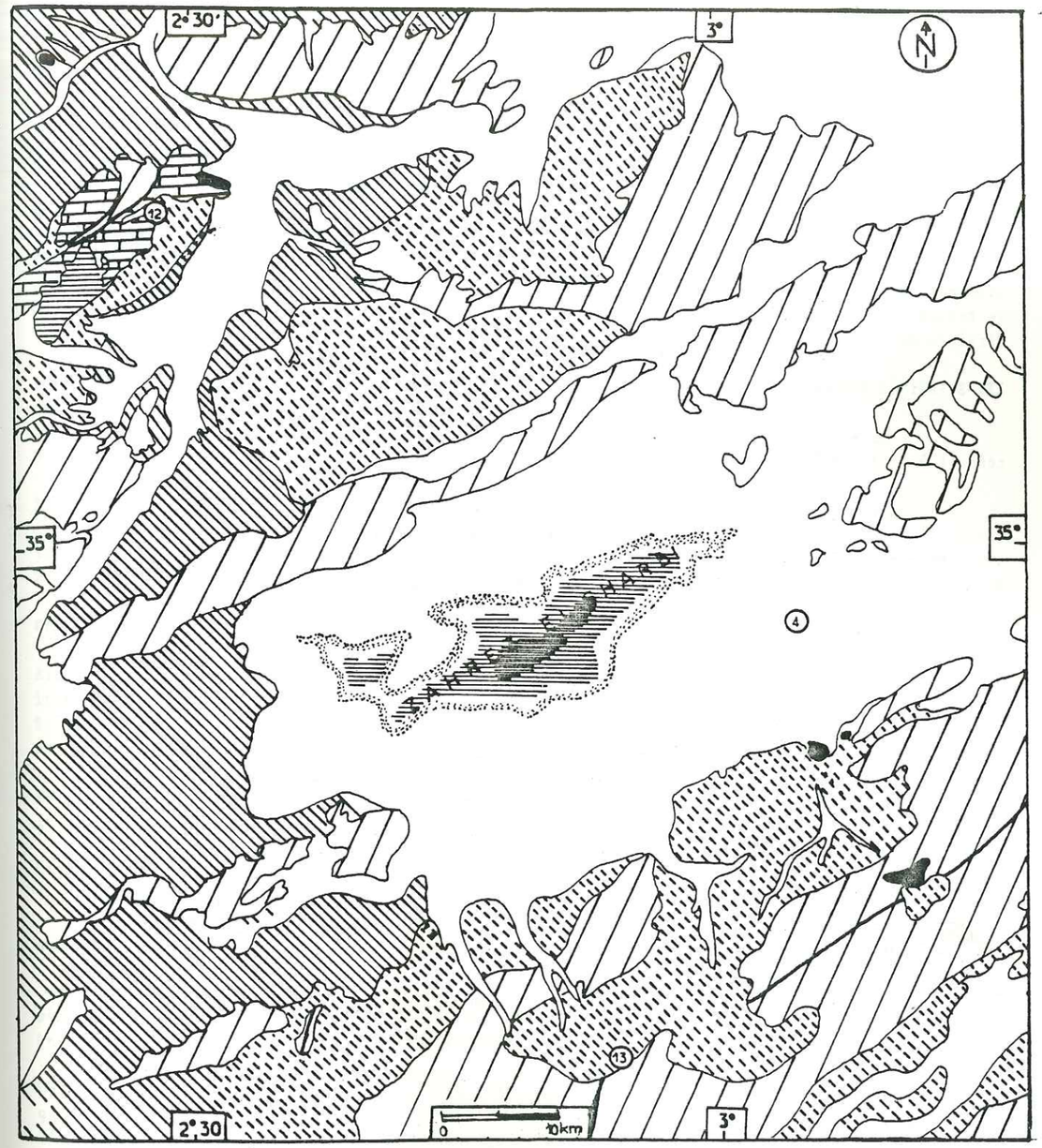


Fig (IV.4.2) - Situation géologique des sources thermoniérales de la Région de Djelfa.

IV.4.1-FORAGE HASSI BAHBAH N° 4

I- INTRODUCTION

L'implantation de ce forage a été faite au début des années 70 probablement pour des fins agronomiques ou pour l'alimentation en eau potable de la ville de Djelfa. La thermalité très élevée ainsi que le chimisme des eaux ont conduit à son abandon. L'unique étude des eaux de ce forage a été effectuée recemment pour une éventuelle exploitation.

- **Le débit** peut être estimé à quelques dizaines de litres par seconde. Le fond et les bords dubassin sont recouverts par un dépôt de teinte rougeâtre ferrugineuse. Les eaux excédentaires se perdent en pleine nature. Aucune odeur n'a été décelée au niveau de l'émergence.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

Le forage se situe à environ 8 km au Sud du village de Hassi Bahbah à quelques dizaines de mètres à droite de la nationale 1 reliant Alger et Djelfa. Cette dernière ville se trouve à environ 46 km au Sud du forage. Le chott de Zahrez El Gharbi se trouve à quelques dizaines de kilomètres à l'Ouest. L'altitude moyenne du lieu est de 800 m. Voir fig(IV.4.1)

III-SITUATION GEOLOGIQUE.

L'absence de documents géologiques sur le secteur nous a conduit à utiliser les résultats des études faites dans les régions voisines.

Le forage de Hassi Bahbah est situé sur les hauts plateaux au centre de la vaste plaine du Hodna. Les formations récentes, essentiellement dunaires et continentales, couvrent une très grande surface. Les dunes sont constituées de grands amas de sables éoliens siliceux de teinte fauve ou rougeâtre dûe aux quartz hyalins et aux poussières de minéraux lourds tels que le zircon, l'hématite...etc.

Le Quaternaire: Ce sont les dernières formations sahariennes, essentiellement alluvionnaires fluviatiles, qui couvrent de grandes surfaces plates des hautes plaines interatlasiques.

Les deux formations précédentes reposent, au Sud du forage sur du **Mio -Pliocène continental** représenté essentiellement par des produits détritiques récents occupant les dépressions de l'Atlas. Ce sont des produits d'altération superficielle rubéfiés (argiles et terres argilo-sableuses mêlées à des fragments anguleux qui peuvent être assimilés à des galets fluviatiles . Les épaisseurs peuvent être considérables.

Crétace inférieur. Les formations sont en majorité détritiques sublittorales voire subcontinentales. Elles sont formées de grès siliceux et d'argiles versicolores qui alternent sur des épaisseurs importantes.

Crétacé moyen: Cet étage est subdivisé en plusieurs parties (CA- Cm - CT) que nous résumons comme suit:

CA(Albien): Faciès essentiellement gréseux remarquable par ses intercalations de grès à dragées. Dans les régions proches des hauts plateaux et du Tell, des sédiments marneux et même calcaires apparaissent.

CM(Cénomanien): Le Cénomanien est calcaire, en particulier dans la région de Bou Saada, avec intercalations de gypse qui se transforme en profondeur en anhydrite mêlée à du sel gemme. Il est présent sur de grandes épaisseurs.

CT(Turonien): Il est exclusivement calcaire, soit compact, soit en bancs plus ou

grès à dragées. Dans les régions proches des hauts plateaux et du Tell, des sédiments marneux et même calcaires apparaissent.

CM(Cénomanien): Le Cénomanien est calcaire, en particulier dans la région de Bou Saada, avec intercalations de gypse qui se transforme en profondeur en anhydrite mêlée à du sel gemme. Il est présent sur de grandes épaisseurs.

CT(Turonien): Il est exclusivement calcaire, soit compact, soit en bancs plus ou moins épais, soit enfin en plaquettes avec peu de marnes intercalées.

CS (Sénonien): De Djelfa à Bou Saada, il est marneux, riche en gypse. Vers le Sud, il devient parfois calcaire.
Ji: Groupe liasique- jurassique: Le faciès est essentiellement dolomitique, d'une épaisseur de 500 à 600m, en concordance apparente avec le Trias.

Trias et Infralias: Généralement diapirique, donnant d'importantes masses de sel gemme en affleurement comme le Rocher de Sel. Les autres roches caractéristiques de cet étage sont toujours des argiles bariolées, salifères et gypsifères.

Nous avons, pour compléter cette brève analyse, tirée de la notice explicative de la carte géologique au 1/500000, utilisé une étude faite dans la région d'Ain Oussera. La série rencontrée dans cette région se présente comme suit:

Miocène inférieur: Il est constitué de grès grossiers et marnes. Son épaisseur est de 150 m.

Sénonien: Sur 100 m d'épaisseur, il est essentiellement calcaire.

Turonien: Il est formé de calcaires avec des intercalations marneuses sur une épaisseur de 200 m.

Cénomanien: Epais de 200 m, cet étage est à faciès calcaire poreux avec présence de gypse.

Albien: Sur une épaisseur de 150 m , il est constitué de grès grossiers avec des intercalations argilo-carbonatées.
Sur 650 m d'épaisseur, le Barrémien, l'Hauterivien et le Valanginien sont constitués respectivement de grès grossiers, calcaires et dolomies avec intercalations de grès.

Malm: Il est constitué essentiellement de calcaire sur 1500 m. Il se poursuit vers le bas par le **Dogger** sur 950 m, formé également de calcaire.

Lias: Sur environ 600 m, il est calcaire marneux.

La série se termine par le **Trias** épais de 500 m , il est constitué de calcaires anhydritiques, argiles gréseuses, grès et conglomérats.

Pour compléter notre description géologique, nous avons repris les données du forage pétrolier de Testara situé à quelques dizaine de kilomètres au Sud dans le Djebel Testara. Les formations recoupées par ce forage se résument comme suit:

De 0 à 376 m, le **Cénomanien** est constitué de calcaires plus ou moins argileux, de niveaux de gypse avec des passées de calcaires et d'argiles et à la base une alternance de gypse massif, d'anhydrite, de calcaire crayeux, d'argiles et de dolomies cristallines.

Albien supérieur: De 376 à 631 m de profondeur, le forage a recoupé des calcaires avec des intercalations de dolomies et d'argiles.

Albien inférieur: De 631 à 1408 m , ce sont essentiellement des grès blancs à passées

d'argiles silteuses et rares intercalations de dolomies avec des traces de lignites et de pyrite.

Aptien: 1408 - 1500m. Il est dolomitique avec de rares passées d'argiles silteuses.

Barrémo-Néocomien. 1500 - 1952 m. Il se présente en alternance de grés, silts et argiles silteuses avec de rares intercalations de dolomies et de calcaires argileux avec des traces de pyrite et de lignite.

Porthlandien- Berriasien. (1952 - 3083m). La série débute par un ensemble carbonaté constitué de dolomies fines, de calcaires et de calcaires argileux. Il admet quelques passées d'argiles et repose sur une alternance régulière de calcaires argileux et d'argiles.

La série se poursuit en profondeur par des calcaires microcristallins parfois argileux vers la base, elle se termine par une alternance de bancs métriques à décamétriques de calcaires comportant des traces de pyrite.

Entre 3083 et 3932 m, le forage recoupe le **Kimmeridgien** formé d'une alternance de calcaires argileux et crayeux et d'argiles et marnes.

IV - HYDROGEOLOGIE.

Les résultats de nos observations hydrogéologiques se résument comme suit:

Le forage thermal se situe au centre d'une vaste plaine encadrée au Nord et au Sud par des reliefs importants pouvant être des impluviums. Cette plaine renferme les aquifères suivants:

Les formations quaternaires constituent le premier niveau perméable pouvant renfermer une nappe d'eau très importante.

Albien: Cet étage est connu pour ses importantes réserves d'eau. Il a été très bien étudié par différents organismes. Les eaux sont généralement chaudes et artésiennes.

Turonien: Les bancs de calcaire peuvent être aquifères sous réserve d'une karstification.

Jurassique inférieur: Le Lias, constitué de niveaux calcaires sur une épaisseur d'environ 600 m, peut être également aquifère.

V- TECTONIQUE.

Le forage se situe au centre de la plaine du Hodna sur les hauts plateaux. Ce vaste bassin subsident est comblé de matériel sur de très grandes épaisseurs pouvant dépasser les 4000 m. L'analyse des cartes des linéaments a montré le passage d 'un important linéament à proximité du forage, matérialisant probablement une fracture profonde. L'orientation de ce dernier est NE - SW.

VI- DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux de ce forage enregistre une stabilité relativement très importante. Au cours des deux campagnes de mesures effectuées, la température s'est stabilisée autour de 51 ° C classant les eaux dans le groupe des hyperthermales.

b: pH.

Les différentes mesures effectuées montrent un faible écart. Le pH égal à 6.92 pendant la première campagne est passé à 7.03 en seconde campagne passant d'un caractère

faiblement acide à faiblement basique.

c: La conductivité.

Les eaux sont moyennement à fortement minéralisées. Les mesures de conductivité, faites au cours des différentes campagnes, enregistrent une légère variation se traduisant par une augmentation très faible de ce paramètre (0.4%). La conductivité moyenne des eaux varie autour de 11900 µmho/cm. Elles sont classées dans le groupe 4 des conductivités.

d: Residu sec.

La concentration en éléments minéraux dans les eaux est relativement faible. Le poids du résidu sec obtenu à une température de 110°C, est égal à 5301 mg/l.

VI- DONNEES CHIMIQUES.

a: Eléments majeurs.

Anions:

Les concentrations des trois anions majeurs dosés, montrent une nette prédominance des chlorures (46 méq/l) sur respectivement les sulfates (33.33 méq/l) et les bicarbonates (3.4 méq/l). L'écart des teneurs entre les sulfates et les chlorures est trés faible, estimé à environ 13 méq/l.

Cations:

Les alcalino-terreux montrent une légère infériorité des teneurs par rapport aux alcalins très fortement concentrés en particulier le sodium. Le calcium est légèrement prédominant sur le magnésium. Sa concentration varie autour de 500 mg/l; en revanche, la teneur en sodium des eaux est d'environ 1 g/l.

-Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	- 0.088	0.47	1.97	0.72	4.19

Tableau (IV.4.1)

- Indice d'échange de bases.

Les eaux ont effectué un très faible échange d'éléments avec l'encaissant. L'indice d'échange calculé est faiblement négatif traduisant un contact très rapide avec l'encaissant et la substitution des alcalino-terreux des eaux par le sodium de la roche.

- Formule caractéristique.

La formule caractéristique des eaux de Hammam Hassi Bahbah est:

rCL > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK

- Faciès chimique des eaux.

Les différentes méthodes utilisées classent les eaux dans le groupe **chlorurée sodique** tendant vers un faciès **sulfaté calcique**

Eléments mineurs.

Le dosage du fer a donné une teneur relativement importante, égale à 8 mg/l dûes à l'abondance des minéraux férrifères dans les formations quaternaires mais surtout à la présence des pyrites dans les diverses formations sédiementaires.

La quantité de silice totale récupérée est relativement faible. Elle est voisine de 18 mg/l traduisant par cela une faible profondeur de l'équilibre.

VII- GEOTHERMOMETRE.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
	50	64	33	121	95	203	202	380	99

Tableau (IV.4.2)

Les températures T1 et T2, calculées à partir de la silice, indiquent une faible profondeur du dernier équilibre. Les teneurs en silice sont très peu ou pas influencées par la présence des chlorures ce qui rend ces valeurs acceptables.En revanche, la température calculée par le géothermomètre Na/K est trés faible en raison de l'abondance du sodium. Inversement la forte quantité de sulfates dans les eaux a donné une température très élevée dépassant les 200 °C. L'utilisation de ces deux derniers géothermomètres dans des milieux sédimentaires nécessite une grande précaution.

Les températures T4 et T5 sont relativement trés rapprochées et représentatives.

L'utilisation des courbes de mélange donne un pourcentage d'eau froide contribuant au mélange d'environ 99% et une température du réservoir variant autour de 380°C. Cette dernière trop élevée pour être acceptable.

VIII- CONCLUSION.

Les vastes plaines des hauts plateaux sont des bassins subsidents renfermant de nombreux niveaux aquifères souvent très faiblement exploités en raison de leur profondeur importantes. Le forage de Hassi Bahbah est situé au niveau d'une importante plaine très subsidente caractérisée par de fortes épaisseurs de sédiments. L'analyse gravimétrique faite montre de fortes anomalies négatives confirmant les fortes épaisseurs.

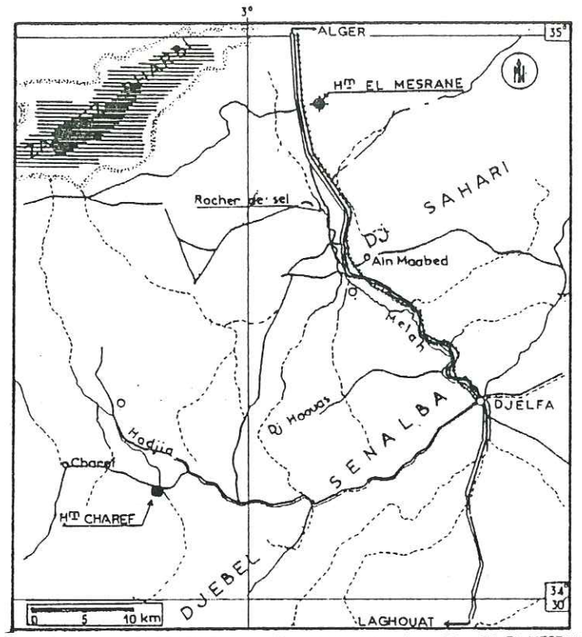
Ce domaine est relativement stable caratérisé par une faible activité séismique. Les eaux de Hammam El Mesrane sont hyperthermales, faiblement minéralisées, caractérisées par des teneurs relativement importantes en chlorures et en sodium. Cette association résulte généralement d'un lessivage de niveaux évaporitiques très chargés en sel.

Les échanges cationiques avec l'encaissant sont très limités et très faibles, liés probablement à la vitesse de remontée des eaux qui est relativement élevée.

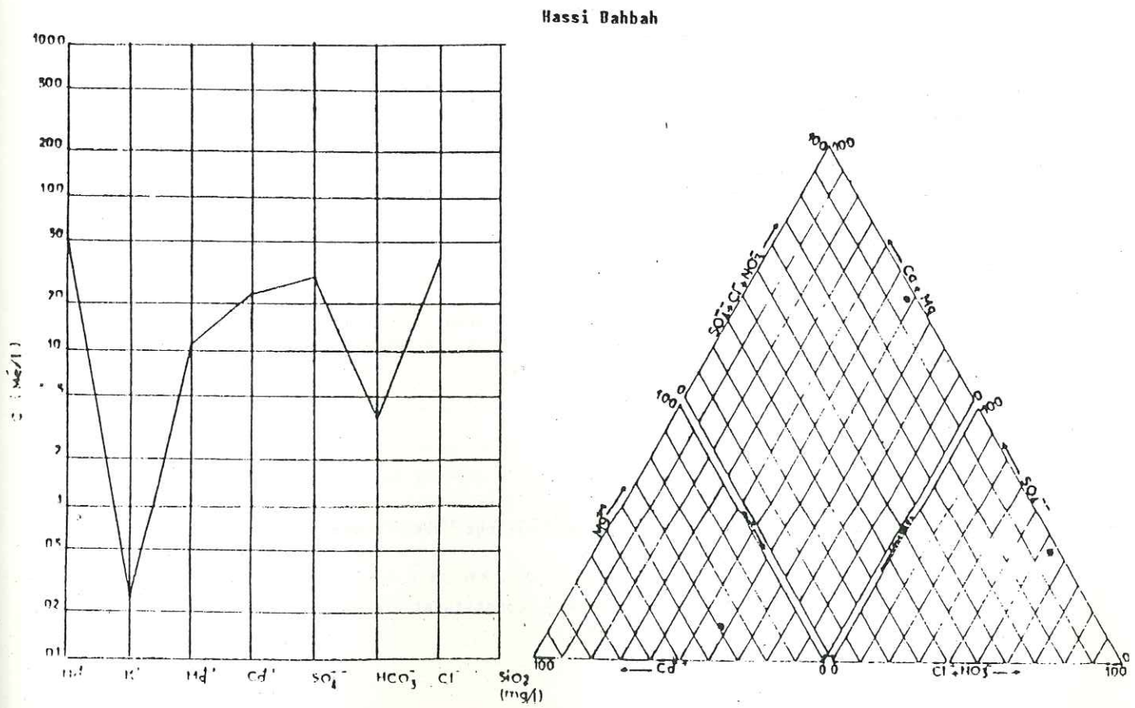
La forte présence du fer dans les eaux est liée à la mise en solution des pyrites tres abondantes dans les formations albiennes. Des réactions chimiques exothermiques résultent de l'oxydation de la pyrite aboutissant à une augmentation de la température des eaux.

L'utilisation d'une moyenne des températures T4 et T5 pour l'estimation de la profondeur du réservoir avec un gradient géothermique moyen d'environ 36 m, a donné une valeur proche de 3000 m. Cette dernière nous paraît légèrement élevée. Cependant les température T(2) a donné une profondeur d'environ 1500m. Cette profondeur concorde parfaitement et peut être considérée comme la profondeur minimale du réservoir.

Nous pensons d'après l'ensemble des résultats que le réservoir thermal est l'Albien constitué de calcaires et grés blancs (Mg/Ca =0.89)à passées d'argiles silteuses et rares intercalations de dolomies avec traces de lignites et de pyrite. Sa profondeur à Djebel Testara est égale à 1400 m. Cette dernière est probablement plus importante au niveau du forage. L'abondance des sulfates résulte du lessivage (Ca/Sr= 78) des gypse (Cl/SO4=2.76)du Cénomanien constitué de calcaires poreux à intercalations de gypse et anhydrite.



Fig(IV.4.3) SITUATION GEOGRAPHIQUE DES HAMMAMS CHAREF ET EL MESRANE



Fig(IV.4.4)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Pipér.

IV.4.2-HAMMAM CHAREF N°13

I- INTRODUCTION.

Les seules indications que nous avons pu avoir sur cette source proviennent des habitants. La source est très ancienne. Les quelques rares constructions datant probablement de la période française ont été réalisées pour répondre aux besoins des visiteurs. Cependant aucun vestige plus ancien n'a été aperçu dans le secteur pouvant donner plus d'information sur le temps d'exploitation de cette émergence.

Plusieurs émergences sont alignées le long de la rivière. Un seul griffon est capté pour l'alimentation des quatres chambres. Il n'y a ni odeur ni dépôts.

II-SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source thermale appelée "Hammam Charef" doit son nom au village de Charef situé à environ 8 km plus à l'Ouest. Le chef-lieu de la wilaya de Djelfa se trouve à une trentaine de kilomètres plus à l'Est. Elle se situe à quelques mètres de la route W 164 reliant les deux localités précitées au pied de Oued Hadjia. L'altitude du lieu est de 1200 m. Voir fig(IV.4.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux sourdent au sein d'une formation d'age mio-pliocène, continentale, essentiellement détritique. Elle est constituée de produits d'altération superficiels rubéfiés (argiles et terres argilo-sableuses mêlées à des fragments anguleux et à des galets fluviatiles. Elle repose sur des formations du Crétacé inférieur et moyen. Une importante fracture orientée N - S met en contact ces deux dernières formations.

- Crétacé inférieur: essentiellement détritiques sublittorales, voire subcontinentales, constituées de grès siliceux et d'argiles versicolores.

- Crétacé moyen: Il est subdivisé en CA - CM - CT que nous résumons comme suit:

CA (Albien): Faciès gréseux à intercalations de grès à dragées. Il devient marneux dans les régions proches des hauts plateaux et du Tell.

CM: Cénomanien: calcaire avec des intercalations de gypse se transformant en profondeur en anhydrite mêlée à du sel gemme.

CT: Turonien: calcaire, soit compact, soit en bancs plus ou moins épais, soit également en plaquettes avec peu de marnes intercalées.

Trias et Infralias: généralement en dyapir donnant d'importants affleurements de sel gemme. Les autres roches caractéristiques sont essentiellement des argiles bariolées, salifères et gypsifères.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les formations du Mio-pliocène couvrent de grandes surfaces, formant de véritables plaines alluviales. Les réserves hydriques y sont très importantes. Ce sont probablement les eaux de cette formation qui contribuent au mélange avec les eaux chaudes de la source thermale.

Les formations du Crétacé inférieur constituent également des niveaux ayant un potentiel hydrique non négligeable.

Les formations calcaires du Cénomanien sont probablement le niveau constituant le réservoir thermal, Il n'est cependant pas exclu que les calcaires jurassiques reposant sur le Trias soient également une source d'alimentation de la source thermale.

V- TECTONIQUE.

L'émergence se situe à proximité du point de croisement de deux importantes fractures, orientées NE - SW et NW -SE. La carte interprétative des photosatellites montre le passage d'un linéament marquant probablement la faille thermale ayant une direction subméridienne. D'autres familles de linéaments, probablement des fractures, quadrillent plus loin le secteur de la source.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux est relativement élevée, enregistrant une très faible variation au cours du temps se traduisant par une hausse de quelques dixièmes de degrés. La température moyenne des eaux varie autour de 42°C, appartenant au groupe mésothermal. Cette variation est liée aux effet de variation saisonnières.

b: pH.

Le pH des eaux est très variable dans le temps. Les eaux sont acides en période d'étiage et basiques en période de crue. Le pH moyen est égal à 6.9 donnant un caractère faiblement acide.

c: Conductivité.

La conductivité est moyenne variant autour de 4400 µmho/cm. Une très faible variation a été enregistré se traduisant par une hausse de quelques µmho/cm résultant d'un mélange avec des eaux plus minéralisées. Le taux de concentration est estimé à 0.10%.

d: Résidu sec.

La quantité des matières dissoutes dans les eaux est moyenne à faible. Le résidu sec, obtenu à 110°C, est de 2g/l.

e: Radioactivité.

La quantité de radon mesuré lors de notre première campagne est égale à 0.3 millimicrocuries/l traduisant une faible profondeur du réservoir et une faible présence de formations cristallines et de minéraux radiogéniques.

VI- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les chlorures sont nettement prédominants sur les sulfates et encore sur les bicarbonates. Les variations des teneurs sont très faibles voire négligeables.

Cations.

Les concentrations en calcium et magnésium sont très faibles et caratérisées par des variations relativement importantes.

Les teneurs en alcalins sont très élevées en particulier le sodium. Ce dernier prédomine fortement sur les autres cations. Les variations de la concentration sont très faibles indiquant un faible mélange avec des eaux froides superficielles.

- Rapports caractéristiques.

Les rapports Mg/Ca et SO4/Cl sont très faibles et variables. Le rapport du magnésium sur le calcium varie entre un maximum égal à 0.59 et un minimum de 0.23. Cette forte variation est liée à un phénomène de mélange avec d'autres eaux. Le calcium est d'origine carbonatée probablement les calcaire du cénomanien.

Les rapports Na/Ca et Na/Mg sont très élevés supérieurs à 3 traduisant la prédominance du sodium d'origine évaporitique. Cependant la forte variation du magnésium se répercute sur la valeur de ce rapport.

N° de la campagne:	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.26	0.23	3.09	0.33	13.35
3	-0.11	0.59	3.43	0.29	5.77

Tableau (IV.4.3)

Indice d'échange de bases.

L'indice d'échange de bases calculé pour les eaux de cette émergence est très faiblement négatif variant entre - 0.14 en période d'étiage et -0.05 en période de crue. En considérant que ces eaux ont été en équilibre au départ, les deux valeurs de l'i.e.b traduisent une substitution des alcalino-terreux de l'eau par du sodium des permutolites (argiles du Trias). Cet échange est faible en période de crue par suite d'apports extérieurs d'eau froide entraînant une dilution.

- Formule caratéristique.

La formule caractéristique des eaux est du type:

rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les eaux de Hammam Charef sont **chlorurées sodiques et faiblement sulfatées calciques.**

B: Eléments traces.

Les concentrations, des différents éléments traces dosés, sont très faibles. Le strontium est caractérisé par la plus forte teneur. Elle est égale à 1.1 mg/l traduisant probablement une origine carbonatée du type calcaire ou évaporitique.

Le chrome et le fluor sont plus faiblement concentrés, ayant des teneurs respectivement égales à 0.7 et 0.5 mg/l. Ces deux éléments sont probablement d'origine peu profonde. Les autres éléments dosés, en l'occurrence le bore , le brome,le lithium et l'iode sont présents à de très faibles concentrations souvent inférieures à 0.2 mg/l.

Le rubidium, le manganèse et le zinc sont absents ou à l'état de traces non décelables. Les eaux sont d'origine météorique ayant circulé profondemment après leur infiltartion

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Les températures estimées par les géothermomètres sodium -potassium et sodium-lithium sont relativement faibles en particulier la T(7). En revanche, les températures T(4), T(5) et T(6) sont très proches et très représentatives, variant autour de 150°C.

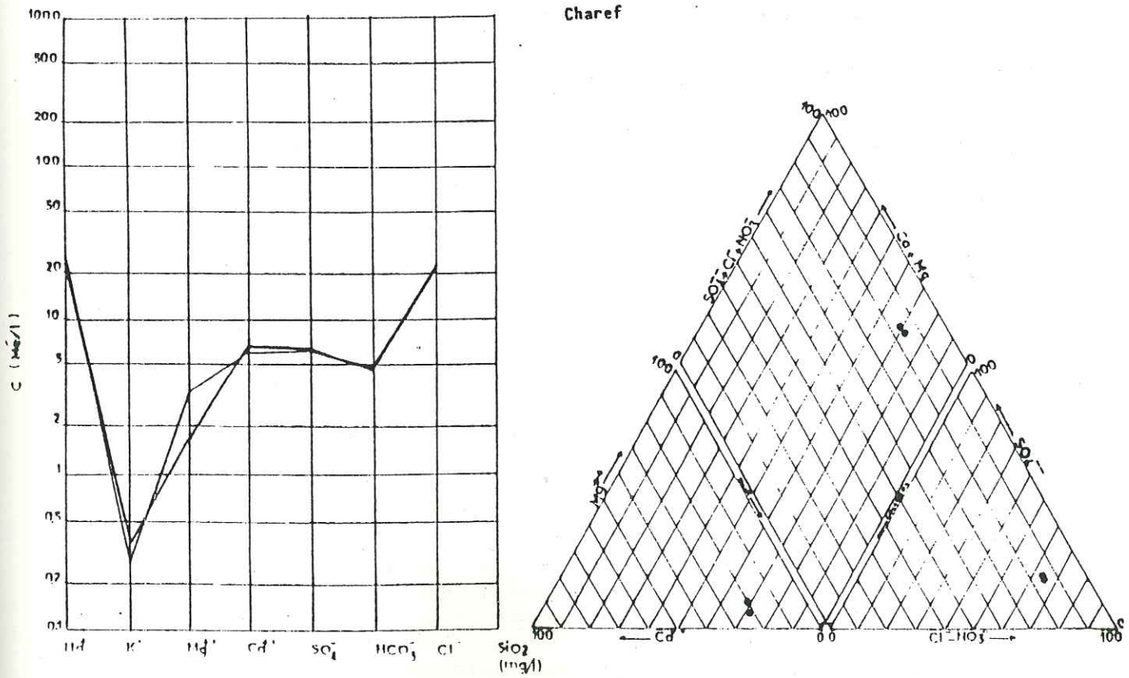
Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)
	-	-	92	178	156	127	4

Tableau (IV.4.4)

IX- CONCLUSION.

Nous pensons que les eaux émergent à la faveur des importants accidents conjugués affectant la région ,lesquels sont matérialisés par des linéaments sur la photosatellite.

Les teneurs des différents éléments chimiques sont faibles et variables au cours du temps traduisant des mélanges avec des eaux plus froides et superficielles. La prédominance des chlorures et du sodium donne un faciès chimique à ces eaux du type chloruré sodique et très faiblement sulfaté calcique, traduisant le contact avec des formations évaporitiques (SO4/I = 10029). Ceci traduit une acquisition de la minéralisation finale de l'eau au cours du trajet. La teneur en strontium est relativement faible provenant probablement des formations évaporitiques (Ca/Sr= 310.8). Nous pensons que le réservoir thermal est carbonaté, probablement les calcaires du Cénomanien. Le circuit des eaux de Charef est du type 2. L'énergie nécessaire au réchauffement des eaux est liée au seul gradient géothermique et plus faiblement aux réactions exothermiques. La faible teneur en radon traduit une origine moyenne à faible profondeur.



Fig(IV.4.5)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

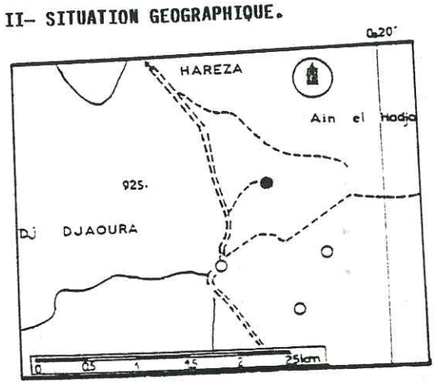
IV.4.3-HAMMAM SERGUINE N°12

I- INTRODUCTION

La source de Hammam Serguine a été probablement exploitée bien avant l'arrivée française dans la région. Cependant les quelques vestiges d'une ancienne construction destinée probablement à l'accueil, datent de la période française. Plusieurs études scientifiques ont été effectuées, souvent d'ordre hydrogéologiques.

Les débits sont relativement moyens. Ils sont souvent accompagnés d'un fort dégagement de vapeur d'eau et d'une odeur sulfureuse. Les dépôts sont très faibles et sont de teinte blanchâtre, tapissant le fond de la rigole d'évacuation.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



La source thermale est située dans la vaste plaine de Sidi Ladjel à environ 64 km au SW de la ville d' Ain Oussera. Le village de Sidi Ladjel est situé à une quarantaine de kilomètres au Nord, et le village de Ksar Chellala (ex Chellala Reibell) se trouve au SW. Une piste carrossable mène de la route W 137, reliant les deux villages précédents, jusqu'à la source. L'altitude moyenne des lieux est de 700 m. Voir fig(IV.4.1)

Fig(IV.4.6)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux émergent au pied du versant nord de Djebel Djaoura. Ce dernier se situe dans la plaine de Sidi Ladjel (ex Ouerk) qui appartient au domaine des hauts plateaux. Les différents griffons sont répartis dans une formation constituée essentiellement d'argilite , de gypse et de grès d'âge triasique.

Le griffon capté est situé au point de contact de trois formations qui sont: le Trias, le Kimméridgien, essentiellment formé de calcaires et de marnes et du Tithonique dolomitique. Ces deux derniers étages sont séparés par un important contact orienté NW -SE permettant probablement la remontée des eaux chaudes.

Plus au nord des dolomies épigénétiques d'âge tithonique-berriasien sont en contact par faille avec des grès, dolomies gréseuses et argiles gréseuses du Valanginien-Albien. L'ensemble des formations précédentes est recouvert vers le NE par des dépôts continentaux d'âge quaternaire.

IV- HYDROGEOLOGIE.

La plaine de Sidi Ladjel a été recemment le sujet d'une étude hydrogéologique (Rabia 1985) qui a donné des résultats intéressant que nous avons résumés comme suit:

- L'Albien gréseux ayant une épaisseur égale à 200 m est un réservoir aquifère important.
-L'Aptien, semi-pérméable, contient une nappe aquifère localisée.
-Le Barrémien est constitué de grès quartziteux.

-Le Néocomien est formé de grès et dolomies gréseuses fissurées.
-Le Tithonique est aquifère surtout à la base. Il est constitué de calcaires et dolomies fissurés.
-Le Kimméridgien renferme une nappe captive ou artesienne au Sud de Sidi Ladjel.

V- TECTONIQUE.

La structure du secteur de la source est caractérisée par une remontée en diapyr des formations triasiques aboutissant à la fin à une forme anticlinale. Cet anticlinal est relayé vers le Nord et le Nord Est par la vaste cuvette synclinale formant la plaine de Oued Touil et vers le Sud et le Sud Est par des affleurements d'âge jurassique.

Deux grandes familles de fractures conjuguées affectent la région ayant des directions respectives NW - SE. Les eaux émergent au point de croisement de deux fractures conjuguées ayant les mêmes directions que précédemment.

VII- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température moyenne des eaux de cette source varie autour de 38°C. Une très faible variation de la température estimée à quelques degrés a été enregistrée au cours des différentes campagnes. Les eaux sont mésothermales.

b: pH.

Le pH des eaux mesuré est très variable. Au total, trois mesures ont été effectuées donnant des valeurs très différentes. Il est égal à 6 en période d'étiage donnant des eaux acides et passe à des valeurs supérieures à 7 en période de crue donnant un caractère basique à ces eaux. Le maximum est égal à 7.8. Les variation de ce paramètre sont liées aux phénomènes d'effet saisonnier. L'attaque des carbonates et la libération de CO2 rendent les eaux agressives et donc un pH acide.

c: Conductivité.

Les eaux sont relativement minéralisées. La conductivité mesurée à 20°C est moyenne, variant autour de 8800 µmho/cm. Une très faible variation a été enregistrée au cours du temps. Le taux de dilution est estimé à 1.9% traduisant un mélange avec des eaux superficielles . Les eaux appartiennent au troisième groupe des conductivités.

d: Résidu sec.

Le résidu sec des eaux, à une température de 110°C, est moyen à faible. Il est égal à 4 g/l confirmant une circulation rapide et un faible contact avec les évaporites.

VIII- PROPRIETES CHIMIQUES.

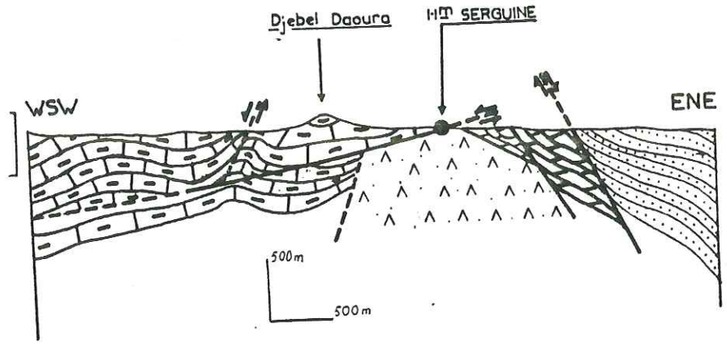
A: Eléments majeurs.

Anions.

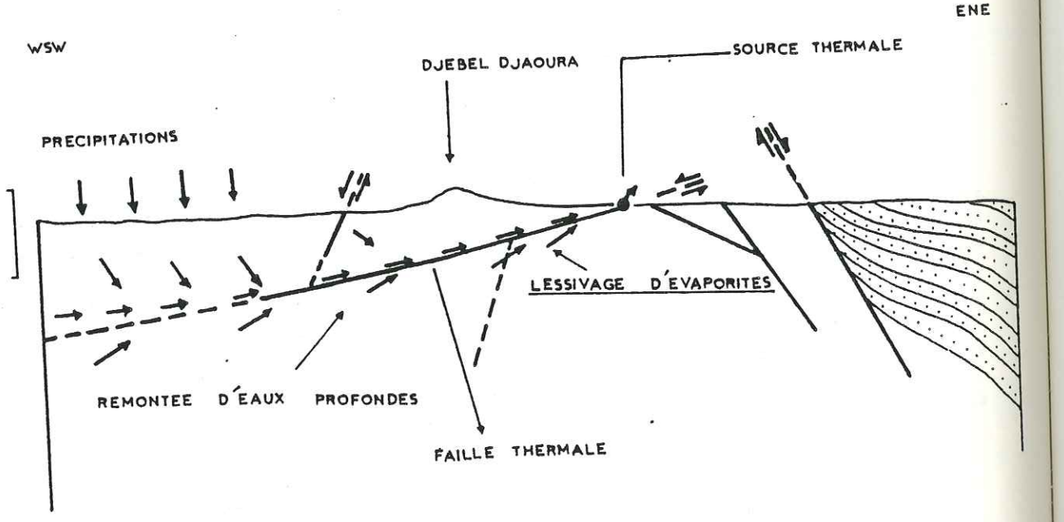
Les teneurs en chlorures sont relativement fortes et supérieures à celles des sulfates et des bicarbonates. Les teneurs des différents éléments ont faiblement varié au cours du temps traduisant de faibles mélanges avec des eaux plus froides.

Cations

Les alcalins sont prépondérants en particulier le sodium. L'origine de ce dernier, comme celle du chlore, est évaporitique. Les variations des teneurs sont là encore très faibles liées aux mêmes phénomènes.



COUPE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE HAMMAM SERGUINE



- MODELE DE CIRCULATION DES EAUX THERMALES DE LA SOURCE DE SERGUINE

Fig(IV.4.7)

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne :	I.E.B	:	Mg/Ca	:	Na/Ca	:	SO4/Cl	:	Na/Mg	:
1	0.096	:	0.56	:	2.07	:	0.62	:	3.69	:
2	- 0.091	:	0.32	:	2.18	:	0.62	:	6.64	:

Tableau (IV.4.5)

-Indice d'échange de bases.

Les eaux au cours de leur circulation échangent des éléments avec l'encaissant. Les indices d'échange de bases sont faibles et variables. Ils varient entre 0.09 et -0.09 traduisant la libération du sodium contre les alcalino-terreux de la roche et inversement

- Formule caractéristique.

Les eaux de Serguine ont une formule caractéristique:
rCl > rSO4 > rHCO3 et **rNa > rCa > rMg > rK**

- Faciès chimique.

Les eaux de Hammam Serguine sont **chlorurées sodique**

B: Eléments mineurs.

La teneur en silice des eaux est relativement élevée. Elle varie autour de 45 mg/l Le strontium est relativement très peu concentré(6mg/l). Il est emprunté à la matrice du réservoir qui est probablement calcitique. Cependant il n'est pas exclu qu'une faible quantité provienne des évaporites du Trias.

La teneur en fluor varie autour de l'unité. L'origine de cet élément est probablement profonde liée souvent à la température du réservoir. L'ensemble des autres éléments dosés sont présents en de faibles teneurs toutes inférieures à 1 mg/l. Le chrome et le brome ont des teneurs respectivement égales à 0.65 et 0.44 mg/l. Ils sont prédominants sur le lithium, le bore et le fer dont les teneurs varient entre 0.30 et 0.1 mg/l. L'origine de ces différents éléments est probablement superficielle.

Le manganèse, le zinc, le rubidium et l'iode sont pratiquement absents.

IX- GEOTHERMOMETRIE.

Températures °C:	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
	82	100	57	143	102	193	247	125	75

Tableau (IV.4.6)

Les températures T(1) et T(2) sont relativement faibles. Les eaux lessivent les formations évporitiques au cours de la remontée suivant le modèle de type 2 ce qui rend l'utilisation de cette dernière valeur acceptable. En revanche, la température estimée par le géothermomètre Na/K est très faible et non représentative en raison du lessivage de formations évaporitiques très chargées en sodium. Inversement l'utilisation du rapport Na/Li

a donné une température relativement élevée dépassant les 240°C. Le rapport Na/Li est très élevé en raison de l'abondance des évaporites.

Les températures T(4) et T(5) sont très peu différentes et supérieures à 100°C. La température T(6) est supérieure à 190°C, également influencées par les carbonates et les évaporites.

L'utilisation des courbes de mélanges a donné un pourcentage d'eau froide dépassant les 70% et une température des eaux avant le mélange de 175°C . Cette dernière est relativement élevée et sa prise en considération doit se faire avec un maximum de précaution.

X- CONCLUSION.

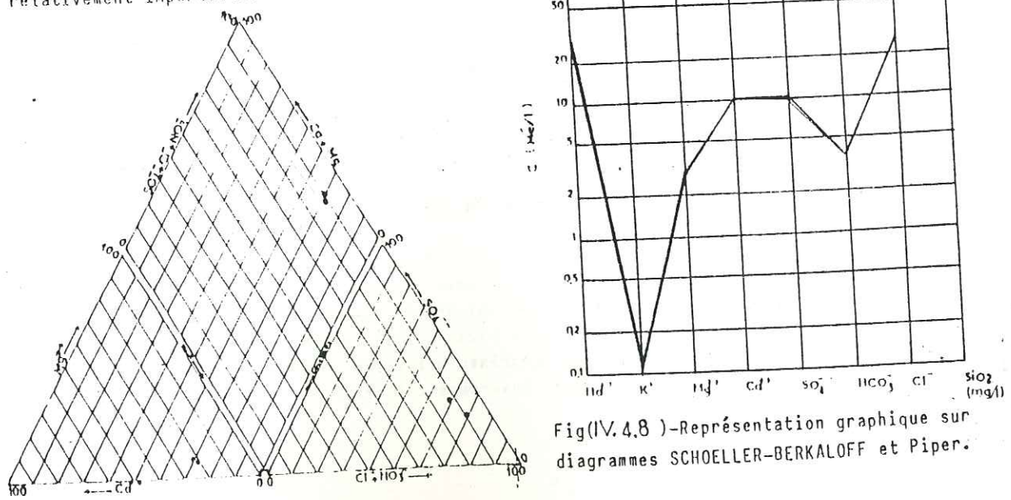
Les eaux de cette émergence remontent à la faveur d'une importante fracture orientée NW - SE affectant profondémmentles différentes formations, en particulier les calcaires du Kimmeridgien. Ces derniers reposent en contact anormal sur le Trias fortement évaporitique.

La température des eaux ainsi que leur minéralisation sont variables dans le temps traduisant des mélanges avec des eaux plus froides superficielles. Le pH lié probablement au même phénomène est très fortement variable. Le caractère des eaux se modifie considérablement au cours du temps.

L'abondance du strontium provient en grande partie des formations évaporitiques du Trias (Sr/Rb =214.).

L'examen des représentations graphiques nous conduit à supposer l'existence de très forts mélanges avec des eaux froides superficielles. Nous pensons que les eaux de Hammam Serguine proviennent des calcaires du Kimméridgien. Elles ont acquis, après leur infiltration, une thermalité relativement importante liée soit au gradient géothermique, soit encore à la mise en solution de certains minéraux sulfureux. Au cours de leur remontée, ces eaux sont interceptées par des eaux très froides provenant des différents aquifères décrits précédemment et réduisant considérablement leur température.

Leur contact relativement important avec les formations évaporitiques du Trias et l'échange d'éléments leur ont conféré un cachet chimique du type hyperchloruré sodique. Cette minéralisation secondaire a été acquise par les eaux en dehors de leur réservoir. Ce même phénomène a été constaté dans les sources alpines. La profondeur du réservoir est relativement importante.



Fig(IV.4.8)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

IV.4.4-FORAGES EL IDRISSIA (1) et (2) N° 27 et 37

I- INTRODUCTION.

Le forage (1) est plus ancien que le (2). D'après les informations recueillies sur les lieux, ils ont été implantés respectivement en 1959 et au début des années 70 pour répondre à la demande en eau potable du village d'El Idrissia.

Les eaux du forage sont claires et dégagées de toute impureté. Elles sont inodores et incolres. Aucun dépôt apparent ni végétation n'ont été perçus sur les lieux.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

Les forages sont respectivement situés à l'Ouest et à l'Est du village à quelques centaines de mètres de la route nationale reliant la ville d'Aflou à Djelfa. L'altitude du lieu est de 1200 m.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les forages sont implantés dans une formation d'âge Miopliocène constituée essentiellement de conglomérats, de grès et de limons reposant sur du Crétacé inférieur continental. Ce dernier est constitué de grès siliceux et d'argiles versicolores alternant en assises répétées sur de grandes épaisseurs.

A l'Est, un affleurement triasique apparait . Il est constitué de sel, gypse et d'argiles bariolées.

A l'Ouest et au Sud Ouest du village de grandes surfaces sont recouvertes par une formation quaternaire.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Les forages se situent dans la vaste plaine de Zénina. Les niveaux conglomératiques et gréseux contiennent des nappes locales et peuvent être favorables à une éventuelle exploitation.

Le niveaux Crétacés, essentiellement gréseux,très fortement siliceux reposant sur des argiles imperméables, constituent un second niveau aquifère.

V- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux est égale à 20°C. Ces eaux sont faiblement hypothermales. Le pH des eaux est égal à 7.56 donnant un caractère basique . Elles sont cependant très peu conductrices et donc très peu minéralisées. La conductivité est égale à 1700 µmho/cm appartenant au premier groupe. Le résidu sec , à 110°C, est égal 1300 mg/l.

VI- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les teneurs en chlorures et en sulfates sont relativement élevées et très rapprochées. Elles prédominent sur celles des bicarbonates (5 méq/l).

Cations.

La forte teneur en chlorures se traduit toujours par une teneur élevée en sodium. Ce dernier est caractérisé par une concentration relativement élevée, supérieure à celle des alcalino-terreux. Le potassium est peu concentré et n'est présent qu'en de très faibles quantités.

- Rapport caractéristiques.

Les différents rapports caractéristiques, montrent la supériorité des teneurs en sodium sur l'ensemble des autres cations et en chlorures sur les anions. Le rapport du calcium sur le magnésium est supérieur à 1 traduisant une nature carbonatée du réservoir.

Indice d'échange de bases.

Les échanges d'éléments entre l'eau et les formations traversées sont relativement faibles. L'i.e.b, calculé, est faiblement négatif traduisant une substitution de Ca et Mg de l'eau par le sodium des argiles.

- Formule caractéristique.

La formule caractéristique des eaux de ce forage est:

rCl > rSO4 > rHCO3 et **rNa > rCa > rMg > rK**

- Faciès chimique.

Les eaux du forage d'El Idrissia sont **chlorurées sodiques et sulfatées calciques.**

VII- CONCLUSION.

La région d'El Idrissia comme tout l'Atlas saharien est caractérisée par des remontées diapiriques du Trias gypso salin. Ce dernier est la source de minéralisation des eaux du forage d'El Idrissia. Ces régions sont caractérisées par la présence de sel en couches stratifiées dans les formations sédimentaires. La faible minéalisation des eaux , qui est secondaire se traduisant par une faible conductivité, s'explique par un faible temps de contact avec les formations précédentes. Ces eaux peuvent être considérées comme potables très peu profondes ayant une faible thermalité (20°C). Le contact avec des formations argileuses s'est traduit par une substitution des alcalino-terreux par les alcalins de la roche sans pour autant modifier fondamentalement la composition originelle de l'eau.

FORAGE EL IDRISSIA (2) N° 37

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

La température, mesurée en Novembre 1984, est égale à 19°C appartenant à la classe des eaux froides. Les eaux ont un pH légèrement basique et sont faiblement minéralisées. Leur conductivité mesurée à 20°C est faible variant autour de 692 µmho/cm. Elles sont classées dans le premier groupe des conductivités. Le résidu sec obtenu à 110°C est égal à 533 mg/l.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

Les bicarbonates et le calcium sont les plus fortement concentrés dans les eaux et sont prédominants sur les ions de leurs familles respectives. Les chlorures ont des teneurs relativement voisines de celle du sodium traduisant probablement une même origine. La formule caractéristique de ces eaux est du type **rHCO3 > rSO4 > rCl et rCa > rMg > rNa > rK.**

Les représentations graphiques de ces eaux sur les différents diagrammes ont donné un faciès **bicarbonaté calcique** tendant vers un faciès **sulfaté calcique et magnésien.**

Les différents rapports carctéristiques effectués montrent la prédominance du calcium sur respectivement le sodium et le magnésium ainsi que des sulfates sur les chlorures. Le rapport des alcalino-terreux sur les alcalins est positif et supérieur à 1 traduisant le transit des eaux par une formation évaporitique très sulfatée. Cependant un très faible échange s'est effectué entre l'eau et les permutolites au cours du transit souterrain se traduisant par une libération des alcalino-terreux et la récupération du sodium.

VIII-CONCLUSION.

Nous pensons d'après les différentes méthodes utilisées que les eaux sont issues d'un réservoir carbonaté du type calcaire ou calcaire dolomitique, identique à celui d'El Idrissia (1). Les eaux au cours de leur circulation ont subi des échanges d'éléments sans pour autant modifier leur composition chimique originelle.

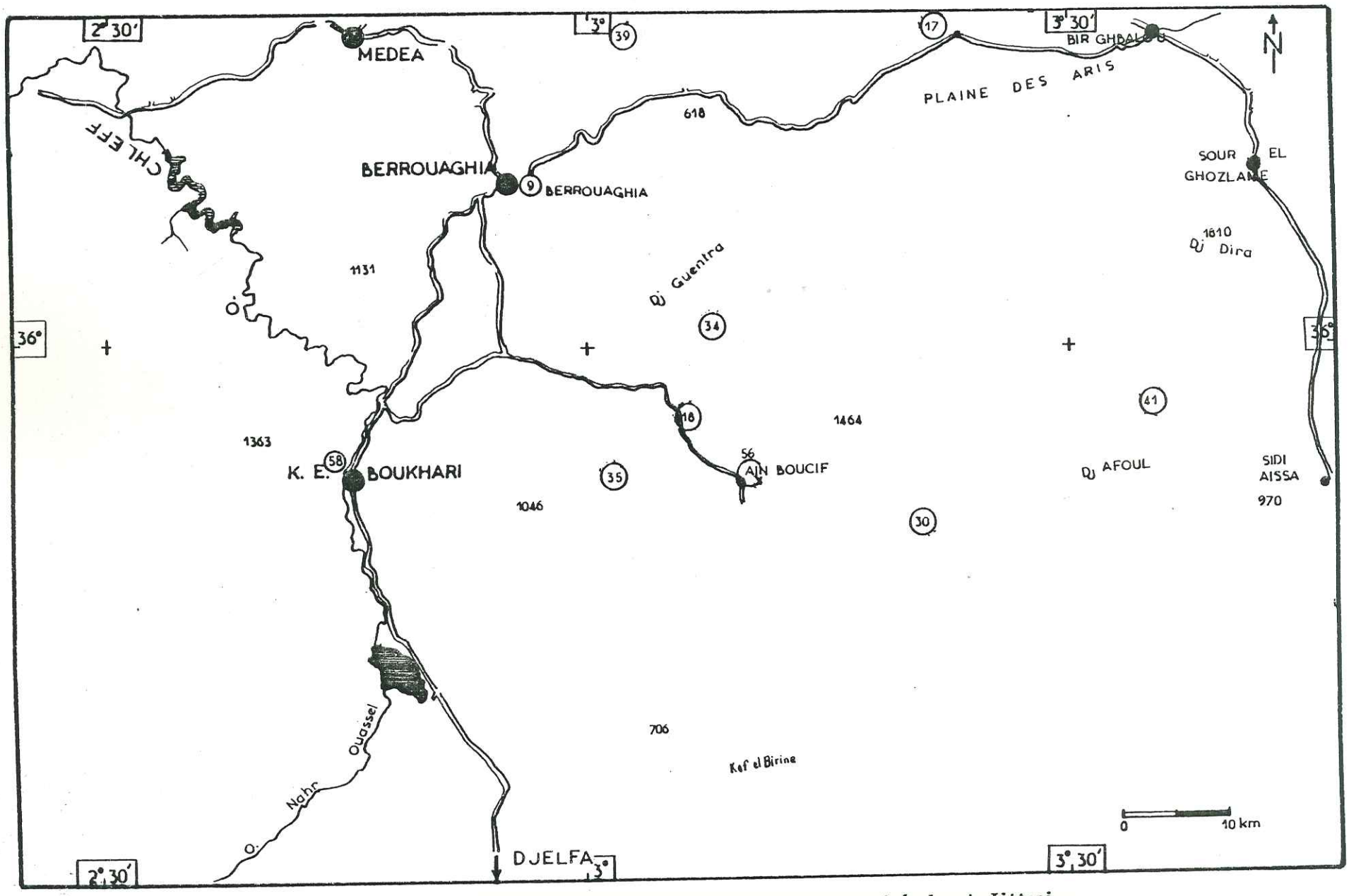
CONCLUSION.

Les émergences de la région de Djelfa qui sont au nombre de cinq sont toutes situées dans les vastes plaines caractérisant les hauts plateaux. Trois sont chaudes et ont un faciès chloruré sodique lié directement aux évaporites qui sont soit d'âge triasique soit d'un âge plus récent. Ces derniers se présentent soit en couches régulières stratifiées soit remontent en diapir (rocher de sel). Les eaux sont toutes d'origine météorique et se réchauffent à grande profondeur sous le simple effet du gradient géothermique et plus faiblement encore par les réactions exothermiques. Les forages pétroliers exécutés dans la région, ont en majorité rencontrés des niveaux d'eau très chaudes en particulier à l'Albien.

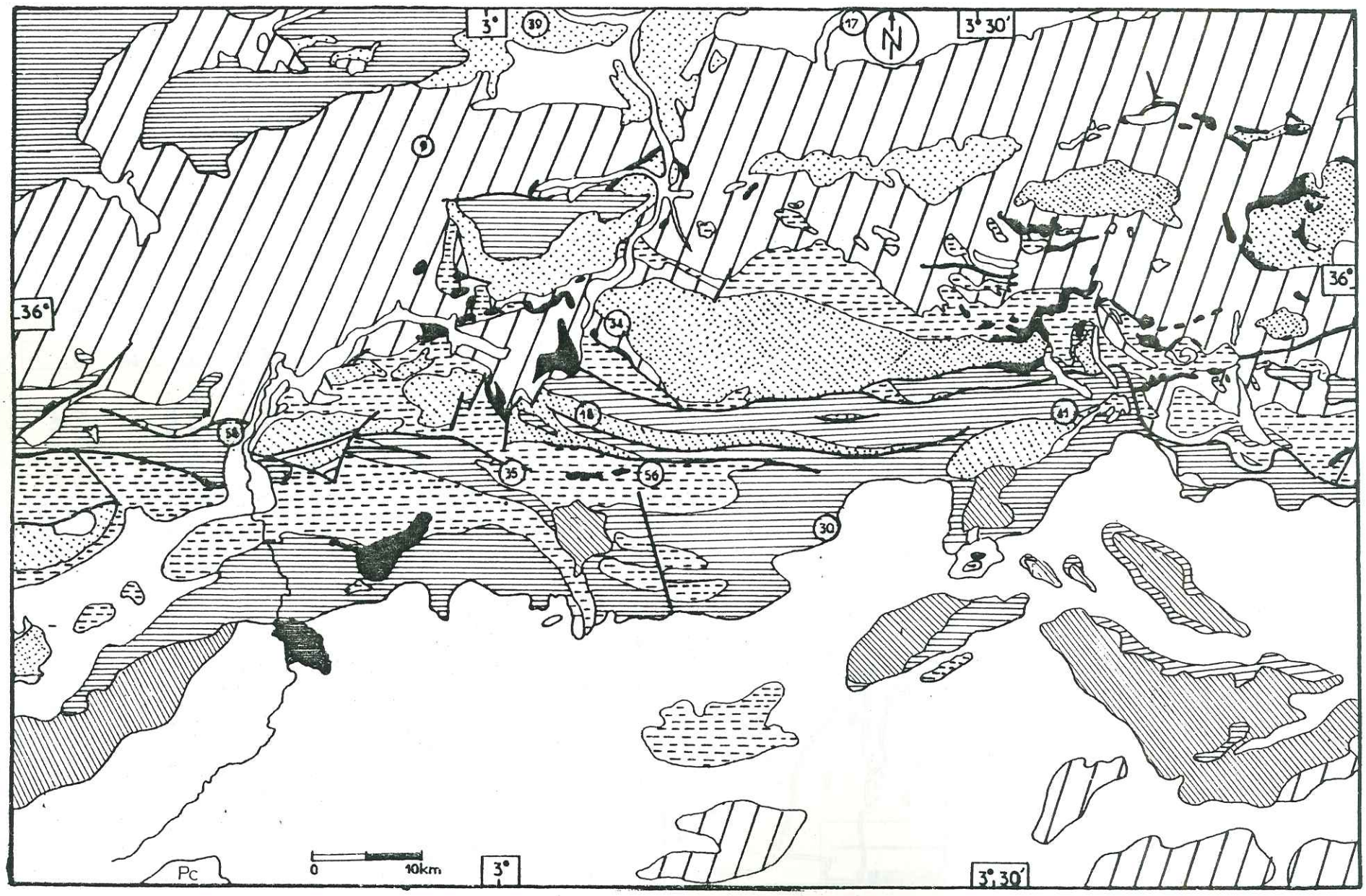
Les eaux au cours de leur circulation en profondeur entrent en contact avec les évaporites au cours de la remontée ou parfois même dans les réservoir qui sont soit carbonatés soit gréseux. Les rapports Ca/Sr varient entre 45 et 130 confirmant l'origine évaporitique ainsi que Na/Li qui est supérieur à 1000.

Le forage d'El Idrissia (2) appartient au groupe des eaux bicarbonatées calciques et froides. Les sources chaudes ont un circuit du type 2.

REGION du TITTERI



Fig(IV.6.1): Situation géographique des sources thermominérales de Iitteri.



Fig(IV.6.2): Situation géologique des sources thérmominérales de Iitteri.

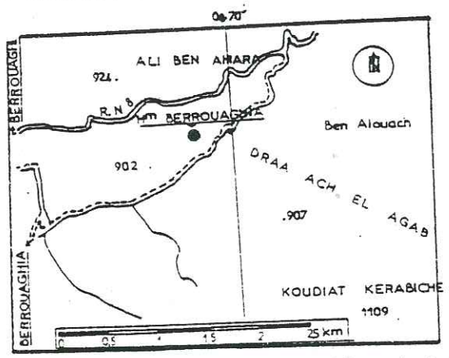
IV.5.1- HAMMAM BEROUAGHIA N°12

I- INTRODUCTION

Les vestiges d'une ancienne chambre, qui était destinée à l'accueil datant probablement du début de ce siècle, sont l'unique argument pouvant donner une idée sur le temps d'exploitation de cette émergence. Au total cette source est caractérisée par la présence de quatre griffons dont trois seulement sont exploités pour répondre aux besoins des nombreux visiteurs.

Les débits des trois émergences principales sont relativement importants. Une légère odeur sulfureuse est sensible au niveau des griffons accompagnée souvent d'un dépôt blanchâtre salé.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



La source se situe au NE de la ville de Berrouaghia à environ 6 km. Une piste carrossable mène de la route nationale reliant cette dernière ville à Sou El Ghozlane,jusqu'aux griffons qui se situent au fond d'un vallon très encaissé à quelques mètres du lit de la rivière passant par Berrouaghia. L'altitude du lieu est de 941 m. Voir fig(IV.5.1)

Fig(IV 5 3)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les formations rencontrées dans la région de Berrouaghia et du Hammam se résument comme suit:

- L'Albien inférieur est constitué essentiellement de calcaires récifaux, d'argiles, quartzites et schistes surmontés par le Vraconien épais de 700m à 800m. Il est essentiellement formé de calcaires microcristallins noirs et de marnes. Les calcaires sont largement dominants à la base avec vers le sommet une prédominance de marnes séparant les cuestas de calcaires.

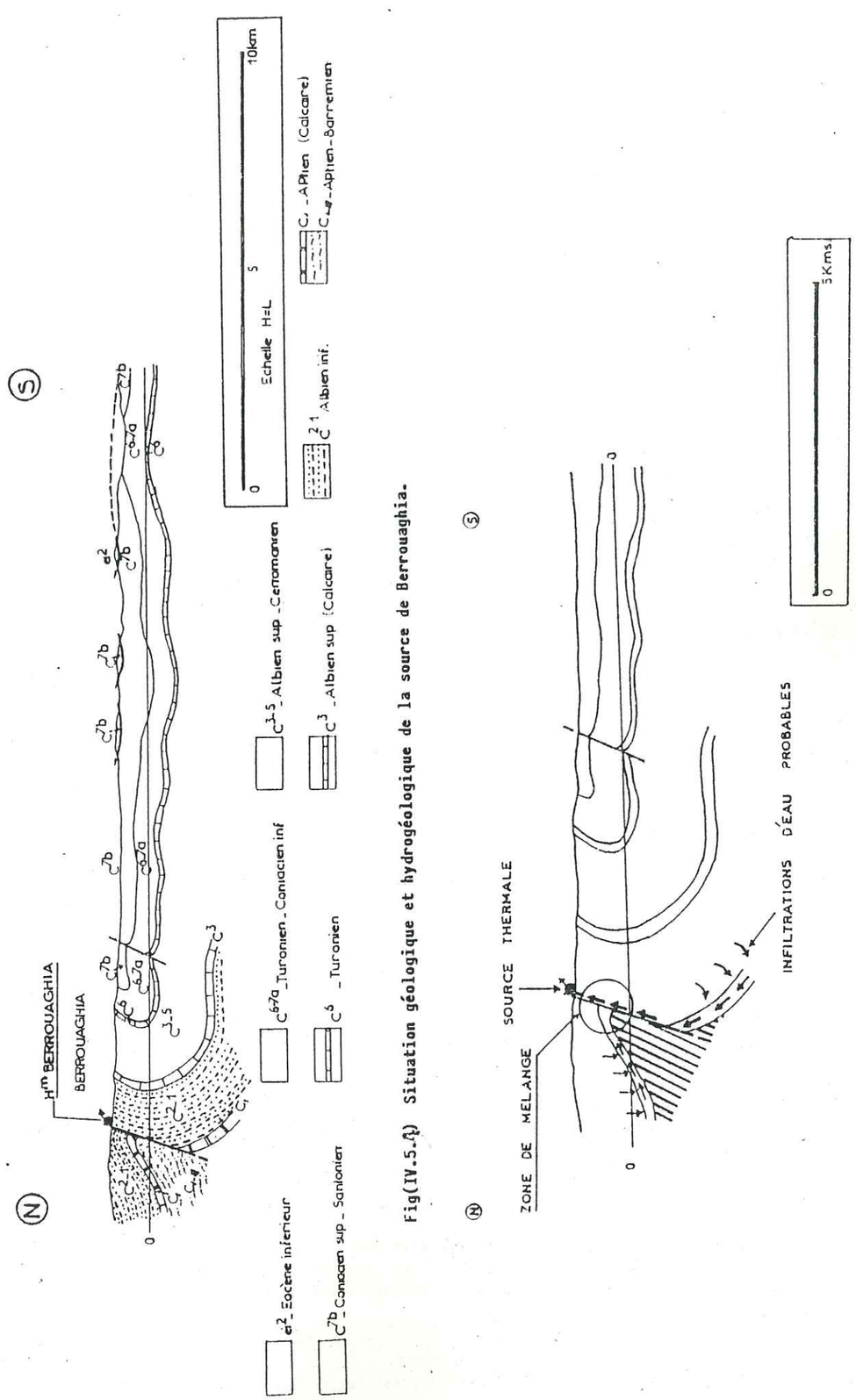
Le Cénomanien repose en contact normal sur les séries précédentes. Il est à dominante marneuse avec des intercalations de calcaires.

Le Turonien calcaire, peu épais, repose normalement sur le Cénomanien puis la série se termine vers le haut par un Sénonien marneux épais de 1000 m.

En profondeur et sous l'Albien, l'Aptien est constitué de marnes et calcaires. Un gisement de barytine est exploité à l'Est de la source.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Parmi les formations Crétacées, les calcaires du Turonien et du Vraconien sont les seuls aquifères pouvant alimenter la source thermale.



Fig(IV.5.4) Situation géologique et hydrogéologique de la source de Berrouaghia.

V- TECTONIQUE.

Le Crétacé forme un vaste anticlinal dont le flanc Sud à un fort pendage à l'Est de Berrouaghia. Ce grand pli orienté E -W est limité vers le Sud par une très importante flexure de même direction (M. KIEKEN 1975).

Sur la carte au 1/50.000, la faille thermale, de direction E - W très nette sur photosatellite, affecte les calcaires Crétacés sur plusieurs kilomètres. Cette flexure s'amortit à l'Ouest de Berrouaghia.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

Les eaux ont une température moyenne de 37°C appartenant au groupe mésothermal.

b: pH.

Les eaux sont pratiquement neutres ayant un PH . variant autour de 7.00.

c: Conductivité.

Les eaux sont relativement très peu minéralisées et faiblement conductrices. La conductivité moyenne des eaux est de 2875 µmho/cm. Une très faible variation de la conductivité a été enregistréé au cours de nos différentes campagnes résultant probablement du même phénomène que celui affectant le pH. La dilution est estimée à 0.1 % indiquant un faible mélange avec des eaux froides plus superficielles. Les eaux appartiennent au second groupe des conductivités.

d: Résidu sec.

Le résidu sec des eaux de cette source est faible traduisant une faible minéralisation. Il est caractérisé par une très forte variation, estimée à environ 1.5 g/l entre les campagnes de 1940 et celles de 1984 et 1986. Le taux de mélange avec des eaux froides et superficielles est relativement important.

e: Radon.

L'émanation en radon mesurée par L.POUGET et D.CHOUCHAK est égale à 0.21 nano curies/l et 0.04 nano curie/l en 1984. Les taux d'émanation de radon sont relativement faibles traduisant de très faibles venues d'eau ou de gaz profonds en particulier du socle le long de la fracture bibanique.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les bicarbonates sont très fortement concentrés dans les eaux. Leurs teneurs sont supérieures à 400 mg/l prédominant sur celles des chlorures et celles des sulfates. Les teneurs des différents éléments sont variables dans le temps subissant un phénomène de mélange.

Cations.

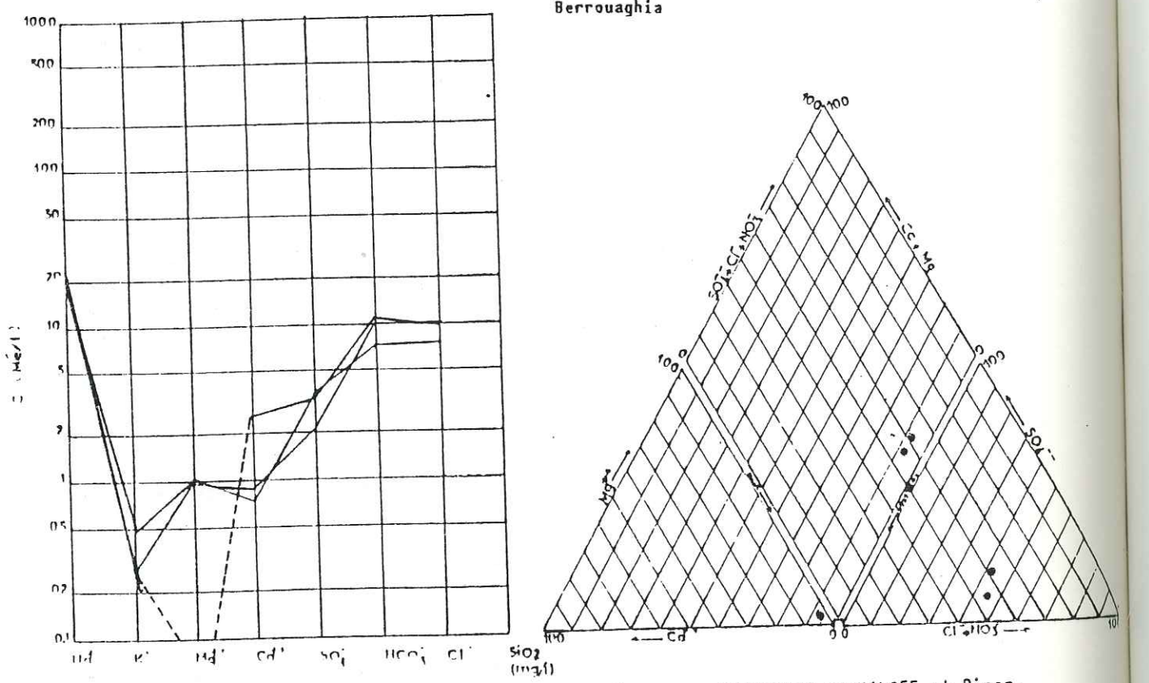
La prédominance du sodium sur les autres cations est assez nette. La teneur de ce

dernier est relativement stable et égale à 20 méq/l. Les concentrations en alcalino-terreux sont relativement faibles et très variables dans le temps liées à des mélanges avec des eaux plus froides.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne:	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
1	-0.82	0.8	22.5	0.42	18
2	-1.13	0.0	7.46	0.38	0.0
3	-0.77	1.25	24.23	0.21	19.39

Tableau (IV.5.1)



Fig(IV.5.5)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

-Indice d'échange de bases.

L'indice d'échange de bases des eaux est relativement important variant entre un maximum de -1.43 et un minimum de -0.97. Les eaux au cours de leurs circulations souterraines lessivent des argiles et échangent leurs ions alcalino terreux contre le sodium de la roche. Le long contact des eaux avec ces formations a conduit à une modification importante du chimisme des eaux

- Formule caractéristiques.

rHCO3 > rCl > rSO4 et rNa > rMg > rCa > rK

- Faciès chimique.

Les eaux de Hammam Berrouaghia sont **bicarbontées sodiques.**

B: Eléments mineurs.

Les teneurs des différents éléments dosées sont très hétérogènes. La silice est très fortement concentrés dans les eaux. La concentration obtenue de 64 mg/l traduirait une température relativement importante des eaux en profondeur et nous paraît très peu fiable.

Le fer, souvent présent dans les eaux minérales, est fortement concentré. Sa teneur varie autour de 2.1 mg/l; en revanche, l'ammonium est très faiblement concentré (0.86 mg/l). L'origine de ce dernier est probablement organique et superficielle.

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%	T(9)	%
:	96	113	82	169	206	98	-	203	90	-	0.3

Tableau (IV.5.2)

L'estimation de la température des eaux en profondeur, effectuée avec sept géothermomètres a donné les résultats suivants:

Les températures T(1), T(2), T(3) et T(6) sont relativement rapprochées. Elles varient entre un maximmum de 113° Cet un minimum de 82°C. Ces différents résultats ne peuvent être pris en considération en raison de l'influence des évaporites du Trias injectés dans la flexure bibanique. Le modèle de circulation des eaux est du type 1 nécessitant une correction des teneurs en silice.

Les températures T(4) (169°C) et T(5)(206°C) sont très élevées. L'abondance de sulfates dans les formations et en particulier la présence d'un gisement de barytine influence probablement la température obtenue par ce géothermomètre. Cependant le flux de chaleur nécessaire remonte le long de la flexure en provenance du réservoir géothermal des Bibans. L'estimation du taux de mélange a donné une valeur de 0.3% d'eau chaude remontant du socle.

IX- CONCLUSION.

Les eaux de Hammam Berrouaghia émergent à la faveur de l'importante flexure orientée E - W affectant profondemment les formations jusqu'au socle cristallin. Elles sont très peu chargées en éléments minéraux et très faiblement conductrices. Les bicarbonates et le sodium sont les deux ions prédominants donnant un cachet bicarbonaté sodique à ces eaux. Les différentes teneurs des éléments sont cependant très variables dans le temps traduisant par cela un mélange avec des eaux de surface au cours de la remontée . L'acquisition du faciès bicarbonaté sodique s'est effectuée à la suite d'un échange d'éléments au cours du lessivage de formations argileuses ou marneuses du Crétacé. Les indices calculés sont importants traduisant un contact relativement long.

Nous pensons que les eaux circulent dans les calcaires aptiens caractérisées par un potentiel hydrique non négligeable et au cours de leur remontée lessivent les marnes gréseuses de l'Albien inférieur et les schistes gréseux de l'Aptien-Barrémien. Ces derniers sont la source principale du magnésium. 0.3% des eaux chaudes remontent réchauffant les eaux circulant dans les calcaires de l'Aptien. Le pourcentage élevé des eaux superficielles 99.7% , circulant dans les calcaires,a donné le cachet chimique final aux eaux de Berrouaghia, qui est primaire dans ce cas. Cependant les eaux ont un circuit du type 1 très identique à celui des sources thermales jalonnant la limite entre les Alpes internes et externes. Ce même modèle caractérise toutes les sources de la flexure bibanique.

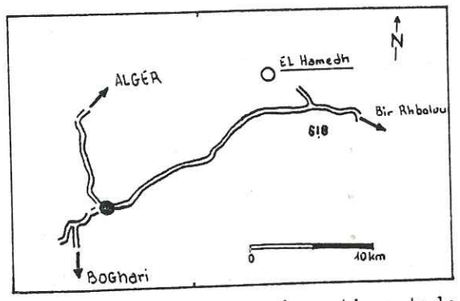
IV.5.2-AIN EL HAMEDH N° 13

I- INTRODUCTION

La documentation portant sur cette émergence est totalement inexistante cependant la seule information que nous avons pu avoir provient des habitants locaux. Cette source est très ancienne et n'a bénéficié d'aucune infrastructure pouvant la distinguer des eaux potables de la région.

Les eaux se distinguent par leur gout légèrement aigrelet. Cependant l'ensemble des autres caractéristiques (température et débit) sont très peu importants. L'odeur et les dépôts sont absents, de même aucune végétation n'a été perçue autour du griffon.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Fig(IV.5.6)- Situation géographique de la source.

La source se situe à environ 18 km à vol d'oiseau au NE de la ville de Berrouaghia. De la route N°18 et sur la gauche, la W 23 mène jusqu'au village de Omaria d'où part une piste carrossable jusqu'à la source. Le barrage de Béni slimane est à quelques centaines de mètres à l'Est de la source. Voir fig(IV.5.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

La source d'El Hamedh se trouve à quelques centaines de mètres de la flexure séparant les zones bibanique au Nord et subbibanique au Sud. Les eaux sourdent à la limite de deux formations quaternaires constituées respectivement d'alluvions récentes, limons fins et d'éboulis. Elles reposent vers le Sud sur des argiles et des quartzites de l'Albo-aptien. Ce dernier est surmonté par des calcaires et des marno-calcaires du Vraconien-Albien supérieur. L'ensemble est recouvert par des calcaires et marnes du Cénomanien. En coupe les gaz remontent à la faveur d'un important accident (flexure bibanique) mettant en contact le Barremo-aptien indifférencié et l'Aptien calcaire.

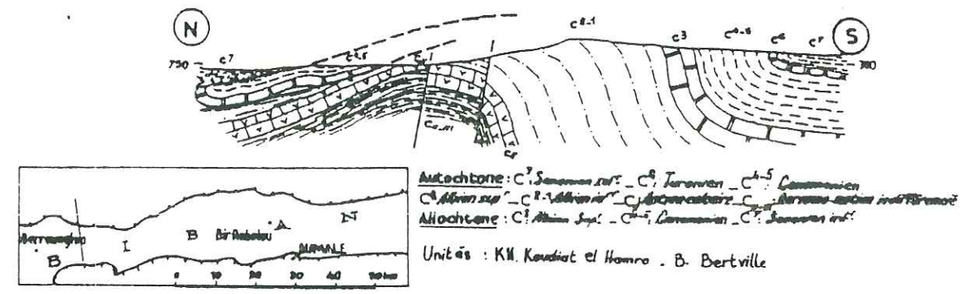
IV- HYDROGEOLOGIE.

Les formations alluviales sont les premiers niveaux pouvant être favorables à une éventuelle exploitation.

Les calcaires de l'Aptien constituent le niveau aquifère le plus important de la série et sont l'unique niveau pouvant expliquer les réserves de la source.

V- TECTONIQUE.

La source est située sur la faille de Souagui de direction N - S à quelques kilomètres au Nord de la flexure bibanique. Cette dernière est probablement le circuit des remontées de gaz en particulier du CO2 profond émanant du socle cristallin.



Fig(IV.5.7)- Coupe géologique du secteur d'El Hamedh.

VII- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les eaux de la source d'El Hamedh sont froides. Leur température est faible variant autour de 17°C et un pH de 6.11 donne un caractère acide aux eaux liée au fort dégagement de CO2. Elles sont très peu minéralisées ayant une conductivité moyenne à faible égale à 2590µmho/cm appartenant au second groupe des conductivités. La faible minéralisation des eaux s'est traduite par un faible résidu sec, égal à 1290 mg/l.

Gaz:

Les données sur les gaz sont très limitées. Cependant nous pensons que les forts dégagements gazeux en particulier de CO2 profond émanant du socle et remontant le long de la flexure bibanique sont véhiculés par la faille de Souagui.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les teneurs en bicarbonates des eaux sont fortes. Elles sont égales à 31.7 méq/l prédominantsur les chlorures et surtout sur les sulfates.

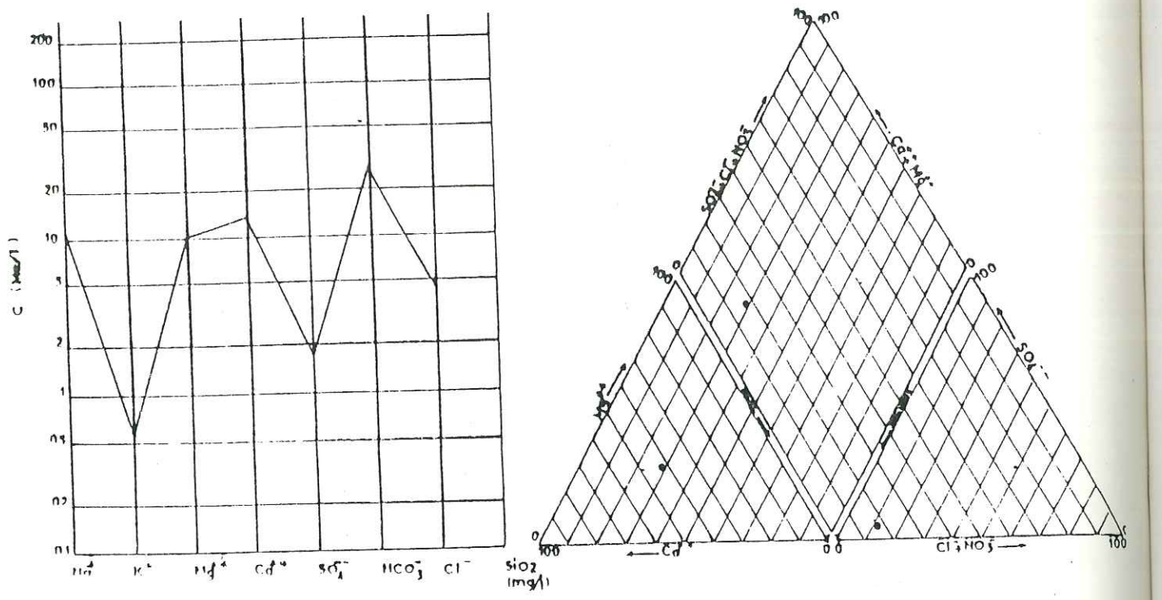
Cations.

Le calcium est prédominant sur le magnésium. Cependant les teneurs de ces deux éléments sont très proches. L'écart est très faible, estimé à environ 4 méq/l. La teneur en sodium est voisine de celle du magnésium . Le potassium est très faiblement concentré.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
	-1.38	0.72	0.72	0.39	1.00

Tableau (IV.5.3)



Fig(IV.5.8)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

Indice d'échange de bases.

La substitution de Ca et Mg de l'eau par le sodium des permutolites a donné un indice d'échange de bases élevé et négatif(-1.38). Cet échange s'est effectué sans pour autant modifier la composition chimique originelle de l'eau.

- Formule carctéristique.

Les eaux ont pour formule caractéristique:

r HCO3 > rCl > rSO4 et rCa > r Mg > rNa > rK.

- Faciès chimique.

Les eaux de la source d'El Hamedh sont classées sous un faciès **bicarbonaté calcique et magnésien.**

B: Eléments mineurs.

Le dosage des éléments mineurs a donné des teneurs faibles pour l'ammonium, le manganèse et nulles pour le chrome, le zinc et PO4. L'ammonium est probablement d'origine superficielle.

Les teneurs en silice et en fer sont relativement faibles. Elles sont respectivement égales à 13.2 mg/l et 2.8 mg/l. La teneur en silice est la teneur moyenne des eaux de surface confirmant ainsi l'origine superficielle des eaux d'El Hamedh. L'augmentation de la dissolution du fer croit avec les dégagements de CO2. Il est probablement lié aux formations carbonatées.

VIII- CONCLUSION.

Nous pensons que les eaux de cette émergence sont des eaux de surface qui, après leurs infiltration, ont circulé dans des niveaux carbonatés du type calcaire (Mg/Ca = 0.72) dolomitiques acquérant une composition chimique du type bicarbonaté calcique et magnésienne. La remontée de CO2, donnant un caractère très acide aux eaux, est liée à la présence de l'accident subbibanique affectant très profondémmant les formations jusqu'au socle cristallin. Nous pensons également que cette eau est du même type que la source de Righa gazeuse ayant un caractère ferrugineux. La profondeur du réservoir est faible (SIO2 faible) cependant les gaz ont une origine profonde en l'occurrence le socle cristallin. Les résultats de l'analyse gravimétrique montrent une position très proche de la surface du socle cristallin. Le modèle de circulation des eaux est du type 1.

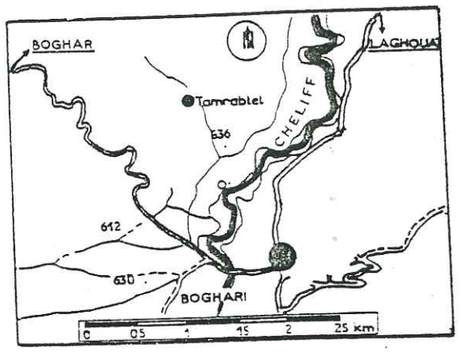
IV.5.3- BOGHAR N°58

I- INTRODUCTION.

L'utilisation du forage de Boghar remonte à l'époque française. Les eaux de ce forage sont utilisées pour l'alimentation de la ville située à quelques kilomètres plus à l'Est.

Les eaux sont tièdes au toucher dégageant une forte odeur sulfureuse souvent accompagnée d'une remontée importante de bulles de gaz qui est probablement du H2S. Les dépôts sont totalement absents au niveau de la station.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Fig(IV.5.9)- Situation géographique de la source.

Le forage se situe à environ six kilomètres au Nord-Ouest de la ville de Ksar El Boukhari. Cette dernière se trouve à 67 km au Sud de Berrouaghia et à 55 km au Nord d' Ain Ouessera.

La station de pompage est à quelques dizaines de mètres sur la droite de la route nationale n° 1, reliant les villes de Ksar El Boukhari et de Boghar. L'altitude moyenne du lieu est de 1000 m. Voir fig(IV.5.9)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Le forage est implanté au sein d'une formation d'âge burdigalien constituée essentiellement de marnes sableuses à rares bancs de grès. Une importante faille met en contact la formation burdigalienne précédente et une série marneuse formée d'une alternance de marnes et calcaires du Sénonien. A l'Est, l'Oligocène repose sur le Sénonien essentiellement gréseux et argileux renfermant des niveaux de gypses. L'ensemble est recouvert par des alluvions quaternaire couvrant une importante surface dans la région de Ksar El Boukhari.

A l'Ouest et au Sud - Ouest, une importante masse travertineuse affleure au sein du Burdigalien. Ce dernier est surmonté par des éboulis récents.

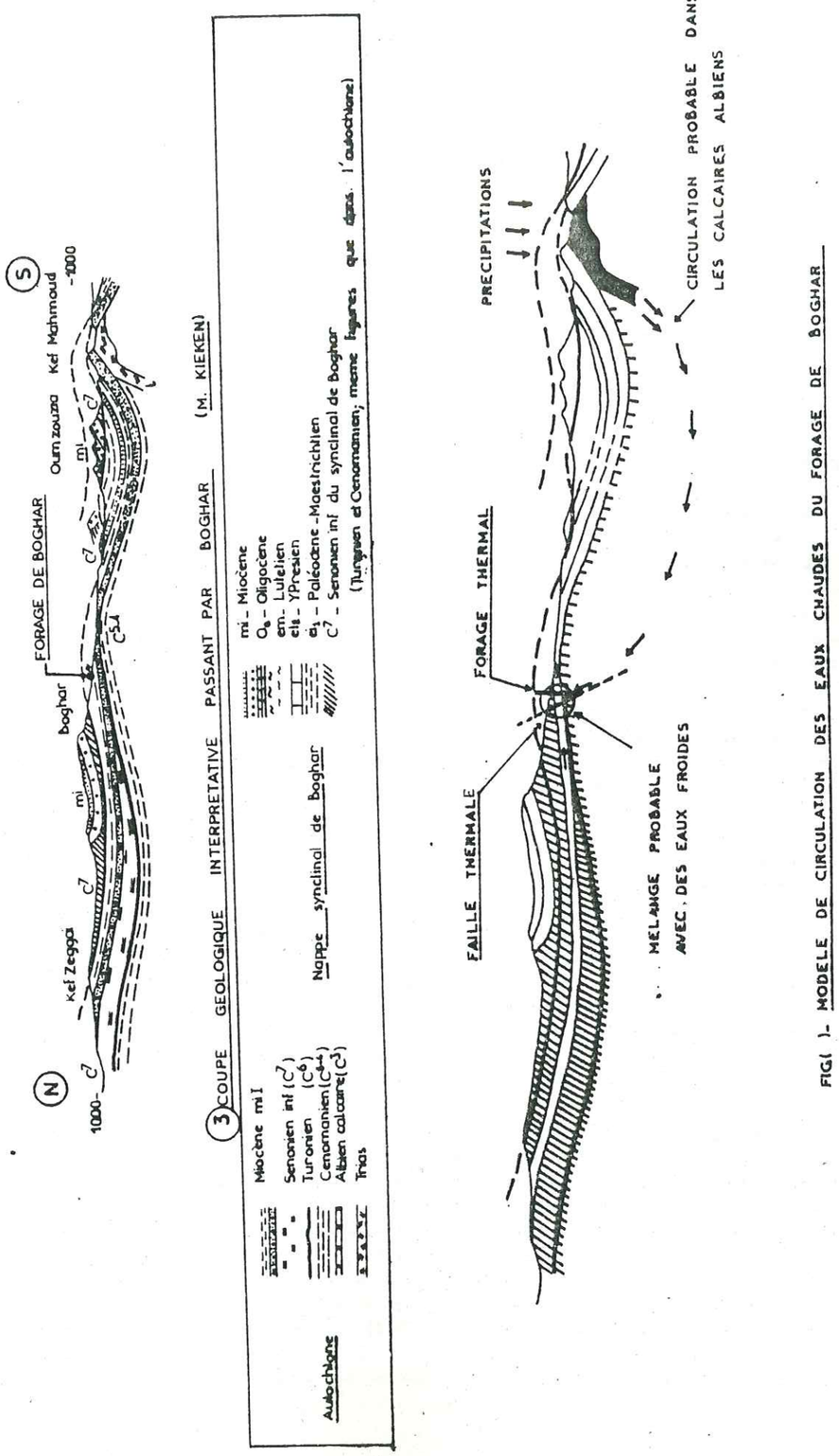
Au Sud de Ksar El Boukhari, des pointements triasiques constitués essentiellement de gypses, de dolomies, d'argiles et de cargneules affleurent.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Trois grandes formations ont un potentiel hydrique important:

Les éboulis et les alluvions du quaternaire, le Miocène inférieur et l'Oligocène peuvent être aquifères et renfermer une importante réserve d'eau pouvant être exploitée pour répondre aux besoins de la ville.

Albien: La situation relativement profonde de cette formation peut être à l'origine des eaux thermales sous réserve d'une fissuration suffisamment développée pour permettre des circulations d'eau.



FIG( )- MODELE DE CIRCULATION DES EAUX CHAUDES DU FORAGE DE BOGHAR

Fig(IV.5.10)

V- TECTONIQUE.

La région de Boghar et en particulier la zone du forage est affectée d'un réseau de fractures très dense. Deux importants contacts anormaux, limités à l'Ouest par deux failles d'extension réduite orientées NW - SE, affectent le secteur du forage.

D'importants linéaments passent dans la région matérialisant probablement des fractures orientés NW - SE.

La carte géologique au 1/50000 montre le passage d'une fracture kilométrique orientée NW - SE et limitée vers le Sud Est par un second accident conjugué de faible extension.

Au Sud - Est, un réseau de fractures très dense, constitué de plusieurs familles conjuguées affecte le secteur.

V- PROPRIETES PHYSICO - CHIMIQUES.

a: Température.

L'unique mesure effectuée a donné une température des eaux relativement élevée de 34.6 °C. Les eaux de ce forage appartiennent à la classe hypothermale.

b: pH.

Les eaux de Boghar sont légèrement basiques. Le pH mesuré est égal à 8 donnant des eaux incrustantes.

c: Conductivité:

La conductivité des eaux, mesurée à 20 °C est relativement faible (2360 µmho/cm), traduisant une faible minéralisation et appartenant au deuxième groupe des conductivités.

VI- PROPRIETES CHIMIQUES.

Anions.

Les eaux sont relativement très chargées en bicarbonates. Ces derniers, avec une teneur de l'ordre de 10 méq/l, prédominent sur les sulfates et les chlorures. Les concentrations de ces deux derniers éléments sont très voisines variant autour de 5 méq/l.

Cations.

Les alcalins sont très fortement concentrés dans les eaux en particulier le sodium dont la teneur est supérieure à 20 méq/l prédominant par cela sur les autres cations. Le magnésium et le calcium sont très faiblement concentrés. Leurs teneurs sont très rapprochées variant autour de 0.6 méq/l; en revanche, le potassium a une teneur égale à 0.1 méq/l.

- Rapports caractéristiques.

N° de la campagne:	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
3	-3.52	1.01	34.35	1.23	33.70

Tableau (IV.5.4)

Indice d'échange de bases.

Les échanges cationiques avec les niveaux argileux traversés par les eaux au cours de leur trajet souterrain sont très élevés. L'i.e.b calculé, égal à - 3.52, traduit des échanges importants avec des argiles probablement du Trias. La substitution du Ca et Mg de l'eau par le Na des argiles s'est conclue par une modification importante du faciès chimique originel de l'eau. Cet indice élevé traduit également une forte prédominance des alcalino - terreux dans le réservoir carbonaté.

- Formule caractéristique.

La formuule caractéristique des eaux est du type:
r HCO3 > rSO4 > r Cl et rNa > rMg > rCa > rK.

- Faciès chimique.

Les eaux sont **bicarbonatées sodiques** fortes et très faiblement **sulfatées.**

VII- GEOTHERMOMETRIE.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)
	-	-	29	27	211	118	-

Tableau (IV.5.5,

L'utilisation des différents géothermomètres pour l'estimation de la température des eaux en profondeur a donné des valeurs extrêmement différentes qui ne peuvent être prises en compte en raison de la forte influence des évaporites et à un faible degre des autres formations en particulier carbonatées.

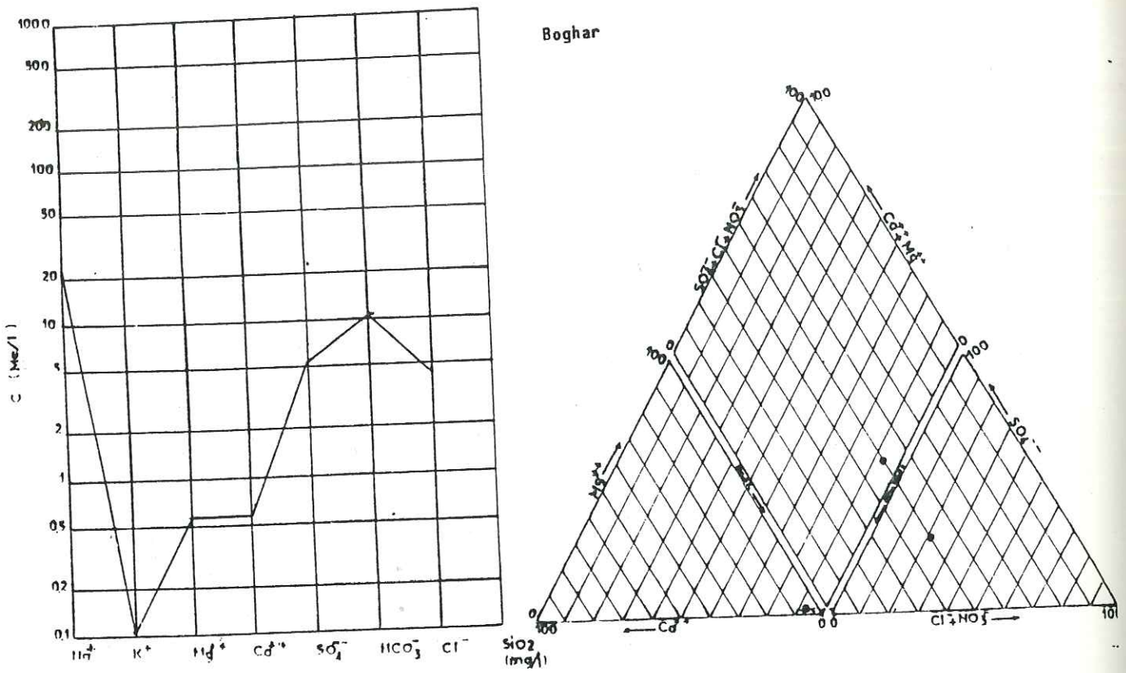
VIII - CONCLUSION.

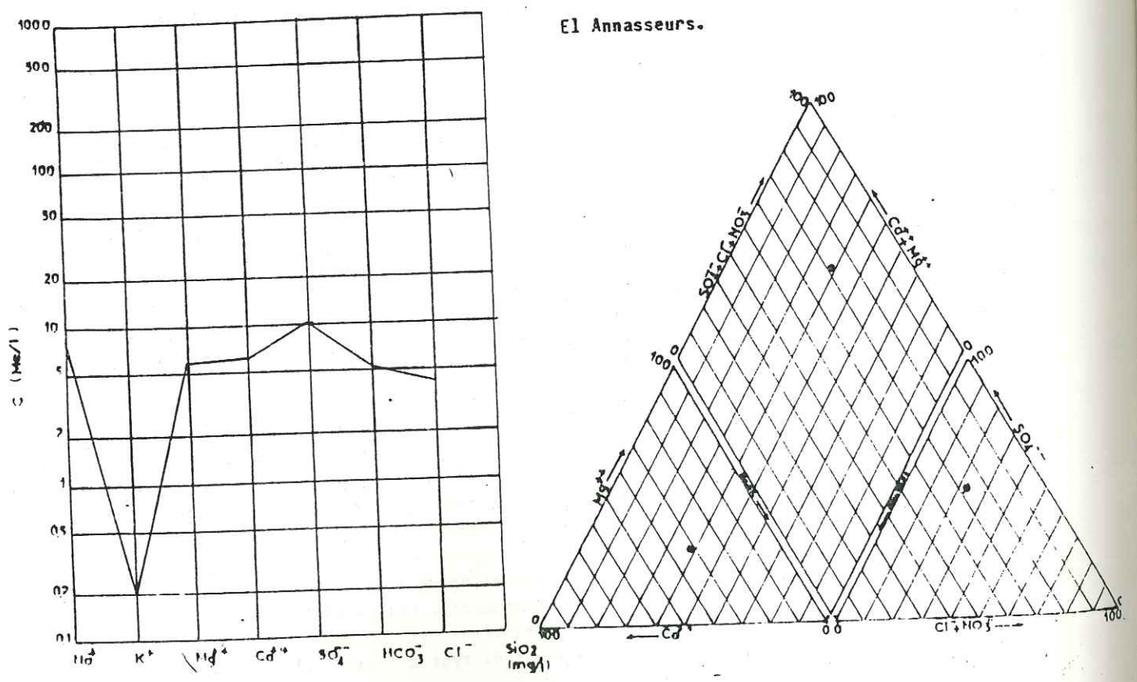
- La faible conductivité des eaux traduit soit un faible parcours souterrain soit une vitesse de circulation en profondeur très importante.

- Les fortes teneurs en bicarbonates résultent de l'attaque des formations carbonatées du type calcaires dolomitiques par du CO2 probablement profond. Les formations carbonatées de la région de Boghar sont d'âge Albien et peuvent être le réservoir thermal.

- Les eaux au cours de leur trajet souterrain ont subi des échanges cationiques importants avec probablement les niveaux argileux triasiques. Ces échanges sont accopmpagnés par un enrichissement en magnésium , en sulfates et en chlorures provenant respectivement des dolomies ,du gypse et de l'anhydrite triasiques. Ces différentes teneurs confirment le transit des eaux au sein de cette formation et il n'est pas exclu également que d'importantes infiltrations des eaux se soient effectuées au niveau des affleurements de Trias existants.

- La remontée des eaux est facilitée par le forage effectué près d'une importante fracture orientée NW - SE qui est probablement la faille thermale. Les températures necessaires au réchauffement sont liées au seul gradient géothermique et probablement aux réactions exothermiques. Le circuit de circulation des eaux est du type 2 (voir modèle (IV.5.10).





Fig(IV.5.11)- Représentations graphiques des sources de Boghar et d'El Annasseur.

IV.5.4-HANNAM EL ANNASSEURS N°30

I- INTRODUCTION

Cette émergence est, comme son nom l'indique, composée de plusieurs griffons, très peu importants, éparpillés le long du lit de la rivière. Elle n'est connue que par les quelques habitants de la région et est souvent utilisée pour des besoins domestiques. Plusieurs griffons donnant un faible débit, sont alignés le long du lit de Oued Tikhelfia au pied d'un petit banc de grès.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

L'émergence se situe au centre de la vaste plaine coincée entre les villages d'Ain Boucif au S.E et Chellalet El Adhaoura (ex Maginot) au Sud. Plusieurs chemins provenant des localités voisines convergent vers la source. L'altitude moyenne du lieu est de 900 m. Voir fig(IV.5.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux de cette source sourdent au sein d'une formation alluviale très récente d'âge Quaternaire remplissant le lit de Oued Tikhelfia et formant une nappe d'eau très réduite. Cette formation repose sur une série gréseuse et marneuse du Miocène inférieur allochtone. (voir fig(IV.5.2). L'ensemble de ces séries repose sur des grès marins d'âge Oligocène qui surmontent le Lutétien supérieur- Bartonien. Les niveaux gréseux de l'Oligocène constituent une seconde réserve pouvant être le réservoir thermal.

Plus au Sud, une importante surface est couverte par des alluvions Quaternaires. Les eaux sourdent à quelques centaines de mètres d'un importants accidents orienté NW - SE passant à travers les formations miocènes . En coupe, plusieurs accidents limitent des unités superposées et jalonnées à leurs bases par du Trias évaporitique.

IV- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

La température des eaux à l'émergence est de 20°C appartenant au groupe hypothermal. Les eaux sont basiques (pH= 7.12) et très faiblement conductrices (1688 µmho/cm). Cette dernière se traduit par un résidu sec relativement faible (1500 mg/l) traduisant un faible temps de séjour et donc une circulation rapide.

V- PROPRIETES CHIMIQUES.

Les teneurs en sulfates relativement élevées sont plus fortes que celles des bicarbonates et des chlorures, donnant un rapport SO4/Cl de 2.22 traduisant le lessivage d'évaporites fortement gypsifères qui jalonnent les contacts anormaux des différentes unités du Tell méridional.

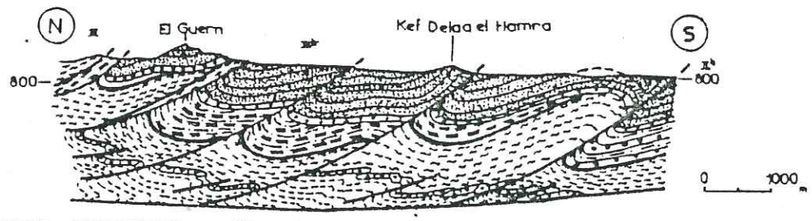
Le sodium est relativement prédominant sur le reste des cations et en particulier sur le magnésium et le potassium donnant des rapports avec ces derniers supérieurs à 1. L'origine du sodium est les formations évaporitiques du Trias jalonnant les contacts anormaux des différentes unités.

Les eaux au cours de leur circulation en profondeur ont échangé les alcalino-terreux empruntés aux ciments carbonatés des grès contre les alcalins des formations marneuses ou argileuses constituant le substratum imperméable. L'indice d'échange de bases est négatif **(-0.82)**. La formule caractéristique des eaux est du type **rSO4 > rHCO3 > rCL** et rNa > rCa > **rMg > rK** donnant un faciès **sulfaté sodique.**

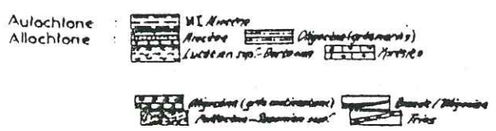
VI- CONCLUSION.

Les eaux de Hammam El Annasseur sont très faiblement hypothermales ayant circulé, après leur infiltration, à une faible profondeur dans les formations gréseuses de l'Oligocène. Le Trias gypsosalin, soulignant les contacts anormaux de la régions a été lessivé par ces eaux au cours de leur trajet souterrain. Les eaux en circulant ont échangé certains éléments modifiant légèrement leur composition chimique originelle.

La thermalité des eaux a été acquise par l'intermédiaire du flux de chaleur dégagé probablement par la mise en solution des sulfates. L'élévation de la température est très faible. Nous pouvons cependant envisager également un emmagasinement de la température acquise par les eaux en surface pendant les périodes des grandes chaleurs. Les eaux en quittant le réservoir gréseux de l'Oligocène remontent à la faveur des lits séparant les différents bancs gréseux.



COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE DU SECTEUR DE HAMMAM EL ANNASSEURS



Fig(IV.5.12)

IV.5.5- HAMMAM CHBEIKA N°34

I- INTRODUCTION

Les qualités physico-chimiques des eaux de cette source ne permettent pas son inclusion au sein des sources thermominérales de notre secteur. Les eaux ne sont pas captées et se déversent dans la nature.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source se situe à une dizaine de kilomètres à l'Est de la ville de Berrouaghia et à environ 2 ou 3 kilomètres de la route W.20 reliant cette dernière ville au village de Souagui. Ce dernier est à une dizaine de kilomètres au N.E du Hammam dont l'altitude est de 700 m.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux sourdent au sein d'une formation marneuse comportant des niveaux lenticulaires de marno-calcaires d'âge Maestrichtien-Danien très fracturés. Cette formation est séparée du Sénonien inférieur- Turonien marneux et calcaréo- marneux, formant le réservoir d'alimentation de la source, par une série d'âge triasique , constituée de gypse, argiles, dolomies noires brêchoides, cargneules et ophites.

A l'Est, le Lutétien inférieur, formé de marno-calcaires à silex, est affecté par des fractures orientées généralement N-S. Cette formation repose en contact anormal sur le Sénonien-Turonien vers le Nord et sur les marnes pyriteuses du Paléocène au Sud.

Les calcaires du Turonien sont les plus importants aquifère de la région. Leurs réserves sont relativement considérables.

IV- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

La température des eaux est de 16°C. Leur pH supérieur à 7, traduit un caractère faiblement basique des eaux. La conductivité ainsi que le résidu sec sont moyens à faibles traduisant la faible minéralisation des eaux. Selon Vuataz(1979), ces eaux sont subthermales à faible minéralisation .

V- PROPRIETES CHIMIQUES.

Les sulfates et le sodium sont fortement prédominants sur les différents ions de leurs familles respectives. La formule carctéristique de ces eaux est du type **rSO4 > rHCO3 > rCl et rNa > rCa > rMg > rK.**

Les différentes représentations graphiques ainsi que les rapports caractéristiques montrent la prédominance des deux éléments précédents et classent ces eaux sous le faciès sulfaté sodique.

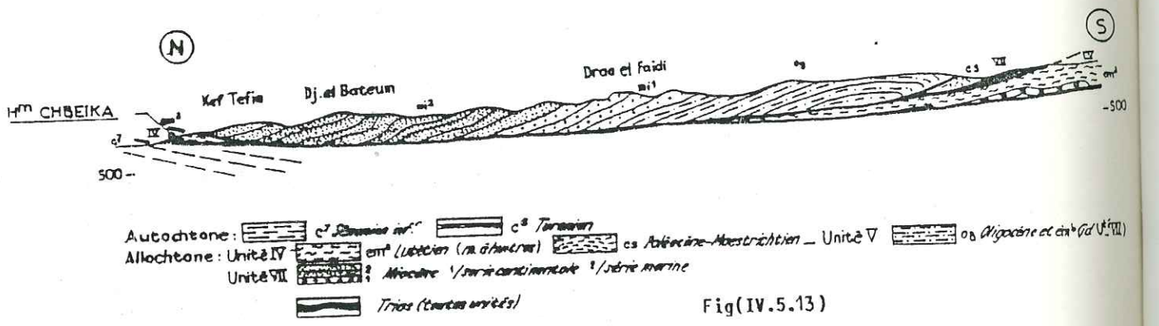
L'indice d'échange de bases négatif (-0.40) montre la substitution des alcalino-terreux des eaux par le sodium des permutolites (argile probablement du Trias). Cette substitution s'est traduite par une modification générale de la composition chimique originelle de l'eau.

VI-CONCLUSION.

Les résultats des différentes méthodes d'analyses montrent la présence d'une association du type NaSO4 qui est d'origine évaporitique. Ces niveaux

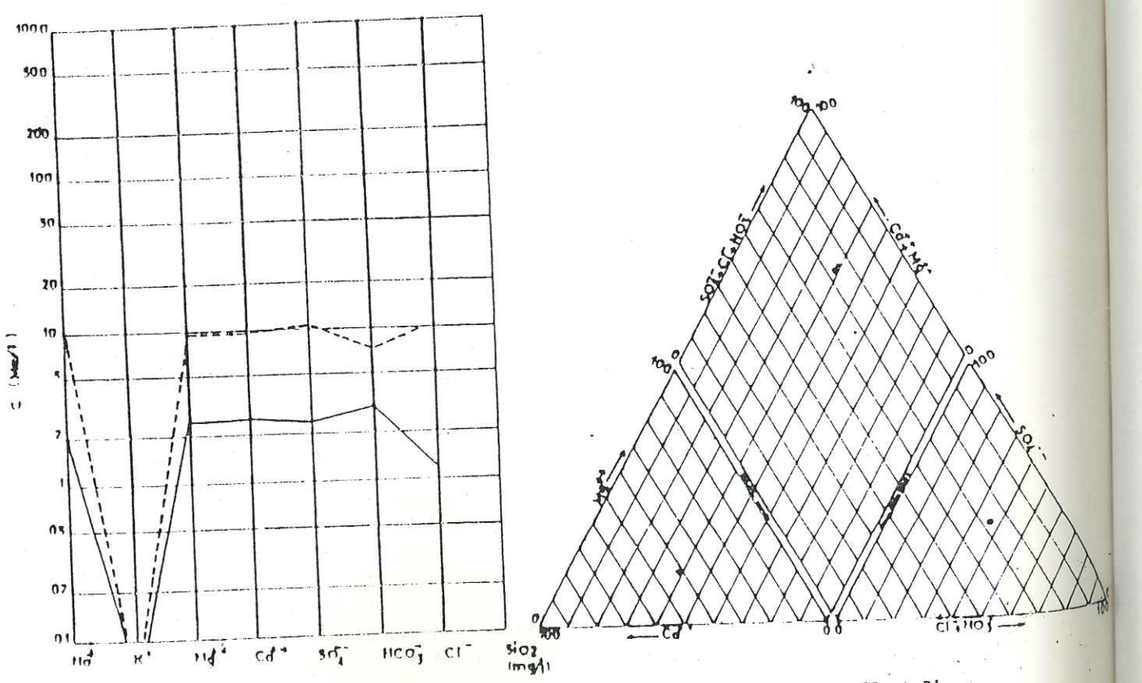
évaporitiques lessivés par les eaux sont gypseux et salifères.La présence de niveaux argileux s'est traduite par une substitution des alcalino-terreux de l'eau par les alcalins. Les alcalino-terreux sont probablement issus d'une formation carbonatée du type calcaire ou gréseuse à ciment carbonaté.

Nous pensons que les eaux après leur infiltration ont circulé dans les niveaux gréseux du Miocène inférieur et le long du contact anormal souligné par le Trias évaporitique. L'acquisition de la minéralisation s'est effectuée tout d'abord dans les formations gréseuses et a, par la suite, été modifiée par effet d'échange de bases, aboutissant à un faciès sulfaté sodique. La faible présence des pyrites n'a pas donné une quantité d'énergie suffisante pour une augmentation de la température des eaux.



Fig(IV.5.13)

Chbeika



Fig(IV.5.14)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

IV.5.6-EL BIR EL MENTEN N°36 ET CHENIGUEL N° 41

I- INTRODUCTION.

Les deux émergences sont froides et caractérisées par des débits très faibles parfois nuls. Les eaux d'El Bir El Menten sont troubles et stagnantes. La source de Cheniguel était tarie au cours de notre dernière campagne.

II- SITUATION GEOGRPHIQUE.

Les deux sources se trouvent à quelques mètres du bord droit de la route W.136 reliant Ain Boucif à Sidi Aissa. Elles sont à une quinzaine de kilomètres à l'Ouest de ce dernier.

Hammam Cheniguel est, comme son nom l'indique, situé à quelques centaines de mètres à l'Ouest du village de Cheniguel; en revanche, El Bir el Menten est situé à l'Est. Oued El Ham est la principale rivière qui sépare les deux émergences. L'altitude des lieux est de 700 m.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les deux émergences se situent au sein d'une formation d'âge Miocène inférieur constituée essentiellement de marnes et de grès pouvant être aquifères, formant le réservoir de la source. Ces derniers se présentent en bancs et sont parfois glauconieux. Cette formation est surmontée vers le Nord et l'Est par des éboulis et des alluvions quaternaires.

Plus à l'Est, le Lutétien et l'Yprésien sont essentiellement marneux et calcareux.

IV- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

La température des eaux est très faible et égale à 11°C. Elles appartiennent au groupe des eaux froides. Elles sont très faiblement basiques (7.64) et caractérisées par une conductivité moyenne égale à 2420 µmho/cm traduisant par cela une faible à moyenne minéralisation des eaux. Le résidu sec, à 110°C, est égal à 2536 mg/l classant ces eaux dans la catégorie des eaux minérales TSD > à 1000 mg/l.

V- PROPRIETES CHIMIQUES.

Les sulfates et le sodium sont prédominants dans leurs familles respectives donnant une formule caractéristique à ces eaux du type **rSO4 > rHCO3 > rCl et rNa > rCa > rMg > rK.** Les eaux sont sulfatées sodiques et très faiblement bicarbonatées calciques. Ce type de faciès résulte des échanges d'éléments alcalino-terreux par le sodium de la roche au cours du trajet souterrain donnant un i.e.b négatif (-1.00).

Le rapport des sulfates sur les chlorures donne une valeur supérieure à 1 de même que le sodium sur respectivement le calcium et le magnésium. L'association du sodium et des chlorures résulte du lessivage de formations évaporitiques à dominante gypseuse (Vuataz).

Nous pensons que les eaux de ces deux émergences proviennent des formations gréseuses du Miocène inférieur séparées par des niveaux marneux imperméables. Les échanges de bases s'effectuent avec ces derniers donnant un faciès sulfaté sodique. Cependant, les eaux après leur infiltration, circulent le long du contact anormal souligné par du Trias évaporitique séparant les formations précédentes du Miocène autochtone. C'est à ce faciès évaporitique que le chimisme de la source est dû.

IV.5.7-HAMMAM OULED CHNEF N°18

I- INTRODUCTION.

L'émergence de Hammam Ouled Chnef est exploitée depuis la période française. Un petit bassin très ancien a été construit pour recueillir les eaux utilisées le plus souvent pour l'agriculture. Aucun autre vestige plus ancien n'a été décelé au voisinage de la source.

La source est très peu importante et n'est utilisée que pour l'irrigation des champs voisins . Le débit est par contre important. Une légère odeur sulfureuse a été cependant perçue accompagnée en surface par de nombreuses bulles.

II SITUATION GEOGRAPHIQUE.

L'émergence de Ouled Chnef se trouve à une dizaine de kilomètres au NW de la ville d'Ain Boucif et à une vingtaine de kilomètres au Nord du village de Souk el Had. Une piste carrossable mène de la route N°136 jusqu'à l'émergence à l'Est. L'altitude de l'émergence est de 1200 m.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux sourdent d'une formation d'âge Miocène inférieur constituée essentiellement de marnes et grès en gros bancs. Elle repose en contact anormal sur de l'Oligocène (faciès de Boghari) constitué de grès pouvant être l'aquifère alimentant la source et de marnes, formant le substratum, avec parfois des couches d'argiles . L'ensemble est recouvert vers le Sud par une série d'éboulis quaternaires. Ces séries, en forme de synclinal, sont affectées par des accidents E - W très importants, recoupés par d'autres fractures moins importantes, orientées NE - SW.

La source se situe dans le Tell méridional. Ce dernier est un domaine de nappes de charriage, limitées par des contacts souvent soulignés par du Trias évaporitique.

IV- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les eaux de Hammam Ouled Chnef sont hypothermales ayant une température moyenne d'environ 20°C. Elles sont légèrement basiques (Ph=7.3) et très faiblement minéralisées (conductivité= 1001µmho/cm). Cette faible minéralisation s'est traduite par un résidu sec égal à 892 mg/l. Elles sont classées dans le groupe des eaux subthermales et faiblement minéralisées ne pouvant être inclues dans la catégorie des eaux thérmominérales.

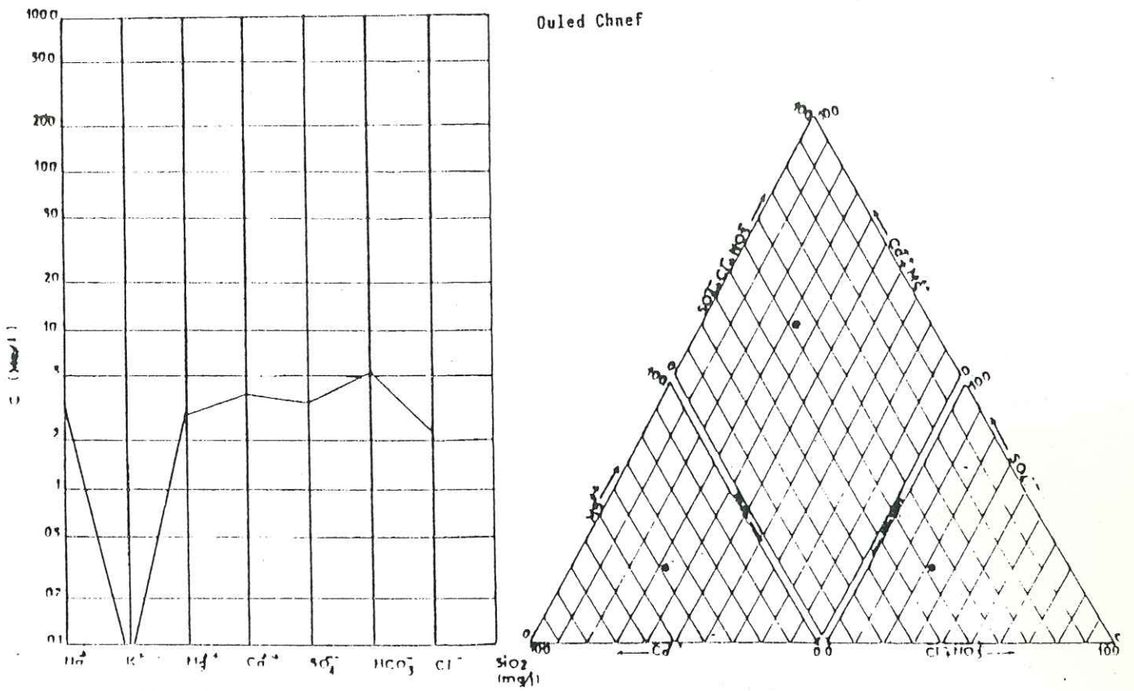
V- PROPRIETES CHIMIQUES.

Les bicarbonates (341.6mg/l) ainsi que le calcium (84 mg/l) sont prédominants sur les ions de leurs familles respectives. Les teneurs en sodium sont très proches du calcium et prédominants sur le magnésium.

Les eaux ont une formule caractéristique du type **rHCO3 > rSO4 > rCl et rCa > rNa > rMg > rK** ,appartenant au groupe des eaux bicarbonatées calciques et faiblement sodiques. Les différents rapports caractéristiques sont faibles, montrant la prédominance du sodium sur le magnésium et du calcium sur l'ensemble. L'utilisation du rapport r(Mg + Ca) / (Na+K) a donné une valeur supérieure à 1 traduisant le lessivage de formations évaporitiques fortement sulfatées.

Au cours de leur trajet les eaux ont effectué des échanges d'éléments. L'indice d'échange de bases est négatif traduisant la substitution de Ca et Mg par le sodium des

permutolites, probablement les argiles Oligocènes.



Fig(IV.5.15)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

VI- CONCLUSION.

Nous pensons que les formations Oligocènes ainsi que celles du Miocène inférieur constituent l'aquifère de la source de Hammam Ouled Chnef. Les eaux au cours de leur ascension transitent par des formations évaporitiques du Trias. La composition chimique originelle des eaux confère un faciès bicarbonaté calcique et faiblement sodique résultant du lessivage des ciments carbonatés. Le cachet sodique des eaux résulte des substitution d'éléments avec l'encaissant sans pour autant changer la composition chimique originelle de l'eau. Le circuit de ces eaux est du type 2 identique à celui de toutes les sources des domaines préatlasique et atlasique.

CONCLUSION

Les sources de cette région sont soit mésothermales (Berrouaghia) soit hypothermales caractérisées par des circulation épidermiques. Les sources hypothermales sont souvant à faciès chloruré ou sulfaté liées à des évaporites du Trias constituant la semelle des unités charriées. Leur thermalité est soit liée au gradient géothermique soit aux réactions exothermiques. Cependant nous pensons que ces sources froides ont circulé et gardé en mémoire les température des périodes estivales généralement supérieures à 20°C.

La source de Berrouaghia et cependant liée à la flexure bibanique et reçoit son énergie du réservoir bibanique. Le taux de mélange est de 0.3% et la température du réservoir de l'ordre de 70°C. Cependant la source d'El Hamedh est également liée à la flexure, recevant par l'intermediaire de la faille de Souagui des quantités importantes de CO2 profond. Cette source est favorable pour une exploitation sous réserve d'un développement de son débit actuel.

REGIONS de L'OUARSENIS

et de CHLEFF .

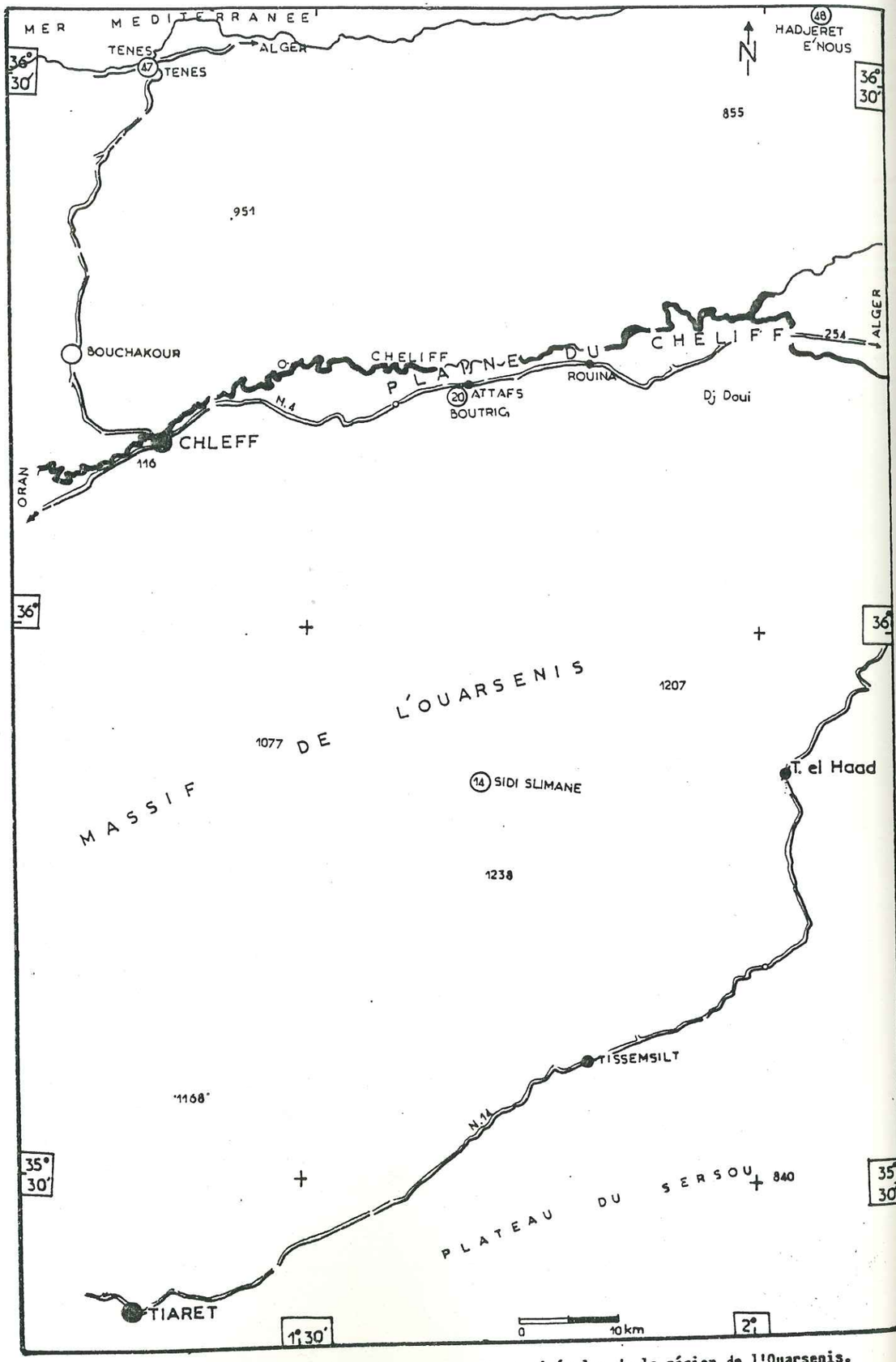


Fig (IV.6.1)- Situation géographique des sources thermominérales de la région de l'Ouarsenis.

Fig (IV.6.2)- Situation géologique des sources thermominérales de l'Ouarsenis.

IV.6.1-HAMMAM SIDI SLIMANE N°14

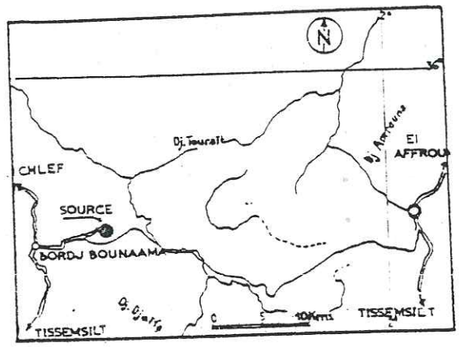
I- INTRODUCTION.

Les vieilles constructions à architecture locale montrent l'ancienneté de cette source. Depuis bien avant la période française, cette émergence a toujours eu une grande réputation dans la région.

Plusieurs études anciennes ont été effectuées, en particulier pendant la période coloniale française,portant toutes sur le côté médical des eaux.

Aucun dépôt ni odeur quelconque n'ont été décelés, cependant une très mince couche ferrugineuse tapisse le fond et les parois des bassins.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



A l'Ouest de la ville de Theniet El Had et à environ 52 km se trouve la commune de Bordj Bou Naama. Cette dernière se situe au pied du Grand Pic de l'Ouarsenis. La source thermale se situe à 8km au NE du chef-lieu de commune et sur le versant Nord. Elle est sur la rive droite de la petite rivière qui est un des affluents de Oued El Fodda. L'altitude du lieu est de 1100 m. Voir fig(IV.6.1)

Fig(IV.6.3)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Les eaux émergent au sein d'une formation d'âge Barrémo-Aptien constituée essentiellement de schistes très peu quartziteux chargés d'intercalations calcaires et marno-calcaires. La source est à quelques mètres d'une importante barre calcaire d'âge jurassique, très diaclasée, et des niveaux triasiques.. Cette barre est en contact anormal avec la formation barrémo-aptienne. Le Trias est formé de petits cubes de dolomies, de gypse , d'argiles accompagnés de minéraux tels que l'albite,la blende, la tourmaline...etc. Il apparaît dans cette région en position anormale (Mattauer), souvent dispersé dans des formations qui sont soit marneuses d'âge Cénomanien et Albien supérieur, soit des grès quartziteux de l'Albien et du Clansayesien (voir fig IV.6.2).

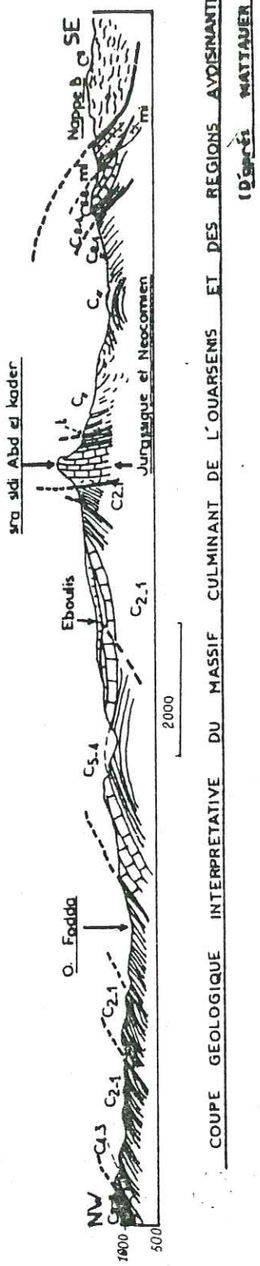
IV- HYDROGEOLOGIE.

La source est située au Sud du grand bassin du Chéliff. Les importants affleurements calcaires du Jurassique sont les plus favorables à une éventuelle exploitation hydrique. L'alimentation des différentes émergences se fait probablement grâce à cette formation.

Les calcaires du Néocomien constituent le second niveau favorable et possédent un potentiel hydrique non négligeable pouvant également alimenter la source du Hammam.

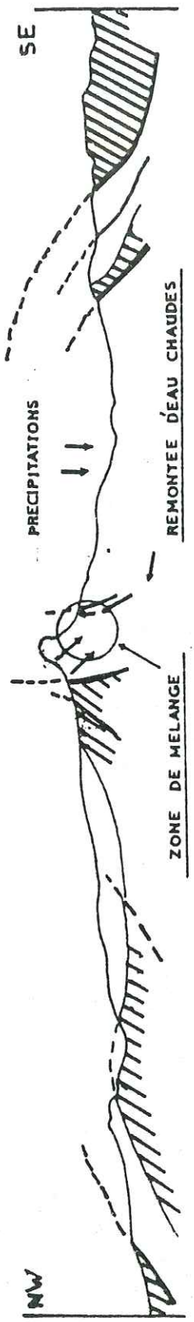
V- TECTONIQUE.

La tectonique de la région est très complexe et plusieurs études ont été effectuées (MATTAUER ... etc.) pour une meilleure compréhension des différents phénomènes tectoniques.



COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE DU MASSIF CULMINANT DE L'OUARSENIS ET DES REGIONS AVOISINANTES

(D'après MATTAUER 1958)



MODELE DE CIRCULATION DES EAUX THERMALES DE HAMMAM SIDI SLIMANE

Fig(IV.6.4)

La source est située au coeur d'un vaste anticlinal constitué essentiellement de séries crétacées. Ces dernières reposent au Nord en contact anormal sur des formations carbonatées d'âge jurassique et néocomien. Les bancs calcaires sont très redressés au niveau du Grand Pic de Sra Sid Abdelkader. Au Sud, ce même anticlinal est une seconde fois limité par un contact anormal.

L'analyse de la carte des linéaments montre l'intersection, à proximité de la source, de deux importants linéaments matérialisant probablement deux importantes fractures ayant des directions respectives NNE - SSW et NNW - SSE.

Sur les lieux nous avons pu constater le passage d'un important accident orienté NNE - SSW jalonné par les différents griffons de la source. A l'Est de cet accident, des niveaux calcaires bleutés très diaclasés apparaissent. Cette fracture est empruntée par une petite rivière s'écoulant vers le Nord en direction de Oued El Fodda.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux de Hammam Sidi Slimane est relativement élevée. Une très faible variation a pu être enregistrée au cours du temps. La température est égale à 40°C classant ces eaux dans le groupe mésothermal.

b: pH.

Le pH est caractérisé par une très forte variation dans le temps. Les eaux sont acides en période de crue et basiques en période d'étiage.

c: Conductivité.

La conductivité mesurée à 20°C est égale à 5400 µmho/cm traduisant une minéralisation faible à moyenne. Une dilution relativement importante (3.9%) a été enregistrée. Elle est liée probablement à des mélanges avec des eaux plus chargées.

d: Résidu sec.

Le résidu sec des eaux est relativement faible. Il est égal à 2122 mg/l confirmant la faible conductivité des eaux.

e: Radioactivité:

La quantité d'émanation de radon est égale à 0.2 nanocurie/l. Cette teneur traduit la présence de minéraux radiogéniques à faible profondeur ou une remontée des eaux très rapide.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les chlorures sont fortement prédominants sur les sulfates et les bicarbonates. Les écarts des teneurs sont considérables. Les trois éléments affichent une très faible variation dans le temps, se traduisant par une augmentation des teneurs en chlorures et une diminution de celles des sulfates et des bicarbonates.

Cations.

Les teneurs en alcalino-terreux sont plus faibles que celles des alcalins. Le sodium est, comme le chlore très, fortement prédominant sur les différents autres éléments. Ces derniers enregistrent une très faible augmentation à l'exception du calcium qui est

relativement stable.

- **Rapports caractéristiques.**

N° de la campagne:	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.13	0.31	2.93	0.36	9.30
3	-0.09	0.32	3.04	0.32	9.33

Tableau (IV.6.1)

- **Indice d'échange de bases.**

L'indice d'échange de bases est très faible et variable dans le temps. Il varie entre -0,06 et 0,09 traduisant une inversion d'échange d'éléments alcalino-terreux par le sodium de la roche.

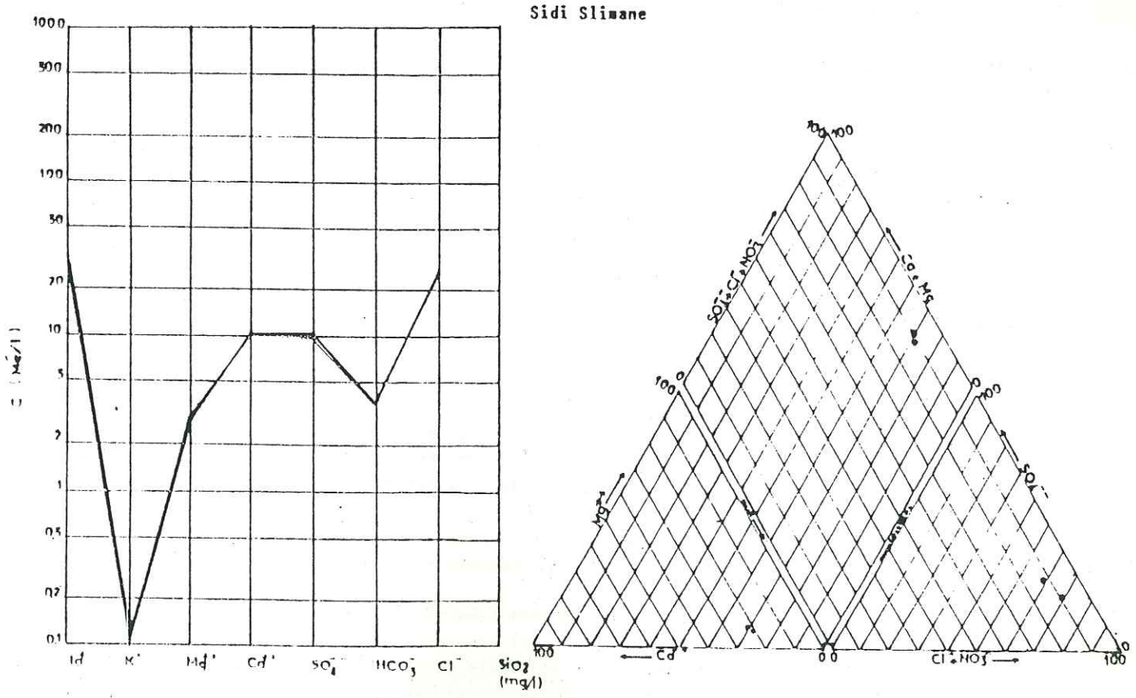
- **Formule caractéristique.**

Les eaux ont une formule caractéristique du type:

rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK

- **Faciès chimique.**

Le faciès chimique des eaux est du type **chloruré sodique** fort et faiblement **sulfaté calcique.**



Fig(IV.6.5)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

B: Eléments mineurs.

Les teneurs en strontium et en chrome sont relativement élevées, respectivement égales à 1mg/l et 2.5 mg/l. Ils proviennent probablement des formations sédimentaires en particulier des séries jurassiques et triasiques. Nous pensons également que la forte teneur en chrome est liée à la présence de minéraux chromifère abondants dans la région.

Le fluor est plus faiblement concentré et est probablement d'origine très peu profonde. Sa teneur varie autour de 0.75 mg/l.

Le reste des éléments dosés, en particulier le fer, le zinc, le bore, le lithium et l'iode sont très peu concentrés dans les eaux. Leurs teneurs sont inférieures à 0.2 mg/l. L'origine de ces éléments est probablement superficielle.

VII- GEOTHERMOMETRIE.

Température °C :	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	%
	54	69	16	105	137	148	23	-	-

Tableau (IV.6.2)

Les températures estimées par les géothermomètres T(3) et T(7) sont très faibles non représentatives. En revanche, les températures T(5) et T(6) sont très rapprochées variant entre 137 °C et 148°C. Ces deux valeurs sont plus élevées que les précédentes. La température T(4) est relativement plus faible. L'écart avec les températures précédentes peut être estimé à environ 30°C. Les températures T(1) et T(2) peuvent être prises en considération,en particulier pour la détermination de la profondeur du dernier équilibre. Les eaux ont circuit du type 2 et les chlorures n'ont pas influencé les teneurs en silice. Cependant nous pensons que la température de 140°C peut être prise en considération avec un maximum de précaution.

IX- CONCLUSION.

La remontée des eaux de Hammam Sidi Slimane est facilitée par l'important contact anormal orienté N - S séparant les formations néocomiennes calcareuses très redressées et les autres formations Crétacées (voir géol).

Nous pensons que les eaux de Hammam Sidi Slimane, après leur infiltration, circulent dans les formations calcaires (Ca/Mg=1.32) jurassiques et néocomiennes. Au cours de leur trajet souterrain, elles transitent par des formations très chargées en sel et en gypse probablement triasique (Sr/Rb=410) acquérant le chimisme final c'est à dire chloruré sodique. L'estimation de la température a donné une profondeur de circulation des eaux supérieure 3000 m pour un gradient géothermique moyen de 36 m. Cependant nous pensons que l'énergie nécessaire au réchauffement des eaux provient également de l'importante activité séismique caractérisant la région, ainsi que de réactions exothermiques.

Les variations de teneurs des différents éléments, ainsi que des paramètres physico-chimiques sont liées aux différents mélanges qui peuvent avoir lieu au cours de la remontée des eaux. Pour conclure nous avons proposé un modèle de circulation des eaux dans la figure n° (IV.6. 4).

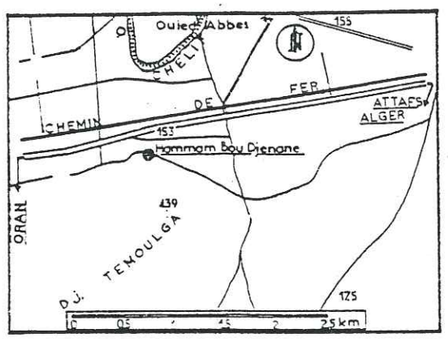
IV.6.2-HAMMAM BOUDJENANE ou (BOUTRIG) N°20

I- INTRODUCTION

Cette source thermale était l'une des plus importantes de la région. Les différents documents consultés datent de l'époque française et l'absence totale de vestiges plus anciens ne nous a pas permis d'avoir une idée plus exacte de l'époque d'utilisation de ces eaux.

L'étude que nous avons entamée est venue après le tarissement de cette importante source causé par le séisme du 10 / 10 / 1980. Cependant les mesures et l'échantillonnage ont été effectués dans un puits thermal situé à quelques mètres de l'ancienne émergence. Les eaux sont actuellement utilisées pour les besoins d'une carrière située au pied du massif de Tamoulga

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.



Le point d'eau se trouve à quelques centaines de mètres à vol d'oiseau au Sud-Ouest du village des Attafs , à environ 300 m à droite de la nationale N° 34 reliant Alger à Cheliff (ex El Asnam). Un chemin carossable mène de la route nationale jusqu'au puits. Il est situé dans le bassin du moyen Cheliff au pied du massif du Djebel Tamoulga entre les wilayas d'Ain Defla à l'Est et Cheliff à l'Ouest (Voir fig. (IV.6.). L'altitude moyenne des lieux est égale à 155 m.

Fig(IV.6.6)- Situation géographique de la source.

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Le puits thermal de Boudjenane se trouve dans le moyen Cheliff au pied du massif calcaire d'âge liasique de Djebel Tamoulga(voir fig (IV.5.2). Ces calcaires jaunâtres sont recouverts vers le Nord par les formations sableuses et alluvionnaires de la plaine du Cheliff d'âge quaternaire. Une très faible masse, constituée essentiellement d'eboulis de pente, tapisse le pied du massif calcaire et de laquelle les eaux sourdent.

Au Sud et au Sud-Est, les calcaires liasiques sont recouverts par des argiles et les grès médjaniens d'une part et par les argiles helvétiennes d'autre part.

IV- HYDROGEOLOGIE.

Deux domaines peuvent être distingués hydrogéologiquement.
- La plaine du Cheliff au Nord - le massif calcaire du Doui au Sud.

La vaste plaine du cheliff, en forme de synclinal, est connue pour son potentiel hydrique très important. Plusieurs nappes aquifères se superposent au sein de cette plaine :

- Le remplissage quaternaire est le plus important niveau de la plaine.
- Le Mio-Pliocène est le second niveau aquifère important de la plaine.

- Les calcaires liasiques du Djebel Tamoulga constituent, en dépit de leur faible réserve, un niveau aquifère non négligeable. Ils peuvent en effet avoir un lien direct avec l'ancienne

source thermale ainsi que le puits qui est actuellement utilisé.

V- TECTONIQUE.

L'examen de la carte interprétative, déterminée par photosatellite,ne montre aucun linéament dans la région de la source. De même, sur la carte de J.DEVAUX(1969), le secteur n'est affecté par aucune fracture; ce n'est qu'à quelques kilomètres plus à l'Est qu'une fracture faisant quelques kilomètres de long et orientée NNW -SSE affecte les secteurs voisins.

A l'Ouest et à quelques kilomètres de la source, une seconde fracture possédant les mêmes caractéristiques affecte les formations voisines.

Localement, au niveau de la carrière, les calcaires sont très disloqués et fracturés. Les fractures sont généralement décamétriques. Il n'est cependant pas impossible que des fractures très importantes ,de direction N - S, masquées par les remplissages alluviaux affectent profondémment le secteur et qu'elles aient rejoué au cours du dernier séisme, conduisant au tarissement de la source.

VI- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

a: Température.

La température des eaux est égale à 25°C, classant ainsi les eaux dans le groupe des hypothermales. Elle est très faiblement variable dans le temps. liée aux effets saisonniers.

b: pH.

L'importante fluctuation du pH dans le temps conduit au passage des eaux d'un caractère acide en période d'étiage à un caratère basique en période de crue. L'écart est estimé à 0.23 .

c: Conductivité.

Les eaux sont très fortement chargées. Les variations enregistrées sont estimées à environ 4000 µmho/cm. Cette importante variation est liée à des mélanges avec des eaux froides.

d: Résidu sec.

Le résidu sec de ces eaux, obtenu à une température de 110°C, est très élevé (8 g/l). Les eaux sont fortement minéralisées.

VII- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les chlorures(94.75 méq/l), sont très fortement concentrés prédominants sur les sulfates(27 méq/l) et sur les bicarbonates (5.2 méq/l). Ces derniers sont relativement stables; en revanche, les chlorures et les sulfates accusent une variation relativement importante, estimée à environ 7 méq/l pour les sulfates et 30 méq/l pour les chlorures, liée à des mélanges avec des eaux différentes nappes aquifères.

Cations.

Les alcalino-terreux sont très peu concentrés dans les eaux; en particulier le magnésium. Les teneurs en sodium sont considérables variant dans le même sens que les chlorures. Ils prédominent très fortement sur les autres cations. Ces derniers ont montré une importante variation pendant la seconde campagne, qui s'est traduite par une baisse pour le

sodium, le magnésium et le potassium et inversement une hausse pour le calcium. Ces différentes variations enregistrées sont à lier directement aux mélanges éventuels avec des eaux froides superficielles ayant circulé longuement au contact de niveaux carbonatés.

- Rapports carctéristiques.

N° de la campagne:	I.E.B	Mg/Ca	Na/Ca	SO4/Cl	Na/Mg
2	-0.05	0.20	3.58	0.28	17.72
3	-0.12	0.21	3.56	0.33	16.48

Tableau (IV.6.3)

-Indice d'échange de bases.

L'i.e.b est très faible variant entre -0.05 et - 0.12 indiquant une substitution des alcalino-terreux de l'eau par le sodium provenant des argiles des formations traversées probablement helvétiennes.

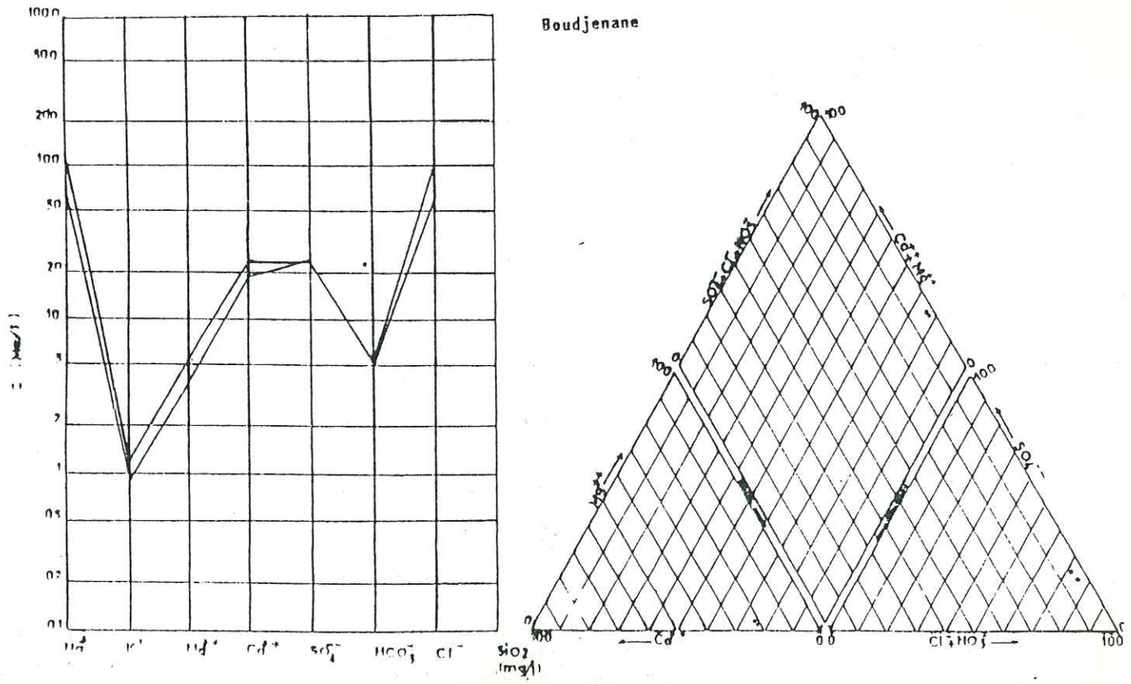
- Formule caractéristique.

La formule caractéristique des eaux de Boudjenane est:

rCl > rSO4 > rHCO3 et rNa > rCa > rMg > rK

- Faciès chimique.

Les eaux sont **chlorurées sodiques** fortes et **sulfatées calciques** faibles.



Fig(IV.6.7)-Représentation graphique sur diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF et Piper.

B: Eléments mineurs.

Les concentrations des différents éléments mineurs dans l'eau sont très fortement hétérogènes. Elles sont très élevées pour la silice (25 mg/l) et pour le strontium (11.3 mg/l). Ce dernier provient des niveaux soit évaporitiques soit et en de faibles quantités des carbonates probablement des calcaires du Lias (Ca/Sr= 63.7). Le fluor et le brome ont des teneurs relativement moyennes. Le fluor traduit une température relativement élevée; cependant le brome est souvent emprunté aux gités salins du Trias (Cl/Br= 4306).

Le reste des éléments dosés sont caractérisés par des teneurs très faibles toutes inférieures à 1 mg/l, probablement d'origine superficielle.

VIII- GEOTHERMOMETRIE.

L'estimation de la température a été effectuée à l'aide de sept géothermomètres. Les résultats sont résumés dans le tableau (IV.6.4).

Température °C:	T(1)	T(2)	T(3)	T(4)	T(5)	T(6)	T(7)
	60	76	75	123	115	193	93

Tableau (IV. 6.4)

Les températures T(1), T(2) et T(3) sont faibles et très rapprochées. La profondeur du dernier équilibre est estimée à environ 1500 m pour un gradient géothermique moyen de 36 m. Cependant les températures T(4), T(5) et T(7) sont légèrement supérieures et sont également très rapprochées. Les température T(3), T(4), T(5), T(6) et T(7) sont toutes influencées par la présence d'évaporites et ne peuvent être prises en considération. Les chlorures des évaporites se mettent en solution au cours de la remontée ce qui influence peu ou pas du tout la teneur en silice. Pour cela nous considérons que les températures T(1) et T(2) représentent la température minimale du réservoir thermal. Cependant nous pensons que la température de 120°C serait acceptable et représentative du réservoir.

X- CONCLUSION.

La remontée des eaux chaudes de Hammam Boudjenane s'effectuait le long d'une fracture importante orientée NW - SE ayant rejoué au cours du séisme du 10 / 10 / 1980 conduisant au tarissement de la source. Les mesures de température effectuées dans un puits, proche de l'ancien emplacement de la source, ont donné de faibles valeurs. Les variations des teneurs enregistrées sont liées à des venues d'eaux froides superficielles provenant probablement du massif calcaire de Tamoulga.

L'estimation de la température du réservoir thermal a donné des valeurs relativement moyennes. Cependant nous pensons que la valeur de 120°C est acceptable et l'énergie nécessaire provient de diverses sources en particulier l'activité séismiques très élevée dans la région et du gradient géothermique. La faible profondeur du socle laisse penser à une remontée de gaz ou de vapeur d'eau entraînant certains éléments volatils tels que le fluor.

Nous pensons d'après ces résultats que le réservoir thermal est carbonaté (Ca/Mg= (2.07) probablement, des calcaires liasiques alimenté par des eaux de surface qui se sont infiltrées au sud au niveau des affleurements ou directement des formations sus-jacentes. Ces eaux au cours de leur circulation ont lessivé des formations évaporitiques triasiques (Sr/Rb= 45.1) fortement salifères et ont acquis leur thermalité par l'action du flux de chaleur résultant de l'activité séismique et du gradient géothermique.

IV.6.3-HAMMAM SID EL HADJ N° 28

I- INTRODUCTION.

La source est connue depuis probablement la période française. Toutes les cartes topographiques de la région la mentionnent. Le débit est relativement faible; cependant une légère odeur sulfureuse est sensible à quelques mètres du griffon. Les dépôts sont totalement absents. Les eaux se deversent dans Oued Tiguiguest, un des principaux affluents de Oued Rhiou.

II- SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La source thermale, connue sous le nom de Hammam Sid el Hadj, se trouve à environ 1.5 km au Sud- Ouest du village de Sid El Hosni. Ce dernier est situé à quelques centaines de mètres à l'Ouest de la route nationale n° 14, reliant la ville de Tiaret, située à environ 18 km plus au Sud, et Tissemsilt au Nord. Voir fig (IV.6.1)

III- SITUATION GEOLOGIQUE.

Le secteur de la source est constitué par des formations d'âge miocène au Sud et au Nord ayant la même constitution lithologique.

A l'Ouest de la source, un important affleurement d'âge Jurassique supérieur apparaît, constitué de calcaires marneux violacés.

Vers le Sud et le Sud-Est, la couverture est essentiellement d'âge Plio quaternaire.

IV- PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les mesures effectuées ont donné une température relativement stable de l'ordre de 20°C . Les eaux sont faiblement hypothermales et faiblement basiques (pH>7). La conductivité est relativement faible (2800 µmho/cm). Cette dernière enregistre une hausse d'une centaine de µmho/cm au cours de la seconde campagne qui se traduit par un faible résidu sec (2g/l). Ces différents paramètres accusent dans leur totalité des variations dans le temps, liées à des mélanges avec des eaux froides donnant un taux de dilution de 3.4%.

V- PROPRIETES CHIMIQUES.

A: Eléments majeurs.

Anions.

Les chlorures sont caractérisés par les plus fortes teneurs et sont prédominants sur les bicarbonates et sur les sulfates. Une légère variation des teneurs a été enregistrée au cours de la seconde campagne liée aux même phénomène précédent.

Cations.

Le sodium est souvent lié aux chlorures. Les fortes teneurs obtenues lui attribuent une supériorité sur le reste des cations dosés. Les alcalino-terreux sont relativement faiblement concentrés dans les eaux, ayant des teneurs qui n'excèdent pas les 3 méq/l. Le potassium est très faiblement concentré.

- Rapports caractéristiques.

Les rapports Mg/Ca et SO4/Cl sont relativement faibles et respectivement égaux à

1.1 et 0.2 traduisant une supériorité du magnésium sur le calcium et des chlorures sur les sulfates. En revanche; les rapports du sodium sur les alcalino-terreux sont très élevés variant autour de 10, traduisant un contact avec des évaporites.

- Indice d'échange de bases.

Les eaux au cours de leur trajet souterrain subissent un échange d'éléments avec d'autres provenant des argiles. L'i.e.b des eaux est relativement stable et faiblement négatif,indiquant la substitution des alcalino-terreux de l'eau par le sodium des argiles. Le temps de contact est relativement court.

- Formule caractéristique.

Les eaux de Hammam Sid el Hadj ont pour formule caractéristique:

rCl > rHCO3 > rSO4 et rNa > rMg > rCa > rK

- Faciès chimique.

Les eaux de cette source sont classées dans le groupe des eaux **hyperchlorurées sodiques.**

B: Eléments mineurs.

La concentration en silice totale est la plus forte. Elle est légèrement supérieure à 7 mg/l traduisant une faible profondeur du dernier équilibre et une faible température des eaux. Ces dernières peuvent être considérées comme froides ayant mémorisé la température extérieure.

Le strontium et le brome sont présents avec des teneurs moyennes variant entre 3.7 mg/l et 2.5 mg/l. Le rapport Cl/Br est égal à 630 traduisant un lessivage d'évaporites (eau de mer Cl/Br= 650).

Le bore et le fluor sont relativement plus concentrés que le chrome, le fer, le lithium et le rubidium. Les teneurs moyennes de ces éléments varient autour de 0.5 mg/l. Le reste des autres éléments ont des concentrations plus faibles variant autour de 0.3 mg/l.

VI- CONCLUSION.

Nous pensons après examen des différents résultats que les eaux proviennent des grès miocènes à ciment carbonaté. Les eaux au cours de leur trajet ont transité par une formation évaporitique fortement salifère, .Sr/Rb très élevé, donnant un faciès hyperchlorurés sodique aux eaux. La profondeur du réservoir est faible(teneur en fluor et en silice relativement faibles) permettant une infiltration des eaux de surface qui s'accompagne toujours par une variation relativement faible des teneurs des différents éléments. Les échanges d'élément au cours du trajet sont faibles indiquant un faible contact avec des formations argileuses.

CONCLUSION.

La région de Chéliff et de l'Ouarsenis comporte de nombreuses sources dont trois ont été jugées importantes et ont bénéficié d'une analyse. Les sources de Boudjenbane, Sid Slimane et Sid El Hadj sont respectivement mésothermales et hypothermales. Les autres sources non étudiées sont toutes froides n'ayant aucune particularité pouvant les inclure dans le groupe des eaux thermominérales. Cependant certaines ont des eaux potables favorables à la consom.

Les eaux thermales étudiées affichent toutes des faciès chlorurés sodiques et des rapports indiquant une origine évaporitique de la minéralisation. Les évaporites du Trias sont la principale source de minéralisation qui a été acquise au cours de la remontée suivant un modèle du type 2. Cette minéralisation est secondaire masquant la minéralisation originelle des eaux dans les réservoirs respectifs qui sont généralement soit carbonatés soit gréseux à ciment carbonaté.

La faible influence des chlorures sur la silice fait que c'est la seule valeur de la température qui a été prise en considération et représente les conditions régnant autour ou dans le réservoir. L'énergie nécessaire pour le réchauffement des eaux est surtout liée à la forte activité séismique de la région. Les affrontements des plaques et les fortes compressions sont les principales sources d'énergie de la région. La remontée des eaux se fait généralement soit sur des fractures NE - SW soit sur leurs conjuguées, et le tarissement de la source de Boudjenane est à lier au second type de fractures qui a rejoué après le séisme du 10.10.1980.

ETUDE COMPARATIVE.

ETUDE COMPARATIVE.

V.I-INTRODUCTION.

L'étude,entamée au cours de ce chapitre,vise trois objectifs principaux qui sont:
-L'analyse globale et détaillée des données chimiques de toutes nos sources.
-Une analyse statistique des données chimiques.
-Une comparaison de nos émergences avec d'autres situées hors de l'Algerie.

Ces trois grandes étapes permettent ainsi de confirmer dans la mesure du possible l'existence de relations entre les différentes sources de notre secteur et dans un second temps avec les sources étrangères grâce aux similitudes chimiques.Ceci permettra par la suite de comparer les réservoirs des différentes sources .

L'analyse statistique,en particulier l'analyse en composante principale normée, permet la détection des similitudes entre les différentes sources de notre secteur.

La comparaison se fait aussi avec des émergences étrangères très bien analysées et qui ont subi de multiples surveillances au cours des temps.

L'analyse de nos émergences est basée sur les données de notre première campagne effectuée en novembre 84.Cette campagne a été choisie pour le nombre important de sources ayant fait l'objet de prélèvements.

V.2- Analyse des paramètres physico-chimiques.

V.2.1: La conductivité.

La mesure de la conductivité est une méthode rapide servant à évaluer grossièrement la teneur totale en éléments minéraux dissous dans l'eau. Elle augmente avec la concentration en matière minérale dans la solution. L 'importante variation de ce paramètre, enregistré au cours de nos campagnes, a permis la subdivision de son intervalle en cinq grandes classes qui sont:

Classe 1: La conductivité est faible caractérisant les eaux potables. Elle est inférieure à 1500 µmho/ cm.

Classe 2: La conductivité varie entre 1500 et 5000 µmho/cm.

Classe 3: La conductivité varie entre 5000 et 9000 µmho/cm.

Classe 4: La conductivité est comprise entre 9000 et 15000 µmho/cm.

Classe 5: La conductivité est supérieure à 15000 µmho/cm.

L'application de cette méthode aux sources thermales du centre algérien a donné les résultats suivants:

La classe N°1, caractérisée par des eaux ayant des conductivités inférieures à 1500 µmho/cm,renferme près de 20% des émergences, toutes issues de formations carbonatées et ayant des faciès du type bicarbonaté calcique ou sodique.

La seconde classe regroupe au total 33% des sources dont dix ont un faciès chloruré ou sulfaté résultant du lessivage de formations évaporitiques. Les autres émergences, qui sont au nombre de trois, ont un faciès bicarbonaté calcique ou sodique.

La classe N°3 renferme cinq émergences, représentant au total 13%, ayant toute un faciès sulfaté calcique ou sodique.

La classe N°4 regroupe trois émergences possédant un faciès chloruré sodique caractéristique des eaux issues de formations évaporitiques.

La classe N°5 renferme les eaux les plus chaudes et les plus minéralisées ayant été

- CONDUCTIVITE -

- CLASSE 1.		
- Hm KIRIA		- AIN EL HAMMAM
- Hm OULED CHNEF		- Fge AIDAT
- AIN EL DJERABAA		- AIN SOLTANE
- Fge EL IDRISSIA (2)		- Hm SOUAGUI
- CLASSE 2		
- Hm BERROUAGHIA		- Fge MOUZAIA
- Hm DELAA		- Fge OUED EL ALLEUG
- Hm CHAREF		- Hm SID EL HADJ
- Hm TELLAT		- AIN TINZERT
- Hm MANSOURAH		- Hm CHBEIKA
- Hm KSOB		- EL BIR EL MENTEN
- EL HAMEDH		
- CLASSE 3		-
- Hm RIGHA		- Hm SIDI SLIMANE
- Hm SILLAL		- Hm SID EL HABCHI
- Hm SERGUINE		-
- CLASSE 4		
- HASSI BAHBAH		- AIN MOUILHA
- Hm BOUTRIG		
- CLASSE 5		
- Hm KSENNA		- Hm SIDI YAHIA
- Hm BIBANS		- Hm MELOUANE
- Hm IBAINEM		- AIN TIHAMMAMINE

Tab(V.1)- Classification des sources suivant leurs conductivités.

en contact plus ou moins prolongé avec des formations évaporitiques triasiques leur conférant un faciès chloruré sodique. Les résultats sont résumés dans le tableau (V.1)

V.2.2: Le pH.

Pour compléter l'analyse des données physico-chimiques, nous avons procédé à la classification de nos émergences suivant le pH de leurs eaux. Ces dernières se sont regroupées en deux grands groupes:

On distingue ainsi:

Le groupe des eaux acides ayant un pH < 7 regroupant au total 24 points d'eau représentant 66.6 %. La totalité des émergences hyperthermales ainsi qu'une grande majorité des sources mésothermales ont des eaux acides et caractérisées par des dégagement gazeux du type H2S,CO2....etc qui sont souvent accompagnés par des dépôts en surface. La source de Hammam El Kéria est la seule qui fait exception à la règle,ayant des eaux très peu minéralisées caractéristiques des eaux provenant des formations cristallines et ayant un pH basique.

Parmi les sources hypothermales,sept ont des eaux légèrement acides ayant toutes un faciès bicarbonaté. Les dégagement gazeux sont là encore très importants se manifestant en surface par des bulles accompagnées parfois par une odeur d'H2S.

Nous avons enregistré également trois sources froides ayant un pH < 7. Elles sont toutes carbogazeuses carctérisées par des dégagement important de CO2 pouvant parfois dépasser les 2g/l.

Groupe des eaux basiques.

La totalité des eaux basiques sont très peu minéralisées ayant de faibles conductivités. Elles représentent au total 33% des émergences dont une seule appartient au groupe des sources mésothermales.

Les sources hypothermales sont six au total ayant toutes des eaux légèrement basiques et issues de formations carbonatées ou gréseuses. De la même manière les sources froides sont toutes faiblement basiques à l'exception des sources carbogazeuses. Les dépôts ainsi que les gaz sont très faibles voire absents. Les résultats sont résumés dans le tableau (V.2)

Eaux à pH acide.					
AIDAT	RIGHA	SILLAL	SERGUINE	SIDI SLIMANE	SID EL HABCHI
HASSI BAHBAH	BOUTRIG	BERROUAGHIA	DELAA	CHAREF	AIN EL GARCA
TELLAT	EL HAMEDH	MOUZAIA	OUED EL ALLEUG	CHBEIKA	KSENNA BIBANS
IBAINEM	SIDI YAHIA	MELOUANE	AIN TIHAMMAMINE	AIN MESSALA	
Eaux à pH basique.					
EL KERIA	OULED CHNEF	SOUAGUI	MANSOURAH	KSOB	AIN TINZERT
EL BIR EL MENTEN	AIN MOUILHA	BOGHAR	AIN SOLTANE	AIN EL HAMMAM	SID EL HADJ
AIN EL DJERABAA					

Tab(V.2)- Classification des sources suivant leurs pH.

V.3 - CLASSIFICATION A PARTIR DES DONNEES CHIMIQUES.

L'essentiel de l'hydrochimie des sources thermominérales de notre secteur repose sur les représentations graphiques ainsi que les formules caractéristiques pour les éléments majeurs et les rapports caractérisitques. Pour la comparaison et l'analyse de l'ensemble des

émergences nous avons utilisée les diagrammes de **SCHOLLER-BERKALOFF**, de **PIPER** et les formules caratéristiques. Nous distinguons ainsi trois groupes caractérisés chacun par la prédominance d'un anion et d'un ou dans certains cas deux cations:

GROUPE 1: Eaux chlorurées sodiques et potassiques.

L'ensemble des sources appartenant à ce groupe se distingue des autres par la prédominance des chlorures sur les autres anions et du sodium sur les cations. Ce type d'association est caractéristique des eaux ayant circulé dans des évaporites très chargées en sel (halite). Ce faciès est typique des formations évaporitiques du Trias dans notre secteur avec cependant quelques exceptions comme les eaux de Hammam Mélouane dont le NaCl provient des niveaux **messiniens.**Le Trias constitue dans toute l'Algérie du nord la semelle des nappes ou des chevauchements.

Cette famille regroupe au total 21 sources parmi lesquelles 10 sont hyperchlorurées sodiques ayant des teneurs en Na et Cl variant entre 50 et 500 méq/l (voir figure I.2). Ces fortes teneurs sont le résultat d'un long contact avec les évaporites à des conditions de température et de pression favorisant la mise en solution d'une forte quantité de NaCl. Ce dernier ainsi que CaSO4 est plus facilement mis en solution ce qui explique les fortes teneurs. Ceci se traduit généralement par une forte minéralisation des eaux, appartenant aux groupes 4 ou 5 des conductivités. Les échanges cationiques avec les permutolites sont considérablement réduits en raison de la saturation des eaux au contact de ces formations.

GROUPE 2: Eaux sulfatées calciques et sodiques et chlorurées calciques.

Dans ce groupe toutes les sources ont des eaux caractérisées par une prédominance des sulfates et du calcium sur les autres ions de leurs familles respectives. Cependant la présence systématique des chlorures dans les formations évaporitiques accompagnant le gypse fait que les eaux acquièrent ce faciès au cours de leur circulation. Cette association est le résultat d'une mise en solution de gypse et de halite provenant dans la plupart des cas des évaporites du Trias. Cependant la présence de niveaux évaporitiques tertiaires en particulier au Sud donne des eaux très sulfatées et très faiblement chlorurées. Les chlorures proviennent alors essentiellement des eaux météoriques.

Les sulfates sont parfois associés au sodium donnant un faciès sulfaté sodique. Cette association s'explique par les effet d'échange de bases résultant généralement d'un contact plus ou moins prolongé avec les permutolites qui sont généralement des argiles très abondantes dans les formations triasiques.

Au total 12 sources se classent sous ce faciès dont deux sont hypersulfatées calciques. Les différentes eaux de ce groupe présentent des conductivités moyennes appartenant au second ou au troisième groupe des conductivités.

GROUPE 3: Eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes et sodiques.

Les teneurs de différents éléments sont moyennes à faibles. Les bicarbonates et le calcium sont prédominants sur le reste des ions. Cependant le contact avec des niveaux argileux formant souvent le substratum imperméable, conduit à la libération de fortes quantité de sodium aboutissant à un faciès bicarbonaté sodique. Les eaux de ces sources sont très peu minéralisées et très peu conductrices ayant un caractère souvent basique.

V.4- Classification à partir de l'indice d'échange de bases.

La circulation des eaux en profondeur et leur contact avec des permutolites, en général des argiles ou des marnes conduit souvent à des échanges cationiques aboutissant parfois à un changement total de la minéralisation originelle de l'eau acquise dans le réservoir. Les échanges s'effectuent généralement entre les alcalino-terreux et les alcalins aboutissant souvent à des compositions chimiques non conformes aux données géologiques. Nous

distinguons ainsi les groupes suivants:

GROUPE1: Eaux chlorurées calciques.

La source de Sidi Yahia est la seule appartenant à ce groupe ayant un faciès chimique résultant d'une substitution du sodium par le calcium provenant des calcaires liasiques constituant le réservoir thermal.

GROUPE2 : Eaux sulfatées sodiques.

La substitution du calcium, suite à un contact plus ou moins prolongé avec les permutolites, conduit à ce faciès. Au total neuf sources ont des faciès chimiques de ce type que nous avons subdivisées en deux: Les sources ayant des eaux sulfatées sodiques et bicarbonatées calciques qui sont au nombre de cinq situées dans leur totalité au Nord dans le domaine tellien. Elles ont des réservoirs carbonatés du type calcaires ou calcaires dolomitiques ou parfois même gréseux à ciment carbonatés lesquelles sont soit en contact d'évaporites ou sont très peu profondes recevant leurs sulfates

A l'exception de Hammam Sid El Habchi, les sources ayant ce faciès sont toutes situées dans les domaines Préatalsique ou Atlasique caractérisés par la forte abondance de niveaux évaporitiques souvent gypseux . L'abondance de niveaux argileux et le contact plus ou moins prolongé se traduit par des échanges cationiques et l'apparition de ce faciès.

GROUPE3 - Eaux bicarbonatées sodiques.

Le même phénomène d'échange de bases conduit à l'apparition de cette association des bicarbonates avec le sodium. Les permutolites constituent dans ces conditions souvent des substratums imperméables des réservoirs carbonatés ou parfois gréseux ayant un ciment carbonaté. Les sources ayant ce faciès sont en grande majorité situées dans le domaine tellien. Les eaux sont mésothermales, hypothermales ou froides. Ce même phénomène a été constaté pour les eaux d'origine superficielle dans la plaine de la Mitidja.

V.5- Interprétation de la répartition des éléments majeurs.

Les différentes représentations graphiques ont montré l'existence de plusieurs associations d'éléments donnant des faciès chimiques caractéristiques de certaines formations géologiques. L'examen des résultats chimiques des différentes campagnes montre que près de 60% des émergences sont d'origine évaporitiques et 30% ont des associations d'éléments dont l'origine est indépendante des formations précédentes ayant un faciès du type bicarbonaté calcique ou sodique. Ces dernières ont généralement gardé leur minéralisation originelle à l'inverse des précedentes dont la minéralisation est secondaire acquise hors du réservoir. Ce phénomène a été constaté pour les sources alpines que nous avons utilisées pour les comparaisons.

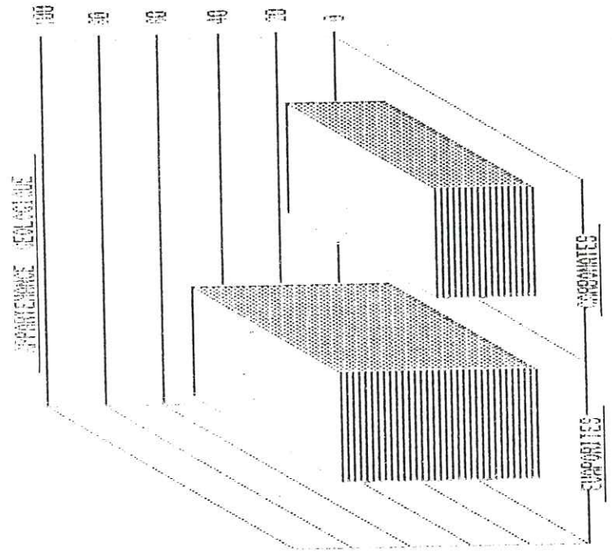
Dans le premier groupe (60%),les associations fréquentes que nous avons rencontrées sont souvent du type chlorures-sodium, sulfates-calcium ou encore sulfates-sodium. L'analyse corrélative, que nous avons effectué, a donné des coefficients très élevés pour le chlore et le sodium (0.922) traduisant que la plupart du temps ces deux éléments ont la même origine avec cependant une très faible part de sodium provient des argiles. Les sulfates sont liés aux calcium donnant un coefficient de corrélation moyen (0.6). Le gypse constitue la source commune aux deux éléments en fournissant pratiquement plus de la moitié des deux éléments. Le reste provient de divers minéraux indépendant les uns des autres et fournissant soit les sulfates soit le calcium. La faible corrélation enregistrée entre le sodium et les sulfates traduit la différnce d'origine des deux éléments. Ceci explique également la faible fréquence de cette association.

Nous avons noté, au cours de l'analyse géologique des différents secteurs thermaux,

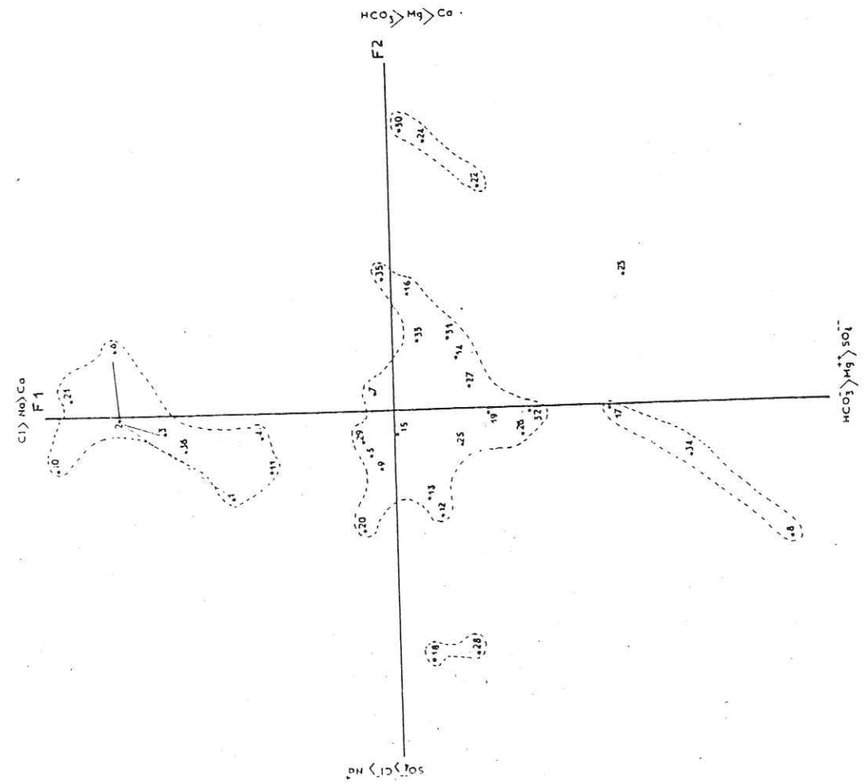
✱ GROUPE 1	Na>Ca>Mg>K	Cl>So4>HCO3
	H. KSENNA	
	H. EL BIBANS	
	H. IBAINEM	
	F. EL MESRANE	
	H. MELOUANE	
	H. SERGUINE	
	H. CHAREF	
	H. SIDI SLIMANE	
	H. BOUTRIG	
	AIN MOUILHA	
	AIN TAHAMMAMITE	
	AIN TINZERT	
	AIN TOUENSA	
	H. SILIALL	
	H. SIDI YAHIA	
⊙ GROUPE2	Ca>Na>Mg>K	HCO3>SO4>CL
	H. KIRIA	
	H. OULED CHNEF	
	H. SIDI	
	AIN EL HAMMAM	
	F. EL IDRISSIA	
	AIN EL GARCA	
▬ GROUPE3	Na>Ca>Mg>K	SO4>HCO3>CL
	AIN SID EL HADJ	
	H. EL ANNASSEURS	
	H. CHBEIKA	
	EL BIR EL MENTEN	

✕ GROUPE 4	Na>Ca>Mg>K	SO4>CL>HCO3
	H. DELAA	
	H. MANSOURAH	
	H. SID EL HABCHI	
	F. EL IDRISSIA	
▲ GROUPE5	Ca>Na>Mg>K	HCO3>C1>SO4
	AIN SOLTANE	
	EL HAMEDH	
◐ GROUPE 6	Na>Ca>Mg>K	HCO3>CL>SO4
	F. MOUZAIA	
	F. OUED EL ALLEUG	
● GROUPE 7	Na>Ca>K>Mg	HCO3>CL>SO4
	H. BERROUAGHIA	
+ GROUPE .	Ca>Na>Mg>K	SO4>CL>HCO3
	H. RIGHA	
. GROUPE	Ca>Mg>Na>K	SO4>HCO3>CL
	H. TELLAT	
GROUPE	Ca>Na>Mg>K	SO4>HCO3>CL
	H. KSOB	
△ GROUPE	Na>Ca>Mg>K	HCO3>SO4>CL
	F. AIDAT	
	H. SOUAGUI	

Tab(V.3)- Classification des sources suivant leurs i.e.b.



Fig(V.2)- Répartition des sources suivant leurs origines géologiques



Fig(V.1)- Représentation des sources analysées dans le plan F1.F2

que le Trias est souvent gypeux, argileux, dolomitique et anhydritique et n'est que rarement gypsosalin. Cette constatation a été faite dans les régions alpines et l'application des hypothèses faites dans ces régions pour notre secteur nous paraît évidente en raison des grandes similitudes géostructurales. Ces différentes hypothèses seront discutées dans la partie comparaison.

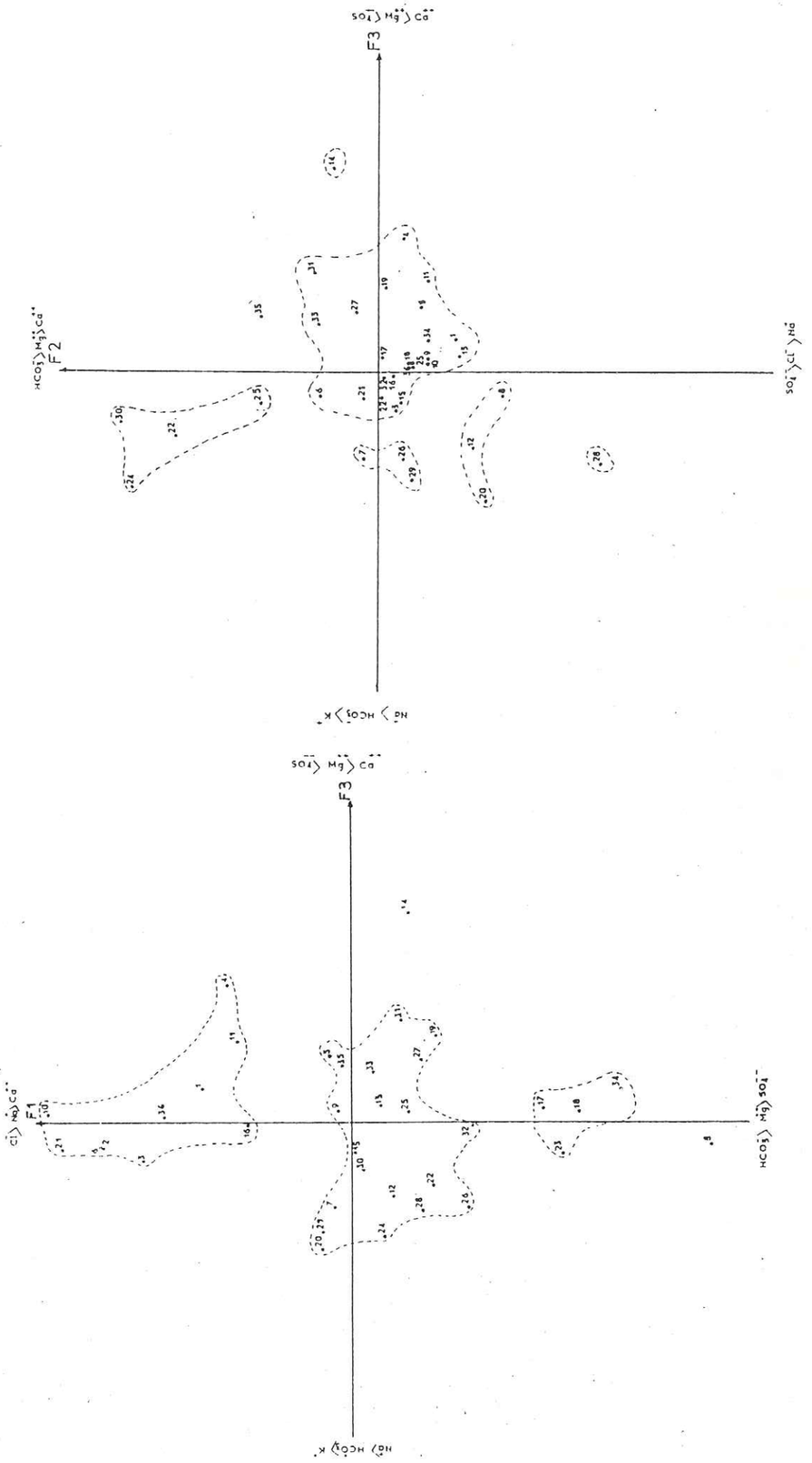
Dans le second groupe, représentant près de 30% des émergences, deux associations sont fréquentes: les eaux bicarbonatées calciques gardant leurs minéralisations primaires, c'est à dire celle qui a été acquise dans le réservoir qui est soit carbonatés du type calcaire, calcaire dolomitique ou dolomitique soit cristallin et les eaux bicarbonatées sodiques. Cette dernière composition chimique est secondaire et est le résulat d'un fort échange cationique qui se résume en une substitution des alcalino-terreux provenant du réservoir thermal par les alcalins des niveaux généralement argileux ou marneux formant souvent le substratum imperméable. L'association des bicarbonates au calcium est très faible traduisant le faible nombre de sources communes à ces deux éléments. Les carbonates constituent la seule source commune. Le calcium est souvent accompagné de magnésium. Ils proviennent soit des roches carbonatéess soit des schistes. Les fortes quantités libérées par ces deux sources ont donné un coefficient de 0.6. Cependant le magnésium n'est lié que très faiblement aux bicarbonates (0.38) indiquant un très faible nombre d'origines communes à ces deux éléments.

D'une manière générale nous pouvons constater les faits suivant:
Les chlorures, les sulfates, le calcium, le sodium et le potassium ont dans la majorité des cas une même origine qui est les évaporites généralement triasiques. Les coefficient de corrélations sont supérieurs à 0.6. Ces différents éléments en particulier les sulfates et le calcium possèdent cependant d'autres origines. Le potassium est souvent associé au calcium et au sodium (Cv=0.7) traduisant des origines presque semblables la plupart du temps. Les bicarbonates sont par contre corrélés négativement aux chlorures et aux sullfates ce qui confirme leur très forte différence d'origine.

V.6-.Analyse factorielle des sources.

L'analyse corrélative a été effectuée avec sept éléments qui ont été repris pour l'analyse factorielle. Ces derniers ont donné au total sept axes factoriels et ont expliqué plus de 82% de la variance totale du système. L'axe F1 explique à lui seul plus de 50% de la variance. Suivant cet axe les chlorures , le sodium et le calcium sont corrélés négativement aux bicarbonates , magnésium et aux sulfates. Cet axe distingue les eaux issues de formations évaporitiques fortement salifères et celles des formations carbonatées ou cristallines très peu minéralisées.

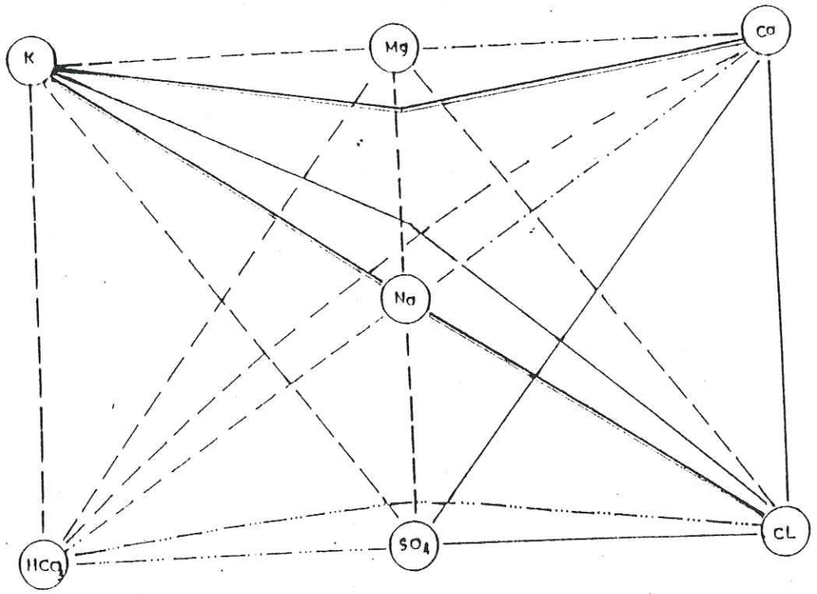
Dans le plan formé par les axes F1.F2 les différentes sources analysées se regroupent en plusieurs groupes possédant chacun ses propres caractéristiques. On distingue ainsi un pôle chloruré sodique avec les sources de Mélouane(10) et Tihammamine (21) très fortement chargées en NaCl et plus faiblement les sources des Bibans et de Kabylie possédant elles aussi un faciès chloruré sodique avec des teneurs relativement rapprochées. La source de Ksenna (1) est cependant plus sulfatée. Les sources de Serguine(11) et de Hassi Bahbah ont des faciès identiques aux précédents et très rappochés indiquant une très faible différence des formations minéralisatrices. Les formations évaporitiques sont constituées de gypse et de halite. Les sources de Fl Hamedh (30), de Mouzaia(22) et de Oued El Alleug(24) très fortement carbogazeuses s'opposent aux sources de Tinzert(28) et de Djerabaa (18) qui sont très fortement sulfatées. La source de Aidat(23) est par contre plus carbonatée, ayant gardé sa minéralisation originelle. Les eaux de Ouled Chnef(17), Idrissia2(34) et el Kéria sont relativement plus bicarbonatées que les précédentes. Cette dernière est très fortement bicarbonatée traduisant son origine cristalline. La comparaison avec des sources étudiées par SCHOELLER (1963) confirme cette origine. Le reste des sources forme un groupe ayant des teneurs variables entre les différents pôles donnant des faciès typiques aux formations



Fig(V. 4)- Représentation des sources analysées dans le plan F2.F3

Fig(V. 3)- Représentation des sources analysées dans le plan F1.F3

	Na	K	Mg	Ca	HCO3	SO4	CL	
Na	1.000	0.713	0.747	0.583	0.060	0.481	0.922	Na
K		1.000	0.799	0.708	0.168	0.456	0.683	K
Mg			1.000	0.578	0.360	0.220	0.288	Mg
Ca				1.000	0.187	0.601	0.623	Ca
HCO3					1.000	-0.241	-0.061	HCO3
SO4						1.000	0.619	SO4
CL							1.000	CL



Cc <0
0<Cc <.5
.5<Cc <.6
.6<Cc <.7
.7<Cc <1

Fig(V.5)- Corrélation des paramètres chimiques.

géologiques lessivées.

Dans le plan formé par les axes F1.F3 ,trois grands groupes se distinguent:

- Le groupe des eaux hyperchlorurées sodiques: regroupe les sources de Mélouane, Tihammamite, Sidi Yahia, Bibans, Ibainem, Boutrig, Ksenna, Serguine et Hassi Bahbah. Ces sources ont toutes des eaux ayant été en contact plus ou moins prolongé avec des formations évaporitiques fortement salifères et très peu gypseuses. Les eaux de Sidi Yahia(6) et Tihammamine sont cependant légèrement plus bicarbonatées. Les sources de Mélouane(10) et de Tihammamine(21) sont fortement minéralisées en NaCl traduisant une même origine de leurs éléments. Cet axe distingue également ces deux sources des sources de la Kabylie et des Bibans. Les sources de ce dernier secteur montrent un très grand rapprochement en particulier les sources des Bibans(2), Sidi Yahia(6) et Ibainem(3). Nous pensons que l'influence du réservoir bibanique est plus marquée pour ces sources à l'inverse de Ksenna qui est relativement moins chlorurée et plus sulfatée.

Les eaux de Serguine(11) et de Hassi Bahbah(4) ont des compositions chimiques très peu différentes. Ces deux émergences appartiennent au domaine des hauts plateaux qui est caractérisé par de faibles variations des faciès dans l'espace. La forte similitudes des faciès évaporitiques s'est traduite par un très fort rapprochement des compositions chimiques des deux eaux.

La source de Boudjenane(36) a un faciès chimique intermédaire entre les eaux de Ksenna (1) et des Bibans (2) par contre il est moins sulfatées et plus chlorurées que les eaux de Ksenna(1) et inversement avec les eaux des Bibans(2). La faible influence des évaporites et l'augmentation des teneurs en bicarbonates provenant des niveaux calcaires, distingue les eaux de Hammam El Habchi (16) des autres sources possédant le même faciès.

- Le groupe des eaux mixtes: Ce groupe renferme toutes les sources à faciès intermediaire entre les deux pôles extrêmes en l'occurrence le pôle chloruré et bicarbonaté. Suivant l'axe F1, deux sous groupes peuvent être distingués.

- Les sources de Mouilha(20), Delaa(9), Righa(5), Touensa(29), Sillal(7) et El Ain El Garça(35) sont légèrement chlorurées sodiques. L'influence des gypses est beaucoup plus marquée dans les eaux de Délaa, Righa et El Ain El Garça,en revanche, les bicarbonates et le sodium sont prédominants dans les trois dernières sources.
- Les sources de Charef(12), Sidi Slimane(13), Mansourah(15), Idrissia1)(25), Ksob(19), Sid El Hadj(26), Souagui(32), El Anasseurs(27), Tellat(14), Chbeika(31, El Bir El Menten(33), Tinzert(28) et Oued El Alleug (24) sont plus bicarbonatées que chlorurées.

Suivant l'axe F2, les sources d'El Annasseurs(27), Tellat(14), Chbeika(31), El Menten(33) sont bicarbonatées calciques et magnésiennes, cependant les échanges cationiques conduisant à une modification de la composition chimique originelle des eaux regroupe toutes les autres sources.

Le troisième groupe très fortement bicarbonaté et magnésien comprend les sources d'El Idrissia II(34) Chnef(17), Djerabaa(18), Aidat (23). Les teneurs en sulfates et en chlorures sont très peu différentes. Les eaux de Hammam El Kéria sont très fortement bicarbonatées magnésiennes et se distinguent nettement des eaux de ce même groupe. Les teneurs en sulfates et en chlorures proviennent en grande partie des eaux météoriques. Les eaux de cette émergence ont une origine cristalline.

Dans le plan formé par les axes F2.F3 nous distinguons les groupes suivants:

Les sources de Ain El Hamedh(30), Oued El Alleug(24), Mouzaia(22) et de Aidat(23) sont bicarbonatées magnèsiennes. Cependant les échanges cationiques,en particulier du calcium par le sodium, conduit à une augmentation des teneurs en ce dernier éléments pour les sources

de Oued El Alleug, Mouzaia et El Hamedh. Les eaux de Aidat ont cependant gardé leur minéralisation originelle. La source d'El Ain El Garça (35) est plus sulfatée que Aidat(23). Toutes ces sources sont très fortement carbogazeuses.

La source de Tellat(14) est indépendante, dans ce plan, des autres sources. Elle est très fortement sulfatée. Inversement les sources de Sillal(7), Sid El Hadj (26) et Touensa sont plus chlorurées que sulfatées et sont plus sodique liées à un phénomène d'échange de bases. Les bicarbonates sont dans ce cas toujours prédominants sur les autres anions. Suivant l'axe F2, la source de Tinzert (28) forme un groupe à part caractérisé par de fortes teneurs en chlorures et en sulfates avec en parallèle des échanges cationiques du calcium par du sodium. Dans le groupe formé par les sources de El Kéria (8), Charef (12) et Mouilha(20) on note une prédominance des sulfates suivant cet axe avec cependant un passage progressif d'un pôle calcique vers un pôle sodique par effet d'echange de bases.

Dans la région des Bibans et Kabylie, les sources de la flexure bibanique (Bibans et Ksenna) sont plus sulfatées et chlorurées. Les teneurs tendent à diminuer vers les sources Kabyles et deviennent plus bicarboantées au niveau des sources de Sidi Yahia (6) et Sillal (7). Les autres sources sont relativement chargées en sulfates et en chlorures provenant des formations évaporitiques. Les sources chaudes des régions Sud montrent une certaine homogéinisation des faciès chimiques traduisant par cela une nature très peu différentes des formations géologiques minéralisatrices.

V.7 Analyse des éléments mineurs (Traces).

L'origine de ces éléments est variée et ne peut être liée à une formation géologique précise. Nous avons effectué, pour approcher les sources d'origine des différents éléments traces et pour comprendre efficacement les circulations profondes et l'origine des eaux, des rapports entre éléments mineurs et également avec des éléments majeurs

Les teneurs des différents éléments sont variables d'une émergence à une autre et sont généralement faibles à l'exception du strontium qui est parfois très fortement concentré dans certains sources.

7.1 Discussion des résultats.

Strontium. Les plus fortes teneurs obtenues reviennent à cet élément. Elles varient entre 0 à 37 mg/l (Bibans) et sont en moyennes de 8 à 9 mg/l. A l'exception de Hammam Righa et Mélouane, les fortes teneurs en strontium sont celles des sources de la région Kabyle et bibanique. Ces teneurs diminuent au fur et à mesure que l'on s'eloigne de la région bibanique qui constitue un foyer géothermique de toute cette zone. De fortes teneurs ont été également observées dans les eaux des sources de la Mitidja situées toutes sur le contact de la cuvette avec l'Atlas Blidéen ou sur des fractures très profondes. L'ensemble des autres sources affichent des teneurs relativement faibles variant entre 0 et 8 mg/l. Leur origine est dans ce cas surtout évaporitique ou parfois et en de faibles quantités carbonatée.

Rubidium. Les teneurs sont moyennes à faibles. Elles varient entre 0 et 1.4 mg/l (H.Mélouane). Les plus fortes teneurs sont observées dans la région algéroise ou kabyle.

Lithium. Les teneurs sont là également faibles variant entre 0.01 et 7.11 mg/l (Bibans). A l'exception de Hammam Mélouane, les plus fortes teneurs reviennent aux sources des Bibans et de la Kabylie. Dans cette région, le même phénomène que pour le strontium a été constaté. Une diminution des teneurs s'effectue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source des Bibans.

Pour les autres régions, les eaux de Hammam Mélouane sont les plus chargées en lithium provenant probablement des évaporites ou des formations cristallines très peu profondes. L'ensemble des autres sources ont des teneurs relativement faibles traduisant une

origine peu profonde de cet élément.

Fer. Les teneurs en fer sont relativement faibles à l'exception de Hammam Mélouane(6.1 mg/l). La présence des pyrites explique la forte teneur observée pour les eaux de cette source. Les eaux des Hammam Ibainem et d'El Kéria ont des teneurs relativement moyennes. Le fer d'Ibainem provient de l'hydroxyde de fer très fortement concentré dans le réservoir thermal; en revanche, pour El Kéria, il est probablement d'origine profonde (socle).

Les eaux de Hammam Righa et de Sid El Hadj renferment les plus importantes teneurs de toutes les sources de l'Ouest et du Sud de notre secteur. L'origine du fer dans les eaux de Righa est profonde; elle n'est que superficielle pour les eaux de Sid El Hadj liée probablement à la forte présence de pyrite.

Manganèse. Les teneurs en manganèse dans les eaux sont très faibles et ne montrent aucune liai avec les autres éléments. L'origine de cet élément est dans la plupart des cas sédimentaire et peu profonde..

V.8– Rapports ioniques.

B/F. Les plus fortes valeurs ont été constatées dans les eaux des Bibans et de Kabylie. Les rapports varient entre 0.14 (Tellat) à 4.47 (Bibans). Les eaux de Hammam Mélouane affichent également un rapport élevé (3.40) traduisant probabement une origine profonde de ces deux éléments.

Br/I. Les rapports obtenus à Hammam Mélouane et Boudjenane sont supérieurs à 130. Le reste des émergences ont des valeurs toutes inférieures à 100.

K/Li. Les rapports varient entre 2.6 et 38. La valeur moyenne de ce rapport varie autour de 15.

K/Rb. A l'exception de Hammam Mélouane, les rapports sont supérieurs à 250 et 2450. Le maximum revient à Hammam Délaa (2434).

Cl/F. Les rapports varient entre 20 et 6500. Cette dernière valeur est obtenue pour les eaux de Mélouane. Les eaux de Tellat ont cependant la plus faible valeur ainsi que les eaux d'El Kéria.

Na/Li. A l'exception de Hammam El Kéria dont le rapport est faible (45), les autres sources ont des rapports variant entre 240 et 5600. Le maximum est obtenu à Hammam El Mesrane.

Sr/Rb. Les rapport varient entre 10 (Tellat et Mélouane) et 410 à Sidi Slimane.

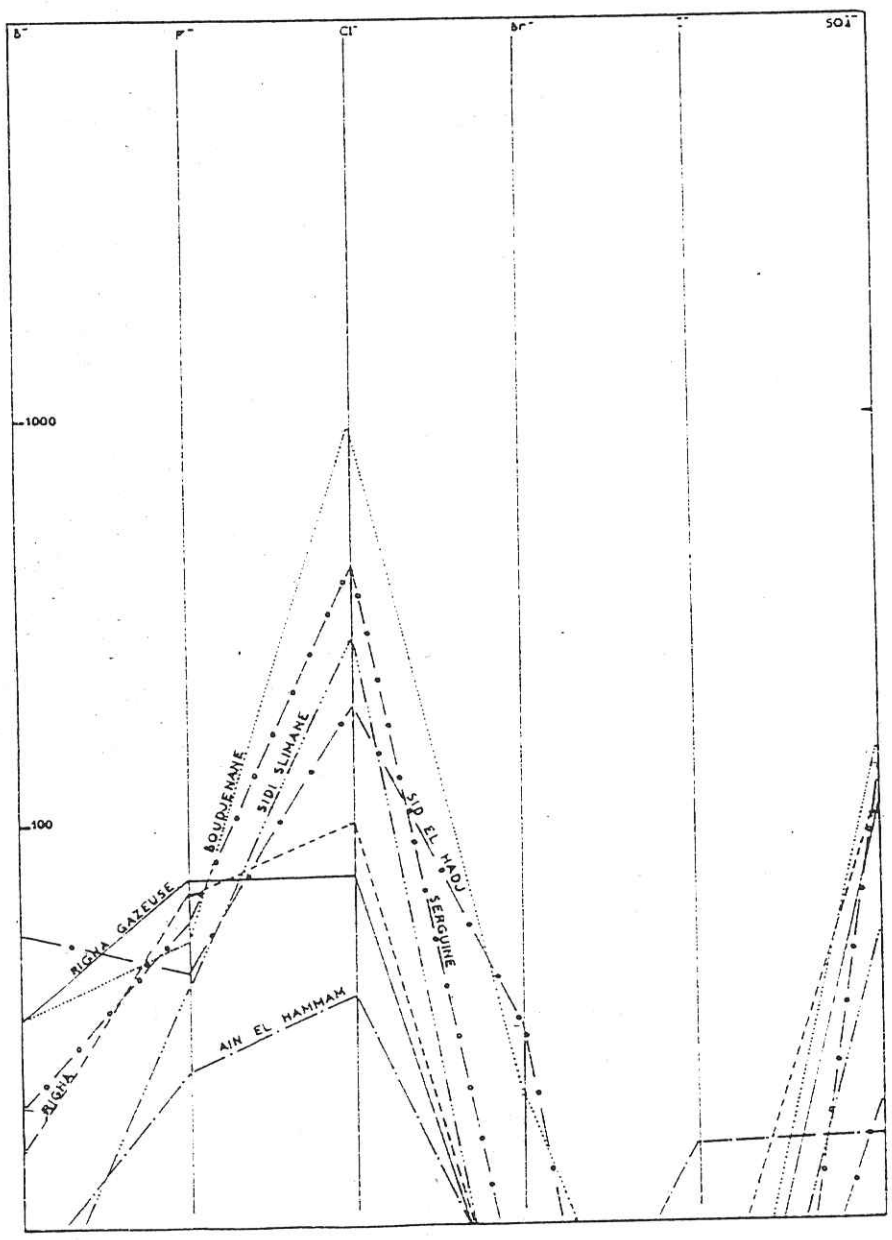
Ca/Mg. Les rapports sont relativement faibles à l'exception des eaux d'El Kéria dont le rapport varie autour de 10, les autres sources ont des rapports inférieurs à 6.5.

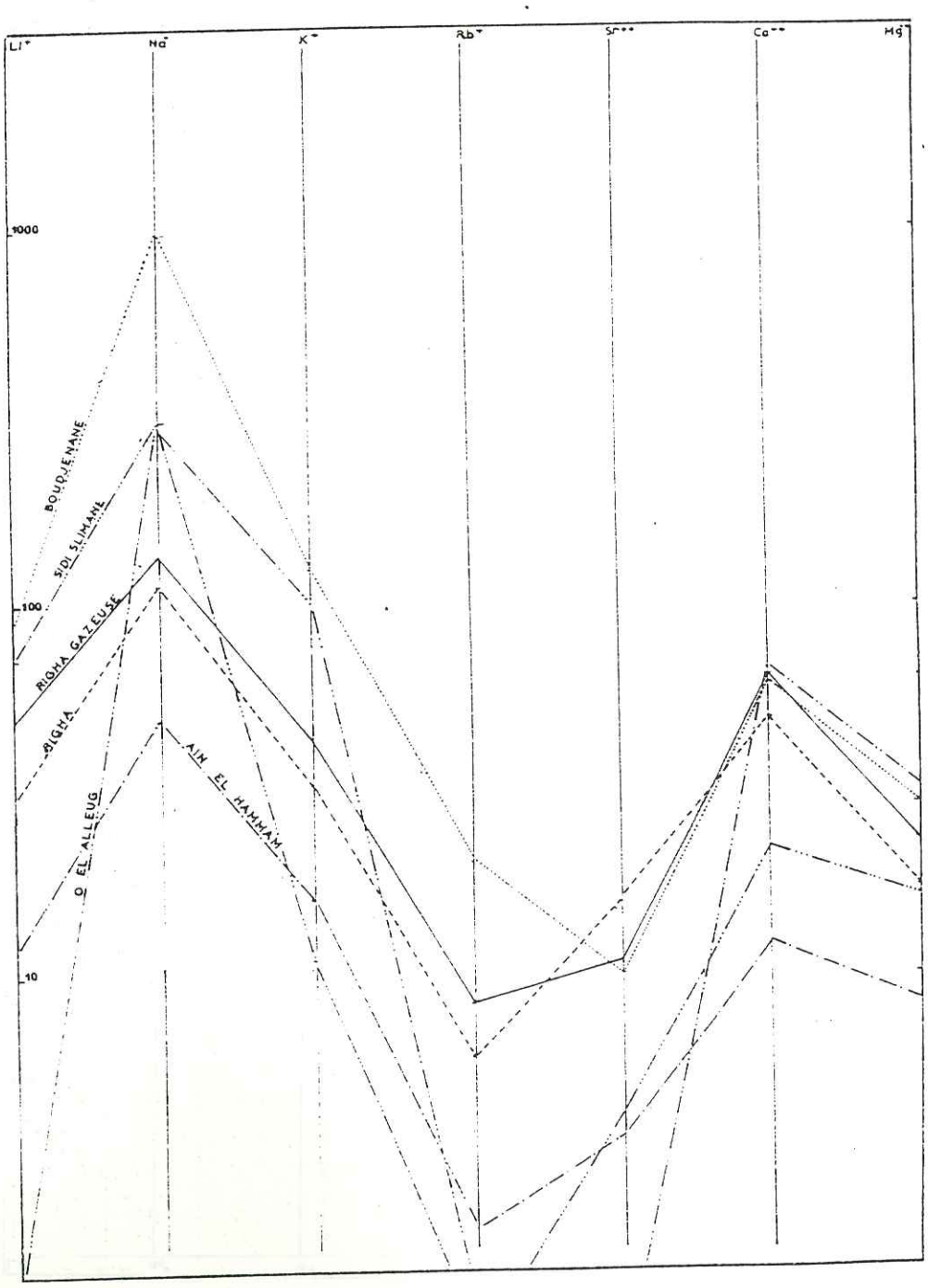
Cl/Br. Les quelques valeurs que nous avons pu obtenir sont en majorité élevées. Elles varient entre 629 (Sid El Hadj) et 13600 (Charef). Ce rapport est égal à 650 dans les eaux de mer. Cependant les eaux de Chbeika ont un rapport très faible (31.08). Les eaux de cette dernière sont donc enrichies en bromures.

Cl/SO4. Les valeurs de ce rapport varient entre 0.072 (Tellat) et 25 (Mélouane). Les sources d'El Kéria, Ksob, Righa, Tellat ont des rapports inférieurs à 1. Toutes ces eaux ont soit lessivé des évaporites fortement sulfatées soit au contraire sont totalement indépendantes des évaporites et les teneurs en sulfates observées sont d'origine météorique. Cependant les eaux dont les rapports sont supérieurs à 1 sont fortement chlorurées, traduisant une origine évaporitique de cet élément.

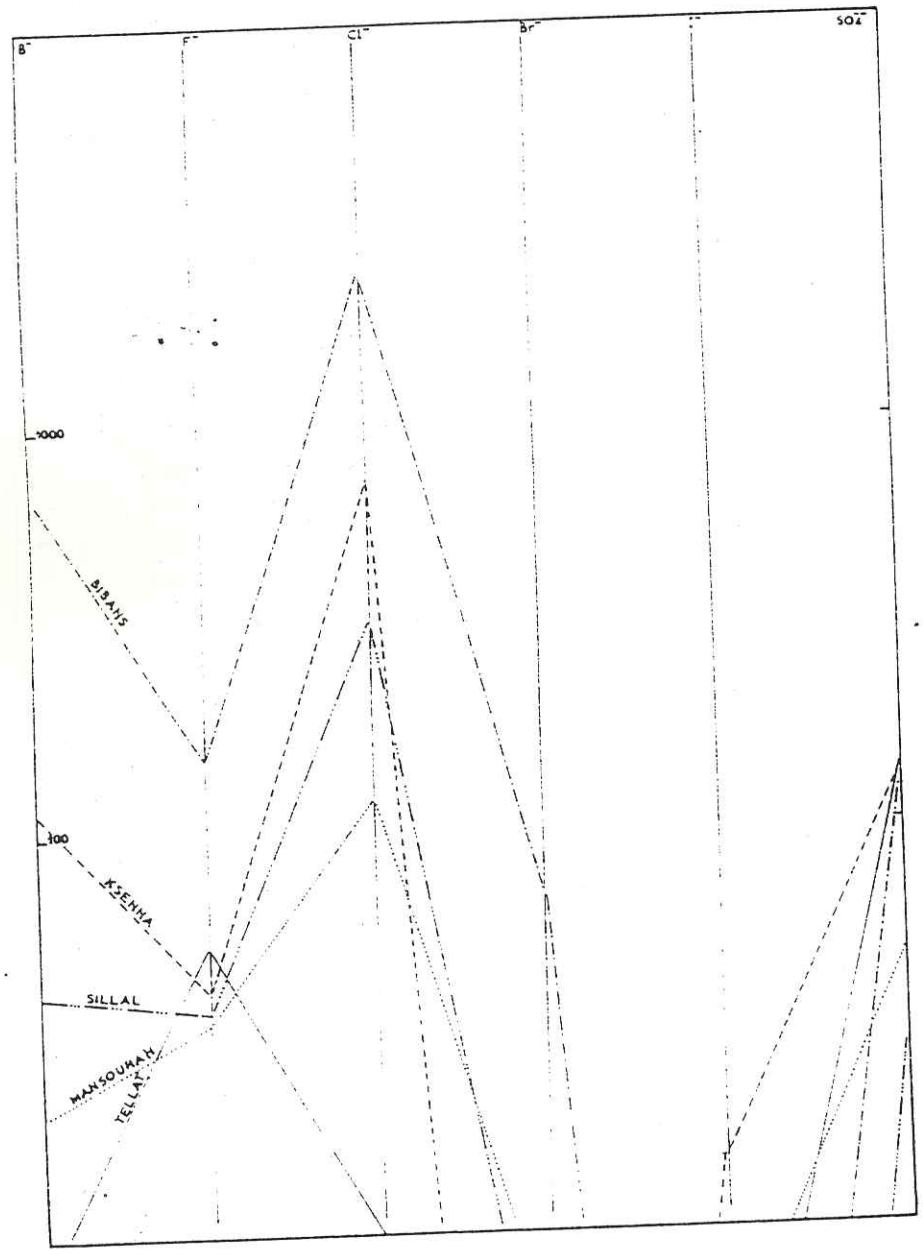
SOURCES	B^- 10^{-1}	F^- 10^{-3}	Cl^- 10^{-1}	Br^- 10^{-3}	I^- 10^{-4}	SO_4^{--} 10^{-1}	HCO_3^- 10^{-1}	Li^+ 10^{-5}	Na^+ 10^{-1}	K^+ 10^{-2}	Rb^+ 10^{-4}	Sr^{++} 10^{-2}	Ca^{++} 10^{-1}	Mg^{++} 10^{-1}
O. EL ALLEUG	–	–	165.0	–	–	4.8	307.0	1.4	296.1	92.0	1.0	0.97	66.1	32.6
HTD RIGHA	15.7	68.0	100.0	0.0	4.2	115	48.0	30.0	113.0	32.0	6.0	15.4	48	17.3
RIGHA GAZEUSE	35.3	73.0	75.0	0.0	1.18	105.2	194.0	48.0	134.8	42.0	8.2	10.7	61.6	23
A. EL HAMMAM	7.4	24.2	37.5	0.0	15.7	16.3	53.0	12.0	48.9	16.0	2.3	3.6	12.3	8.6
HTD BOUDJENANE	57.0	52.0	947.5	22.0	1.6	134.9	52.0	87.0	987.0	123.0	20.0	9.03	57.6	27.8
HTD SIDI SLIMANE	6.4	39.0	285.0	0.0	0.86	52	39.0	71.0	303.3	11.0	1.0	4.1	21.6	16.3
HTD SID EL HADJ	54.0	48.0	195.0	31.0	0.0	19.7	78.0	41.0	268.9	11.0	–	3.5	6.0	13.4
HTD SERGUINE	20.0	52.0	430.0	5.5	0.0	135.1	34.0	37.0	465.2	42.0	4.7	10.1	44.4	34.5
Fge EL MESRANE	–	–	460.0	–	–	166.6	34.0	8.5	475.2	26.0	–	6.4	50.4	56.6
Fge BOGHAR	–	–	45.0	–	–	27.9	101.0	15.0	202.6	10.6	–	0.62	1.25	3.0
HTD TELLAT	2.4	52.0	10.0	0.0	1.7	138.7	48.0	4.2	15.8	16.0	1.1	11	109.2	43.2
HTD KSENNA	115.0	40.0	735.0	0.0	15.0	131.6	48.0	270.0	815.2	88.0	10.0	19	92.4	28.8
HTD EL BIBANS	480.0	152.0	2385.0	71.0	0	120.8	66.0	1010.0	2417.4	205.0	60.0	42	126.4	38.4
HTD DELAA	–	–	120.0	–	–	73.9	45.0	47.0	176.6	56.0	2.3	4.1	51.7	18.2
HTD KSOB	–	–	42.5	–	–	55.3	48.0	5.7	66.9	11.0	–	3.3	46.0	25.9
HTD MANSOURAH	20.0	31.5	120.0	5.5	4.5	47.1	60.0	54.0	141.3	72.0	4.7	3.9	46.0	16.3
HTD SIDI YAHIA	–	–	218.0	–	–	145.1	105.0	500.0	230.8.2	129.0	32.0	20	157.1	43.2
HTD SILLAL	40.0	36.0	327.5	2.5	0.0	27.8	96.0	60.0	326.1	53.0	8.2	14.8	49.8	16.3
HTD EL KERIA	1.8	8.0	5.0	0.0	6.1	6.3	18.0	20.0	9.0	11.0	1.1	0.4	66.8	6.7
HTD IBAINEM	260.0	115.0	1615.0	0.0	0.0	197.9	95.0	400.0	1773.9	99.0	38.5	22.8	137	21.1
HTD CHBEIKA	24.5	26.8	115.0	3.7	2.9	57.2	80.0	15.7	122.3	5.0	0.0	–	48.8	18.0
HTD MELOUANE	286.0	84.0	5440.0	59.0	3.4	219.7	48.0	361.0	5398.3	142.0	163.0	17	210.7	40.8
HTD CHAREF	96.0	26.0	205.0	1.5	3.4	34.1	46.0	4.2	230.9	38.0	0.0	1.2	37.3	8.6

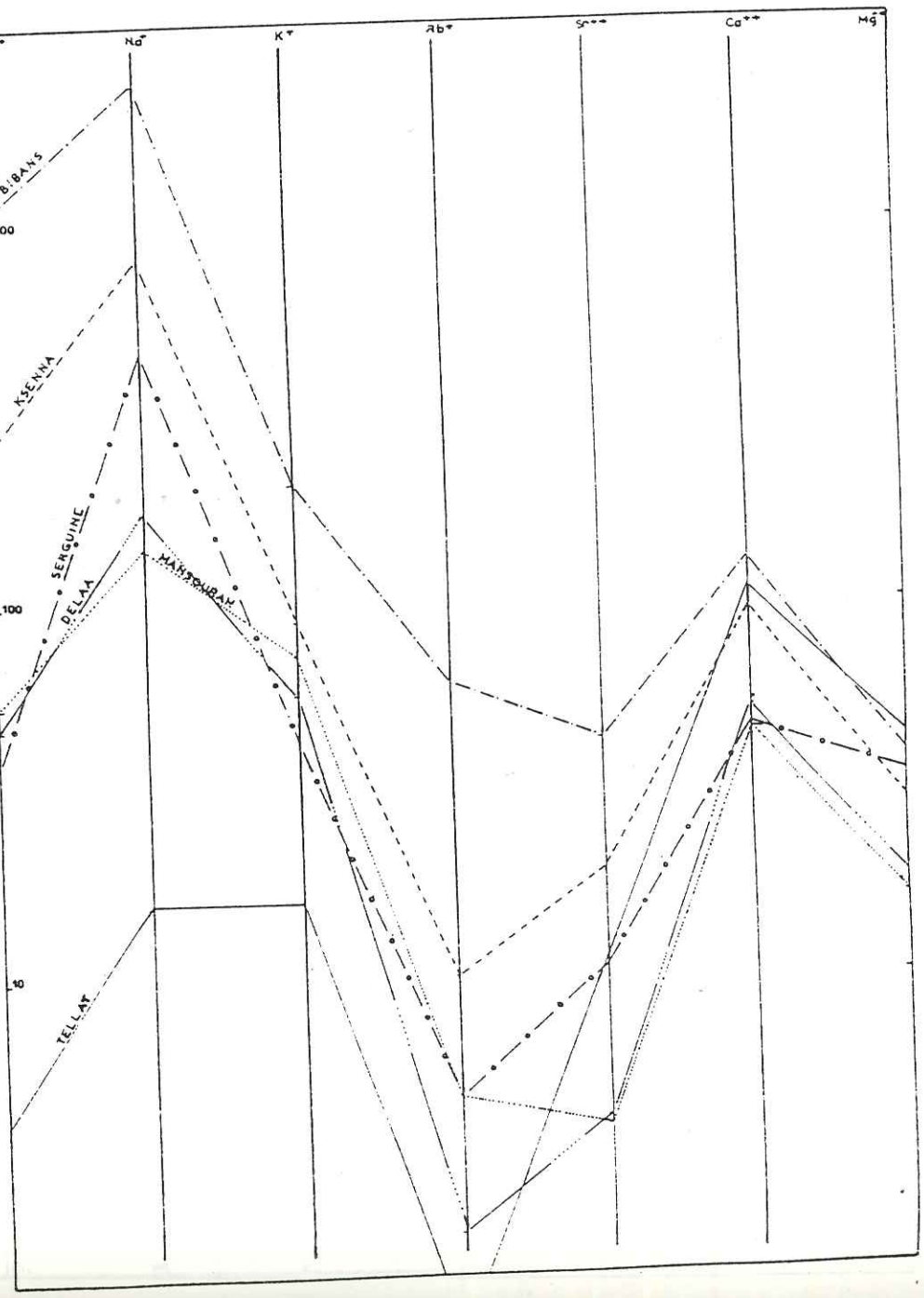
Tab(V.4)- Teneurs des ions majeurs et traces de certaines sources.



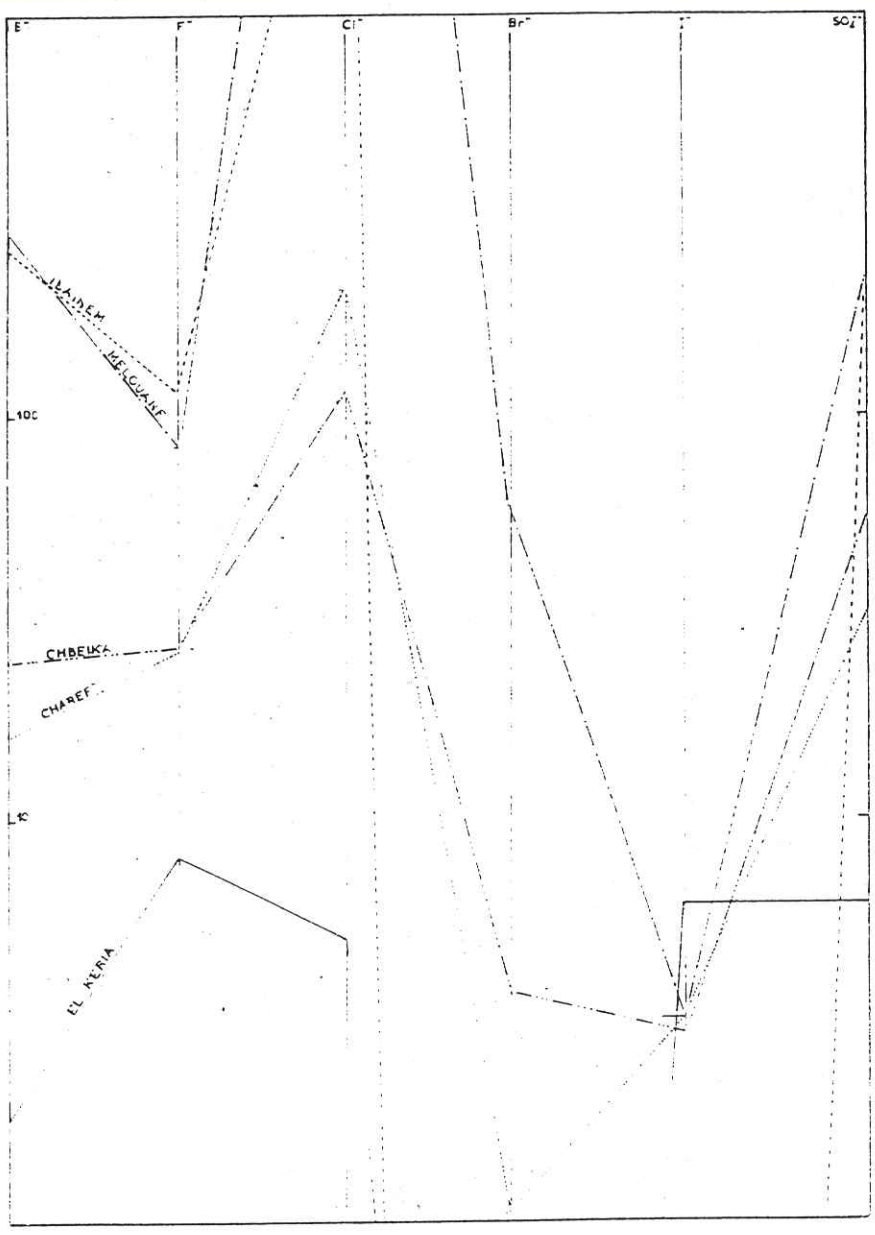


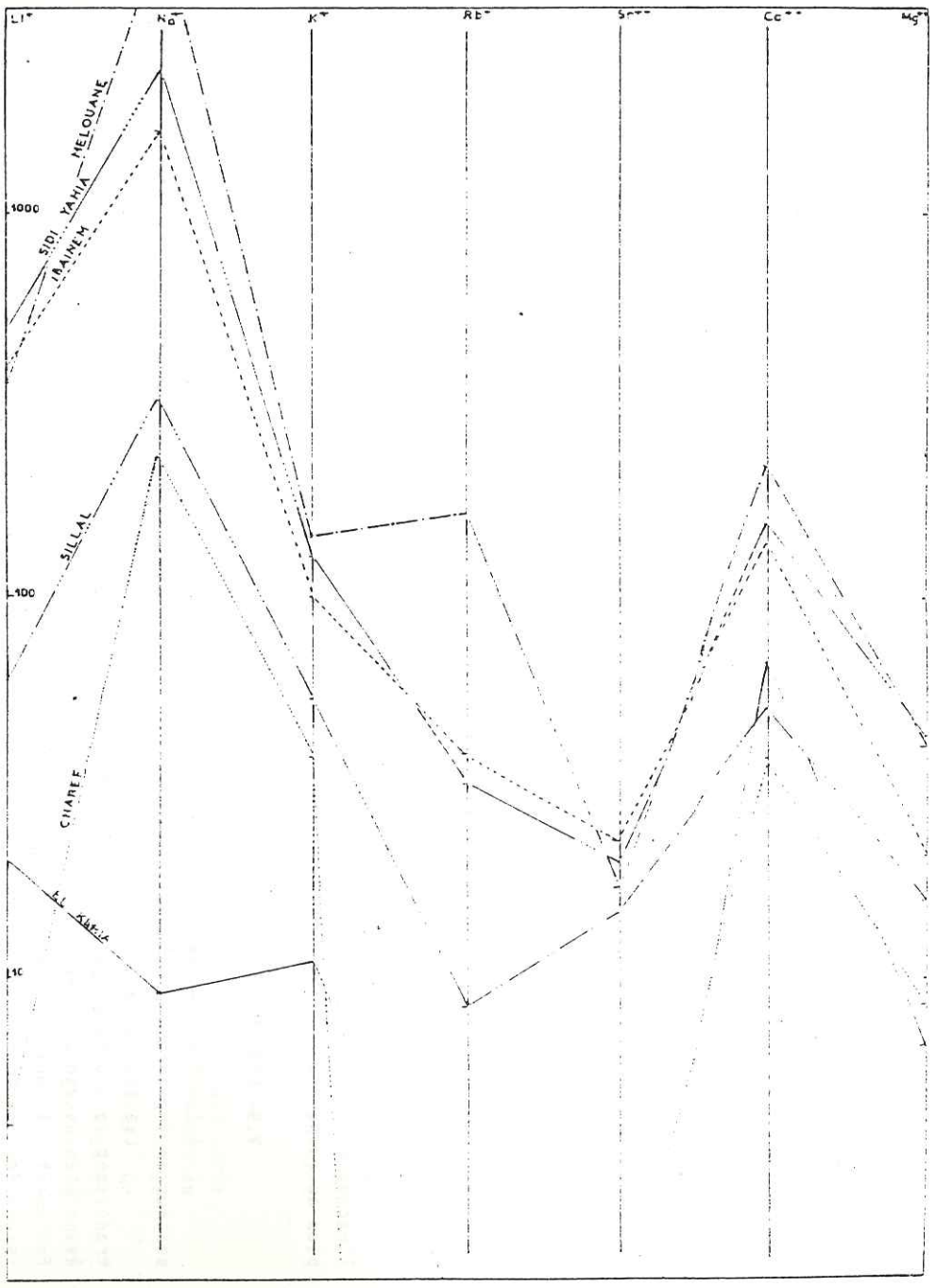
Fig(V.6)- Répartition des ions dans les eaux du centre.





Fig(V.7)- Répartition des ions dans les eaux du centre.





Fig(V.8)- Répartition des ions dans les eaux du centre.

Na/K. Les rapports peuvent être subdivisés en deux grands groupes qui sont:
Les sources d'El Kéria, Délaa, A.El Hammam, Righa, Tellat, Righa gazeuse et O. El Alleug ont des rapports inférieurs à 50. Nous constatons dans ce groupe que les sources d'El Kéria, de Tellat et de Oued El Alleug ont les plus faibles rapports tous inférieurs à 10. Ce fait est constaté dans les sources du Massif Central dont les rapports varient entre 10 et 40.

Ca/Sr. A l'exception de Hammam El Kéria dont le rapport est supérieur à 1600, toutes les autres sources ont des rapports inférieurs à 100 et supérieurs à 17.

Li/Rb. Les rapports varient entre 14 (Oued El Alleug) et 270 (Ksenna). Nous constatons également que les eaux de Mélouane, Délaa et Oued El Alleug ont des rapports très inférieurs à 50 traduisant leur indépendance des évaporites du Trias.

SO4/I. Les quelques rapports effectués montrent des valeurs très élevées a l'exception d'El Kéria, variant entre 8000 et 90000. Ces fortes valeurs traduisent un contact plus ou moins prolongé avec les évaporites du Trias.

V.9- CONCLUSION.

A la fin de cette première partie nous pouvons subdiviser les sources de notre secteur en deux grands groupes qui sont:
Les eaux ayant été en contact plus ou moins prolongé avec les évaporites se traduisant en surface par de fortes teneurs en chlorures, sulfates, sodium et calcium. Ces évaporites peuvent être soit du Trias soit d'un âge différent. L'ion sodium est très fortement lié aux chlorures et plus faiblement encore aux sulfates et au calcium. Les eaux issues des formations Triasiques ont des rapports Sr/Rb systématiquement supérieurs à 50. Ce fait ne se rencontre que dans les évaporites et qui semble les caractériser. Dans ce groupe les eaux des différentes sources présentent des rapprochements des différentes caractéristiques chimiques à l'exception des eaux de Hammam Mélouane qui au contraire des autres ont des teneurs relativement élevées et des rapports très différents. Cependant le faciès est exactement identique à celui des eaux du Trias. Les eaux des sources du Sud de notre secteur présentent également des différences de teneurs et par cela de légères différences des rapports traduisant une nature différente des évaporites qui sont souvent d'un âge récent.

Les eaux du second groupe sont généralement indépendantes du faciès évaporitiques. Elles sont souvent liées soit à des formations carbonatées du type calcaires (Ain El Hammam), calcaires dolomitiques ou dolomies soit également à des formations cristallines souvent le socle paléozoique (El Kéria). Les teneurs des différents composants chimiques ainsi que les rapports sont totalement différents de ceux du groupe précédent . La source d'El Kéria est l'unique émergence liée au socle montrant des teneurs très faibles et des rapports différents. Les rapports Na/Li et Cl/SO4 sont très faibles et inversement le rapport Ca/Sr est très élevé .

Les rapports Ca/Mg sont, à l'exception de Hammam El Kéria, très rapprochés variant entre 0.89 et 6.5 indiquant une très forte ressemblance des réservoirs thermaux qui sont souvent carbonatés. Cependant Les faciès chlorurés et sulfatés des eaux issues des évaporites ne sont que secondaires. La minéralisation originelle a été totalement modifiée soit au cours de la circulation dans le réservoir soit au cours de la remontée. Ce même phénomène a été constaté dans les sources alpines et les hypothèses émises sont pratiquement applicables au sources du centre algérien.

V.10- PRESENTATION DES SECTEURS COMPARES.

10.1-INTRODUCTION.

Cette dernière partie de notre travail est consacrée à la comparaison des sources thermominérales du centre algérien avec des sources étrangères très bien connues. Les grandes ressemblances géostructurales et géochimiques avec les Alpes franco-italiennes ont permis d'établir des comparaisons qui ont donné des résultats fort intéressants.

10.2- Déscription géologique du domaine alpin.

Les Alpes franco-italiennes dessinent un arc long de 400 km, large de 150 km et culminent au Mont blanc (4807m) d'altitude. On distingue dans les alpes franco-italiennes un domaine externe et un domaine interne. Dans la zone externe ou dauphinoise, le socle ancien apparait dans les massifs cristallin (Mont blanc, Belledonne, Pelvoux, Argentera) bordé de part et d'autre de la couverture sédimentaire surtout développée vers l'Ouest (Chaine subalpine).

Dans les schémas structuraux classiques, le domaine interne est divisé en une série de zones séparées par des contacts anormaux majeurs. Schématiquement, les zones internes ou penniques sont constituées d'une succession complexe d'unités lithologiques variées (socle ancien antétriasiques, couverture sédimentaire décollée et plus ou moins métamorphisée). On distingue les unités briançonnaises et les unités piemontaises enveloppant les massifs cristallins internes. Leur limite avec la zone externe est toujours tectonique et correspond à un chevauchement très continu: le chevauchement pennique frontal.

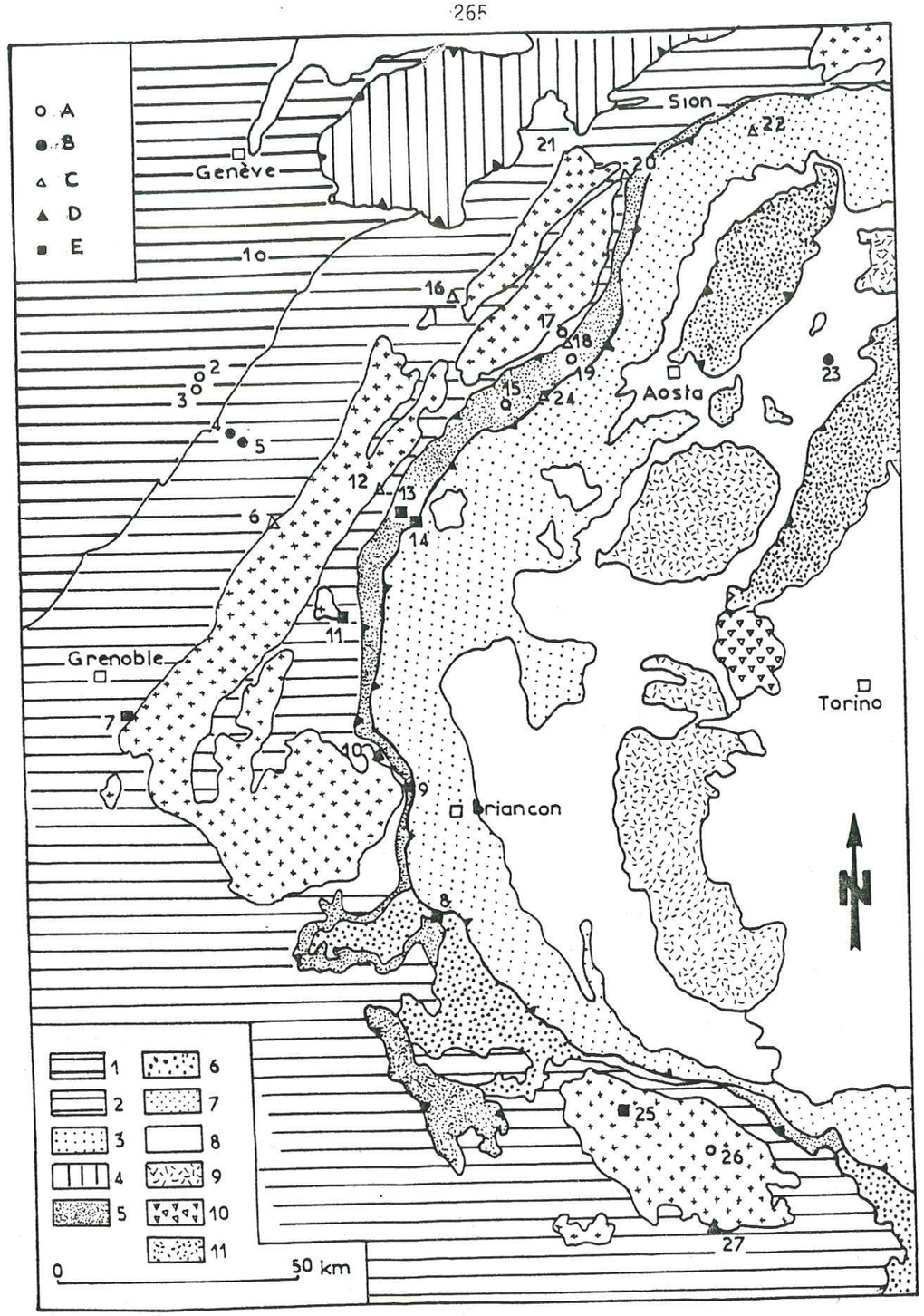
Les évaporites du Permo-trias ont joué un rôle fondamental dans la tectonique alpine comme niveau de décollement privilégié à la base des séries mésozoiques. En particulier, c'est le cas de la zone subbriançonnaise constituée de nappes de couverture reposant généralement sur une semelle de gypse du Trias supérieur. Par suite de cette tectonique de decollement, les dépôts permo-triasiques n'affleurent que partiellement et sont représentés par du gypse, anhydrite et dolomies. La présence de halite(NaCl) qui pourrait expliquer la minéralisation élevée en chlorures des eaux thermominérales (Uriage, Echaillon et Salins) n'a jamais été reconnue dans les affleurements permo-triasiques des alpes occidentales. Le dépôt de sel au permo-trias apparait comme très vraisemblable dans ces régions et sa disparition à l'affleurement est mise en relation avec des mouvements d'halocinèse précosse au Jurassique, les compressions alpines et le lessivage superficiel. Ainsi la présence en profondeur de sel gemme (NaCl) au sein d'amas évaporitiques résiduels et/ou la présence de saumûres , peuvent être envisagés sous les grandes unités chevauchantes impliquant un décollement du socle.

10.3 Déscription géologique de l'Algérie centrale.

On distingue dans notre secteur les domaines suivants:
Le Tell qui est subdivisé en Tell septentrional et en Tell Méridional qui se relaient vers le Sud par les domaines préatlasiques et Atlasiques.

Le Tell septentrional représente grossièrement la zone interne du domaine alpin. Le socle ancien apparait de l'Ouest vers l'Est à Chénoua, Alger et en Grande Kabylie bordé de part et d'autre de la couverture sédimentaire mésozoique représentée généralement par la chaine calcaire, les formations flychs et les nappes numidiennes et sous numidiennes en Kabylie. Ces dernières ressemblent beaucoup aux unités briançonnaises.

Le Tell méridional, représentant schématiquement le domaine externe du domaine alpin, est constitué de nappes souvent superposées et séparées par des niveaux triasiques.



Fig(V.9): Situation géologique des sources franco-italiennes.

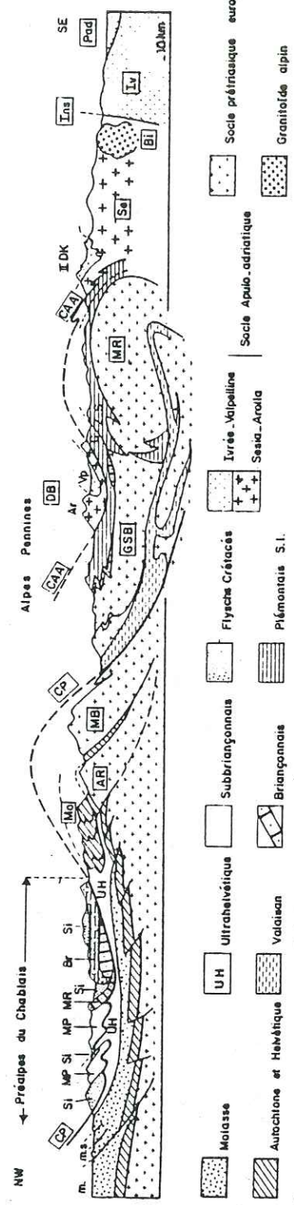


FIG.(V.10) *Coupe simplifiée des Alpes occidentales de Lausanne à Ivrea.* m : bassin molassique périalpin ; ms : molasse subalpine (rebord interne, tectonisé, du bassin précédent) ; CP chevauchement pennique ; CAA : chevauchement austro-alpin. Nappes préalpines : MP : médianes plastiques (Subbriançonnais) ; MR : médianes rigides (Briançonnais) ; Br : nappe de la Brèche (Prépiémontais) ; Si : nappe de la Simme au sens large (flyschs crétacés). UH : nappes ultrahelvétique de Morcles ; AR, MB : massifs cristallins externes Aiguilles Rouges et Mont-Blanc. GSB, MR : nappes penniques du Grand Saint-Bernard et du Mont-Rose. C, ZS : unités de schistes lustrés de Combin (pauvres en ophiolites) et de Zermatt-Saas (riches en ophiolites) ; DB : nappe austro-alpine inférieure de la Dent Blanche, avec superposition anormale du socle granulitique de Valpelline (Vp) sur le socle d'Arolla, (Ar) ; Se : gneiss de la zone Sesia (analogue à Ar) ; II DK : deuxième zone dioritо-kinzigitique (analogue à Vp) charriée sur Se ; Iv : cristallin de la zone d'Ivrée (analogue à II-DK) ; Ins : accident insubrien (au sud duquel il n'y a plus de métamorphisme alpin) ; Bi : granitoïde oligocène post-tectonique de Biella ; Pad : bassin molassique padan.

Ces derniers ont joué un rôle fondamental dans la mise en place de ces nappes dites "d'écoulement".

Les grandes ressemblances sont constatées dans les régions bibanique et Kabyle. Les Bibans représentent la zone briançonnaise dans les Alpes à un stade moins avancé. En effet dans cette région le socle cristallin montre une très faible remontée sans atteindre la surface et est cependant découpé par une flexure plurikilométrique qui représente en quelque sorte le chevauchement pennique frontal.

Les dépôts permo-triasiques n'affleurent que partiellement dans le domaine tellien et sont souvent constitués, comme dans les Alpes de gypse, d'anhydrite et de dolomies et sont rarement gypsosalins. La halite, qui pourrait expliquer la minéralisation élevée en chlorures des eaux thermominérales, n'a jamais été reconnues dans les affleurement permo-triasiques à l'exception des régions Sud ou le sel se présente en couche et est souvent d'un âge différent. Les mêmes hypothèses émises dans les Alpes pour l'explication de ce phénomène peuvent être retenues pour notre secteur. Cependant, la présence de saumûres dans les bassins côtiers au sein des niveaux messiniens est la seconde source de halite qui explique les forte teneurs en NaCl constatées dans les eaux de certaines sources (Hammam mélouane).

10.4 Chimisme des eaux.

Dans le domaine alpin nord-occidental comme dans le centre algérien, les eaux thermominérales peuvent être regroupées selon trois principaux faciès hydrochimiques (chloruré sodique, sulfaté calcique, bicarbonaté calcique) et selon des faciès mixtes(bicarbonaté sodique et sulfaté sodique).

Dans le domaine alpin les faciès sont répartis de la manière suivantes:
Les eaux à faciès bicarbonaté calcique se trouvent pour la plupart dans la zone périalpine (bassin hydrominéral d'Aix-Marlioz) et à l'Est des massifs cristallins (Vallée d'Aoste).
Les eaux à faciès sulfaté calcique et/ou chloruré sodique sont plus caractéristiques du thermalisme alpin et sont généralement réparties sur les principales surfaces de chevauchement mettant en contact le socle avec sa couverture sédimentaire (Lavey-Saint Gervais-Allevard-Uriage).

Dans le centre algérien la répartition des faciès est hétérogène, cependant pour quelques sources chaudes les mêmes caractéristiques que pour les sources alpines réapparaissent.
Les eaux bicarbonatées calcique se trouvent en dehors des surfaces de chevauchement et sont le plus souvent reparties entre les massifs calcaires (Djurdjura-Zaccar) et les vastes plaines alluviales (Mitidja - Zénina-Béni Slimane) soit également à l'Est des massifs cristallin (Hammam El Kéria).

Les eaux à faciès sulfaté calcique et/ou chloruré sodique sont souvent en liaison avec les surfaces de chevauchement. Dans notre secteur, on peut distinguer deux sous groupes qui sont:
Les eaux liées à des contact anormaux limitant les nappes de charriage dans le domaine méridional. Ce sont souvent des circulations épidermiqué donnant des eaux ayant un caractère soit hypothermal soit froid.
Les sources chaudes ayant ce type de faciès sont liées généralement soit à des surfaces de chevauchement soit à des fractures affectant l'ensemble des formations sédimentaires jusqu'au socle cristallin. Ces importants accidents sont moins développés que dans le domaine alpin et constituent probablement l'ébauche d'une structure du type alpin en particulier dans la Kabylie et les Bibans. La flexure bibanique joue un rôle identique du point de vue thermal que le chevauchement des alpes internes ~ externes. Les sources du Sud de notre secteur sont souvent liées à des évaporites qui sont soit en place soit en diapir (Serguine).

Les faciès chimiques définis à l'émergence pour les sources du second groupe sont

tous des "faciès secondaires"qui masque le "faciès originel"acquis par l'eau au sein même du réservoir profond. Ces mêmes phénomènes caractérisent les sources ayant le même faciès dans le domaine alpin. La composition ionique primaire dépendra de la présence ou de l'absence de la halite(NaCl) dans la semelle résiduelle de décollement dans laquelle par contre l'anhydrite($CaSO_4$) reste toujours importante. La nature des formations traversées par les eaux au cours de leur remontée joue pour beaucoup dans la minéralisation des eaux. Ainsi la remontée des eaux thermales à travers les roches cristallines fracturées n'entraînera que des changements peu significatifs sur les cations en solution. A l'inverse, la remontée à travers une couverture sédimentaire carbonatée se manifestera par une modification plus marquée des carctéristiques chimiques des eaux.

10.5 Comparaison des rapports ioniques des différentes sources.

Le rapport **Sr/Rb** est toujours égal ou supérieur à 50 dans les Alpes, fait que l'on ne rencontre que dans les eaux issues des évaporites et qui semble les caractériser.

Cette règle s'applique prafaitement à une grande majorité des nos sources à l'exception de Hammam El Kéria, de Mélouane , Tellat et plus faiblement Boudjenane. Ces dernières sont totalement indépendantes , en particulier les trois premières, des évaporites du Trias. Nous pensons également que Hammam Tellat est très faiblement lié aux gypse du Trias avec cependant une grande partie de ces eaux est d'origine carbonatée.

Le rapport **Ca/Sr** est voisin de 100 alors que le rapport **Ca/Mg** peut atteindre 10. En Algérie centrale et à l'exception de Hammam El Kéria dont le rapport est supérieur à 1600, les autres émergences ont des rapports variant dans le même intervalle que pour les Alpes. La source d'El Kéria se rapproche beaucoup plus des eaux du Massif Central ce qui confirme probablement son origine cristalline.

10.6- Comparaison des diagrammes Température-Silice.

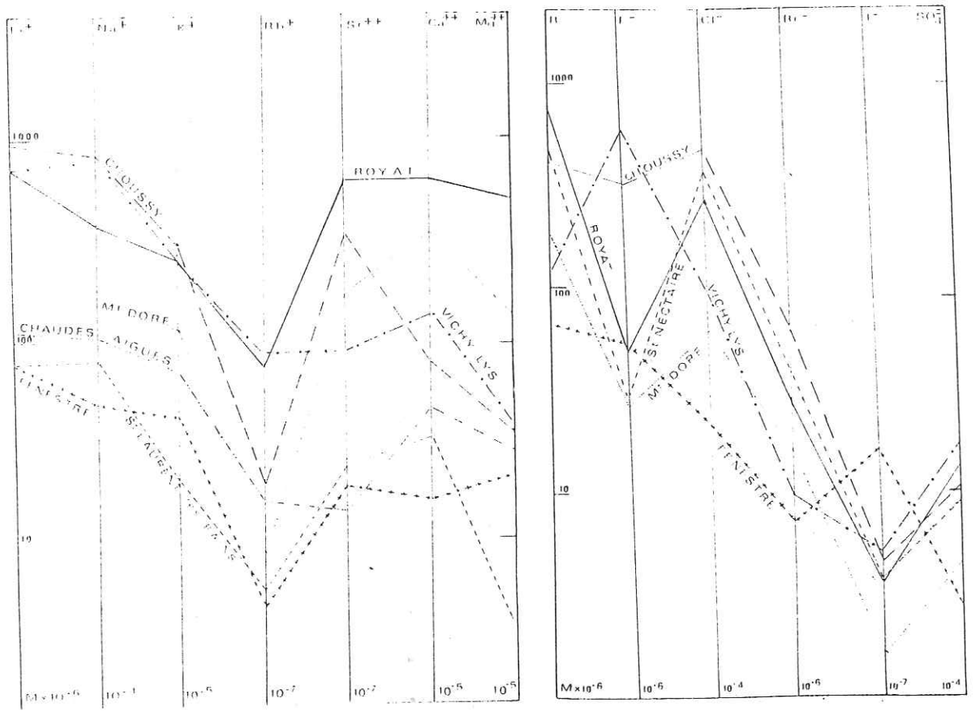
Pour completer cette comparaison, nous avons reporté les sources du centre algérien sur le diagramme T-SiO_2 établi pour les sources alpines (fig(V.11).

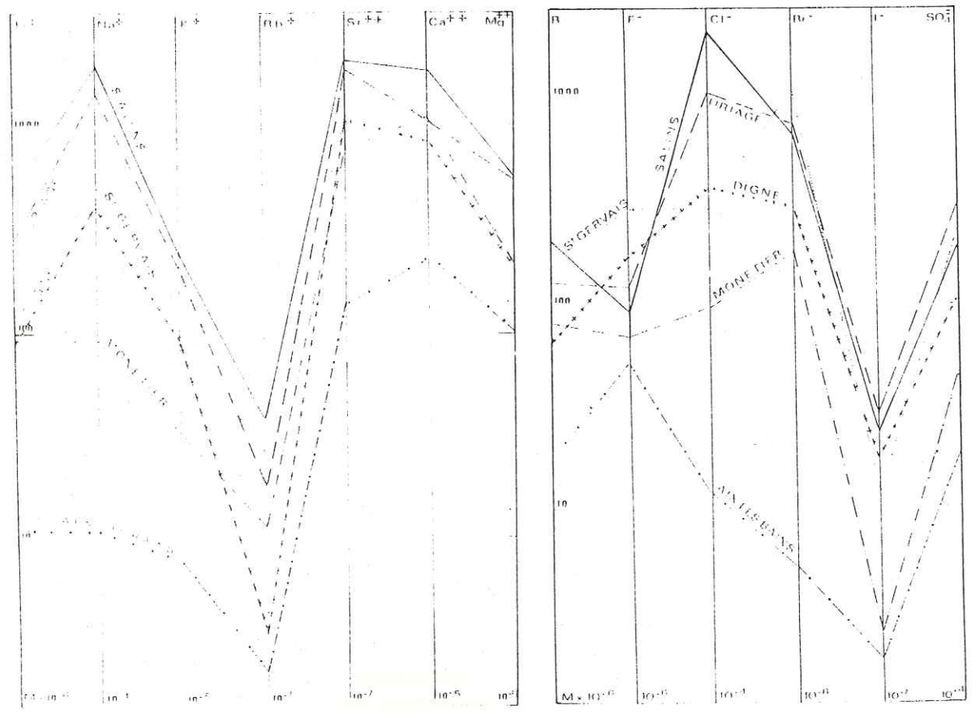
Les sources hyperthermales, à l'exception du forage d'El Mesrane, ont des caractéristiques physico-chimiques profondes très proches de celles de La Léchère et très faiblement encore de celles de Lavey. Ces deux dernières ont été en contact des évaporites du Trias au cours de leur circulation en profondeur. Leurs faciès sont sulfatés calciques identiques à celui de Hammam Righa ou sodique. Elles sont liées soit au front de chevauchement pennique frontal (La Léchère) soit aux massifs cristallin du domaine externe (Lavey). Le forage d'El Mesrane est par contre très différent et est totalement indépendant du socle. Les conditions en profondeur se rapprochent de celles d'Aix-Les-Bains. Cette dernière est située dans le domaine externe loin de toutes les formations cristallines.

Dans le groupe des eaux mésothermales nous pouvons distinguer les sources de Sillal, Délaa, et Serguine. Elles ont des caractéristiques très proches de celles de la source de Saint Jean de Maurienne, située dans la zone Dauphinoise. Cependant la sources de Serguine est plus proche de la source de Saint Gervais (Gontard). Les deux premières sources ont lessivé des formations évaporitiques d'âge plus récent que le Trias.

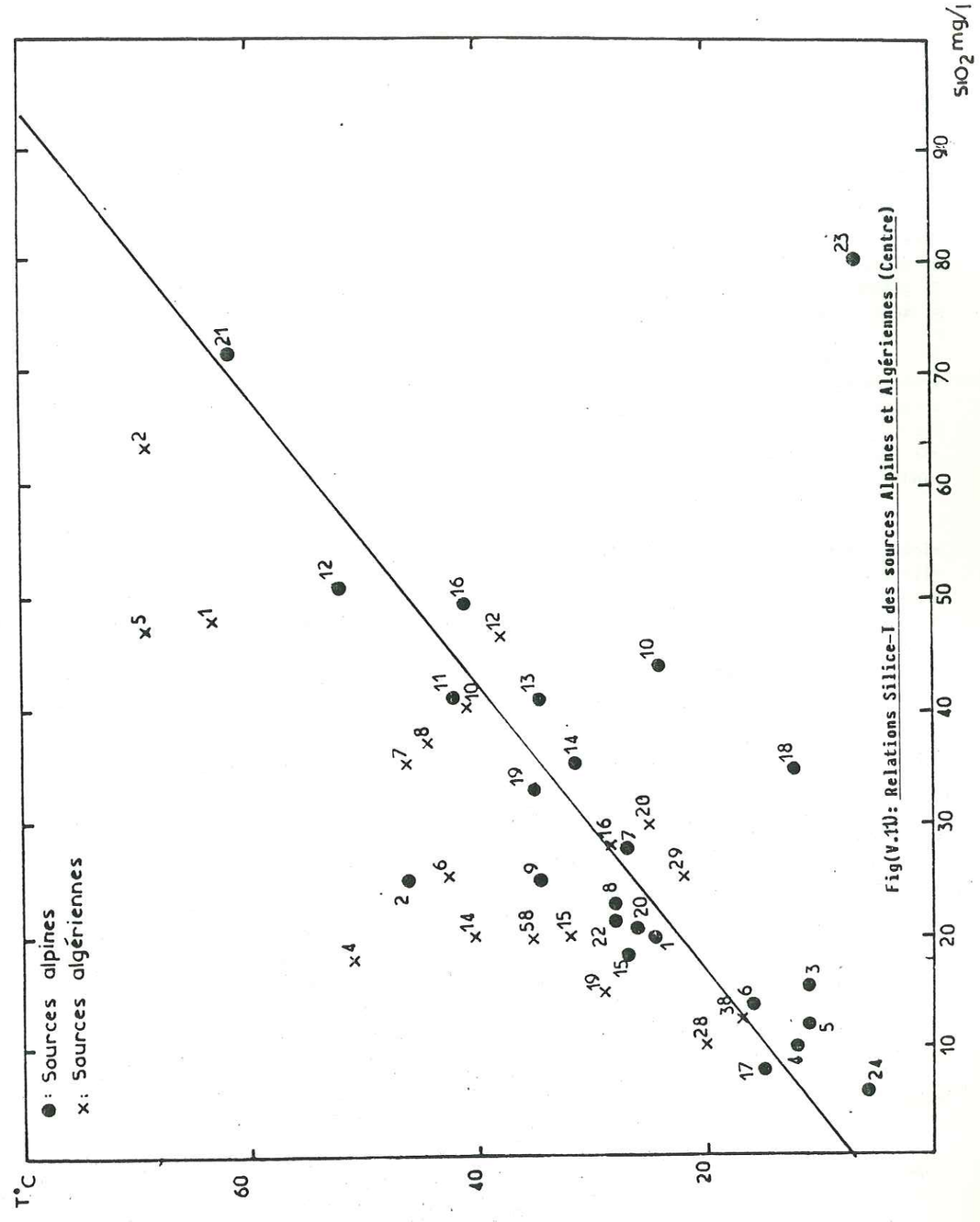
Les sources de Sidi Yahia ont des caractéristiques très proches de la sources d'Aix-Les-Bains. Cette dernière est indépendante du socle cristallin et est située dans les formations sédimentaires de la zone externe.

Dans le groupe des eaux hypothermales, la source de Tellat se rapproche beaucoup de la source de Cambioula. Elles ont le même faciès et sont toutes les deux situées proches de formations cristallines. La similitude des faciès ainsi que du réservoir sont voisins de ceux





Fig(V.8 bis): Répartition des éléments majeurs et traces dans les sources Alpines



Fig(V.11): Relations Silice-T des sources Alpines et Algériennes (Centre)

de Hammam Ksob. Ce dernier se rapproche beaucoup plus de la source de Bonval ayant un faciès bicarbonaté calcique. Les sources de Boudjenane et plus faiblement encore la source de Mansourah possèdent des caractéristiques très proches de celles d'Uriage, située dans la zone dauphinoise. Les sources de Sid El Hadj et d'Ain El Hammam sont pratiquement indépendantes et ne ressemblent à aucune source alpine.

V.11-CONCLUSION.

Les sources du centre algérien se subdivisent en deux grands ensembles suivant leurs caractères hydrochimiques qui sont étroitement liées à la nature géologique et à la structure géologique du secteur thermal.

- Les sources liées aux évaporites se caractérisent par de fortes teneurs en élements majeurs comme les chlorures, les sulfates, le calcium et le sodium et en quelques éléments mineurs tels que le strontium, le brome ou le lithium. Elles ont toutes acquis une minéralisation dite secondaire au cours de la remontée et hors du réservoir thermal. La minéralisation originelle a été masquée par les fortes libérations d'éléments en provenance des évaporites. Ce groupe est subdivisé en deux sous groupes en fonction de la position géologique du faciès minéralisateur qui est pour la majorité des sources d'âge triasique.

Dans le Tell, les évaporites du Trias jalonnent souvent les grands accidents profonds affectant les séries sédiementaires jusqu'au socle cristallin. Ce phénomène caractérise les sources des Alpes franco-italiennes. Les températures des réservoirs, à faciès généralement carbonaté, varient entre 70 et 200°C. Les circulations s'effectuent dans des milieux discontinues et une éventuelle exploitation géothermique serait dans ces conditions de basse à moyenne enthalpie.

Certaines sources appartenant au même groupe font des exception à la règle et leur minéralisation a été acquise dans des formations d'âge différent du Trias. Les sources de Mélouane et de Tihammamine, que nous considérons comme un griffon secondaire de la source principale de Hammam Mélouane, ont circulé longuement dans les formations Pliocène au contact du Messinien. A cet époque une forte crise de la Méditerranée a conduit à une sur concentration de saumûres qui ont été remobilisées par les eaux de ces deux sources. Les différents rapports montrent une légère différence avec les sources appartenant au même groupe.

L'apparition du faciès chloruré sodique dans les eaux et en surface s'explique de la même manière que dans les Alpes par la présence d'"Yeux de sel" en profondeur dans les formations évaporitiques du Trias. Son absence en surface s'explique soit par des phénomènes d'halocinèse soit par des compressions soit encore par une érosion chimique à l'affleurement. Les phénomènes d'halocinèse ont été recemment analysés dans les régions alpines. La même structure caractérise cependant la zone bibanique et l'apparition des faciès évaporitiques triasiques s'explique de la même manière.

Vers le Sud de notre secteur, les fortes teneurs en NaCl sont liées à la présence de couches évaporitiques en position normale et indépendemment de tout accident en profondeur à l'exception de quelques remontées en diapir constatées dans la région (Rocher de Sel).Ces remontées diapiriques sont dûes à la forte puissance de sédiments dépassant parfois les 4000 m. Certaines minéralisations peuvent provenir d'un contact avec ces niveaux. Les températures des réservoirs, qui sont dans ces régions soit carbonatés soit gréseux, sont liées au simple effet du gradient géothermique et plus faiblement aux réactions exothermiques. La minéralisation est dans ce cas également secondaire acquise hors du réservoir thermal.

Dans le deuxième groupe, toutes les sources ont gardé leurs minéralisations originelles. Elles ont généralement des faicès bicarbonatés soit calciques soit sodiques indiquant une nature carbonatée du réservoir. Les eaux, à l'exception d'El Kéria, sont soit hypothermales soit froides caractérisées par des circulations épidermiques. Elles sont

cependant très peu ou pas influencées par les évaporites et les teneurs en chlorures ou en sulfates constatées sont dans la plupart du temps d'origine météorique .

La source d'El Kéria constitue la seule exception à la règle et ses différents rapports sont très proches de ceux de la Bourboule dans le Massif Central Français. Les eaux proviennent du socle cristallin et les fortes variations des teneurs sont dûes à la présence de nappes aquifères locales et superficielles. Ces sources peuvent être utilisées comme eau de table en raison de leurs faibles minéralisations. Certaines sont carbogazeuses liées à des fractures profondes affectant le socle et facilitant la remontée de CO2 profond.

CONCLUSION GENERALE.

Au terme de cette étude, la conclusion que nous pouvons apporter peut se résumer en deux grands traits principaux:

- La majorité des sources thermominérales de l'Algérie centrale se situent au Nord dans le domaine tellien, caractérisé par une forte pluviométrie et une tectonique complexe. Ces émergences sont liées à des fractures profondes affectant l'ensemble des séries sédimentaires jusqu'au socle cristallin très peu profond dans ces régions. Ces accidents sont orientés suivant trois directions principales, caractéristiques du dommaine tellien et de tout le Maghreb, NE - SW, NW - SE ou également E - W souvent injectés d'évaporites d'âge triasique à faciès gypsifère. Ils sont généralement le siège d'une forte activité séismique se manifestant en surface par de nombreux foyers séismiques souvent accompagnés par des manifestations thermales. Ces dernières jalonnent plus particulièrement les fractures NE - SW à caractère distensif résultant de la compression engendrée par l'affrontement des plaques européenne au Nord et africaine au Sud. Le rejeu permanent de ces fractures sous l'effet de la contrainte constitue au Nord la principale source d'énérgie de la majorité des sources hyperthermales et mésothermales. Cependant, La présence de certaines sources au voisinage de manifestations volcaniques (Righa ... etc) ou de socle cristallin s'explique par un apport d'énergie à partir de ces formations. Ce dernier caractérise les sources de la zone bibanique dont le comportement est très voisin de la zone du chevauchement Alpes internes-externes. Nous pensons que la flexure bibanique est l'ébauche d'une limite entre deux domaines très différents qui sont le Tell séptentrional au Nord, caractérisé par des chevauchements et la présence du socle à très faible profondeur et le Tell méridional caractérisé par des charriages et une sédimentation très épaisse.

Les différentes sources chaudes de cette partie du secteur sont fortement minéralisées ayant des faciès souvent du type chloruré ou sulfaté à l'exception de quelques unes très peu minéralisées. Ces faciès sont généralement liés à des évaporites du Trias très fortement gypseux en surface et probablement très salifère en profondeur. Ce phénomène est caractéristique du domaine alpin en particulier pour les sources possédant les mêmes faciès et situées proches des grands accidents. L'hypothèse de phénomènes d'halocinèse est dans notre secteur comme dans les Alpes la seule explication envisageable. Le trias souvent profond constitue la principale source de minéralisation de la majorité des sources hyperthermales et mésothermales leur conférant une minéralisation dépassant souvent les 5 g/l. Elles sont souvent matérialisées en surface par des dépôts très importants accompagnées par de forts dégagements de CO2 ou d'H2S.

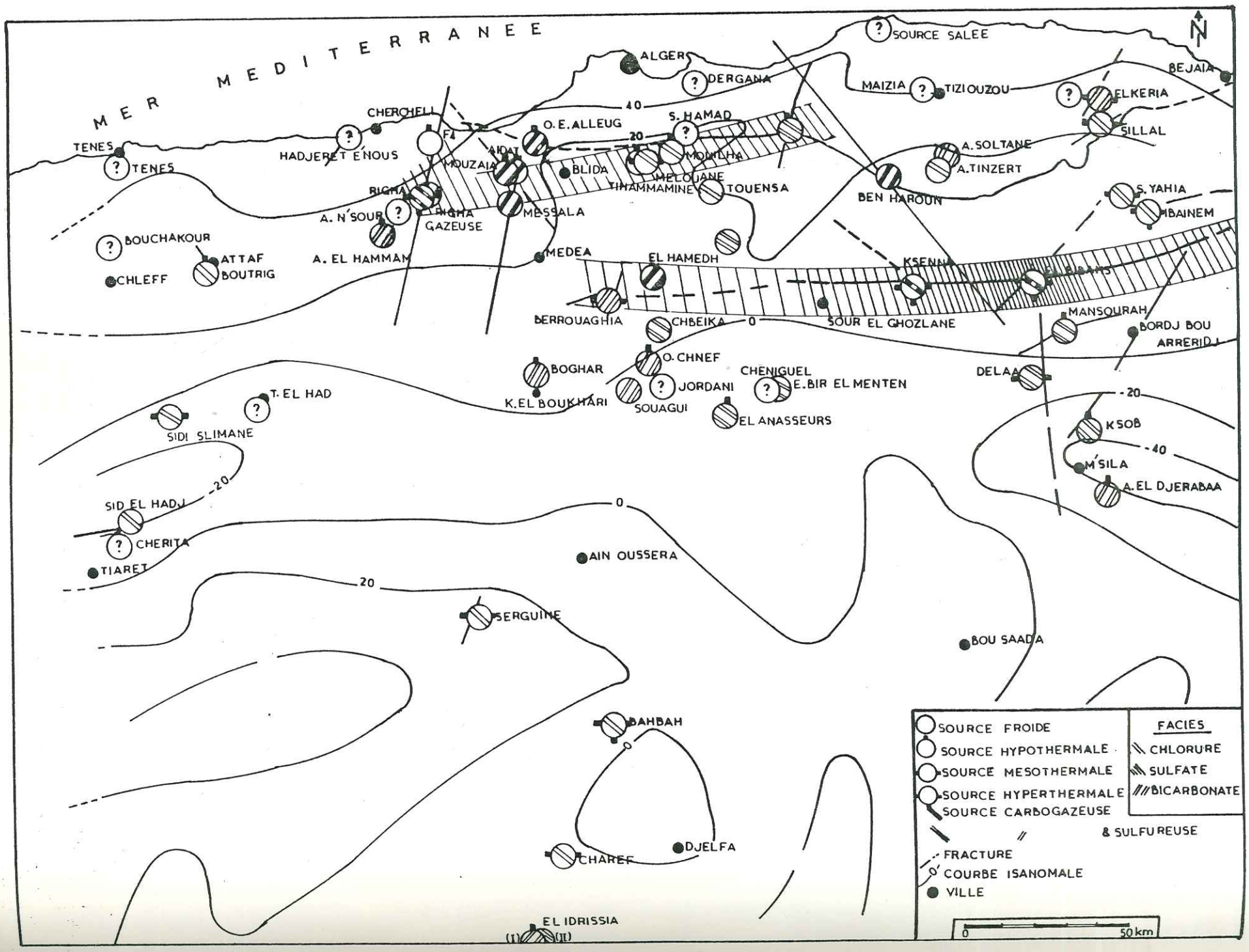
La radioactivité de ces sources chaudes est cependant moyenne à élevée en particulier celles qui sont situées proches de masses cristallines caractérisées par une abondance d'éléments radiogéniques.

Au Sud, la thermalité des eaux décroit et n'est cependant liée qu'à l'effet du gradient géothermique très important dans cette partie du secteur et secondairement aux réactions exothermiques. Les fortes épaisseurs constatées constituent la preuve d'une géothermie liée à la profondeur. Les sources sont dans leur majorité hypothermales ou froides cependant les forages pétroliers effectués ont donné des eaux hyperthermales souvent chlorurées ou sulaftées. Ce faciès est une seconde fois emprunté aux gites salins très abondants dans le Sud algérien qui remontent en surface en diapir. A l'exception des sources à faciès bicarbonaté, toutes les autres sources sont caractérisées par des minéralisations secondaires acquises en dehors du réservoir qui est généralement de nature carbonatée ou parfois gréseuse.

L'estimation de la température des réservoirs thermaux des différentes sources a donné des valeurs relativement importantes variant entre 100°C et 200°C pour les sources hyperthermales et quelques sources mésothermales. Cette thermalité atteint cependant son

maximum à proximité du socle paléozoique de la Kabylie, des Bibans et des masses volcaniques tertiaires de la Mitidja et du Zaccar. Les Bibans constituent la plus importante source géothermale de notre secteur en alimentant toutes les sources de la flexure et de la Grande Kabylie. Plus faiblement encore la Mitidja en particulier la région de Hammam Righa constitue le second site de réchauffement des sources voisines et de toutes celles qui sont situées sur le contact Mitidja- Atlas Bidéen. Ces deux sites constituent de veritables foyers géothermiques pouvant être exploités dans le futur. Les bandes thermiques proposées par P.VERDEIL(1980) sont cependant difficilement observables dans notre secteur. Cependant le manque de données en particulier isotopiques ne nous a pas permis d'apporter plus d'informations concernant cette réserve naturelle très importante pour notre pays. Les différents aquifères thermaux constituent des milieux discontinus et l'exploitation de l'énergie géothermique serait dans ces cas de basse à moyenne enthalpie.

Nous proposons pour finir que soit développée l'utilisation des techniques isotopiques simultanement à un suivi dans le temps des caractéristiques des sources car il serait alors possible de mieux détérminer la nature et les taux de mélanges des eaux parvenant aux émergences. Les différents circuits hydrothermaux ont en effet des structures hétérogènes dans lesquelles circulent des eaux d'origine et de composition souvent très différentes ce qui peut masquer la réalité de l'importance du thermalisme qui comme nous l'avons vu est un des traits importants de l'Algérie mais que l'on ne peut définir avec précision que dans le cadre d'une vue sunythétique de l'ensemble des données géologiques, géophysiques et géochimiques.


MER MEDITERRANEE
N
SOURCE SALEE
ALGER
DERGANA
BEJAIA
MAIZIA
TIZI OUZOU
ELKERIA
SILLAL
CHERCHELL
F4
O. E. ALLEUG
S. HAMAD
TENES
TENES
HADJERET ENOUS
AIDAT
MOUZAIA
BLIDA
MOUILHA
MELOUANE
THAMMAMINE
TOUENSA
A. SOLTANE
A. TINZERT
BEN HAROUN
S. YAHIA
IBAINEM
RIGHA
A. N'SOUR
RIGHA GAZEUSE
MESSALA
BOUCHAKOUR
ATTAF
BOUTRIG
CHLEFF
A. EL HAMMAM
MEDEA
EL HAMEDH
KSENNA
BERROUAGHIA
CHBEIKA
SOUR EL GHOZLANE
MANSOURAH
BORDJ BOU ARRERIDJ
O. CHNEF
BOGHAR
CHENIGUEL
E. BIR EL MENTEN
DELAA
K. EL BOUKHARI
JORDANI
SOUAGUI
EL ANASSEURS
T. EL HAD
SIDI SLIMANE
KSOB
M'SILA
A. EL DJERABAA
SID EL HADJ
CHERITA
TIARET
AIN OUSSERA
SERGUINE
BOU SAADA
BAHBAH
DJELFA
CHAREF
EL IDRISSIA
(I)
(II)
SOURCE FROIDE
SOURCE HYPOTHERMALE
SOURCE MESOTHERMALE
SOURCE HYPERTHERMALE
SOURCE CARBOGAZEUSE
& SULFUREUSE
FACIES
CHLORURE
SULFATE
BICARBONATE
FRACTURE
COURBE ISANOMALE
VILLE
0
50 km

BIBLIOGRAPHIE

AYME. A (1956) :"Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure atlasique, origine des eaux alcalines, accidents tectoniques, séismicité de la région de Blida". Travaux de collaborateurs (1955). 2vol. 394 p. 35fig. 28pl. 4 tab. 3 carte au 50.000 et 200.000e. 14 pl et coupes géologiques.

AMRAOUI.A (1984): " Chimie des eaux". Mémoire de D.E.A" . Université de Grenoble I

BENNETON.J.R, TRUILLET.R (1979): " Mise en évidence dans la plaine de la Mitidja d'accidents profonds. Conséquences hydrogéologiques et pédologiques". Bulletin de la société géologique de France. Compte rendu sommaire des scéances, fasc 1.

BERTHERAND A. (1856) "Eaux minérales de l'Algérie - Mouzaia-les-mines près de Médéa, Province d'Alger"

BOILLOT.G, MONTADERT.L, LEMOINE.M, BIJU-DUVAL.B. (1984): "Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France". pp 176.

BOSCH.B, DAZY.J, LEPILLER.M, MARCE.A, OLIVE.P, ANDRE POULAIN.P, SARROT-REYNAULD.J (1976) "Données nouvelles sur quelques sources thermominérales des Alpes françaises". International congrès on thermal water. IAMS. Athènes.

BRIVES.A (1909). "Conditions géologiques de la source thermale de Hammam Méloaune et sur quelques sources thermales du Maroc". Congrès international d'hydrologie et climatologie d'Alger.

BRIVES.A, DALLONI.M, FICHEUR.E, SAVORNIN.J (1923):"Rapports hydrogéologiques(Région de Saida, Basin de la Mina, Tiaret et plateau du Sersou, Bassin du Cheliff, Hauts-plateaux d'Alger, Région de Batna, Région de Tébéssa). 170p , 20 fig

CAIRE.A (1957): "Etude géologique de la région des Bibans (Algérie)" 2volumes 818p, 149 fig. 6pl, 15 photos.

CAIRE.A (1960): "La genèse des failles de la chaine des Bibans dans la région des portes de fer (Algérie). Travaux des collaborateurs,1959. 466p

CALEMBERT.L.(1952):" Etude géologique du massif culminant de l'Ouarsenis" Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie, 2eme série. 184p.24fig.14pl

CASTANY.G (1967): "Traité partique des eaux souterraines". Edition DUNOD _ Paris.

CASTANY- MAISONNEUVE et RISLER-SCHOELLER H et M, BATANT.BILLET et RISLER - MINOUX-MICHARD - KRAJDA (1979): "Eaux minérales et thérmales" Bulletin BRGM Section III N°2

CHAUMONT.M, PAQUIN.C (1971): "Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500.000". Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord. Facullté des Sciences d'Alger.

CIBOIS.P (1985): " Que sais-je: L'analyse factorielle." Presse universitaire de France.

COLLIGNON .B (1986): "Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des monts de Tlemcen" Thèse d'université Montpellier

COUTELLE.A (1979): "Géologie du Sud-Est de la Grande Kabylie et des Babors d'Akbou".

Doctorat Es-Science. 128 fig. 568p. Université de Bretagne occidentale.

CRUCHET .M (1983): " Relation entre l'hydrogéologie, le thérmalisme et les circulation d'eaux uranifères dans les roches fissurées. Les massifs cristallins de basse Maurienne (Savoie). Thèse de 3eme cycle. Grenoble

DAVID P, CONRAD H, CREVELLEC J, VERDEIL P (1977): " Recherche d'une classification des eaux. Exemple des eaux minérales, thérmales, thérmominérles d'Algérie." Réunion annuelle des sciences de la terre I.G.B.A

DAZY J. ROCHAT J. OLIVE Ph. (1980): "Nouvelles données géochimiques et isotopiques sur les eaux thérmales d'Uriage- les- Bains (Isère). CR 105e Congrès société savante Caen 1980 pp 111.

DAZY.J, DRAY.M, JUSSERAND.C, PASQUALOTTO.M, ZUPPI.G.M. (1986): "Caractérisation isotopique des eaux thermominérales des Alpes du Nord Franco-italiennes.

DEVAUX J. (1969): " Recherche de l'organisation des contraintes dans le tréfonds de l'Algérie du Nord. Le rôle des failles de décrochement obliques sur l'Ouest"
Bulletin du service géologique de l'Algérie. Nouvelle série. Bull. N°39 pp 41 à 69.

D.E.M.R.H (1973): Notice explicative de la carte hydrogéologique de la région d'Alger.

DIB A.H (1985): "Le thérmalisme de l'Est algérien" Thèse de Doctorat 3e cycle en hydrogéologie. Université d'Alger

DJEMAI.M. (1985): "Hydrologie du bassin versant du haut Sébaou. Hydrogéologie des formations alluviales (Algérie). Thèse de Docteur Ingénieur. Université de Grenoble. 261p. 54 tab . 111 fig.

EHRMAN F (1958): " Monographie des sources thermales et thérmominérales de Kabylie" Extr. Revue de la chambre syndicale des architectes d'Algérie 1958 série nouvelle N°10 juillet-Aout-Sept.

FOURNIER R.O and A.H TRUESDELL. (1973): " An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters". Geochimica et cosmoschimica acta 1973 vol. 37 pp 1255 - 1275.

GIRARDIN.N, HATZFELD.D, GUIRAUD.R (1977): "La séismicité de du Nord de l'Algérie". CRS.SGF. Paris 1977. pp 95-100

GLANGEAUD.L. (1932): "Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger". Bull. du Service de la carte géologique de l'Algérie. Déscriptions régionales. 2eme série N°8

GLANGEAUD.L, AYME.A, CAIRE.A, MATTAUER.M, MURAMOUR.P (1952): " Histoire géologique de la province d'Alger" Monographie régionale 1ere série N°25. Publication du XIXe congres géologique international; Alger 1952.

GONORD.H, GREVELLEC.J, VERDEIL. P. (1979): "Le thémalisme Algérien dans son cadre géostructural" 5eme RAST p 25.

GRILLOT. J.C et DROGUE.C (1986):"hydrothermalisme et tectonique cassante dans les granites hercyniens du Nord-Ouest du Portugal. Bull. Soc. Géol. tome II N°4 pp 653.666.

GRILLOT.J.C, BOUSQUET.J.C, PHILIP.H, DAZY.J (1983): " Hydrothermalisme carbogazeux, radioactivité et sismotectonique. Exemple du Languedoc-Roussillon (France). Hydro., Géol. Ingénieur 4. 1983 pp 313-320 1tabl. 1 carte h.t.

GRANDJEAN.A, GUIRAUD.R et POLVECHE,J. (1965): "Le séisme de M'Sila" Travaux de collaborateurs. Bull. du Serv. Géol. de l'Algérie. Bull N°33 pp 33 à 47.

GUIGUE.S (1940): " Les sources thermominérales de l'Algérie. Etude géochimique" Tome (I) 140p 8fig .40 graph. 3pl h-t. 1carte h-t.

GUIGUE.S (1947): "Les sources thermominérales de l'Algérie. Etude géochimique" Tome (II). 112p , 46 graph, 3pl h-t.

GUIGUE.S. (1952): "Diagrammes logarithmiques de quelques sources thermominérales d'Algérie" Travaux récents de collaborateurs (pp.83-106, 10 tab. 14 diag.). fasc III.

GUIRAUD.R (1969): "Les traits principaux de l'hydrogéologie du bassin du Chott El Hodna 'Algérie Nord. Travaux de collarboratuers.Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie (Nouvelle série) Bull. N°39 pp 159 - 170.

GRILLOT.J.C, DAZY.J.(1983):"Photo-interprétation tectonique cassante et thérmalisme: Exemple du domaine alpin (France)". Géologie alpine. tome 59- 1983 pp 45-60.

HERVOUET.Y (1974): "Etude géologique de l'Atlas de Tablat (Tell Algérois). Coupe et carte . Thèse 3eme cycle.

JEANTIN.H (1979):" Les sources minérales carbogazeuses de la haute-Ardèche". Thèse de Doctorat 3e cycle. Université de Grenoble 220 p.

KAZI-TANI.N.(1986): "Evolution géodynamique de la bordure Nord-Africaine. Le domaine intraplaque Nord-Algérien. Approche mégaséquentielle" . thèse de Doctorat Es-Sciences. Université de Pau. 2tomes. 871pp.

KIEKEN. M.(1962): "Esquisse tectonique de l'Algérie du Nord". Présentation de la carte tectonique au 1/1.000.000, 16p,3pl.

LAGRULA.J.(1951): " Etude gravimétrique de l'Algérie-Tunisie". Bull. du Serv. de la Carte Géologique de l'Algérie. 4e série géophysique N°2. pp 99-106.

LAMY.P. (1986): "Comportement hydrogéologique des terrains karstiques et molassiques du Sud du Bugey Savoyard. Thèse de 3e cycle . Université de Grenoble.

LASNIE.R.(Dr Médecin aide major.) "Eaux minérales de l'Algérie. Ben Haroun- près de Dra El Mizan-Kabylie." Province d'Alger- Gazette Médicale.

LE MARECHAL.A, TEIL.H.(1973): "Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques des sources thermominérales du Caméroun." Cahier ORSTOM. Service géol. Vol N°2 pp 217-234.

LEPVRIER.C, MAGNE.J et SIGAL.J.(1970) : "Données structurales sur les formations telliennes d'une partie du Tell Séptentrional (secteur compris entre Cherchell, Miliana, El Asnam et Ténès (Algérie). Bull. Soc. Géol. de France 7eme série Tome XII N°5 pp 794-804.

MASSONAT.G. (1980): "Hydrogéologie en milieu fissuré et thermalisme. Etude du massif de Bramefarine et du Nord du massif d'Allevard. La source thermominérale d'Allevard. Isère .France. Thèse de Doctorat de spécialité. Université de Grenoble. 307p. 85 pl.

MASSIMO.P.(1985-1986): "Studio idrogeochimico ed isotopico delle sor genti termo-minerali delle vallee d'Aosta e regioni alpine limitrofe". Universita'degli studi di Turino. Corso di Laurea in scienze della terra. pp 51-58

MATTAUER.M.(1958):"Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie)".Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. 534p,214 fig, 9pl. 1 carte géologique au 200.000, 1pl.coupe h-t

MERZOUK.O (1981): "Le tremblement de terre d'El Asnam du 10 oct 1980- Etude des repliques." IRIGM. Thèse de 3e cycle. Spécialité physique. Mention:ghéophysique.

MESSAOUD NACER.N. (1987): "Hydrologie et pollution des eaux. exemple du bassin versant du Mazafran, Mitidja (Algérie)" Thèse de 3eme cycle Grenoble 1987 240p.

MORET.L (1946):" Les sources thermominérales. Hydrogéologie-Géochimie-Biologie" Masson Paris. 146p.

POUGET.L et CHOUCHAK.D (1923):" Radioactivité d'eau des sources". Bulletin Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord. Département d'Alger 1923. N°14. pp 265-272

REVUE I.F.P (1976). "Esquisse photogéolcgique du domaine méditerranéen." XXXI N°3. pp 384-386.

RISLER.J.J (1976): "Géothermomètres et sources chaudes du Massif central français". Bulletin du BRGM. 2eme série section IV N°1/2. pp 101-106 2fig. 2 tab.

ROCHAT.J, SALEHI. E, SARROT REYNAULD.J (1979): "Géochime des eaux thermominérales. Répartition et origine des halogénures et des éléments traces dans les eaux thermales d'Azarbaidjan oriental (Iran). Comptes rendus du 104 e Congrès national des Sociétés savantes; Bordeaux (1979) Fasc III.

ROTHE.J.P (1950): "Le séisme de Kerrata et la séismicité de l'Algérie". Bulletin du Service de la carte géologique de l'Algérie. série 4 - N°3.

SALEHI.E et SARROT REYNAULD.J (1977):" Détérmination des taux de mélanges des eaux thermominérales et superficielles par utilisation des géothermomètres chimiques en Azarbaidjan oriental (Iran)." Comptes rendus du 102e Congrès des sociétés savantes. Limoges 1977 Fasc III.

SALEHI. E. (1978): "Sources thermominéraes et anomalies géothermiques en Azarbaidan oriental (Iran), Origine et caractéristiques géochimiques".Doctorat d'Etat 283p, 48tab. 62 fig.

SARROT-REYNAULD.J, ROCHAT.J- DAZY.J (1981):"Répartition des éléments traces dans les eaux thermominérales". Journal of hydrology. section 4 pp 33 - 50.

SARROT-REYNAULD.J (1979)"Tectonique et anomalies géothermiques. Données nouvelles sur les sources thermominérales de Tarentaise, Brides, Salins et La Léchère (Savoie). CR du 104e Cong. Soc.Sav 1979 pp 111-122 Bordeaux.

SARROT REYNAULD.J (1979): " Tectonique et anomalies géothermiques. Données nouvelles sur les sources thermominérales de Tarentaise:Brides, Salins et La Léchère (Savoie)." Comptes rendus du 104e Congrès National des Sociétés Savantes. Bordeaux 1979. FascIII.

SARROT REYNAULD.J, POULAIN.P.A, MARCE.A (1977): " Tectonique et anomalies géothermiques: Les sources thermominérales des bordures orientales et méridionales du massif su Pelvoux". Géologie alpine t.53 pp 75-82.

SAVORNIN.J.(1908): "Essai sur l'hydrogéologie du Hodna. Régime artesien, sources vauclusiennes, sources thermominérales". Bull. Serv. de la carte géologique de l'Algérie. 124p.24 fig

SCHOLLER.H (1962): "Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Exploitation et évaluation des ressources". Edition Masson. Paris.

SELTZER.P (1976): "Le climat de l'Algérie". Typo.litho. Alger.

SIMEON. Y. (1980): "Etude hydrogéologique des sources thermominérales de Tarentaise (Savoie)-Brides-SAlins les thermes- La Lechère". Thèse de 3eme cycle. Université de Grenoble. 219p.

VERDEIL.P (1980): "Les eaux minérales ,thermales,thermominérales dans le cadre de la tectonique globale. Implications géologiques et géochimiques.

VERDEIL.P et ISSAADI.A (1985): "Le thermalisme de l'Ouest Algérien dans le cadre de la tectonique globale". 5eme séminaire national des sciences de la terre Alger 2-3-4 Dec 1985.

VUATAZ. F.(1982): "Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes" Thèse 3eme cycle Genève Société Hélvétique des Sciences Naturelles.

WILDI.W (1983): " La chaine tello-rifaine". Revue de géologie dynamique et de géographie physique . Vol 24 fasc 3.

MEMOIRES D'INGENIEURS:

BOUNOUA EL HADJ.(1985): "Etude hydrogéologique de la plaine de Ain Diss (partie sud occidentale du Hodna). Université de Bab Ezzouar. I.S.T

RABIA.R (1985):"Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Sidi Ladjel (ex Ouerk). Basse vallée de l'Oued Touil". Mémoire d'ingénieur. Université de Bab Ezzouar. I.S.T

LISTES DES CARTES GEOLOGIQUES.

COUPURES au 1/50.000

AZEFFOUN (ex PORT GUEYDON)-AZAZGA	(1906)	E.FICHEUR et SAVORNIN.
AIN ROUA	(1977)	SONATRACH
TIZI OUZOU	(1984)	D.RAYMOND et G.BOSSIERE
CHERCHELL	(1981)	LEPVRIER.C
LAKHDARIA (ex PALESTRO)	(1895)	FICHEUR.E
SIDI AICH	(1951)	DUPLAN.L
LARBAA OULED FARES (ex WARNIER)	(1959)	BUSSON.G
EL ABADIA (ex CARNOT)	(1902)	BRIVES.A
EL ESNAM	(1970)	J.SAVORNIN
BERROUAGHIA	(1965)	DE CHEVILLY.F, A.DE SPENGLER, B.DE BOUTRAY,P.DE COURRIER
TENES (CAP TENES)	(1913)	MATTAUER.M
MILIANA	(1951)	GLANGEAUD.L,CAIRE.A
SOUAGUI	(1962)	DE CHEVILLY.F, GREGOIRE.J.P
MANSOURAH	(1910)	SAVORNIN.J
BORD BOU ARRERIDJ	(1906)	"

TENIET EL HAAD	(1958)	MATTAUER.M, MAGNE.J
KSAR EL BOUKHARI (ex BOGHAR)	(1956)	GUILLEMOT.J
AIN BOUCIF	(1965)	KIEKEN.M
CHELLALA EL ADHAOURA (ex MAGINOT)	(1956)	"
SIDI AISSA	(1960)	DE CHEVILLY.F et KIEKEN.M
TARMOUNT	(1965)	BLADINI.P
MAADID	(1956)	DROOGER.C.W
M'SILA	(1962)	KIEKEN.M, DAME.R
SIDI LADJAL (ex OUERK)	(1970)	CARATINI.C
AIN OUSSERA (ex PAUL GAZELLES)	(1970)	"
KSAR CHALLALA (ex REIBELL)	(1970)	"

COUPURES 1/200.000

CHAINE DU DJURDJURA	(1952)	FLANDRIN.J
CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION D'ALGER	(1973)	I.N.R.H

COUPURES 1/500.000

CARTES GEOLOGIQUES DE L'ALGERIE "ALGERIE NORD"	(1952)	

LISTE DES TABLEAUX.

Tab(I.1) -Classification physico-chimique des sources. 20

Tab(II.1) -Données pluviométriques de la période 1974-1984. 30
Tab(II.2) -Données de température. 37
Tab(II.3) -Classification T.eau-T.air. 39
Tab(II.4) -Classification T.eau. 40

Tab(IV.1.1)-Rapports caractéristique et I.E.B Righa. 85
Tab(IV.1.2)-Températures profondes de Righa. 86
Tab(IV.1.3)-Rapports caractéristique et I.E.B de Righa gazeuse. 89
Tab(IV.1.4)-Rapports caractéristique et I.E.B Mélouane et Tihammamine. 94
Tab(IV.1.5)-Températures profondes de Mélouane et Tihammamine. 95
Tab(IV.1.6)-Rapports caractéristique et I.E.B de Tellat. 98
Tab(IV.1.7)-Températures profondes de Tellat. 99
Tab(IV.1.8)-Rapports caractéristique et I.E.B d'Ain El Hammam. 103
Tab(IV.1.9)-Températures profondes d'Ain El Hammam. 104
Tab(IV.1.10)-Rapports caractéristique et I.E.B de Touensa. 107
Tab(IV.1.11)-Rapports caractéristique et I.E.B forages carbogazeux. 113
Tab(IV.1.12)-Rapports caractéristique et I.E.B de Mouilha. 117
Tab(IV.1.13)-Températures profondes de Mouilha. 118
Tab(IV.2.1)- Rapports caractéristique et I.E.B de Ksenna. 129
Tab(IV.2.2)- Températures profondes de Ksenna. 130
Tab(IV.2.3)- Rapports caractéristique et I.E.B des Bibans. 135
Tab(IV.2.4)- Températures profondes des Bibans. 137
Tab(IV.2.5)- Rapports caractéristique et I.E.B d'Ibainem. 140
Tab(IV.2.6)- Rapports caractéristique et I.E.B de Sidi Yahia. 146
Tab(IV.2.7)- Températures profondes de Sidi Yahia. 147
Tab(IV.2.8)- Rapports caractéristique et I.E.B de Sillal. 149
Tab(IV.2.9)- Températures profondes de Sillal. 150
Tab(IV.2.10)-Rapports caractéristique et I.E.B d'El Kéria. 153
Tab(IV.2.11)-Températures profondes d'El Kéria. 154
Tab(IV.3.1)- Rapports caractéristique et I.E.B de Délaa. 165
Tab(IV.3.2)- Températures profondes de Délaa. 166
Tab(IV.3.3)- Rapports caractéristique et I.E.B de Mansourah. 169
Tab(IV.3.4)- Températures profondes de Mansourah. 170
Tab(IV.3.5)- Rapports caractéristique et I.E.B de Ksob. 174
Tab(IV.3.6)- Températures profondes de Ksob. 174
Tab(IV.3.7)- Rapports caractéristique et I.E.B d'Ain El Djerabaa. 176
Tab(IV.4.1)- Rapports caractéristique et I.E.B d'El Mesrane. 186
Tab(IV.4.2)- Températures profondes d'El Mesrane. 187
Tab(IV.4.3)- Rapports caractéristique et I.E.B de Charef. 191
Tab(IV.4.4)- Températures profondes de Charef. 192
Tab(IV.4.5)- Rapports caractéristique et I.E.B de Serguine. 196
Tab(IV.4.6)- Températures profondes de Serguine. 196
Tab(IV.5.1)- Rapports caractéristique et I.E.B de Berrouaghia. 210
Tab(IV.5.2)- Températures profondes de Berrouaghia. 211
Tab(IV.5.3)- Rapports caractéristique et I.E.B d'El Hamedh. 213
Tab(IV.5.4)- Rapports caractéristique et I.E.B de Boghar. 218
Tab(IV.5.5)- Températures profondes de Boghar. 219
Tab(IV.6.1)- Rapports caractéristique et I.E.B de Sidi Slimane. 236
Tab(IV.6.2)- Températures profondes de Sidi Slimane. 237
Tab(IV.6.3)- Rapports caractéristique et I.E.B de Boutrig. 240
Tab(IV.6.4)- Températures profondes de Boutrig. 241
Tab(V.1) - Classification des sources suivant leurs conductivités. 247
Tab(V.2) - Classification des sources suivant leurs pH. 248
Tab(V.3) - Classification des sources suivant leurs I.E.B. 251
Tab(V.4) - Teneurs des ions majeurs et traces de certaines sources 259

LISTE DES FIGURES.

Fig(I.1) -Situation géographique des sources thermominérales du centre Algérien 9
Fig(I.2) -Représentation graphique des sources sur diagramme Schoeller-Berkaloff 16
Fig(I.3) -Représentation graphique des sources sur diagramme Piper 17
Fig(I.4) -Modèles de circulation des eaux. 26

Fig(II.1) -Carte pluviométrique d'après Chaumont et Paquin (1913-1963) 31
Fig(II.2) -Carte pluviométrique de la période 1974-1984 32

Fig(III.1) -Esquisse structurale de la Berbérie. 46
Fig(III.2) -Coupes géologiques interprétatives des régions telliennes. 48
Fig(III.3) -Carte structurale du secteur étudié. 49
Fig(III.4) -Situation des principales fractures décrites par J.DEVAUX. 59
Fig(III.5) -Répartition des bandes thermiques P.VERDEIL. 63
Fig(III.6) -Analyse statistique de la fracturation. 64
Fig(III.7) -Répartition des différentes directions de linéaments dans le secteur. 66
Fig(III.8) -Relations entre fracturation et sources thermominérales. 68
Fig(III.9) -Anomalies gravimétriques du secteur d'étude 70
Fig(III.9 bis) -Anomalies gravimétriques des Bibans. 71
Fig(III.10) -Répartition des principaux foyers séismiques en Algérie centrale. 75
Fig(III.11) -Coupe synthétique du secteur étudié. 77

Fig(IV.1.1) -Situation géographique des sources thermominérales de l'algérois. 80
Fig(IV.1.2) -Situation géologique des sources thermominérales de l'algérois. 81
Fig(IV.1.3) -Situation géographique des sources de Righa et Righa gazeuse. 82
Fig(IV.1.4) -Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Righa et Righa gazeuse. 83
Fig(IV.1.5) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper des sources de Righa et Righa gazeuse. 87
Fig(IV.1.6) -Situation géographique des sources de Mélouane et Tihammamine. 91
Fig(IV.1.7) -Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Mélouane et Tihammamine 92
Fig(IV.1.8) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper des sources de Mélouane et Tihammamine. 96
Fig(IV.1.9) -Situation géographique des sources de Tellat. 97
Fig(IV.1.10)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper des sources de Tellat. 100
Fig(IV.1.11)-Coupe géologique du secteur de Tellat, Ain El Hammam, Touensa. 101
Fig(IV.1.12)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper des sources d'Ain El Hammam. 105
Fig(IV.1.13)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper des sources de Touensa. 107
Fig(IV.1.14)-Cadre géostructural et coupes géoéléctriques de la Mitidja occidentale. 111
Fig(IV.1.15)-Coupe géologique de la Mitidja occidentale.
-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper des sources des eaux carbogazeuses. 112
Fig(IV.1.16 -Modèle de circulation des eaux carbogazeuse. 115
Fig(IV.1.17)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper des sources de Mouilha. 117
Fig(IV.1.18)-Modèle de fonctionnement des sources de la Mitidja et de ses environs. 122
Fig(IV.2.1) -Situation géographique des sources thermominérales de Kabylie et des Bibans. 125
Fig(IV.2.2) -Situation géologique des sources thermominérales de Kabylie et des Bibans. 126
Fig(IV.2.3) -Situation géographique des sources de Ksenna. 127
Fig(IV.2.4) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Ksenna 131
Fig(IV.2.5) -Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Ksenna et des Bibans. 132

Fig(IV.2.6) -Situation géographique de la source des Bibans. 133
Fig(IV.2.7) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source des Bibans 137
Fig(IV.2.8) -Situation géographique de la source d'Ibainem. 138
Fig(IV.2.9) -Coupe géologique du secteur d'Ibainem. 141
Fig(IV.2.10)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source d'Ibainem. 141
Fig(IV.2.11)-Situation géographique de la source de Sidi Yahia. 143
Fig(IV.2.12)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Sidi Yahia. 145
Fig(IV.2.13)-Situation géographique de la source de Sillal. 148
Fig(IV.2.14)-Coupe géologique du secteur de Sillal. 151
Fig(IV.2.15)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Sillal. 151
Fig(IV.2.16)-Situation géographique de la source d'El Kéria. 152
Fig(IV.2.17)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source d'El Kéria. 155
Fig(IV.2.18)-Modèle de fonctionnement des sources de la Kabylie et des Bibans. 160

Fig(IV.3.1) -Situation géographique des sources thermominérales du bassin du Hodna. 161
Fig(IV.3.2) -Situation géologique des sources thermominérales du bassin du Hodna. 162
Fig(IV.3.3) -Situation géographique des sources de Délaa. 163
Fig(IV.3.4) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Délaa. 165
Fig(IV.3.5) -Situation géographique de la sources de Mansourah. 167
Fig(IV.3.6) -Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Mansourah. 168
Fig(IV.3.7) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Mansourah. 171
Fig(IV.3.8) -Situation géographique des sources de Ksob et d'Ain El Djerabaa 172
Fig(IV.3.9) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Ksob . 175
Fig(IV.3.10)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source d'Ain El Djerabaa . 176
Fig(IV.3.11)-Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Ksob et de Ain El Djerabaa. 177
Fig(IV.4.1) -Situation géographique des sources thermominérales de la régio de Djelfa. 181
Fig(IV.4.2) -Situation géologique des sources thermominérales de la région de Djelfa. 182
Fig(IV.4.3) -Situation géographique des sources d'El Mesrane et de Charef. 188
Fig(IV.4.4) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source d'El Mesrane. 188
Fig(IV.4.5) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Charef. 192
Fig(IV.4.6) -Situation géographique de la source de Serguine. 193
Fig(IV.4.7) -Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Serguine. 195
Fig(IV.4.8) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Serguine. 197
Fig(IV.5.1) -Situation géographique des sources thermominérales de la régio de Titteri. 204
Fig(IV.5.2) -Situation géologique des sources thermominérales de la région de Titteri. 205
Fig(IV.5.3) -Situation géographique des sources de Berrouaghia. 206
Fig(IV.5.4) -Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Berrouaghia. 207
Fig(IV.5.5) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Berrouaghia. 210
Fig(IV.5.6) -Situation géographique des sources d'El Hamedh. 212
Fig(IV.5.7) -Coupe géologique du secteur d'El Hamedh. 213
Fig(IV.5.8) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source d'El Hamedh. 214
Fig(IV.5.9) -Situation géographique des sources de Boghar. 216

Fig(IV.5.10)-Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Boghar. 217
Fig(IV.5.11)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Boghar et d'El Annansseurs. 220
Fig(IV.5.12)-Coupe géologique du secteur d'El Annasseurs. 222
Fig(IV.5.13)-Coupe géologique du secteur de Chbeika. 224
Fig(IV.5.14)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Chbeika. 224
Fig(IV.5.15)-Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source d'Ouled Chnef. 227
Fig(IV.6.1) -Situation géographique des sources thermominérales de la région de l'Ouarsenis 231
Fig(IV.6.2) -Situation géologique des sources thermominérales de la région de l'Ouarsenis. 232
Fig(IV.6.3) -Situation géographique des sources de Sidi Slimane. 233
Fig(IV.6.4) -Coupe géologique et modèle de circulation des eaux de Sidi Slimane. 234
Fig(IV.6.5) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Sidi Slimane. 236
Fig(IV.6.6) -Situation géographique de la source de Boutrig. 238
Fig(IV.6.7) -Représentation graphique sur diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper de la source de Boutrig. 240

Fig(V.1) - Représentation des sources analysées dans le plan F1.F2 252
Fig(V.2) - Répartition des sources suivant leurs origines géologiques. 252
Fig(V.3) - Représentation des sources analysées dans le plan F1.F3 254
Fig(V.4) - Représentation des sources analysées dans le plan F2.F3 254
Fig(V.5) - Correlation des paramètres chimiques. 255
Fig(V.6) - Répartition des ions dans les eaux du centre. 260
Fig(V.7) - Répartition des ions dans les eaux du centre. 261
Fig(V.8) - Répartition des ions dans les eaux du centre. 262
Fig(V.9) - Situation géologique des sources franco-italiennes. 265
Fig(V.10) - Coupe simplifiée des Alpes occidentales de Lausanne à Ivréa. 266
Fig(8bis) - Répartition des éléments majeurs et traces dans les sources alpines. 269
Fig(V.11) - Relation entre Silice-Température des sources alpines et algériennes. 270

SOMMAIRE.

CHAPITRE I. INTRODUCTION et GENERALITES.

I.1- Historique..... 5
I.2- Buts de l'étude..... 5
I.3- Exploitation des sources thermominérales..... 6
I.4- Aperçu géographique du secteur d'étude..... 7
4.1- Introduction..... 7
4.2- Description des différents domaines..... 7
4.2.1- Atlas tellien..... 7
4.2.2- Hauts plateaux..... 8
4.2.3- Atlas saharien..... 8
I.5- Méthodes de travail..... 11
5.1- Travaux de terrain..... 11
5.2- Travaux de laboratoire..... 11
5.2.1- Analyses physico-chimiques..... 11
I.6- Méthodes d'interprétation..... 13
6.1- Interprétation des données physiques..... 13
6.2- Interprétation des données chimiques..... 14
6.3- Classification des eaux..... 18
6.3.1- Classification physique..... 18
6.3.2- Classification chimique..... 18
6.4- Utilisation des géothermomètres..... 23
6.4.1- Introduction..... 23
6.4.2- Déscription des géothermomètres..... 23

CHAPITRE II. FACTEURS CLIMATIQUES.

II.1 Généralités..... 29
1.1- Facteurs géographiques..... 29
1.2- Facteurs météorologiques..... 29
II.2- Analyse des données pluviométriques..... 33
2.1- Introduction..... 33
2.2- Analyse des cartes..... 33
2.3- Précipitations et thermalisme..... 34
II.3- La température..... 35
3.1- Généralités..... 35
3.2- Classification des sources..... 36
3.2.1- Température Eau-air..... 36
3.2.2- Température Eau..... 38
II.4- Conclusion..... 41

CHAPITRE III. APERCU GEOLOGIQUE

III.1- Aperçu géologique du secteur d'étude.
1.1- Introduction..... 45
1.2- Le domaine saharien..... 45
1.3- Le domaine atlasique..... 45
1.4- Le domaine des hautes plaines..... 45
1.5- Le domaine tello-rifain..... 45
1.6- Données structurales..... 51
1.7- Quelques données lithostratigraphiques..... 52

des domaines atlasique et préatlasique.....
1.7.1- Introduction..... 52
1.8- Conclusion..... 57

III.2- FRACTURATION..... 58
2.1- Introduction..... 58
2.2- Aperçu détaillé des travaux antérieurs..... 58
2.3- Travaux effectués..... 65
2.4- Conclusion..... 67
III.3- GRAVIMETRIE..... 69
3.1- Introduction..... 69
3.2- Aperçu des travaux effectués..... 69
3.2.1- Zones à anomalies positives..... 69
3.2.2- Zones à anomalies négatives..... 69
3.3- Conclusion..... 72
III.4- ANALYSE DE LA SEISMICITE..... 73
4.1- Introduction..... 73
4.2- Etude de la séismicité..... 73
4.3- Conclusion..... 74
III.5- CONCLUSION..... 76

CHAPITRE IV. ANALYSE DETAILLEE DES SOURCES.

IV.1- Région de l'Algérois (bassin de la Mitidja)
1.1- Hammam Righa & Ain el Garça 82
1.2- Hammam Mélouane & Tihammamine..... 91
1.3- Hammam Tellat..... 97
1.4- Ain el Hammam..... 102
1.5- Hammam Touensa..... 106
1.6- Sources carbogazeuses..... 108
1.7- Ain Mouilha..... 116
- Conclusion..... 120

IV.2- Région de Kabylie et des Bibans.
2.1- Hammam Ksenna..... 127
2.2- Hammam El Bibans..... 133
2.3- Hammam Ibainem..... 138
2.4- Hammam Sidi Yahia..... 143
2.5- Hammam Sillal..... 148
2.6- Hammam El Kéria..... 152
2.7- Ain Tinzert..... 156
2.8- Ain Soltane..... 157
- Conclusion..... 159

IV.3- Région du Hodna.
3.1- Hammam Delaa..... 163
3.2- Hammam Mansourah..... 167
3.3- Hammam Ksob(Bélaribi) & Ain el Djerabaa..... 172
- Conclusion..... 178

IV.4- Région de Djelfa.
4.1- Forage Hassi Bahbah (El Mesrane)..... 183
4.2- Hammam Charef..... 189
4.3- Hammam Serguine..... 193
4.4- Forages El Idrissia 1 & 2..... 198
- Conclusion..... 201

IV.5- Région de Titteri.
5.1- Hammam Berrouaghia..... 206
5.2- Ain el Hamed..... 212
5.3- Forage de Boghar..... 216
5.4- Hammam el Annasseurs..... 221
5.5- Hammam Chbeika..... 223
5.6- El Bir el Menten & Cheniguel..... 225
5.7- Hammam Ouled Chnef..... 226
- Conclusion..... 228

IV.6- Région de l'Ouarsenis et du Chéliff.
6.1- Hammam Sidi Slimane..... 233
6.2- Hammam Boudjenane..... 238
6.3- Hammam Sid el Hadj..... 242
- Conclusion..... 244

CHAPITRE V. ETUDE COMPARATIVE DES SOURCES.

V.1- Introduction..... 246
V.2- Analyse des paramètres physico-chimiques..... 246
V.2.1- La Conductivité..... 246
V.2.2- Le pH..... 248
V.3- Classification des données chimiques..... 248
V.4- Classification des indices d'échanges de bases..... 249
V.5- Analyse de la répartition des éléments majeurs..... 250
V.6- Analyse factorielle des sources..... 253
V.7- Analyse des éléments mineurs..... 257
7.1- Discussion des résultats..... 257
V.8- Rapports ioniques..... 258
V.9- Conclusion..... 263
V.10-Présentation des secteurs comparés..... 264
10.1- Introduction..... 264
10.2- Description géologique du domaine alpin..... 264
10.3- Description géologique du secteur d'étude.... 264
10.4- Chimisme des eaux..... 267
10.5- Comparaison des rapports ioniques des eaux... 268
10.6- Comparaison des diagrammes Température-Silice 268
V.11- Conclusion..... 271

CONCLUSION GENERALE..... 273
Bibliographie..... 2
Liste des tableaux..... 2
Liste des figures..... 2
Sommaire..... 2

BIBLIOTHÈQUE GRENOBLE INTERUNIVERSITAIRE

Thèse de Doctorat 3 Cycle

Spécialité sciences de la terre / option hydrogéologie

Titre : **Etude hydrogéologique et hydrochimique des sources thermominérales de l'Algérie centrale**

Par: **Nedjai Rachid**

Etablissement: Université scientifique, Technique et Médicale de Grenoble.

-RESUME-

Le thermalisme algérien est caractérisé par une forte concentration des sources chaudes au Nord, généralement liées à de grandes fractures affectant profondemment les formations sédimentaires et parfois même le socle cristallin. Ces fractures sont souvent injectées d'évaporites triasiques. Leurs directions respectives sont NE -SW, NW - SE ou E -W limitant les grands ensembles géostructuraux. Deux différents faciès peuvent être reconnus:

- Un pourcentage élevé de sources, jalonnant les grands accidents, ont un faciès chloruré ou sulfaté et sont souvent chaudes (hyper ou mésothermales).

-Un second groupe, lié aux massifs calcaires ou au socle, montre un faciès bicarbonaté calcique ou sodique. Ces sources sont parfois carbogazeuses.

L'énérgie nécessaire au réchauffement provient principalement des grands réservoirs géothermiques (Bibans) et secondairement du gradient géothermique, des réactions exothermiques ou/et de l'activité séismique. Les réservoirs sont carbonatés ou gréseux.

Le thermalisme algérien montre de grandes analogies avec celui des Alpes franco-italiennes, et plus particulièrement pour leurs relations avec les fronts de chevauchements limitant les grands ensembles géostructuraux.

Mots-clés: Thermalisme, source, Algérie, fracture, faciès, géothermique, réservoir, carbogazeuses.

-ABSTRACT-

The Algerian thermalism is caracterized by a high concentration of hot springs in the North, generally related to great fractures affecting deeply the sedimentary formations and sometime the basement. This fractures are often injected by triassic evporates. There respective directions are NE -SW, NW -SE or E -W and they limit the great geostructural units. Two differents facies can be regonized:

-A high percentage of the springs, staking out the great accidents have chlorured or sulphated facies and they are often hot (Hyper or Mesothermals).

-A second group related to the calcareous massifs or basement schow bicarbonated calcic or sodic facies. These springs are sometime carbogazeous.

The neccessary warming up energy come principally from great geothermic reservoirs (Bibans) and secondary can be related to the geothermic gradient, exothermic réactions or/and seismic activity.

The reservoirs are carbonated or sandstone-liked.

So, the Algerian thermalism supports great analogies with that of the franco-italian alps, particulary for its relation with the overthrusting front limiting great geostructural units.

Key-words: Thermalism, spring, Algeria, fracture, facies, geothermic, reservoir, carbogazeous.