

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2009

Faculté des Sciences de la Terre
Département de géologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option: Hydrogéologie enviroèmontale et modélisation

THEME

Caractéristiques des sources thermales de la région
D'azzaba

Présenté par :Bekkouche Mohamed Faouzi

Directeur de mémoire:Benhamza Moussa

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

DEVANT LE JURY:

Président: Chaffia.H

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Examineurs:

Djorfi.S

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Darradji.F

M.C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

Remerciement

A la fin de ce travail, j'adresse mes sincères remerciements au bon dieu le tout puissant qui m'a ouvert les portes de la réussite, comme je tiens à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail et en particulier un très grand remerciement à mon promoteur M^r BENHAMZA Moussa, pour son soutien, sa gentillesse et ses conseils judicieux.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à M^m DIB.H de l'université de Constantine et à M^r DJORFIS pour l'aide et les conseils prodigués.

J'adresse également mes remerciements à mon ami AHMED AHZILAD pour sa disponibilité.

Je remercie également mon oncle AZZEDINE et toute l'équipe du laboratoire central de la Raffinerie de la zone industrielle de Skikda.

Je remercie aussi le docteur BELAITAR.A pour sa participation dans ce travail.

Aussi ma reconnaissance à tout le personnel de l'O.R.G.M de Tebessa, la DHW de Skikda et l'ANRH de Constantine.

Dédicace

*À l'entame de cette thèse de recherche, je dédie ce travail à mes
très chers parents :*

Ma chère mère pour sa tendresse, sa patience et son soutien morale

*Mon cher père pour son guide vers le droit chemin, sa générosité,
ses encouragements et soutien sans limite.*

À tous mes frères et mes sœurs.

*À la mémoire de mon grand père et ma grande mère, que dieu
leur bénisse dans son vaste paradis.*

À mes oncles et mes tantes.

À tous mes amis et mes cousins.

À tous mes collègues de la promotion de magister.

Résumé

La présente étude permet d'identifier les sources thermales de la région d'Azzaba qui est notre objectif essentiel. A cet égard une étude géologique locale de la région, et l'élaboration d'une campagne de prélèvement pour les analyses chimiques sont des démarches obligatoires pour mieux comprendre les caractéristiques de ces sources thermales. Deux sources thermales sont bien distinguées à la région d'Azzaba, la source thermale de l'Oued Hmimine et la source thermale d'El Hamma. Les conditions géologiques des émergences nous montrent que les eaux thermales de la source d'El Hamma sont parvenues des calcaires fissurés pour atteindre les dépôts alluvionnaires du Rharbien (Quaternaire), d'autre part les eaux chaudes de la source thermale de l'Oued Hmimine sortent à la surface par les grès Numidien, après avoir passé par les calcaires et dolomies du Lias.

Les eaux thermales de la région d'Azzaba présentent des propriétés thérapeutiques surtout pour les maladies Dermatologiques et Rhumatismales.

L'exploitation des sources thermales par la constitution des complexes minérales modernes représente un investissement important pour le secteur de tourisme et l'économie du pays en générale.

ملخص

هذه الدراسة التي بين ايدينا تعرف بالموارد المائية المعدنية الحارة الموجودة في منطقة عزابة و الذي هو هدفنا الأساسي. و في هذا الإطار فان الدراسة الجيولوجية المحلية للمنطقة و انتقاء سلسلة من العينات من اجل التحاليل الكيميائية هي خطوات مهمة من اجل الفهم الأحسن لخصائص هذه الموارد المعدنية الساخنة. هناك موردان معدنيان اثنان يمكن تميزهما في منطقة عزابة هما المورد المعدني لواد حميمين (حمام الصالحين) و المورد المعدني لمنطقة الحامة. الشروط الجيولوجية للينابيع المعدنية تظهر بان المياه المعدنية للمورد المعدني لمنطقة الحامة تتسرب عبر الشقوق الموجودة في الطبقة الكلسية حتى تصل إلى التجمعات الطينية للكوثرنار ، من جهة أخرى المياه الحارة للمورد المعدني لواد حميمين تتدفق للسطح عبر قري نميديان بعد ان تكون قد مرت عبر الكلس و الدولومي الراجع إلى الليباس.

المياه المعدنية لعزابة ذات خصائص علاجية خاصة بالنسبة للأمراض الجلدية و الروماتيزم.

استغلال المياه المعدنية الساخنة عن طريق بناء المركبات المعدنية الحديثة يمثل استثمار مهم لقطاع السياحة و الاقتصاد الوطني بصفة عامة.

Abstract

This study identified allows the hot springs of the region Azzaba which is our main objective. In this respect a study of local geological region and the development of a companion sample for chemical analysis are mandatory steps to better understand the characteristics of these springs. Two springs are distinguished in the region Azzaba, the thermal springs of Oued Hmimine and hot springs at El Hamma. The geological conditions of emergences we show that the thermal waters of the source of El Hamma reached the limestone cracks to reach the Rharbien alluvial deposits (Quaternary), second the warm waters of the thermal springs of Oued Hmimine come to the surface by Numidian sandstone, having passed through the limestone and dolomite of the Liassic.

The thermal waters of the region Azzaba have therapeutic properties especially for skin diseases and rheumatism.

The use of thermal springs in the constitution of modern mineral complex represents an important investment for the tourism sector and the economy in general.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
---------------------------	---

CHAPITRE I : ETUDE GEOGRAPHIQUE

I-1. Situation géographique.....	3
I-2. Géomorphologie et relief.....	3
I-3. Climat et végétation.....	3
I-4. Réseau hydrographique.....	6
I-5. Aperçu socio-économique.....	7
I-6. Les eaux thermominérales en Algérie.....	7
I-7. Situation géographique des sources thermales d'Azzaba.....	9
I-7.1. Source thermale de l'Oued Hmimine.....	9
I-7.2. Source d'El Hamma.....	9

CHAPITRE II : ETUDE GEOLOGIQUE

II-1. Géologie régionale et structurale.....	12
II-2. Géologie locale.....	15
II-2.1. Structure du massif de Dj Safia.....	15
II-2.2. Stratigraphie de DJ Safia.....	16
II-2.3. Géologie de la dorsale (chaîne calcaire).....	18
II-2.4. Stratigraphie de la dorsale.....	20
II-3. Tectonique.....	27
II-3.1. Structure du Para Autochtone de Djebel Safia.....	27

II-3.2. Structure de la dorsale.....	28
II-3.3. Conditions géologique d'émergences.....	31
II-3.4. Paléogéographie de la région.....	32
II-3.5. Le thermalisme dans son cadre géostructurale.....	37
II-4. Conclusion.....	40

CHAPITRE III : ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

III-1. Introduction.....	41
III-2. Aperçu générale sur le climat de l'Algérie.....	41
III-3. Zone d'étude et son réseau hydrographique.....	41
III-4. Le climat.....	42
III-5. Caractéristiques climatiques.....	42
III-5.1. Précipitations.....	42
III-5.2. Température.....	43
III-6. Courbe ombro-thermique.....	44
III-7. Bilan hydrique.....	49
III-7.1. L'évapotranspiration.....	52
III-7.2. Calcul du déficit agricole.....	53
III-7.3. L'étude du bilan hydrique.	53
III-7.4. Interprétation des données du bilan.....	55
III-8. Conclusion.....	61

CHAPITRE IV : APERÇU HYDROGEOLOGIQUE

IV-1. Introduction.....	62
IV-2. Généralités.....	62

IV-2.1. Recherche et exploitation des eaux thermales.	62
IV-2.2. Captage, problème des arrivées diffuses.....	62
IV-2.3. Les circuits hydrothermaux.....	63
IV-3. Classification des formations géologiques selon.....	66
leurs intérêts hydrogéologiques.	
IV-4. Contexte hydrogéologique.....	67
IV-5. Alimentation des aquifères.....	68
IV-6. Conclusion.....	72

CHAPITRE V : ETUDE HYDROCHIMIQUE

V-1. Introduction.....	73
V-2. Quelques définitions.....	73
V-3. Les deux types d'eaux thermales fréquentes.....	77
V-4. L'altération des caractéristiques physico-chimique.....	78
des eaux de leur remonté.	
V-5. Echantillonnage et prélèvement.....	80
V-6. Etude des paramètres physico-chimique des eaux thermominérales.....	81
V-6.1. Etude des paramètres physique.....	81
V-6.2. Etude des paramètres chimique.....	93
V-7. Etude du comportement hydrochimique par l'analyse.....	107
en composantes principales (A.C.P)	
V-7.1. Introduction.....	107
V-7.2. Représentation des variables.....	108
V-7.3. Représentation des individus.....	109

V-7.4. Applications de l'A.C.P.....	109
V-7.4.1. Première A.C.P.....	109
V-7.4.2. Deuxième A.C.P.....	116
V-8. Indice de saturation.....	125
V-9. Conclusion.....	131

CHAPITRE VI : ETUDE THERAPEUTIQUE

V-1. Introduction.....	132
VI-2. Historique de la thérapie par les eaux thermominérales.....	133
VI-3. Les principaux soins et leurs et leurs effets.....	134
VI-4. Les propriétés thérapeutiques.....	138
VI-5. Les minéralisations requises pour les affections.....	141
VI-6. Crénothérapie des sources thermales de secteur d'étude.....	145
CONCLUSION GENERALE.....	148

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°1 : Coordonnées des stations d'Azzaba et Skikda.

Tableau N°2 : Précipitations moyenne mensuelle des stations de Skikda et d'Azzaba.

Tableau N°3 : Température moyenne mensuelle des stations de Skikda et d'Azzaba.

Tableau N°4 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE- station d'Azzaba (1987-2007).

Tableau N°5 : Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE- station de Skikda (1987-2007).

Tableau N°6 : Désignation des points de prélèvement.

Tableau N°7 : Température mesurées sur les émergences.

Tableau N°8 : Evaluation de température en profondeur à l'aide de géothermomètres chimiques.

Tableau N°9 : Indice d'échange de base (i.e.b).

Tableau N°10 : Les rapports caractéristiques des sources thermales d'Azzaba.

Tableau N°11 : Résultats des analyses et le faciès chimique.

Tableau N°12 : Comparaison détaillée entre les trois représentations graphiques.

Tableau N°13 : Matrice de corrélation (Première A.C.P).

Tableau N°14 : Corrélation entre les variables et les axes principaux (Première A.C.P).

Tableau N°15 : Matrice de corrélation (Deuxième A.C.P).

Tableau N°16 : Corrélation entre les variables et les axes principaux (Deuxième A.C.P).

Tableau N°17 : Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales d'Azzaba.

Tableau N°18 : Spécificités curatives des eaux thermales d'Azzaba.

LISTE DES FIGURES

Fig.01 : Situation géographique de la région d'Azzaba.

Fig.02 : Limites administratifs de la zone d'étude.

Fig.03 : Les principales sources thermales de l'Est Algérien.

Fig.04 : Carte d'inventaire des sources thermales d'Azzaba.

Fig.05 : Carte géologique de la région d'Azzaba (d'après Deleu, 1938).

Fig.06 : Carte géologique de la source thermale d'El Hamma.

Fig.07 : Essai de reconstitution de la série de Djebel Safia (d'après l'étude de la moitié de massif **J.M.Vila**, 1980).

Fig.08 : Carte géologique de la source thermale de l'Oued Hmimine

Fig.09 : Coupe géologique de la source thermale de l'Oued Hmimine (d'après Deleu, 1938).

Fig.10 : Colonne stratigraphique de la dorsale externe (type Dj. Abiod).

Fig.11 : Coupe géologique de la source thermale de l'Oued Hmimine.

Fig.12 : La légende de la coupe géologique de la source thermale de l'Oued Hmimine.

Fig.13 : Coupe géologique de la source thermale d'El Hamma.

Fig.14 : Carte des bandes thermiques de l'Algérie (d'après P.VERDEIL).

Fig.15 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station d'Azzaba (1987-2007).

Fig.16 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Skikda (1987-2007).

Fig.17 : Histogramme des températures mensuelles de la station d'Azzaba (1987-2007).

Fig.18 : Histogramme des températures mensuelles de la station de Skikda (1987-2007).

Fig.19 : Courbe ombro-thermique de la station d'Azzaba (1987-2007).

Fig.20 : Courbe ombro-thermique de la station de Skikda (1987-2007).

Fig.21 : Interprétation graphique du bilan hydrique de Thornthwaite, station d'Azzaba (1987-2007).

Fig.22 : Interprétation graphique du bilan hydrique de Thorntwaite, station de Skikda (1987-2007).

Fig.23 : Les systèmes hydrothermaux.

Fig.24 : Coupe géologique AA (Classification des formations géologique selon leur intérêt hydrogéologique).

Fig.25 : Coupe géologique BB (Classification des formations géologique selon leur intérêt hydrogéologique).

Fig.26 : Carte d'inventaire des points de prélèvement (Source thermique de l'Oued Hmimine).

Fig.27 : Carte d'inventaire de points de prélèvement (Source thermique d'El Hamma).

Fig.28 : Représentation graphique de faciès chimique (Diagramme de Piper).

Fig.29 : Représentation graphique de faciès chimique (Diagramme de Schoeller- Berkaloff).

Fig.30 : Représentation graphique de faciès chimique (Diagramme de Stiff).

Fig.31 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 2), (Première A.C.P).

Fig.32 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 3), (Première A.C.P).

Fig.33 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 4), (Première A.C.P).

Fig.34 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 2), (deuxième A.C.P).

Fig.35 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 3), (deuxième A.C.P).

Fig.36 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 4), (deuxième A.C.P).

Fig.37 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 5), (deuxième A.C.P).

Fig.38 : Etat des minéraux évaporitiques dans l'eau.

Fig.39 : Etat des minéraux carbonatés dans l'eau.

Fig.40 : Etat de l'Anglesite, le Cérusite et le $Pb(OH)_2$ dans l'eau.

Fig.41 : Etat du Chalcedony et le Quartz dans l'eau.

Fig.42 : Etat de Chrysotile, le Spiolite et le Talc dans l'eau.

Fig.43 : Etat de Melanterite et le Siderite dans l'eau.

INTRODUCTION

Le Hammam a, de tout temps, fait partie de notre vie quotidienne, que ce soit comme lieu d'hygiène ou de purification à travers l'eau, mais aussi comme un endroit de détente et parfois de fêtes familiales. La fréquentation des sources thermales, en plus du rôle social joué par le hammam, se fait également dans un but de bénéficier des vertus curatives ou thérapeutiques liées à la température et aux propriétés physico-chimique des eaux.

Sur le plan réglementaire, l'article 2 du décret exécutif N°94-41 du 21 Janvier 1999, portant définition des eaux thermales et réglementant leur protection, leur utilisation et leur exploitation, stipule : "les eaux thermales sont des eaux captées à partir d'une émergence naturelle ou d'un forage et qui, en raison de leurs principes, de la stabilité de leurs caractères physiques et de leur composition chimique peuvent avoir des propriétés thérapeutiques". L'article 18 du même texte, précise que "sur l'ensemble du territoire national, les eaux reconnues conformément aux dispositions du présent décret, comme des eaux thermales, sont interdites à toutes utilisations agricole, industrielle ou autres que thérapeutiques.

A l'origine, c'est-à-dire avant tout aménagement, l'émergence d'une source d'eau thermo minérale apparait comme un événement singulier, voire rare dans le paysage hydrogéologique. Le point précis de l'émergence, encore appelé «Griffon». Nous connaissons mieux aujourd'hui l'origine de quelques émergences thermales et le mécanisme de leur manifestation : connaissances géologiques des gisements, chimie des eaux, relation entre structure géologiques, compositions des eaux thermales et orientations thérapeutiques, dans le but de détailler ces connaissances sur les sources thermales d'**Azzaba**

nous avons réalisé ce travail après avoir visité l'ensemble des griffons thermaux de la région.

L'interprétation de l'Indice de saturation a montré que le gypse, l'anhydrite et les éléments carbonatés sont en sursaturation dans les eaux thermales d'Azzaba.

Les eaux des sources thermales d'El Hamma et de Hammam El Salihine sont bénéfiques pour les maladies dermatologiques et rhumatismales.

I-1. Situation géographique :

La région d'Azzaba fait partie de la wilaya de Skikda. Elle est située au Nord-Est Algérien à environ 500Km à l'Est d'Alger, à 80Km au Nord-Est de Constantine, à 67Km au Sud-Ouest d'Annaba, entre les latitudes $36^{\circ} 76' 08''$ et $36^{\circ} 85' 35''$ Nord et les longitudes $7^{\circ} 20'$ et $7^{\circ} 40'$ Est, cette plaine occupe une dépression qui relie la plaine d'El Harrouche à celle de Fetzara.

L'altitude moyenne est de 100m environ. Elle est entourée par Dj Elouast au Nord-Est (254m), le DJ Boufernana au Nord (223m), le Dj Mekdoua (474m), le Dj Denchaba (314m) au Nord-Ouest, par le Dj Ferfour (362m) au Sud -Est, le Dj Safia (496m) au Sud, et le Dj Ousfane (325m) au Sud-Ouest.

I-2. Géomorphologie et relief :

La morphologie du secteur d'étude présente deux zones distinctes :

- L'une correspond à une zone surélevée formant les montagnes environnantes.
- L'autre correspond à la dépression d'Azzaba.

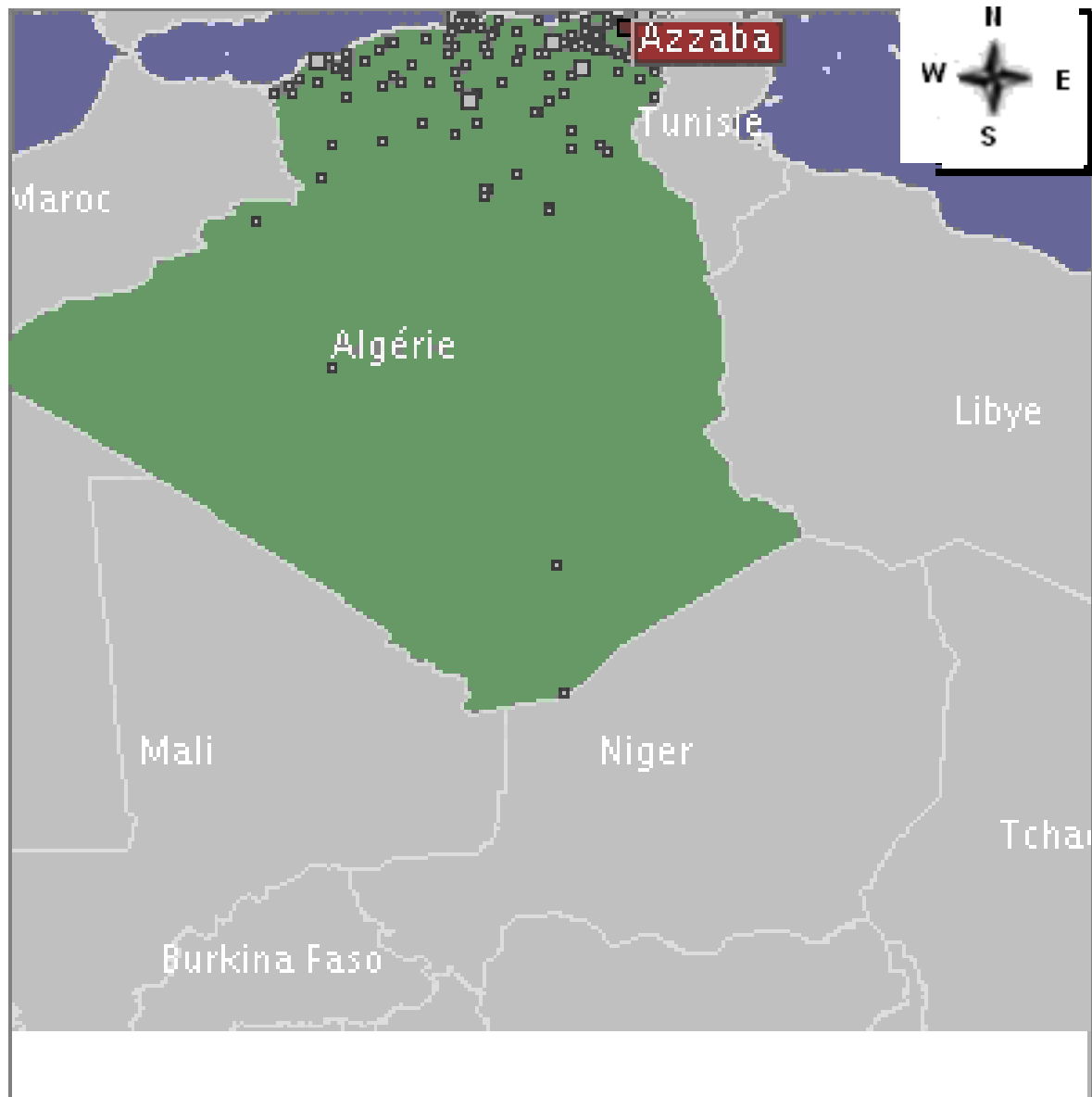
La zone de dépression forme la vaste plaine d'Azzaba constituée de formations récentes de vallées. Elle est orientée N.E-S.W. Elle est comprise entre le massif métamorphique au Nord appartenant au massif du littoral et les massifs de la chaîne numidique au Sud. Le relief est donc très ancien caractérisé par de basses montagnes faiblement disloquées. Les sommets sont arrondis aux pentes douces alternant avec des vallées assez larges.

Dans le Nord et le Sud-Ouest, cette plaine est assez étroite, elle s'élargit considérablement en se déplaçant vers l'Est.

I-3. Climat et végétation :

La région d'Azzaba jouit d'un climat méditerranéen à subtropical relativement doux. Il est caractérisé par :

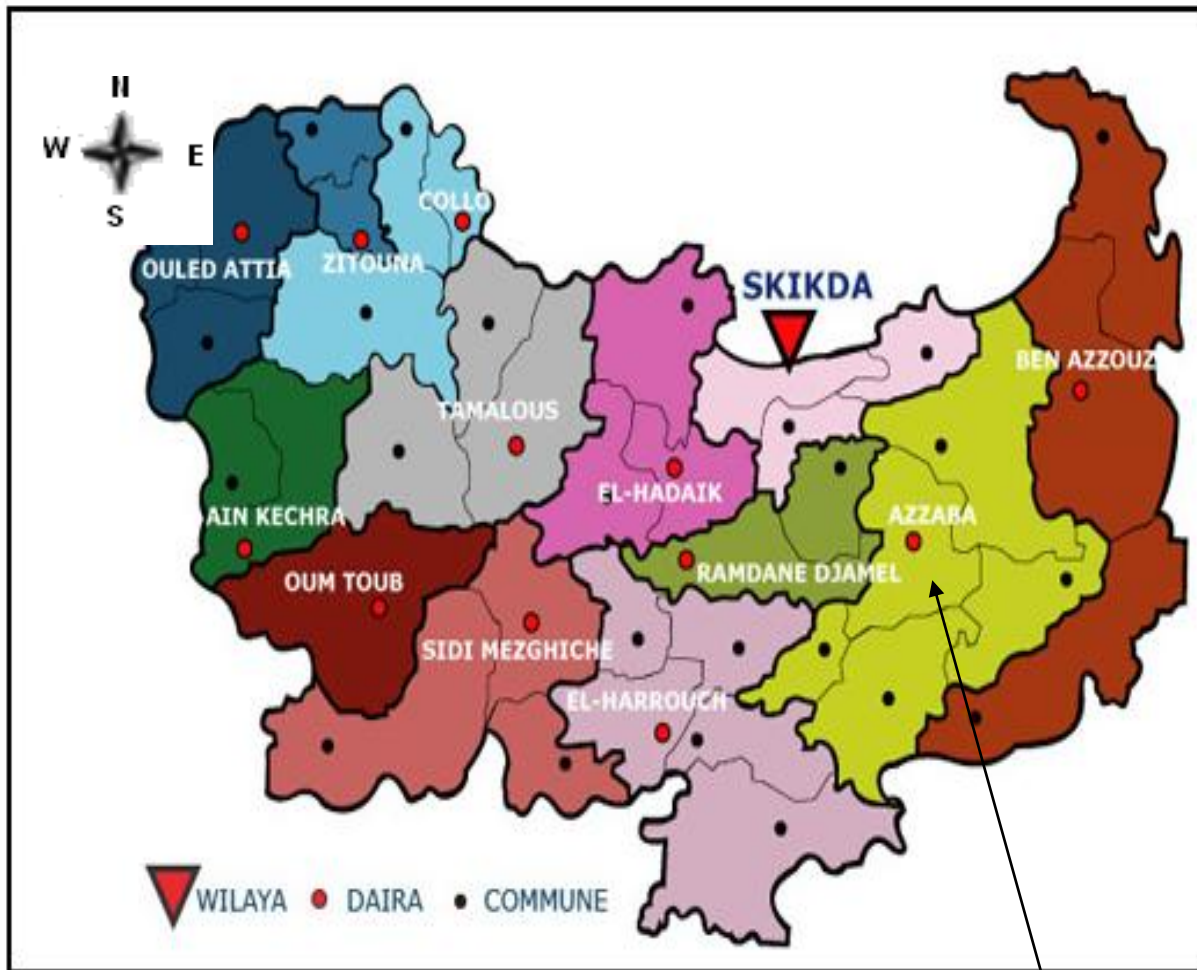
SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'AZZABA



Echelle : 1/25000000

Fig.01

LIMITES ADMISTRATIFS DE LA ZONE D'ETUDE



Zone d'étude

Echelle : 1/600.000

Fig.02

- Une saison chaude et sèche s'étalant sur cinq mois environ, de Mai jusqu'à Septembre caractérisée par une température moyenne mensuelle de l'ordre de 23°C. Pendant cette saison arrivent des vents chauds (sirocco) du Sud.
- une saison froide et humide qui va d'Octobre jusqu'à Avril, caractérisée par une température moyenne saisonnière de l'ordre de 14°C, avec une précipitation moyenne de l'ordre de 82mm.

La température moyenne annuelle est de 18,2°C, alors que les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 700mm.

A la faveur de ces conditions climatiques, il s'est développé une végétation typique dans la région.

Au niveau de la plaine, on trouve surtout des cultures maraîchères, des céréales cultures, ainsi que d'orangeries et des vignes.

Sur les versants des montagnes se développe une couverture forestière dégradée avec quelques regroupements de chênes liéges et d'oliviers.

I-4. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est peu dense, il est constitué surtout par des Oueds temporaires. Il est sous deux formes :

-Dans les montagnes délimitant les versants, les thalwegs s'ordonnent et forment des entailles profondes facilitant le drainage des ruissellements de surface.

-Dans la plaine, les Oueds sont peu nombreux, et peu profonds.

Les principaux Oueds sont :

- L'Oued Fendek avec un écoulement des eaux du Sud vers le Nord.
- L'Oued Adjoul qui est le collecteur de plusieurs petits Oueds et qui s'écoule vers le Nord -Est.

Ces deux Oueds rejoignent l'Oued Mchekel au Nord-Est d'Azzaba. Ils sont caractérisés pendant les périodes sèches, par de minces filets d'eau, alors que lors des saisons pluvieuses, le régime devient turbulent. L'Oued Mchekel s'écoule vers l'Oued Kebir qui se jette dans la mer à l'Est de Skikda (près de Cap de Fer).

I-5. Aperçu socio-économique :

La ville d'Azzaba constitue un centre urbain plus ou moins développé. Elle présente actuellement une extension industrielle assez importante entraînant un dépeuplement des zones isolées à la faveur de la ville, favorisant ainsi une concentration de la majorité de la population environnante.

La plaine d'Azzaba est essentiellement une région à vocation agricole où les cultures maraîchères et les céréales sont largement développées. Les principales ressources économiques de la région sont l'exploitation minière et l'agriculture.

I-6. Les eaux thermominérales en Algérie :

On sait que, depuis les temps les plus reculés, l'homme s'est intéressé aux eaux chaudes qui émergeaient du sol du pays. Cependant, les rares informations dont nous disposons en ce domaine ne nous permettent guère de faire remonter l'utilisation des eaux thermales au-delà du néolithique. La découverte à Hammam Meskhoutine de trois petites stèles à figures naïves montre qu'il existait un établissement balnéaire à cet endroit et ce, dès l'époque punique.

Les romains lorsqu'ils occupèrent le royaume numide devaient construire des établissements thermaux sur les principaux griffons et des agglomérations se développèrent à :

Aquae Calidae	→	Hammam Righa;
Aquae Sirenses	→	Hammam Bou Hanifia;
Aquae Tibilitanae	→	Hammam Meskhoutine;

Thanera Masa Castra —————> Hammam Berrouaghia.

Mais à coté de ces grands ensembles, on peut constater que partout où l'on trouve une source d'eau chaude, on rencontre également des restes de piscines romaines. De nombreux restes de ces établissements thermaux sont encore visibles dans l'Est Algérien, dont en particulier :

- Hammam Salihine de Khenchele ou Amamrhas qui est sans doute le monument de ce type le mieux conservé en Algérie ; avec ses deux piscines, l'une rectangulaire, l'autre circulaire, il se trouve à 6Km de l'agglomération en contre bas de la route de Batna ;
- Hammam Meskhoutine avec ses restes de piscines entourées de "villas" et d'établissements militaires ;
- Hammam Berda (Heliopolis) et sa piscine ;
- Hammam Beni Guéchat avec également sa piscine ;
- Les piscines et restes d'établissement thermaux ou de galeries de captage de Sidi El Hadj, du Hammam Djendel, d'Oued Cheddi, de N'Bails Nador, de youks les Bains.

Depuis cette époque, l'utilisation des eaux thermales n'a jamais été interrompue, renforcée peut être par l'islamisation qui recommande aussi bien la propreté morale que celle du corps.

C'est en 1823 que furent effectuées les premières études scientifiques sur les thermalismes Algérien et que fut mise en place une réglementation portant sur des données médicales précises.

C'est ainsi que les bains de la Reine à Oran devaient recevoir un agrément le 21 Septembre 1842, celui du Hammam Meskhoutine de Guelma date 12 Décembre 1862.

I-7. Situation géographique des sources thermales d'Azzaba :

A l'Est de la ville d'Azzaba, on observe deux (2) sources thermales, la source de l'Oued **Hmimine** et celle d'**El Hamma**.

I-7.1. Source thermale de L'Oued Hmimine :

La station thermale de l'Oued Hmimine dite Hammam Essalihine est située près de la commune d'Ain Cherchar, au Sud- Est de la ville de Skikda et à 7Km d'Azzaba et à 3Km de la route nationale Constantine – Annaba. Elle se trouve à 20m de la rive gauche de l'Oued Hmimine.

Elle est située dans un endroit très boisé, devenu un lieu de promenade pour les habitants de la région. Les sources thermales sont nombreuses, elles émergent au niveau de la rive gauche de l'Oued Hmimine. Un forage de 80m de profondeur a été réalisé en 1963 et alimente par pompage la station thermale.

La température moyenne annuelle de l'air est de 17.10°C.

Concernant sa morphologie :

- L'eau est une eau de thelweg
- L'émergence est bien localisée avec de griffons secondaires.

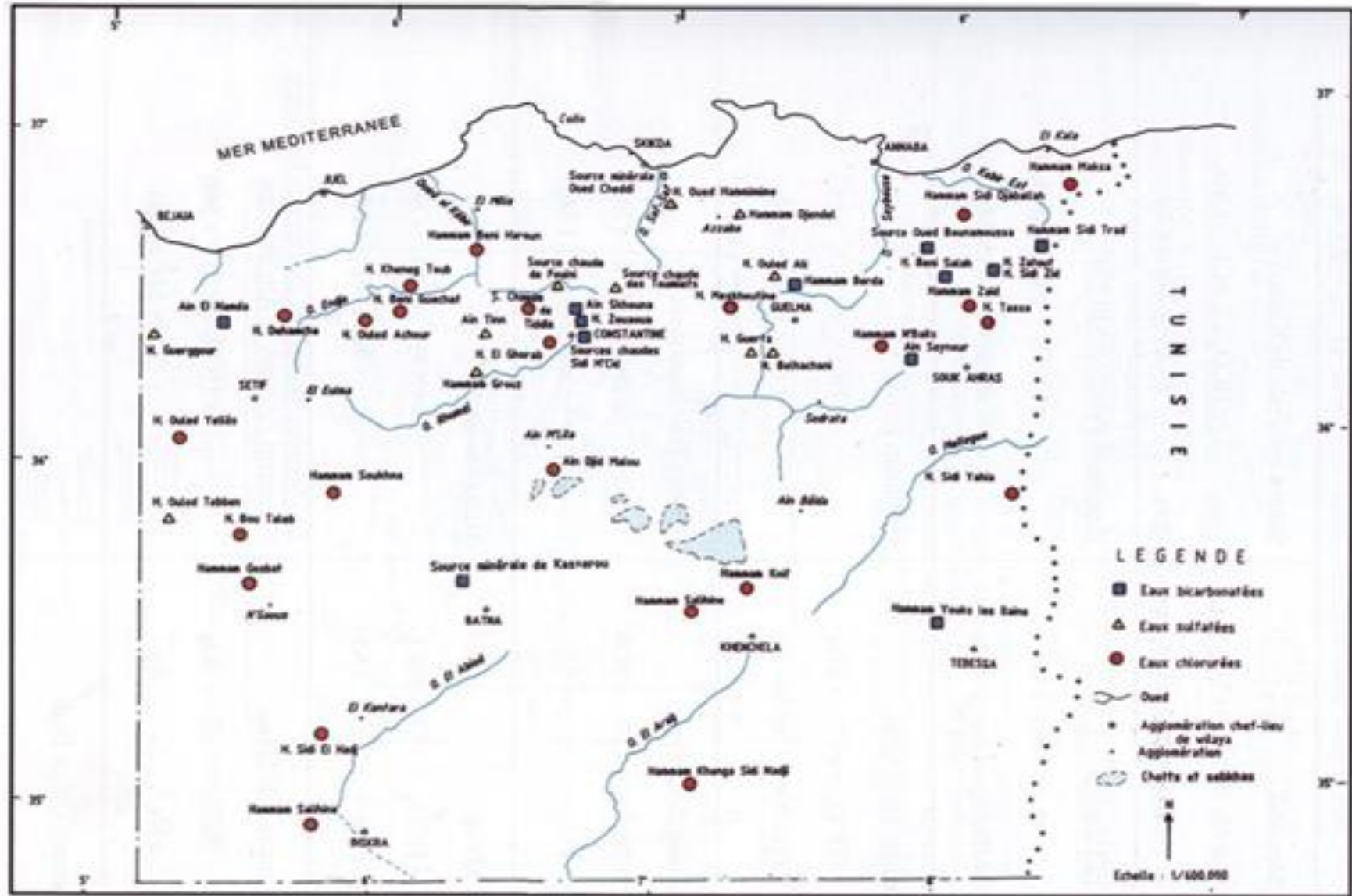
I-7.2. Source d'El Hamma :

La source thermale d'El Hamma est située à 15Km au Nord- Est d'Azzaba, près de la commune de Ben Azzouz et à 5 Km au Nord du village Oued El Kebir (ex-Djendel), au piedmont du Djebel Safia et à 2Km de la route nationale Constantine – Annaba.

La température moyenne annuelle de l'air est de 17.95°C.

La morphologie de site est la suivant :

- C'est une source de plaine.
- Emergence bien localisée.



Les principales sources thermales de l'Est Algérien (d'après Hénia Dib)

Fig.03

CARTE D'INVENTAIRE DES SOURCES THERMALES D'AZZABA

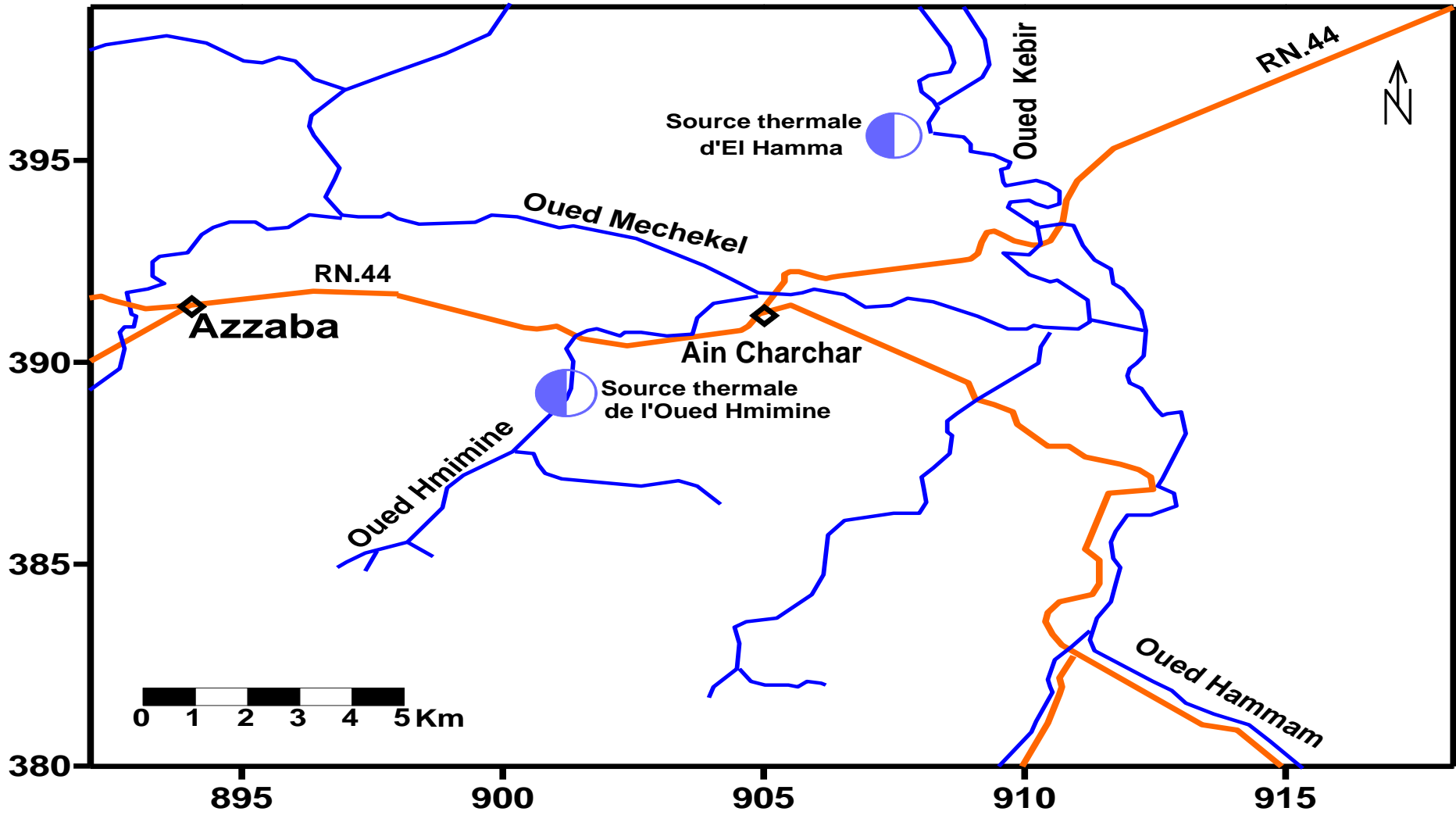


Fig.04

II-1. Géologie régionale et structurale :

La région étudiée représente une partie de la zone plissée alpine de l'Afrique du Nord dont la structure est extrêmement complexe.

La géologie de la région est conditionnée par l'existence de plusieurs complexes qui sont les formations de différentes zones structuro faciales, dans la plupart des cas superposées ou fortement rapprochées par des mouvements tectonique.

Le secteur étudié est compris dans le domaine géologique tellien faisant partie de l'atlas tellien. C'est un domaine des grands charriages, appartenant à la chaîne alpine qui constitue l'ossature des reliefs de toute l'Algérie septentrionale au Nord de l'accident Sud atlasique.

Cette zone comprend deux (2) ensembles montagneux séparés par la dépression d'Azzaba orientée N.E-S.W qui sont :

- Les montagnes du Nord appartenant aux massifs primaires kabyles, qui sont des reliefs gréseux à végétations de chênes liéges. Elles sont limitées à l'est par la barre calcaire du Dj Safia.
- Les montagnes du sud font partie de la chaîne numidique orientée N.E-S.W suivant l'axe de la dépression formant des reliefs de grés quartzeux, de grés calcaires et de schistes.

Entre les deux chaînes montagneuses nous avons la plaine d'Azzaba qui est occupée par des formations alluvionnaires du Quaternaire d'argiles et grés numidiens d'Oligocène, de poudingues, de brèches calcaires et grés calcaires de l'Eocène supérieur comme couverture.

❖ Etude structurale :

La région d'Azzaba embrasse les territoires du socle kabyle (massif kabyle) et du miogéosynclinal tellien.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'AZZABA (d'après Deleu, 1938)

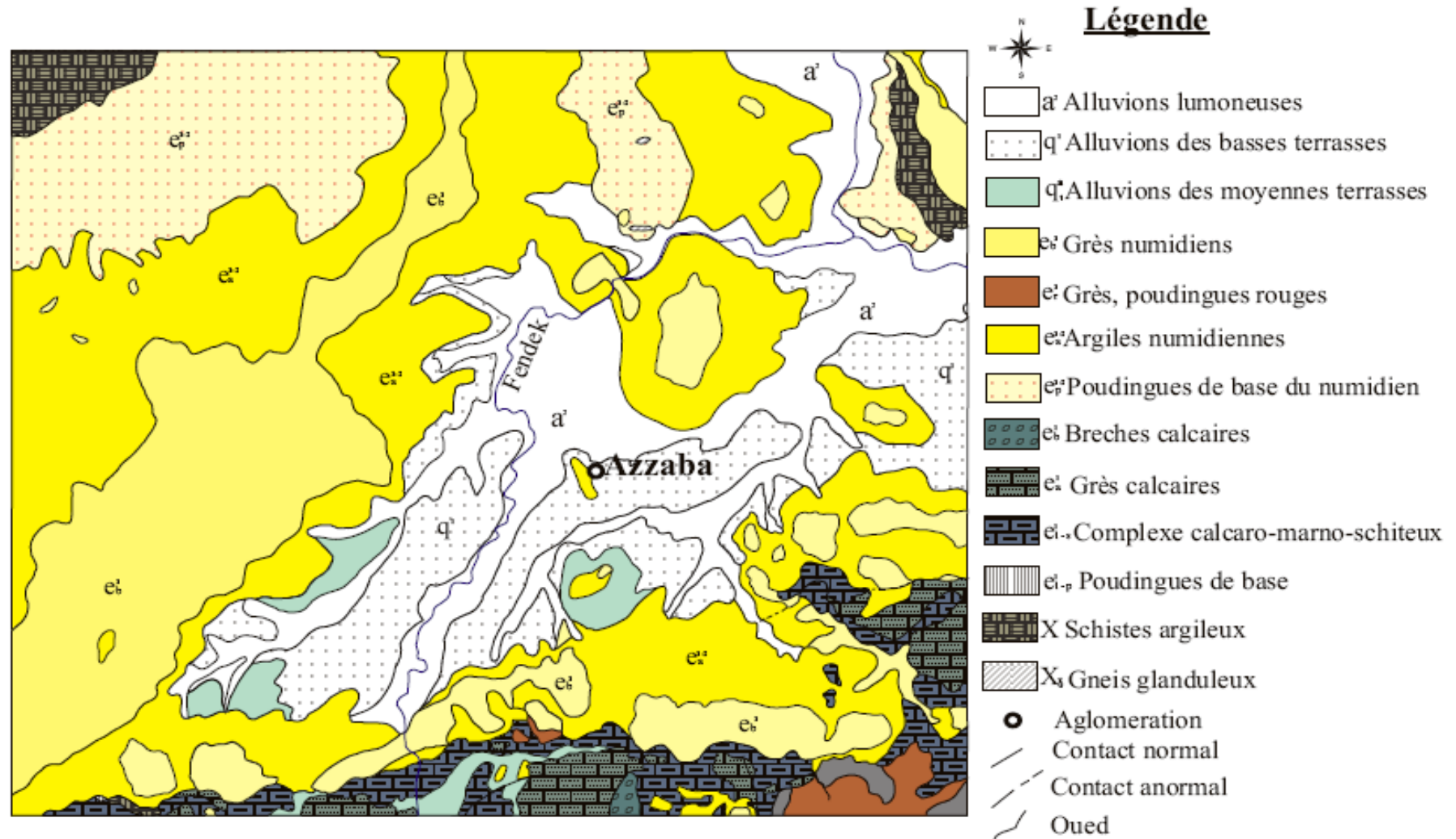


Fig.05

La zone de la jonction de ces deux structures de l'Algérie du Nord qui a reçu le nom de la chaîne calcaire à une constitution complexe. Les formations qui la composent comprennent les roches de différentes zones structurales et faciales **J.M.Vila** (1962).

La structure géologique de la région d'étude et du territoire voisin comprend quatre (4) unités différentes (d'après **J.M.Vila** 1962) :

- 1-L'unité sub-autochtone de la dorsale kabyle ;
- 2-L'unité kabyle allochtone ;
- 3-L'unité de flysch allochtone ;
- 4-L'unité numidienne.

L'unité sub-autochtone de la dorsale kabyle forme une zone étroite (4 à 8Km), subdivisée d'après **J.M.Vila** en deux (2) sous zones à savoir :

- La sous zones intérieure qui confine au Nord l'unité kabyle ;
- La sous zones extérieur qui confine au Sud les unités de flysch.

(**J.M. Vila** 1962, **J.F.Raoult** 1969).

Selon **J.M.Vila** (1969) l'unité kabyle allochtone comprend les schistes métamorphiques anciens du paléozoïque inférieur qui sont décalés de leur vieux socle cristallin et chevauchant sous forme de nappe et de grosses écailles tectonique sur les formations de la dorsale.

Au nord et au sud d'Azzaba et d'après **J.M.Vila** (1969) l'unité de flysch est plus développée, elle occupe une place importante dans la structure géologique de la région, l'affleurement de ses formations qui sont des brèches calcaires, grès calcaires et d'argilites se présente sous forme de couverture, dont la corrélation de certain de ses parties est difficile à établir.

Les formations grésos-argileuses de l'unité numidienne constituent une nappe tectonique surmontant toutes les unités sus-mencionnées. Mais selon **J.P.Boullin** et **J.F. Raoult**, (1971), il s'agit d'une nappe sur le socle kabyle, elle est constituée d'un ensemble supérieur nettement tectonisé d'âge Oligocène et

Miocène inférieur. La puissance totale de l'unité à l'échelle régionale varie de 200 à 400m.

Bien que cet bref aperçu structural nous a permis d'avoir une idée globale sur la position des différentes formations géologiques, l'une par rapport à l'autre ainsi que leur extension dans l'espace qui sans doute va nous aider dans l'étude hydrogéologique, reste l'objet de plusieurs hypothèses entre plusieurs auteurs.

II-2. Géologie locale :

II-2.1. Structure du massif de Dj Safia :

La structure du Dj Safia est très compliquée, elle s'allonge vers le Nord-Ouest, étant en direction avec les structures principales de la région, en particulier avec la zone Nord numidique.

Le massif de Dj Safia est caractérisé par sa forme anticlinal.

La série de Dj Safia présente les discordances suivantes :

- Sous le Néocomien ;
- Sous l'Albo- Aptien ;
- A la base ou au sein du Crétacé supérieur.

Raoult dit (1974) : " dans l'état actuel de l'analyse, on ne peut cependant déterminer valablement l'importance de cette phase Sénonienne. Plus à l'ouest, dans certaines écaillés pré kabyles de la zone de Moul Ed Demamene, le Néocomien , avec un mince conglomérat de base, est discordant sur les termes du Lias supérieur au Malm (**Durand Delga**, 1956).

Plus haut dans la série, on ne peut actuellement rien dire de précis. **J.P.Bouillon** envisage que des klippes plus ou moins importantes se sont sédimentées dans le Sénonien, mais son avoir encore tous les éléments d'une démonstration convaincante."

Plus en haut dans la série de Dj Safia, on observe la présence de quelques failles normales ou inverse (dans la région de Refaya, il existe deux failles

principales, qui séparent la région en trois blocs (bloc central, bloc Nord-Est et bloc Sud-Ouest).

Selon **Raoult** (1974) :

"La série mauritanienne est plus souvent limitée par des contacts redressés et des failles parfois inverse. Cependant, elle surmonte clairement en quelques points la série Safia et s'intercale toujours entre celle-ci et les phyllades ".

Au dessus des nappes, on trouve le numidien, qui est caractérisé par une base qui n'est pas visible à cause des éboulis et des failles. Certains faciès analogues à ceux de l'Oligo -Miocène Kabyle sont peu visibles, sous forme des affleurements, comportant des conglomérats à dragées de quartz et de débris du socle, des grés micacés, des argiles et des marnes sableuses au niveau du village de Djendel et plus au Nord.

D'après **Delga, Raoult** et **Vila** (1967) la série de Dj Safia apparaît en fenêtre sous le socle kabyle.

II-2.2.Stratigraphie de Dj Safia :

II-2.2.1. Lias inférieur et moyen :

Les formations du Lias inférieur sont connues aussi bien dans la sous zone externe que dans la sous zone interne de la dorsale. Dans la sous zone interne ce sont en général des calcaires massifs gris clair. Un faisceau inter stratifié de calcaires gréseux, des calcaires et de graviers à éléments silico quartzeux. Les calcaires massifs et grossièrement lités blancs ou rosâtres, constituant cet étage sont concordants sur les dolomies. Ils forment les pentes Nord-Est du DJ Safia.

II-2.2.2. Lias supérieur –Jurassique supérieur :

Représenté par un faisceau de calcaires marneux à silex les roches présentent une couleur jaunâtre ou rosâtre typique. Constitué aussi par des bancs à silex de micrites à radiolaires et localement par des bancs de radiolarites.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE D'EL HAMMA

Extrait de la carte géologique Azzaba au 1/50 000 (feuille n°32)

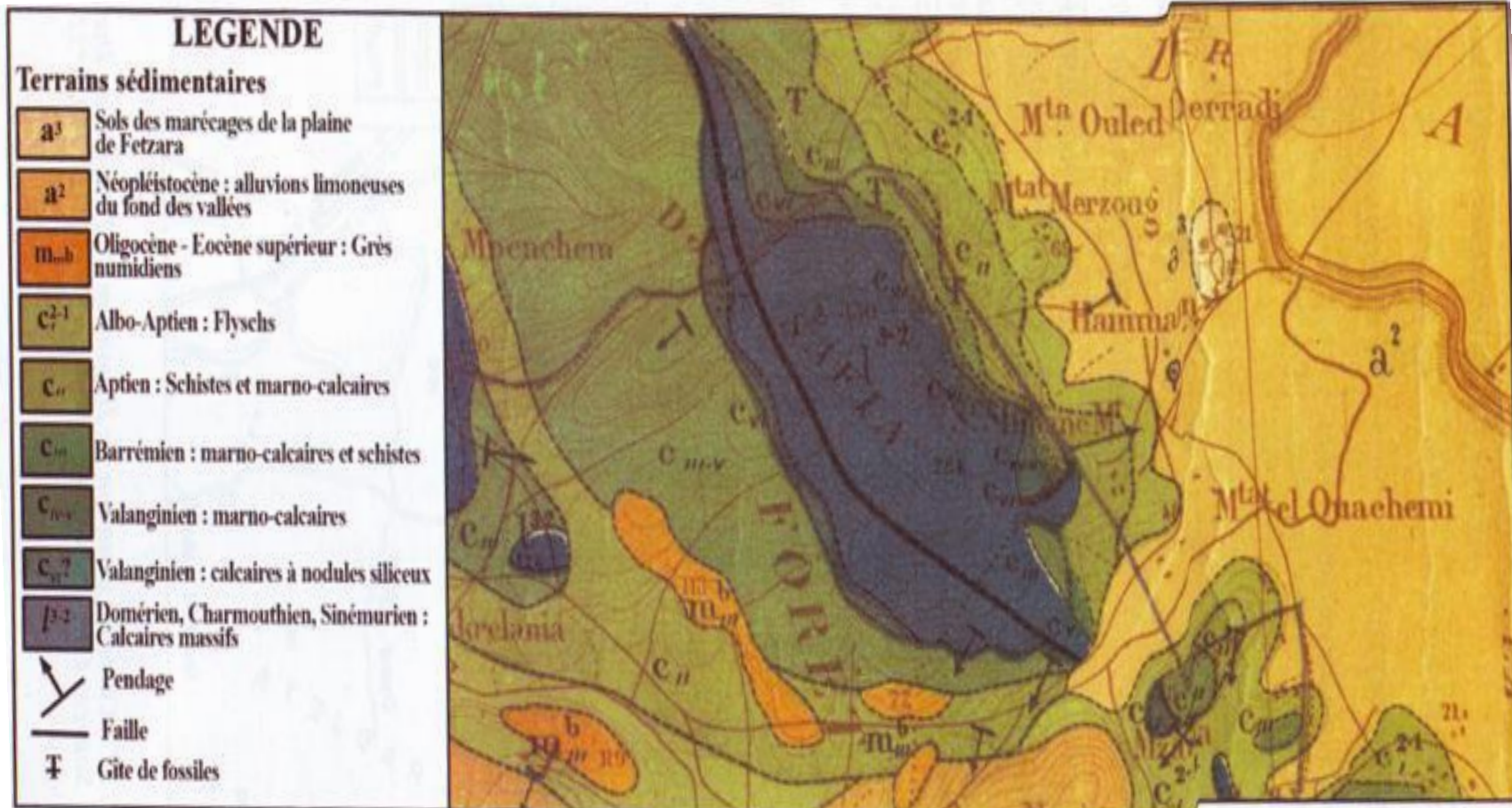


Fig.06

II-2.2.3. Crétacé inférieur :

Du Berriasien au Barrémien, il est représenté par des marno –calcaires, sans silex, discordances sur le jurassique au nord du massif, il existe un ensemble des schistes à épi –métamorphisme et des grés quartzites, en bancs de 20 à 25m, d'âge Alpo- Aptien.

II-2.2.4. Crétacé supérieur :

Au cénomanien –Turonien, on marque l'existence locale de phtanites blanchâtres. Le Sénonien est représenté par une série discordance. Sur les niveaux sous –jacents : argiles schisteuses et pyélites, en admettant, des bancs gréseux et d'aspects quartziques à ciment argile –silex ou parfois calcaireux et des niveaux de microbrèches intraformationnelles, d'argile schisteuses ou de pyélites.

II-2.2.5. Paléocène :

Il est formé par des argiles schisteuses, jaunâtres à gris bleu et bancs de calcaires fins bleu sombre à probable Globigérines.

II-2.2.6. Quaternaire :

Il est constitué par les formations alluvionnaires (sable, limons, argiles) la puissance de ces dépôts varie de 3 à 8m. Les dépôts quaternaires recouvrent les séries sous –jacentes.

II-2.3. Géologie de la dorsale (chaîne calcaire) :

Le deuxième site de notre zone d'étude, Hammam Oued Hmine, fait partie de la dorsale (la chaîne calcaire de Glangeaud, 1932).

Cette zone étroite, dont l'apogée de développement a eu lieu au mésozoïque et au paléozoïque, était un seuil structural particulier entre les zones externes et internes de la région géosynclinal.

Essai de reconstitution de la série du Djebel Safia (d'après l'étude de la moitié méridionale de ce massif J.M.Vila, 1980)

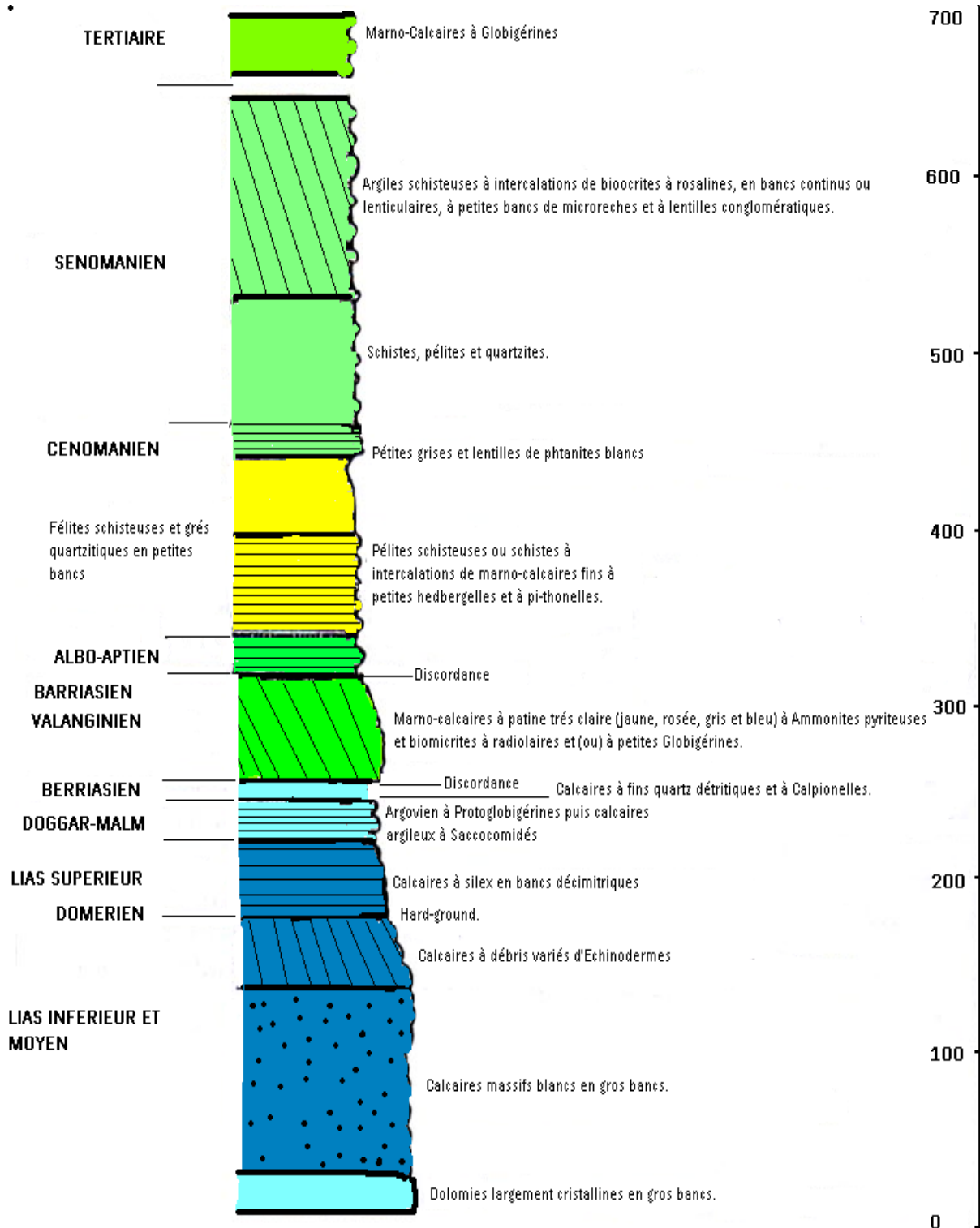


Fig.07

La coupe de type DJ Abiod est la plus complète par ses unités stratigraphiques et la puissance totale de ces formations (J.M.Vila, 1970), contrairement au type de Dj Tangout celle-ci comporte une puissance assise carbonatée au Jurassique inférieur, des argilites et grès rouges du Jurassique moyen, ainsi que des brèches et conglomérats sédimentaires du Jurassique supérieur avec des interbeds de radiolites.

Le socle des terrains mésozoïque de la dorsale est formé par les formations du paléozoïque qui sont analogues aux séries paléozoïques de l'unité kabyle.

II-2.4. Stratigraphie de la dorsale :

II-2.4.1. Eocène moyen et supérieur : (e⁶⁻⁷)

Il est constitué d'une assise de grès à grains fin, d'aleurolites et d'argiles finement litées, gris bleuâtre parfois rougeâtres. Elle est en concordance sur les niveaux détritiques de l'Eocène inférieur moyen et reforme des bancs de micro brèches. Dans la partie inférieure de la coupe sont remarqués les grès légèrement micacés et des rares niveaux de micro poudingues.

La partie supérieure de la coupe est représentée exclusivement par des aleurolites micacées et des argilites parfois marneuses, à intercalations microbréchiques très rares.

II-2.4.2. Eocène inférieur et moyen : (e⁴⁻⁵)

Dans la coupe de Dj Tangout et dans celle de Dj Abiod, ils sont représentés par une assise aux faciès très variable constitués de micro brèches, conglomérato-brèches et calcaires organogènes. Dans la coupe de la sous zone interne, l'Eocène inférieur et moyen est représenté exclusivement par des calcaires. La partie inférieure est constituée d'un faisceau de calcaires à foraminifères alternant avec des calcaires organogènes et oolithique. La puissance de l'Eocène inférieur moyen varie de 10 à 40-45m.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE DE L'OUED HMMIMINE

Extrait de la carte géologique Azzaba 1/50000 (feuille n°32)

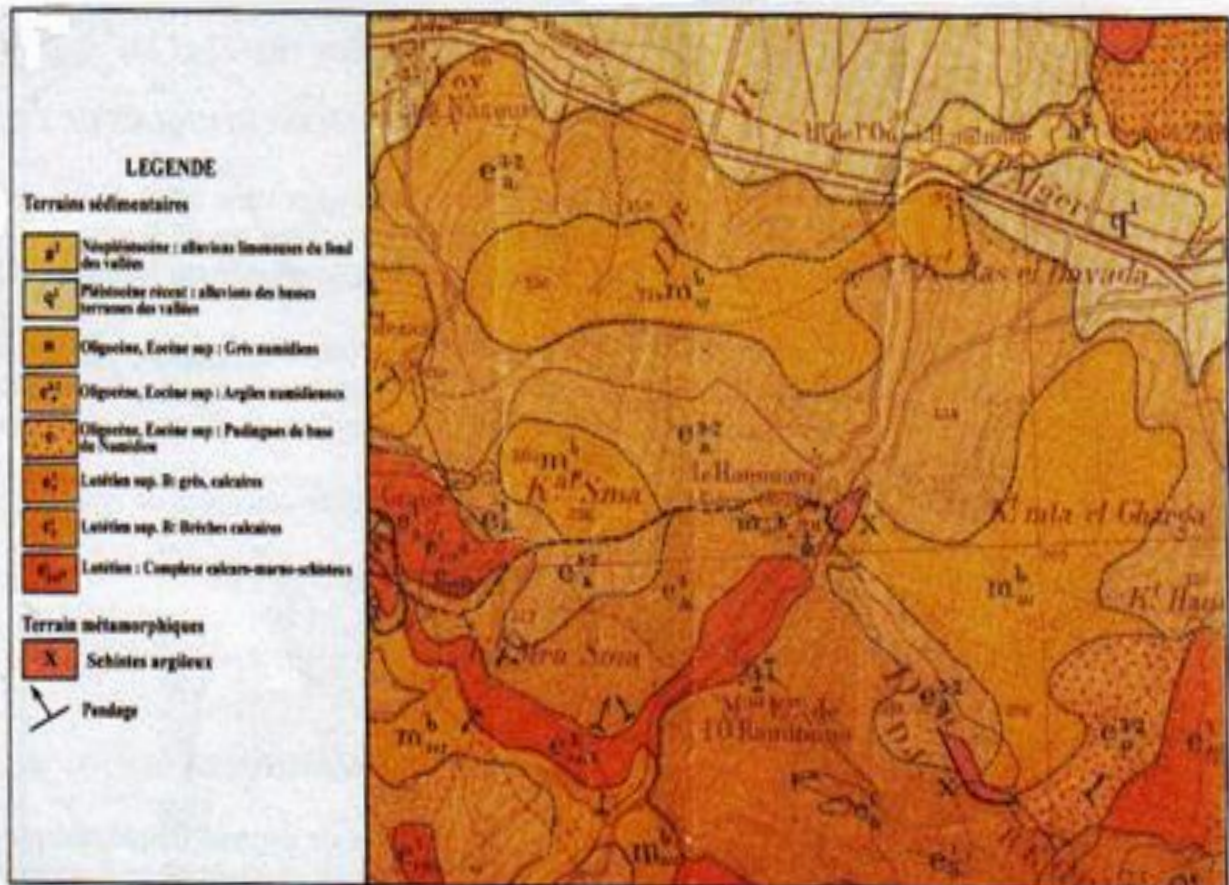


Fig.08

COUPE GEOLOGIQUE DE LA SOURCE THERMALE DE L'OUED HMMIMINE
(D'après Deleu, 1938)

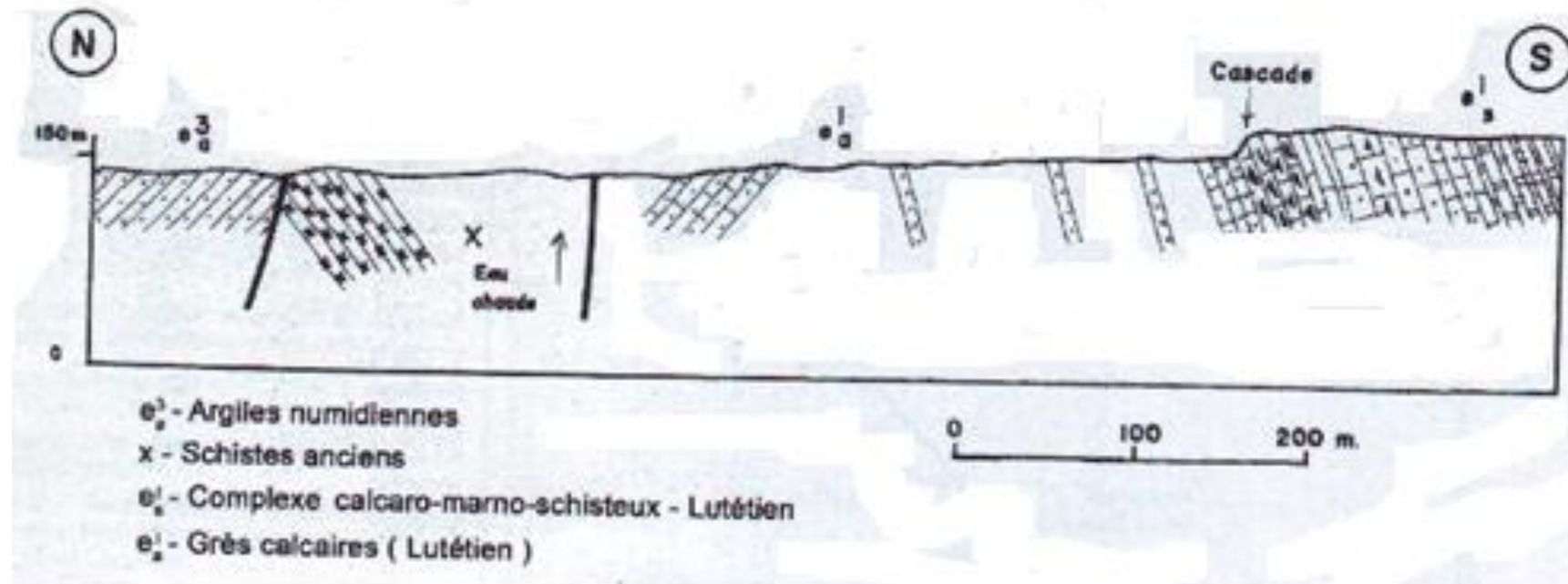


Fig.09

II-2.4.3. Paléocène : (e¹⁻³)

Les terrains du Paléocène débutent par des niveaux de poudingues à éléments grossiers, à blocs des roches dolomitiques et calcaires, moins souvent de silex. Plus haut apparaissent des bancs de calcaires gréseux et de calcaires lités en plaquettes.

II-2.4.4. Néocomien à Eocène : (b⁴ e⁴)

Ces terrains se distinguent dans les extrémités orientales de la dorsale, à l'Est de Bekkouche Lakhdar. La base de la coupe est constituée de calcaires blancs à silex et à microfaunes ; plus haut se trouve un faisceau de calcaires compacts à microfaunes. La puissance de ces formations ne dépasse pas 30-40m.

II-2.4.5. Campanien Mæstrichtien : (k⁵⁻⁶)

Les terrains Campano- Mæstrichtien sont assez largement répandus dans la dorsale. La base du Campano- Mæstrichtien est représentée par un faisceau de poudingues et de brèches conglomératiques, avec des bancs de calcaires gréseux, dans lesquels on observe une prédominance de microfaune du Campanien. Plus haut apparaît une assise de grés faiblement calcaireux à bancs de calcaires à la base. On constate par endroits des intercalations et des lentilles de vrais conglomérats à matériel détritiques essentiellement dolomitiques et calcaireux.

II-2.4.6. Néocomien : (b⁴)

La base du Néocomien est constituée de niveaux de brèches et de poudingues à gros éléments, renfermant des fragments de calcaires du Kimméridgien, et du Tithonique, (Vila, 1969). Plus haut on trouve une assise assez puissante de grés dont la partie inférieure est constituée par une interstratification fine de grés fins jaunâtres et rougeâtres avec des calcaires à

lithologie marneuse. Dans les monts de Koudiat Aissa, le Néocomien est représenté par un faisceau peu puissant de calcaires lithographiques finement lités, intercalés de calcaires argileux et de grés. L'épaisseur des formations ne dépasse pas 20m.

Dans la coupe de Dj Abiod, le Néocomien est faiblement discordant avec le Jurassique (J.M. Vila, 1969). La puissance du Néocomien est de 150 à 180m.

II-2.4.7. Jurassique supérieur (Malm) : (J⁵⁻⁶)

Stratigraphiquement plus haut, sur le Dogger reposent des niveaux de brèches à gros éléments d'une puissance de 15-20m ; vient ensuite un faisceau de brèches sus jacentes contenant des éléments de calcaires de cet âge (Vila, 1969).

II-2.4.8. Jurassique moyen (Dogger) : (J¹⁻⁴)

Il est caractérisé par des séries d'argilites rougeâtres, à bancs de grés fins gris- verdâtres, et de micro brèches. Le jurassique repose sur le Lias moyen et supérieur. La puissance de cette série est d'environ 30m.

II-2.4.9. Lias moyen supérieur : (L³⁻⁴)

Représenté par un faisceau de calcaires marneux à silex, les roches présentent une couleur jaunâtre ou rosâtre typique. Les niveaux supérieurs sont représentés par des roches siliceuses. La puissance totale de ces formations est environ 40m.

Le faciès calcaire à silex de la dorsale est caractéristique du Lias moyen et supérieur.

II-2.4.10. Lias inférieur (Hettangien) : (L¹)

Les formations du Lias inférieur sont connues aussi bien dans la sous zone externe que dans la sous zone interne de la dorsale. Dans la sous zone interne ce

sont en général des calcaires massifs gris – clair souvent à structure pseudo lithique caractéristique dans la coupe du Dj Chbebik. Un faisceau interstratifié de calcaires gréseux, de calcaires et de graviers à éléments silico – quartzeux s'intercale entre des calcaires similaires et les grès rouges du permio –Trias. Ce faisceau intermédiaire d'une puissance de 10 à 30m.

Dans la sous zone externe, la coupe commence par des dolomies massives, grises et jaunâtre, souvent à structure pseudo bréchiques, avec des variétés passant aux calcaires. La partie supérieure de la coupe est représentée par des calcaires stratifiées, gris et blancs, microgrenus lithologiques et oolithiques.

La puissance totale du Lias inférieur est de 200m environ.

II-2.4.11. Trias moyen : (T²)

Les formations de Trias moyen sont développées sur le versant Nord du Dj Safia. Elles comprennent des calcaires gréseux gris à passées d'argilites marneuse, des calcaires gris et gris foncé, à grains fins à agrégats vermiculaires de calcite, ainsi que des calcaires dolomités. Les faciès de calcaires vermiculés sont largement connus, ils caractérisent les formations du Trias moyen.

La puissance du Trias moyen peut dépasser 100m.

II-2.4.12. Trias inférieur et moyen : (T¹⁻²)

Il est caractérisé par une assise de grès gris et rosâtres, parfois de quartzites intercalés de calcaires argileux finement lités. L'extension de cette assise est limitée par les versants Nord du Dj Safia où ces roches ne présentent pas de contacts stratigraphiques à la base de la coupe.

**COLONNE STRATIGRAPHIQUE DE LA DORSALE EXTERNE
(Type Dj. Abiod)**

Semelle de la nappe numidienne

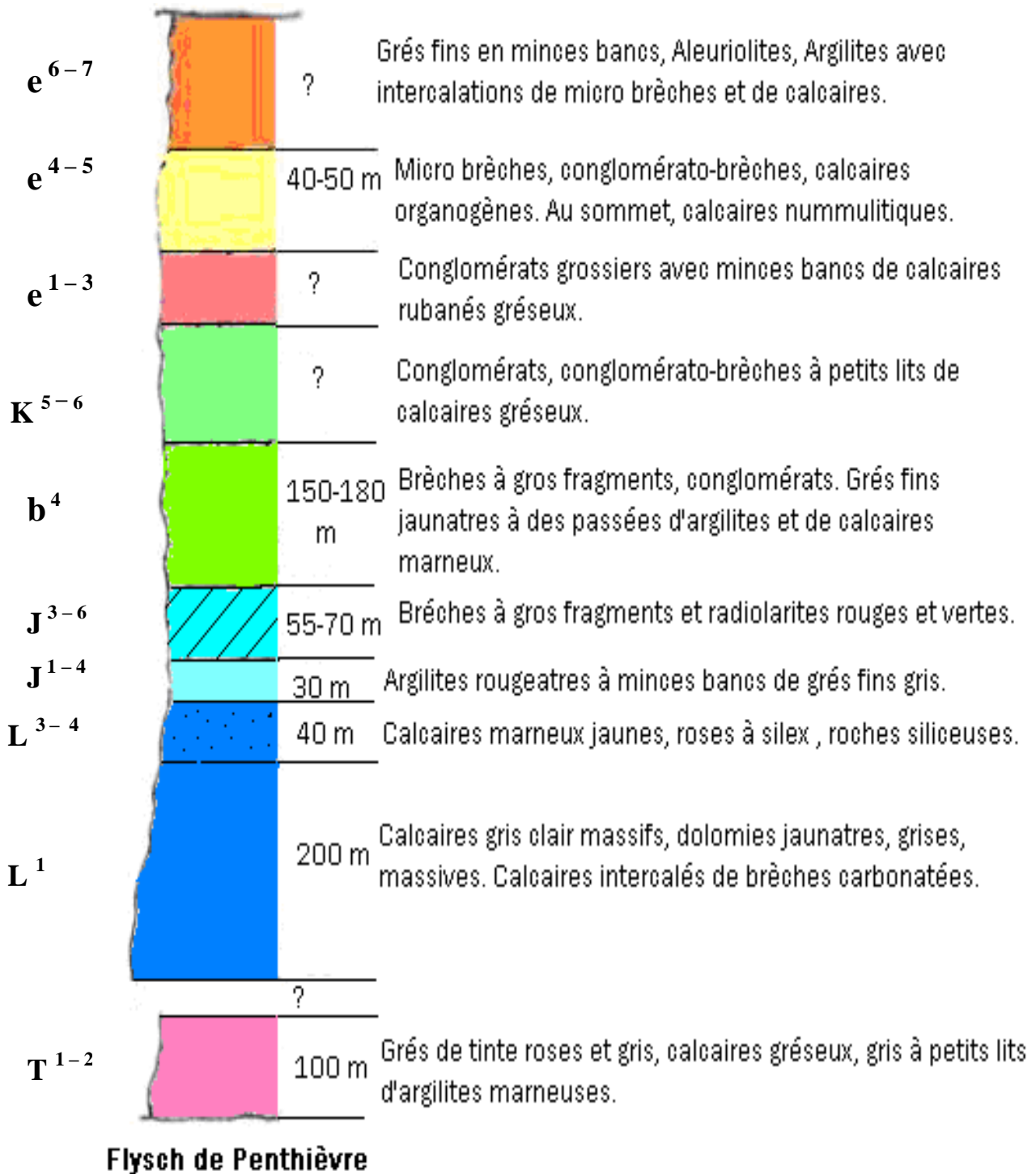


Fig.10

II-3. Tectonique :

La région fait partie de la zone plissée de l'Afrique du Nord, dont la complexité de l'architecture est connue. Le développement des conceptions fondamentales concernant les structures principales, évoluait parallèlement à l'accumulation de nouvelles données.

Les travaux ultérieurs effectués par les géologues dans la région de l'Algérie occidentale, ont sensiblement précisé et élargi les connaissances sur les unités allochtones de l'Algérie du Nord (1948-1956). Les nouvelles données acquises par ce groupe de géologues, ainsi les recherches de **M.Durand –Delga** étalées sur plusieurs années (**M.Durand Delga** 1955, 56, 61 et 1967) ont permis à celui-ci de procéder à un compartimentage tectonique bien argumenté du territoire de l'Algérie du Nord et de préciser sensiblement le caractère général de la structure (**M.Durand Delga** 1969). Les formations de la plupart des unités distinguées sont allochtones et représentent des ensembles structuraux indépendants, occupant une position plus au moins bien définie. Chacun des ensembles structuraux distingués se caractérise par une structure tectonique qui lui est propre et se sépare des autres.

II-3.1. Structure du Para Autochtone de Djebel Safia :

L'étude et la corrélation des coupes stratigraphiques ainsi que l'analyse faciale des dépôts ont permis à **M.Durand Delga** de distinguer en Algérie du Nord, une zone structuro –faciale pré –kabyle (**M.Durand Delga**, 1967) qui comprend le massif de Dj Safia **J.M.Vila** qui effectua des recherches dans le massif de l'Edough suppose que les roches cristallines de ce dernier sont le soubassement direct des assises mésozoïques de la zone pré –kabyle. A présent il n'existe pas de preuves directes pour étayer l'hypothèse proposée quoi que celle-ci semble être assez vraisemblable et que certaines données indirectes viennent témoigner en sa faveur. Les dépôts constituant le para autochtone de Dj Safia forment dans l'ensemble une grande structure anticlinale qui apparaît sous

les unités allochtones de chevauchant. Cette structure, dont les flancs sont constitués de dépôts terrigènes du Crétacé inférieur –supérieur, est affectée par de grands plis de deuxième ordre aux axes de direction Nord-Ouest. L'amplitude de ces structures est de l'ordre de 1.

Les cœurs des anticlinaux sont constitués habituellement de dolomies ou de calcaires massifs du Lias. Les cœurs des synclinaux sont formés par les dépôts calaro- marneux du Néocomien ou par les roches terrigènes de l'Aptien (Sénonien). Le pendage des flancs de plis varie de 15-20° à 60-70°. Les plis de deuxième ordre sont d'habitude affectés par les cassures longitudinales et transversales.

La zone décrite du Para autochtone ne porte pratiquement pas de structures renversées. La partie supérieure (Aptien- Sénonien) forme des plis dysharmoniques qui tranchent sur les roches plus massives du bas de la coupe.

On y constate en effet de petites structures renversées et même parfois des décollements de terrains avec déplacement par rapport au Soubassements et chevauchements au Sud.

II-3.2. Structure de la dorsale :

Dans la structure actuelle, la dorsale est située entre les ensembles allochtones kabyle et Numidien la recourant au Nord et le flysch de Penthièvre qui la chevauche au Sud.

La constitution des structures internes de la dorsale se complique du fait que celle-ci fait face au front septentrional d'une nappe en écaillés présentant une structure très complexe (Tchekhovitch, 1969). Les grands déplacements horizontaux qui eurent lieu, ont conduit à la superposition territoriale des sous zones internes et externes de la dorsale. Les formations de la sous zone interne ne se sont conservées pratiquement que sous forme d'écaillés tectonique de dimensions différentes (écaillés supérieur). La plus grande d'entre elle, dite de Chbebik, située à l'Ouest du village de Zit Emba (Bekkouche Lakhdar ex

Gastu), est constituée de calcaires du Jurassique et de l'Ypresien –Lutétien en pendage monoclinale au Nord. Les dépôts de la sous zone externe forment les structures plissées de la dorsale. Dans la partie occidentale de la feuille, elle a une direction N-E qui devient latitudinale à l'Ouest de l'Oued Fendek.

Tout près de la bordure occidentale est situé le grand anticlinal de Tasselem –Maksem dont les flancs ont des pendages de 30-40°. Au Nord –Est, les pendages des flancs s'adoucissent au fur et à mesure que la charnière plonge à l'Ouest. Le pli est recoupé par une faille méridienne au Sud –Est, et par un accident tectonique longitudinal (Nord- Est). Entre l'anticlinal de Tasselem-Maksem et celui de Tangout est coincée une étroite structure synclinale affectée de plis de deuxième ordre renversés au Sud–Est. Elle est essentiellement constituée de formations du Lutétien tardif –Priabonien.

L'anticlinal de Tangout, de direction Nord- Est, présente une structure généralement compliquée. Il est renversé au Sud Est dans sa partie septentrionale et montre une structure plus ou moins normale au Sud- Est. Le flanc couché de cette structure est affecté par des plis de deuxième ordre couchés eux aussi. Situé un peu plus à l'Ouest, l'anticlinal relativement simple de Safia est séparé de l'anticlinal complexe de Tangout par un synclinal asymétrique étroit fortement affecté de fractures.

L'anticlinal de Safia présente un profil symétrique et des flancs aux pendages relativement doux (25-30°). Son orientation est sublatitudinale à l'Est, il est compartimenté par de nombreuses structures.

Dans les limites de l'anticlinal de Dj Abiod situé plus à l'Est, on distingue nettement le flanc septentrional affecté par de multiples écaillés tectoniques et le flanc méridionale qui n'est représentée que par des fragments au voisinage d'un grand accident tectonique séparant la dorsale des flyschs de Guerrouch et de Penthivière.

A l'heure actuelle, l'hypothèse de **M.D.Delga** selon laquelle la dorsale occuperait une position allochtone semble se confirmer par les données récoltés

dans certains régions (**Raoult** 1966, **Tchekhovith** 1971). Notamment le forage structural implanté sur le flanc septentrional de la chaîne numidique, au voisinage du gisement mercuriel d'Ismail a montré que les formations de flysch typique reposent sous les dépôts de la dorsale (la coupe de Dj Tangout).

Plus à l'Est, sur le gisement mercuriel de Mra- Sma les formations du Trias gypsifère de type tellien ont été rencontrées sous les dépôts de la dorsale.

***Faille Chergui :**

La source thermale de l'Oued Hmimine est localisée au Nord- Est de la faille Chergui.

Cette dernière est une structure de formation profonde. Elle a une direction Nord- Est (50°), cette faille s'étend sur une distance de 5km du front de l'allochtone kabyle au Nord- Est jusqu'à la montagne Ferfour au Sud- Ouest.

Cette faille longe le lit de l'Oued Chergui où elle est recouverte par des dépôts récent.

Au Sud -Est, dans les limites de la montagne de Ferfour, elle est nettement observée sur les photos aériennes.

Cette faille traverse les formations de flysch, les roches de sous zone Ragoat Lessoued et l'allochtone numidique, qui se trouve à l'Ouest .Morphologiquement c'est une faille normale suivant la quelle la lèvre Nord-Ouest a été abaissée. Le miroir de la faille est presque vertical.

L'amplitude du déplacement n'est pas établi. L'indice de la minéralisation polymétallique de Chergui 1 et le gîte mercuriel de Ferfour sont associés à la faille Chergui.

A-Indice de Chergui 1 :

Cet indice a été observé à coté du lit même de l'Oued. Il est associé à la zone de broyage sous la nappe kabyle et aux roches de l'autochtone âgées du Néocomien et du Jurassique inférieur.

La teneur en mercure est de 0,01% (exceptionnellement 0,02-0,03%), celle en Pb et en Zn elle est de 0,01 à 0,02 %. Dans la zone de faille, près du point d'eau thermale, on observe des travertins comportant de 0,02 à 0,03 % de Mg, Sb, Pb, Cu et de Zn.

B-Indice de Chergui 2 :

Il se trouve sur la pente de la rive droite de l'Oued, à 0,4km au Sud –Est de l'indice Chergui1. La minéralisation est représentée par une faible dissémination de Cinabre dans les grés de l'autochtone de la nappe kabyle datés du Néocomien et qui ont subi une altération hydrothermale.

C- Indice de Chergui 3 :

Il est situé à 0,3km au Sud –Est de l'indice de Chergui 2. Il est associé à une zone de broyage intense de gneiss qui forme la base de la nappe kabyle. On y a signalé de la Barytine de l'Hématine et une dissémination très éparse de Galène, de Sphalerite et de Cinabre.

II-3.3. Conditions géologiques d'émergences :

II-3.3.1. Coupe géologique de la source thermale de l'Oued Hmimine: (Fig.11)

C'est entre les schistes anciens (noirs légèrement graphiteux) alternant avec de petits lits de quartzites et les grés calcaires d'âge Lutétien supérieur que sortent les eaux chaudes, on ne voit pas le plan de faille emprunté par l'eau chaude, il doit être vertical (d'après **Deleu**, 1938).

A partir de la carte géologique (N°32_a) on observe que la zone de la source de l'Oued Hmimine est très broyée et elle comprend des failles de direction NNE –SSW qui se trouve sur le long de l'Oued Hmimine.

II-3.3.2. Coupe géologique de la source thermique d'El Hamma: (Fig.13)

Les sources sortent dans la plaine, elles sont nombreuses, certaines coulent dans une piscine romaine. Plus loin, un forage de 60m de profondeur a été effectué e 2001, il traverse les alluvions limoneuses du Néopléistocène et emprunte les grés et les argiles du numidien et les calcaires. Le réservoir de l'eau chaude se trouve dans les calcaires fissurés.

Le para –autochtone de Dj Safia représente une zone des failles et des chevauchements (d'après la carte géologique N°32_b).

II-3.4. Paléogéographie de la région :

- **Les phases tectoniques anté –Miocène et Miocène :**

- Les mouvements précoces :

Dans la chaîne calcaire, les indices de mouvements précoces sont nombreux et apparaissant dès le Jurassique, où l'on observe des brèches Liasique.

- La phase tectonique atlasique :

Dans la chaîne calcaire, une phase tectonique tangentielle postérieure aux dépôts du nummulitique II a pu être mise en évidence par **Raoult** dès 1974, dans la région du Dj El Ghedir et du Dj Bouabed, où l'on voit deux séries de la chaîne calcaires tectoniquement Superposées avec une flèche de 1,5km minimum.

Ainsi au "Lutétien terminal – Priabonien inférieur " une phase tectonique majeure a provoqué dans la chaîne calcaire des chevauchements importants, c'est à cette époque que les unités de la chaîne calcaire interne et médiane ont été charriées sur la chaîne calcaire externe.

Coupe géologique de la source thermique de l'Oued Hmimine

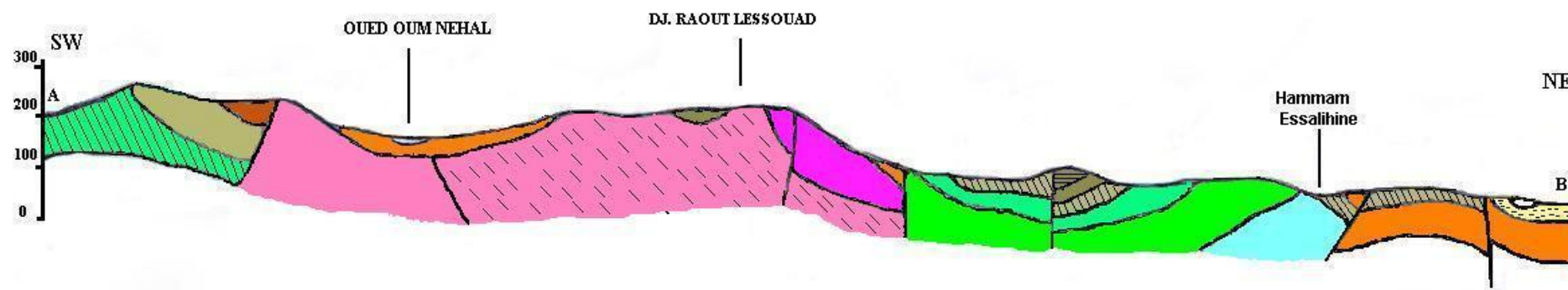


Fig.11

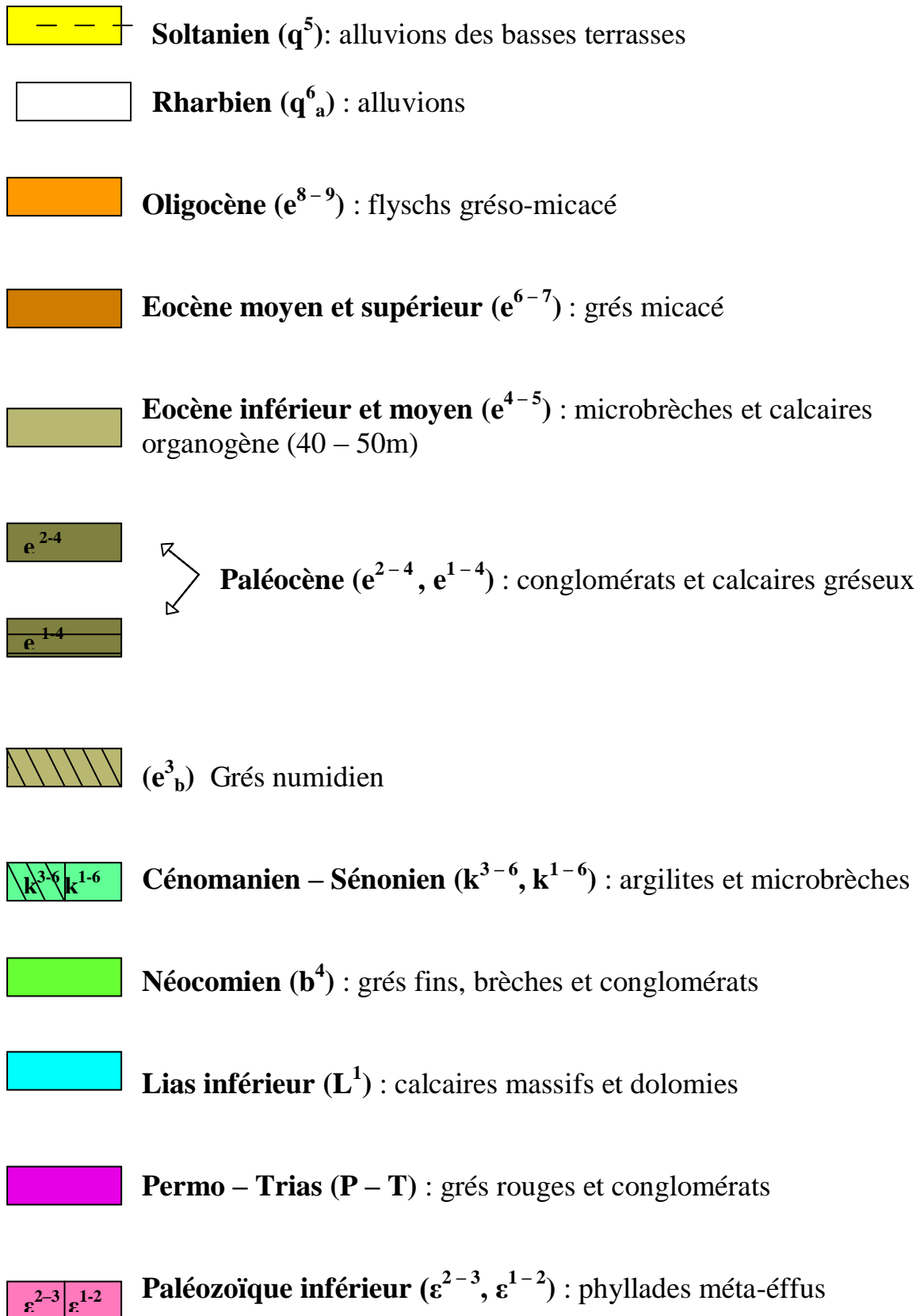
Légende :

Fig.12

Coupe géologique de la source thermique d'El Hamma

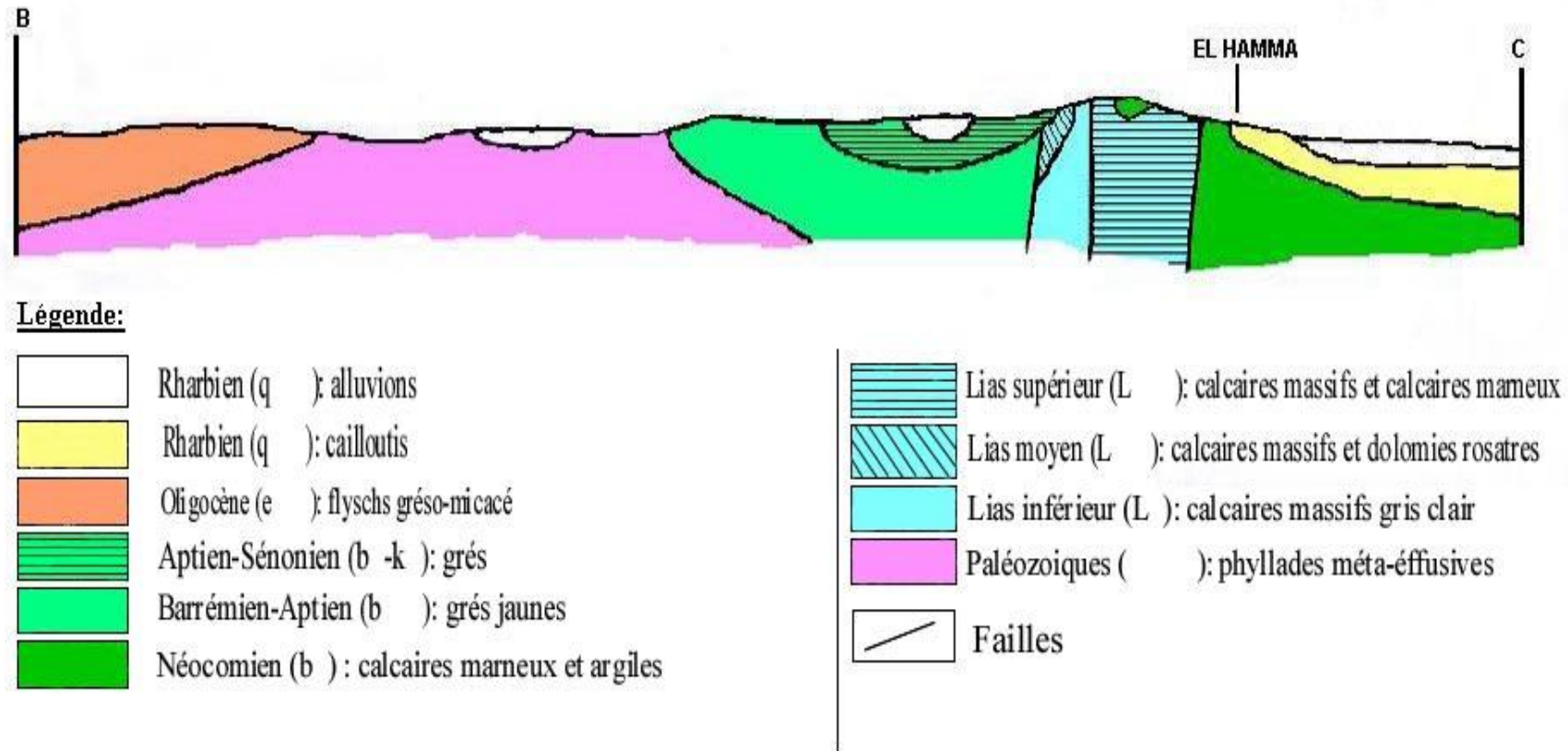


Fig.13

En 1980, **J.M.Vila** montre que la phase Priabonienne est responsable d'un raccourcissement de l'ordre de 200 à 250km dans le constantinois, et donc d'un rapprochement du même ordre entre la plaque africaine et le bloc d'Aloran. Il s'agit donc là d'une phase tectonique majeure.

-La phase alpine :

Selon **P. Verdeil** : "Zone de circulation préférentielle par les eaux, elle est assurée par une série de griffons qui libèrent vers la surface une partie de l'énergie née de l'activité macro et microsismique.

Ce couloir présente une série de répliques qui sont autant des failles transformantes, présentent une orientation similaire et également jalonnées par des griffons thermaux. Pour **P. Verdeil**, ces bandes thermiques seraient d'Ouest en Est (Fig.14) :

- La bande thermique d'Oran ;
- La bande thermique de Cherchell et Ténès ;
- La bande thermique du Constantinois ;
- La bande thermique d'Annaba.

Sur ces bandes thermiques, les griffons thermaux sont également répartis, ils se regroupent en "nids" sur les zones d'interférences entre ces accidents N 115° et N 140° E et des réseaux de failles conjuguées d'âge Quaternaire et d'orientation N 20°E.

Au Pliocène supérieur et au Quaternaire, des mouvements plus ou moins violents vont déformer les séries tertiaires donnant des systèmes structuraux de types Jurassien suivant des directions calquées sur celles de l'orogénèse atlasique.

Dans le même temps, de grands mouvements associés à des décrochements horizontaux donneront à la région la physionomie actuelle.

II-3.5. Le thermalisme dans son cadre géo -structural :

De manière schématique, la source d'eau thermale est un axe de forme souvent complexe. Il permet la remontée d'eau chaude et minéralisée issue d'un réservoir profond.

L'hypothèse d'une eau juvénile (ou endogène) est aujourd'hui abandonnée pour l'explication de la quasi-totalité des cas étudiés, au profit de l'origine vadose (ou météorique).

L'explication du sol a permis la construction de modèles géologiques explicatifs, puis plus récemment de modèles semi quantitatifs (ex : le thermalisme en France) où sont pris en compte le flux de chaleur terrestre (gradient géothermique).

La source d'eau thermo -minérale correspond à un axe. Ce dernier, qui met en relation privilégiée les horizons géologiques profonds avec la surface, procède de l'intersection d'au moins de deux plans (plan de faille) et souvent beaucoup plus. Un minimum de complexité lui conférera une forme contournée et indescriptible dans son détail. La possibilité de la remontée et d'émergence de l'eau implique une fracturation ouverte et une permanence de l'ouverture. La distension apparaîtra, par exemple dans la conjugaison des failles normales avec des failles coulissantes, la décompression affectera le périphérique de massifs à caractère intrusif (granite par exemple).

Le déplacement du griffon ou son colmatage par un travertin pourra fossiliser l'émergence, mais dans beaucoup de cas, la sismicité constitue un facteur d'entretien.

II-3.5.1. Influence de la lithologie :

La nature du sédiment intervient à deux niveaux :

Elle commande la composition chimique de l'eau : la minéralisation des eaux est fonction des éléments apportés à l'entrée du circuit hydrothermal par les précipitations et le sol, des éléments dissous en profondeur au contact de

l'encaissant et éventuellement des éléments apportés des plus grandes profondeurs.

La mise en solution est fonction de la température, de la pression et dans une moindre mesure de la vitesse de circulation de l'eau dans les zones de dissolution.

Globalement les eaux des calcaires sont différentes des eaux des sables et des grès. En outre, des eaux particulièrement typiques apparaîtront au contact des certaines formations, comme par exemple : les eaux au contact des séries évaporitiques du Trias ou du Crétacé supérieur.

- En surface, la lithologie intervient dans la localisation des zones d'infiltration et des griffons d'émergence ;
- En profondeur, elle commande l'existence des zones d'accumulation et parallèlement à la fracturation et à la structure, la disposition des circuits thermaux.

II-3.5.2. Influence du complexe structural :

-L'importance de la tectonique :

L'apparition des sources minérales et surtout thermales est due à l'existence d'un cours circuit hydraulique à forte perméabilité entre la profondeur et la surface résultant généralement d'une fracturation liée à un accident géologique récent. Les mécanismes qui permettant la circulation sont obligatoirement l'existence d'un gradient hydraulique important entre la zone d'alimentation et la zone d'émergence. Accessoirement une élévation importante de la température provoquant une baisse de densité de l'eau et / ou un dégagement abondant de CO₂ mantélique (gaz –lift) à la faveur de failles profondes et ouvertes, de ce fait les structures géologiques commandent l'apparition des sources thermo –minérales dans la région d'étude.

CARTE DES BANDES THERMIQUES DE L'ALGERIE (d'après P.VERDEIL)

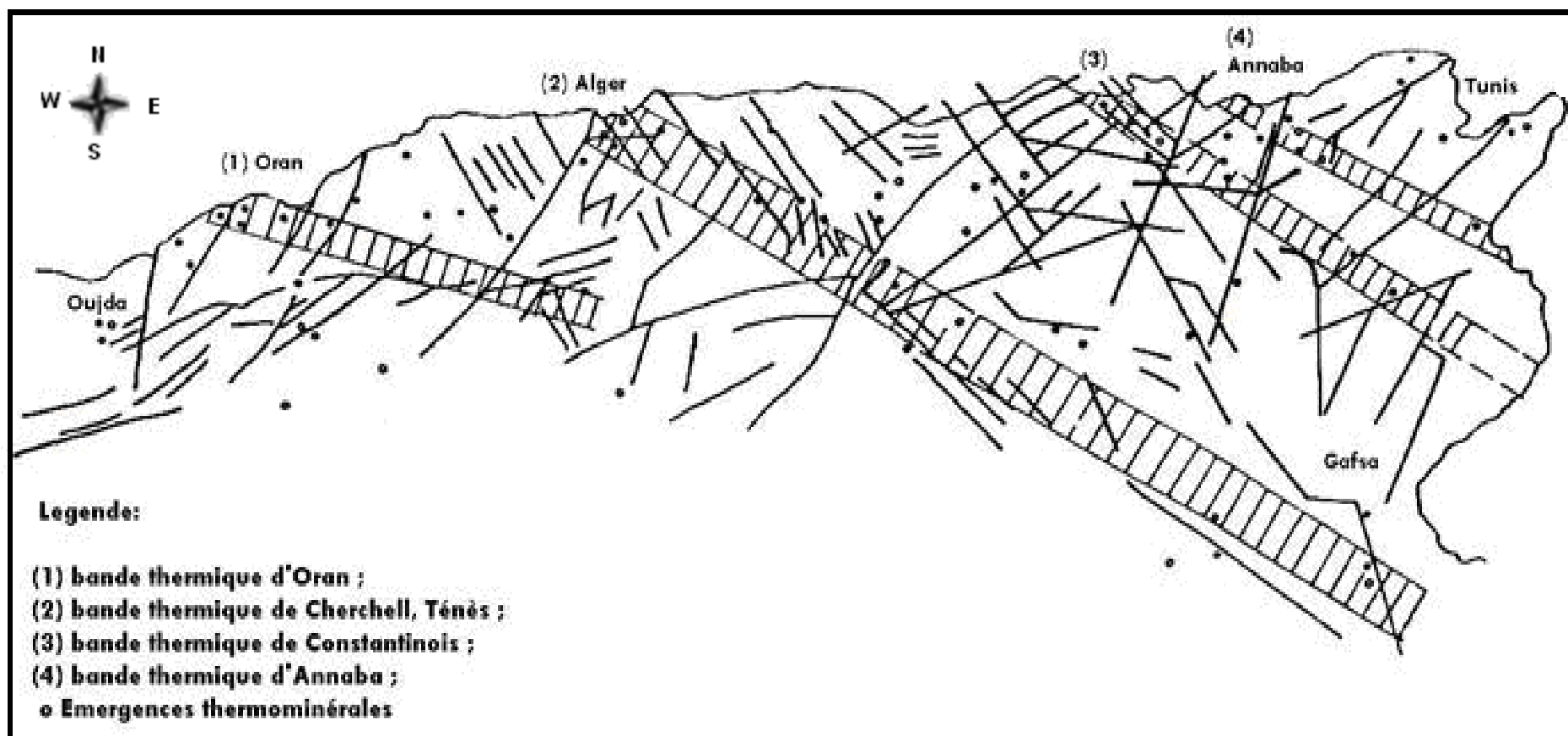


Fig.14

II-4. Conclusion :

La région d'étude comprend deux (2) zones différentes : la dorsale kabyle et la para –autochtone du Dj Safia.

La première zone représente la constitution géologique de la source thermale de l'Oued Hmimine. La deuxième zone le para- autochtone du Dj Safia, englobe la région de la source d'eau chaude d'El Hamma situé au Nord –Est de la ville d'Azzaba.

La dorsale kabyle (chaîne calcaire) est formée par des argilites, des grés, des brèches et des conglomérats du Jurassique et des formations du Paléozoïque qui constituent le socle des terrains Mésozoïque.

Par contre, les formations stratigraphiques du para –autochtone du Dj Safia sont constituées par des calcaires et des argiles du Crétacé et du Paléocène, avec des alluvions du Quaternaire.

La tectonique de la région est très complexe, conditionnée par des formations faillées profondes et des écaillés de couverture et des chevauchements.

Les conditions géologiques des émergences nous montrent que les eaux thermales de la source d'El Hamma sont parvenues des calcaires fissurés pour atteindre les dépôts alluvionnaires du Rharbien (Quaternaire).

D'autre part, les eaux chaudes de la source de l'Oued Hmimine sortent à la surface par les grés numidien, après avoir passé par les calcaires et dolomies du Lias.

III-1.Introduction :

L'étude et l'analyse des paramètres climatiques principalement les précipitations et la température nous a permis de donner les précipitations dans le temps et dans l'espace de ces dernières.

Elle nous a également permis d'établir le bilan hydrique et par conséquent déterminer le taux d'infiltration si nécessaire à l'alimentation et le renouvellement des réserves d'eau des nappes souterraines.

Rappelons que notre secteur d'étude fait partie du bassin versant de l'Oued Kebir.

III-2.Aperçu général sur le climat de l'Algérie :

Les mécanismes essentiels du climat Algérien se résument en deux facteurs :

1-Les facteurs géographiques avec l'altitude, la latitude et l'effet de continentalité.

2-Les facteurs météorologiques avec le front saharien et le front méditerranéen.

- Les zones côtières sont exposées directement aux influences méditerranéennes marquées par une pluviométrie plus conséquente et plus importante.
- L'Atlas tellien dont une partie correspondant au secteur d'étude qui est soumis lui aussi à un régime méditerranéen, mais moins important que dans le côtier et concerné par des pluies d'origine cyclonique, dégradées par leur passage sur la France et régénérés parfois en méditerranée.

III-3.Zone d'étude et son réseau hydrographique :

Le bassin versant des côtiers constantinois à une superficie totale de 11570km². Ce bassin est subdivisé en 18 sous bassins et notre secteur d'étude est situé dans le sous bassin de l'Oued Kebir ayant une superficie 1128km².

Pour notre étude, on a utilisé les données des deux stations météorologiques de la région d'Azzaba, et celle de Skikda pour une période d'observation de 1987 à 2007, dont les coordonnées sont mentionnées dans le tableau N°1.

Stations	X	Y	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Période d'observation
Skikda	874.500	406.400	05	36° 35'N	06° 54'E	1987 - 2007
Azzaba	892.350	391.350	91	36° 44' 38" N	07° 54' 45" E	1987 - 2007

Tableau N°1 : Coordonnées des stations d'Azzaba et Skikda.

III-4.Le climat :

Le type de climat, qui caractérise la région d'Azzaba, est un climat subtropical méditerranéen, humide en hiver et chaud et sec en été.

III-5.Caractéristiques climatiques :

On peut considérer les précipitations (P), la température (T), l'infiltration (I), le ruissellement (R) et l'évapotranspiration (E) comme des caractéristiques qui influencent le régime hydrologique de la région d'étude.

III – 5.1. Précipitations :

Toutes les formes d'eau qui tombent sur la surface de la terre sont appelées précipitations. Les précipitations soient de la neige, de la pluie, du verglas ou de la grêle dépendent de la température de l'air à travers lequel l'eau tombe.

Nous nous intéressons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur fondamental dans le comportement hydrogéologique de la région.

- Mesure des précipitations :

Les résultats obtenus, à partir des pluviomètres implantés dans les stations de Skikda et d'Azzaba, d'une durée d'observation qui s'étale entre (1987 et 2007), nous ont aidés à établir deux (2) histogrammes de précipitations moyennes mensuelles : le premier pour la station d'Azzaba et le second pour la station de Skikda (Fig.15 et 16).

En analysant les deux histogrammes, on distingue qu'ils ont une allure similaire, avec quelques différences spécifiques.

Les maxima de la moyenne mensuelle des précipitations sont observés durant les mois de Décembre et Janvier qui sont respectivement 142.58mm et 102.07mm à la station de Skikda, mais à la station d'Azzaba, les maxima enregistrés sont de l'ordre de 128.91mm et 102.25mm.

Les minima sont enregistrés au mois de Juillet pour les deux stations, avec 2,23mm pour la station de Skikda et 0,54mm à la station d'Azzaba. (Tableau N°2).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
St. Skikda	46,09	58,13	98,28	142,58	102,07	87,80	57,66	60,63	34,10	14,13	2,23	11,28
St. Azzaba	25,15	40,11	78,73	128,91	102,25	78,95	54,13	42,29	19,35	6,37	0,54	3,43

Tableau N° 2: précipitation moyenne mensuelle des stations de Skikda et d'Azzaba (mm). (1987 - 2007)

III – 5.2. Température :

La température étant étroitement liée au taux de radiation, lui-même directement corrélé à l'évaporation, il s'ensuit qu'une certaine relation existe entre l'évaporation et la température de la surface évaporante.

Les températures moyennes mensuelles maximales observables dans les deux stations pour la période (1987 – 2007), sont enregistrées au mois d’Août avec 26.32°C à Skikda et 25.38°C à Azzaba. Les températures moyennes mensuelles minimales sont observées au mois de Février, avec 12.47°C à la station de Skikda et 12.83°C à la station d’Azzaba (Tableau N°3)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
St. Skikda	24,13	21,31	16,63	13,71	12,55	12,47	14,37	16,01	19,08	22,51	25,22	26,32
St. Azzaba	24,11	20,96	16,91	14,52	13,03	12,83	14,53	16,07	19,16	22,06	24,66	25,38

Tableau N°3 : Température moyenne mensuelle des stations de Skikda et Azzaba (°C). (1987 – 2007)

III – 6. Courbe ombro-thermique :

Une courbe ombro-thermique, c’est la combinaison entre les facteurs pluviométriques (P) et les facteurs thermiques (T). L’avantage de ces courbes, nous permet de mettre en évidence les deux périodes sèche et humide.

Pour les deux stations, la période d’observation est enregistrée durant une vingtaine d’année de 1987 jusqu’à l’année de 2007.

- **La station d’Azzaba :** la courbe ombro-thermique (Fig.19) présente deux (02) périodes :
 - La période sèche, qui s’étale à partir de la fin du mois d’Avril jusqu’à la moitié de mois d’Octobre, avec un maximum de précipitation de 42.29mm et une température moyenne maximale égale à 25.38°C au mois d’Août.
 - La période humide s’étalant de la moitié de mois d’Octobre jusqu’ à la fin du mois d’Avril. Elle est caractérisée par un maximum de précipitation de 128,91mm enregistré au mois de Décembre.

HISTOGRAMME DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES DE LA STATION D'AZZABA (1987-2007)

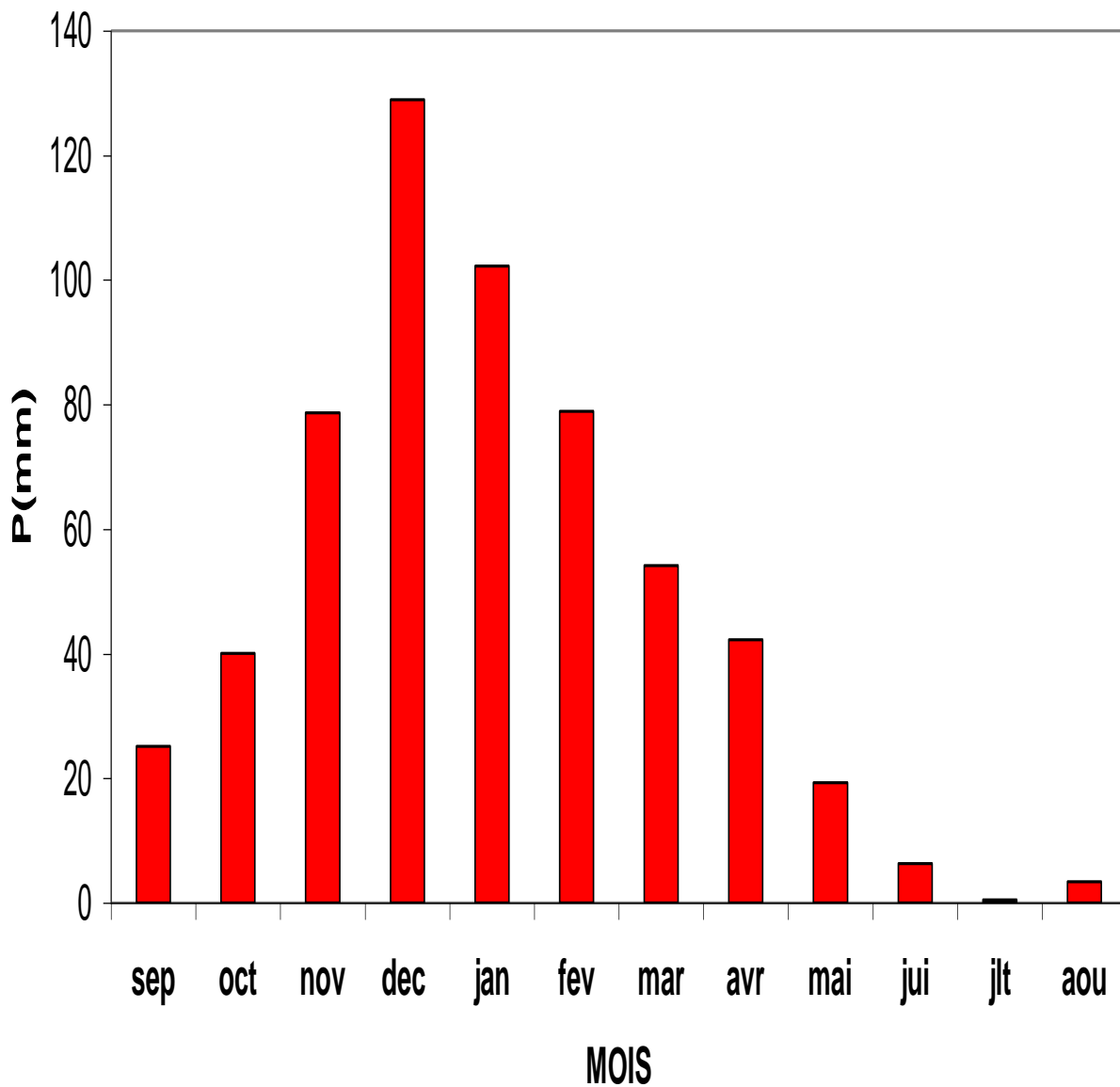
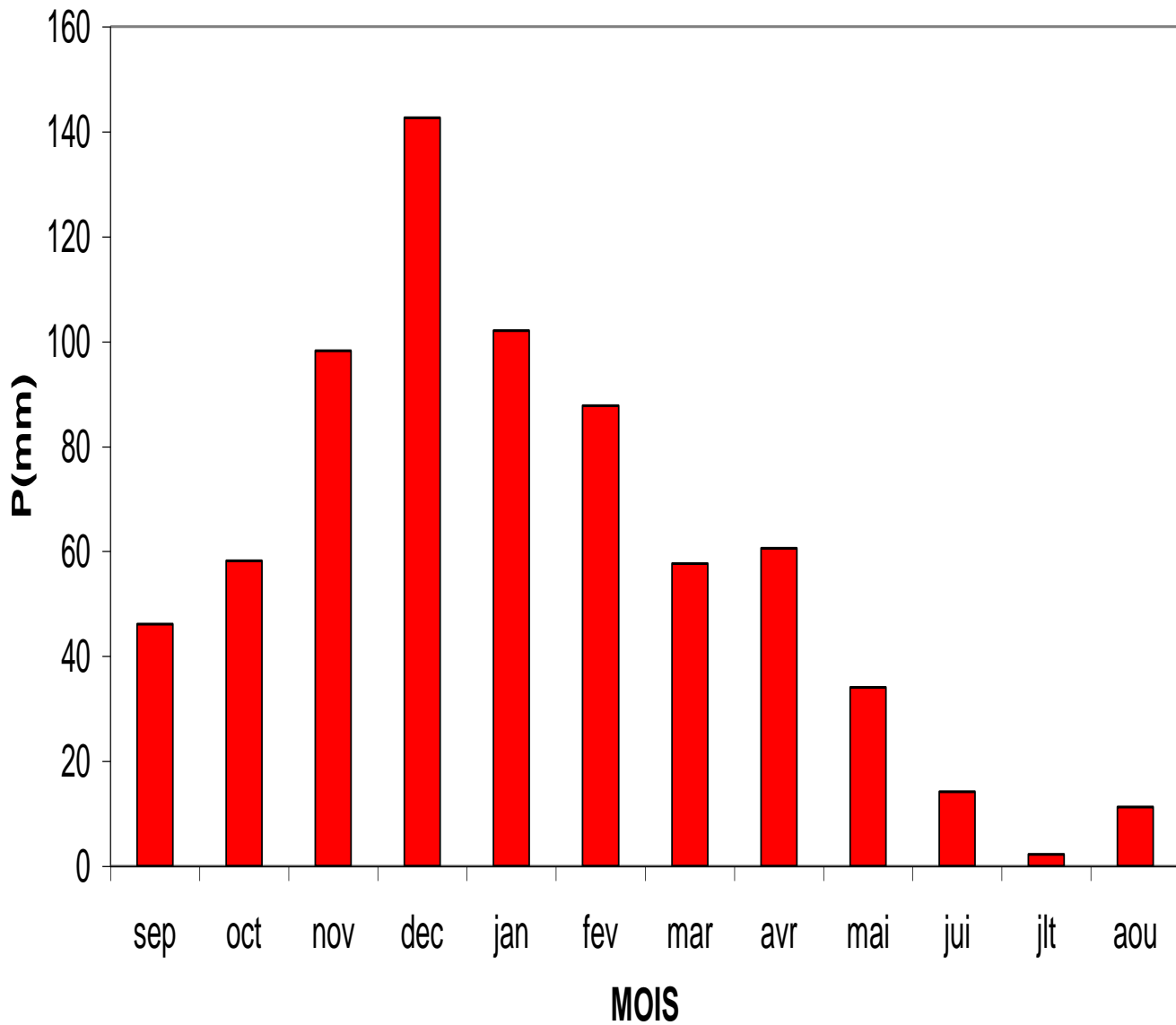
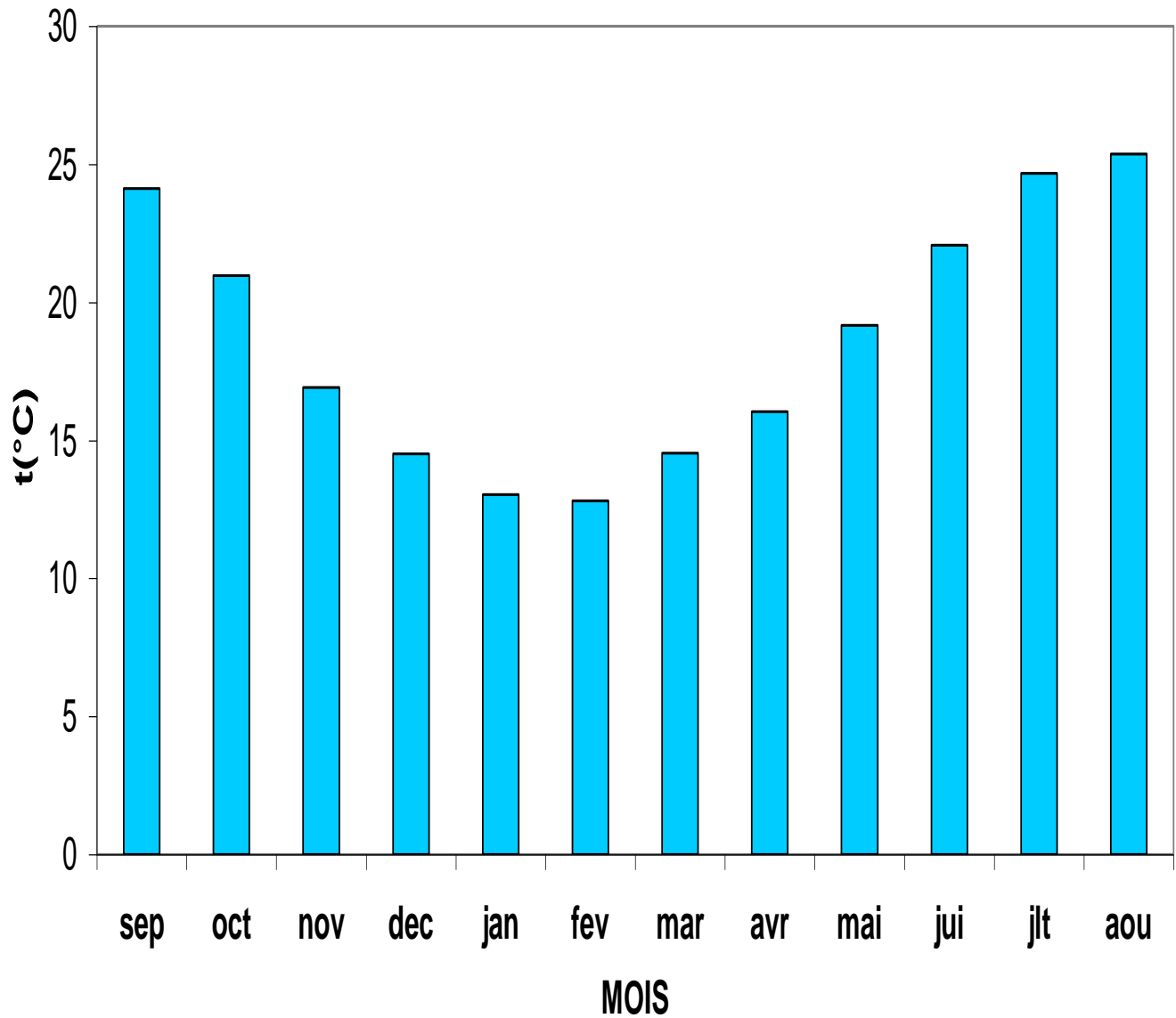


Fig.15

HISTOGRAMME DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES DE LA STATION DE SKIKDA (1987-2007)

**Fig.16**

HISTOGRAMME DES TEMPERATURES MENSUELLES DE LA STATION D'AZZABA (1987-2007)

**Fig.17**

HISTOGRAMME DES TEMPERATURES MENSUELLES DE LA STATION DE SKIKDA (1987-2007)

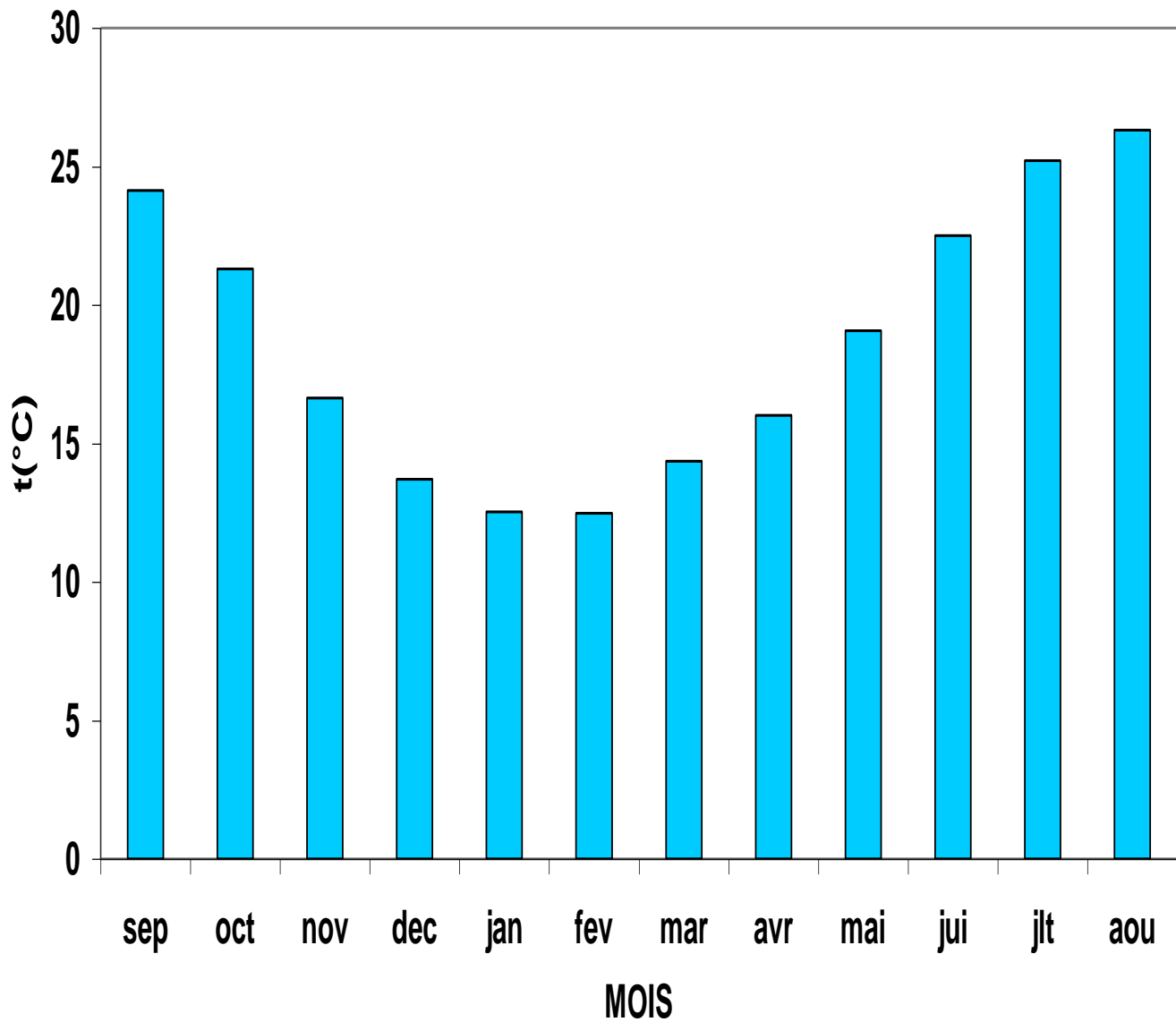


Fig.18

- **La station de Skikda :** à partir de la courbe ombro-thermique (Fig.20), on note la présence de deux (02) saisons :
 - Une saison sèche débutant de la moitié de mois de Mai jusqu'à la moitié du mois de Septembre, elle est caractérisée par une température moyenne maximale de 26.32°C enregistrée au mois d'Août.
 - Une saison humide s'étalant de la moitié de Septembre jusqu'à la moitié du mois de Mai avec une précipitation moyenne maximale de 142.58mm enregistrée au mois de Décembre.

III – 7. Bilan hydrique :

Le Dictionnaire de la géographie définit "bilans hydriques ou hydrologiques" : "Etude comparée de la lame d'eau tombée à la surface d'un territoire ou d'un bassin versant et des différentes formes de transfert de cette eau soit par évapotranspiration, écoulement, infiltration et alimentation des nappes souterraines.

Le bilan hydrologique est le total des apports à un bassin versant ou à une formation aquatique, doit être égal au total des sorties plus la variation, positive ou négative, du volume d'eau stocké dans le bassin ou la formation. Il se résume par l'équation :

$$P = ETR + R + I$$

Où :

P : la précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

R : le ruissellement moyen annuel en (mm) ;

I : l'infiltration moyenne annuelle en (mm) ;

ETR : l'évapotranspiration réelle en (mm).

Le but du bilan hydrique est d'estimer la répartition des quantités d'eau, sous ces diverses formes, qui alimentent un bassin versant ou une formation aquatique.

**COURBE OMBRO-THERMIQUE DE LA STATION D'AZZABA
(1987-2007)**

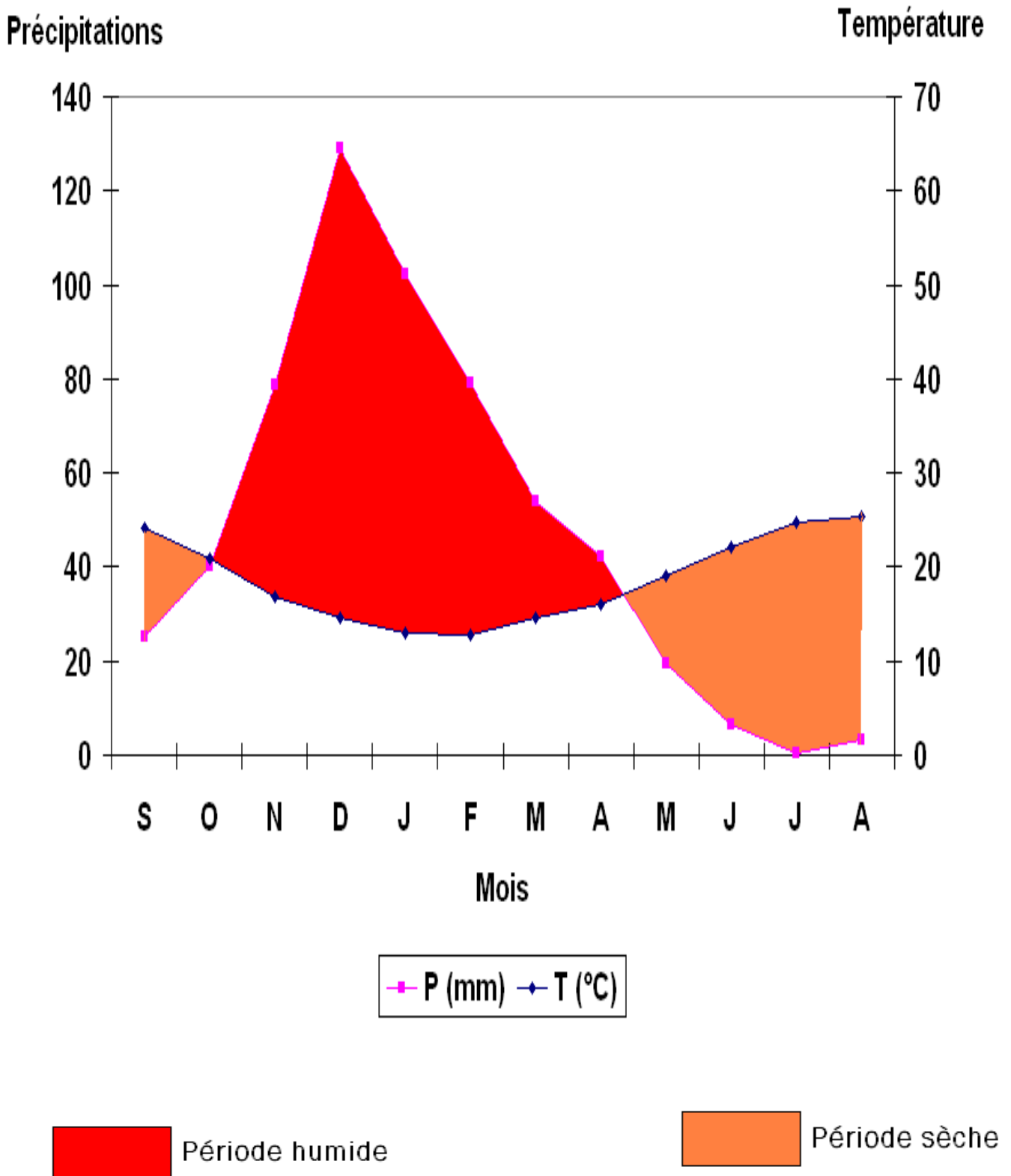


Fig.19

**COURBE OMBRO-HERMIQUE DE LA STATION DE SKIKIDA
(1987-2007)**

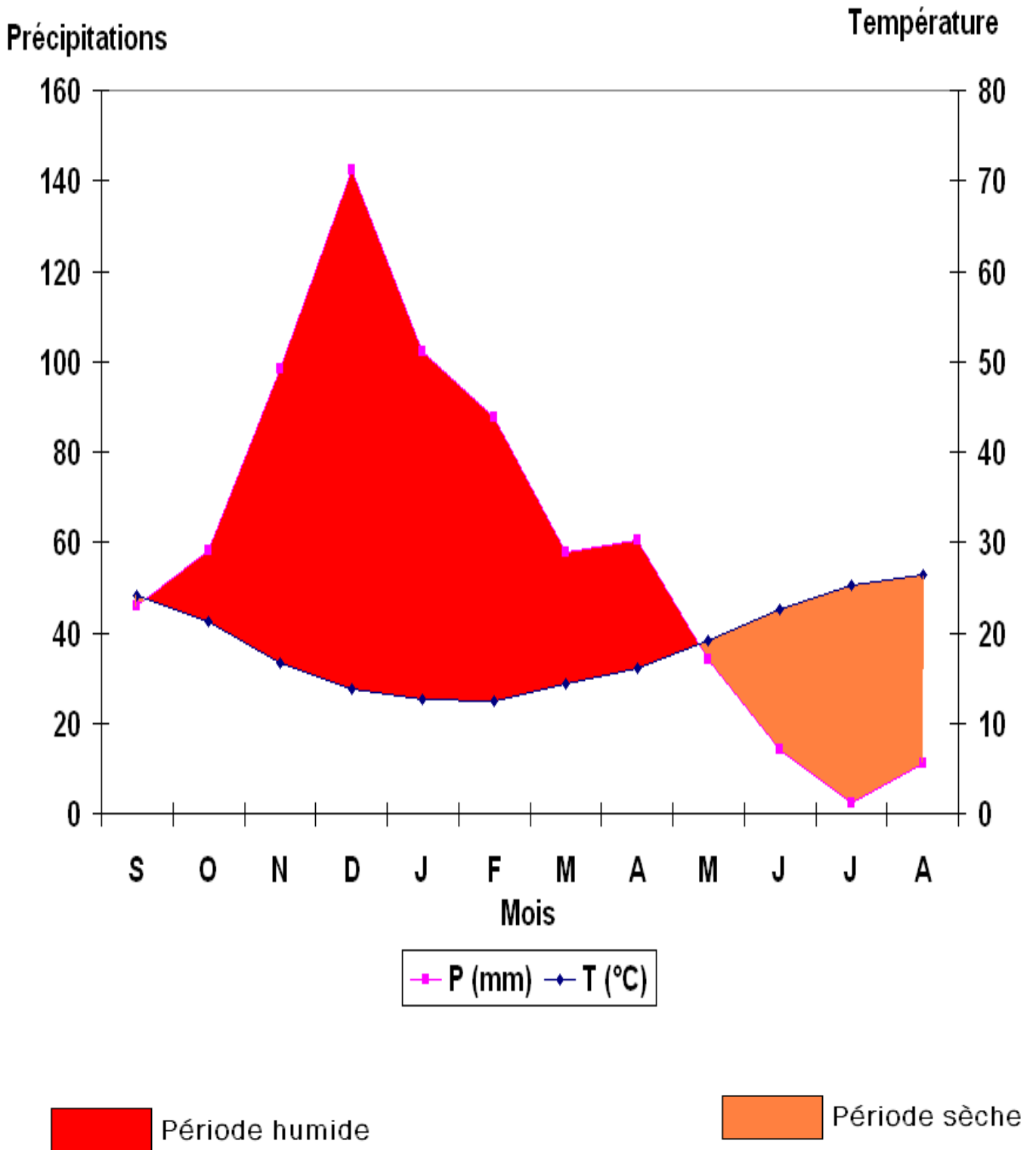


Fig.20

III – 7.1. L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes qui conditionne de façon importante le cycle de l'eau principalement au niveau de l'interface entre l'atmosphère et de la lithosphère, ou bien, c'est l'ensemble des phénomènes qui par un processus physique transforment l'eau en vapeur.

III – 7.1.1. L'évapotranspiration réelle (ETR) :

C'est la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire réelle.

L'**ETR** peut être estimée à l'aide de mesures ou de méthodes de calcul. A titre illustratif, les formules de **TURC** et **COUTAGNE** sont les suivantes :

* **Formule de Turc :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec : $L = 300 + 25T + 0.05 T^3$

ETR : l'évapotranspiration réelle en (mm) ;

P : la précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

T : la température moyenne annuelle en (°C).

* **Formule de Coutagne :**

$$ETR = P - m \cdot P^2$$

Avec : $m = 1 / (0.8 + 0.16T)$

ETR : l'évapotranspiration réelle en (mm) ;

P : la précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

T : la température moyenne annuelle en (°C).

III – 7.1.2. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Elle est définie couramment comme la somme de l'évaporation par la surface du sol et de la transpiration par le feuillage d'une culture dont les stomates sont entièrement ouverts, lorsque le sol fournit toute l'eau demandée, l'ETP peut être mesurée à l'aide de la formule de **C.W.THORNTHWAITE** :

$$\text{ETP} = 16 [10T / I]^a \cdot K \quad \text{en cm/mois}$$

Avec : $a = 0.016 I + 0.5$

a : constante régionale déterminée par la méthode de régression.

ETP : l'évapotranspiration potentielle en (mm) ;

T : la température moyenne mensuelle en (mm) ;

K : coefficient d'ajustement mensuel (correction) ;

I : l'indice thermique annuel, c'est la somme de douze (12) indices thermiques mensuels i , ou : $i = (T / 5)^{1.5}$.

III – 7.2. Calcul du déficit agricole :

La différence entre l'évapotranspiration potentielle (ETP), et l'évapotranspiration réelle (ETR) ainsi calculé constitue le déficit d'eau, car il représente la quantité d'eau supplémentaire qui aurait pu être utilisée par les plantes et le sol si la disponibilité en eau avait pu être artificiellement donnée par un système d'irrigation.

III – 7.3. L'étude du bilan hydrique :

L'étude des bilans hydriques est compliquée par le fait que les deux variables de commandement ne sont pas indépendantes. La quantité évaporée dépend évidemment de la quantité d'eau disponible : elle cesse lorsque le

volume d'eau apporté par les précipitations est épuisé. Ceci a conduit à introduire la notion d'évapotranspiration potentielle : la quantité d'eau qui peut passer dans l'atmosphère en fonction du seul état de celle-ci, en supposant que la quantité d'eau disponible ne soit pas un facteur limitant. (La quantité d'eau que l'on ajoute dans un vase de fleurs de façon à maintenir le niveau constant est une mesure de l'évapotranspiration potentielle en fonction de l'état de l'atmosphère dans le lieu où se trouve ce vase).

Il est courant, dans l'étude des bilans hydriques de comparer les précipitations P et l'évapotranspiration potentielle ETP , ce qui permet de distinguer des situations différentes en fonction de seuils qui sont directement significatifs pour un lieu ou une période donnée :

- Si $P < ETP$, l'évaporation réelle sera égale à P ; il y aura prélèvement sur les réserves, absence d'écoulement ; la période sera dite déficitaire.
- Si $P > ETP$, l'évaporation réelle sera égale à l' ETP , il y aura écoulement et constitution de réserves ; la période sera dite excédentaire.
- La réserve facilement utilisable (RFU) présente la quantité d'eau disponible dans le niveau superficiel du sol.
- L'excédent (EXC) d'écoulement appelé pluie efficace, est le reste des eaux de pluie, d'écoulement et d'infiltration.
- Le déficit agricole (DA en mm), il résulte de la différence entre l' ETP et l' ETR , il représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures pour que la sécheresse ne l'atteigne pas.

III – 7.4. Interprétation des données du bilan :

III – 7.4.1. Station d’Azzaba (Fig.21):

L’étude du bilan hydrique de la station d’Azzaba (Tableau N°4), sur une durée de 20 ans (1987 -2007), montre que lorsque la réserve facilement utilisable est pleine, il y a un excédent d’eau et quand elle commence à diminuer, on a un épuisement de stock accompagné d’un déficit agricole qui commence du mois de Novembre jusqu’au mois de Mai.

- Le RFU atteint son maximum 100mm durant le mois de Décembre, Janvier, Février, Mars ;
- L’écoulement s’observe durant les même mois avec une somme de :
 $\sum (\text{Exc}) = 166.7\text{mm}$;
- $\sum \text{ETR} = 413.5\text{mm}$.

- Ruissellement (R) :

Le ruissellement est calculé par la formule de **TIXERONT BERKALOFF** appliquée pour ($P < 600\text{mm}$). P^3

$$R = \frac{P^3}{3(\text{ETP})^2} \quad (\text{en mm}).$$

Où : R : ruissellement moyen en mm ;

P : précipitation moyenne (en mm) ;

ETP : évapotranspiration potentielle (en mm).

La quantité de ruissellement calculée pour la station d’Azzaba est de 81.35mm.

- Infiltration (I) :

L'infiltration est calculée à partir du bilan hydrique en remplaçant chacun des termes par sa valeur trouvée : $P = ETR + R + I$

La quantité d'eau infiltrée est égale à : 85.35mm à la station d'Azzaba c'est-à-dire 14.71% de la pluie moyenne.

III – 7.4.2. Station de Skikda (Fig.22)

Pour la station de Skikda (tableau N°5), le déficit agricole débute à partir du mois de Juin jusqu'à Octobre, la reconstitution de la RFU commence du mois de Novembre jusqu'au mois de Mai, avec un maximum de 100mm du mois de Décembre jusqu'à Avril.

- $\sum ETR = 485.3\text{mm}$;
- $\sum P = 715.0\text{mm}$;
- Ruissellement : $R = 148.86\text{mm}$;
- La quantité d'eau infiltrée : $I = 80.84\text{mm}$.

	T	i	CL	ETP	P	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	24,1	10,8	1,03	111,3	25,15	-86,2	-0,8	0,0	0,0	25,2	86,2	0,0
O	21	8,8	0,97	79,9	40,11	-39,7	-0,5	0,0	0,0	40,1	39,7	0,0
N	16,9	6,3	0,86	46,6	78,73	32,1	0,7	32,1	32,1	46,6	0,0	0,0
D	14,5	5,0	0,81	32,7	128,91	96,2	2,9	67,9	100,0	32,7	0,0	28,3
J	13	4,3	0,87	28,4	102,25	73,8	2,6	0,0	100,0	28,4	0,0	73,8
F	12,8	4,2	0,85	26,9	78,95	52,0	1,9	0,0	100,0	26,9	0,0	52,0
M	14,5	5,0	1,03	41,6	54,13	12,5	0,3	0,0	100,0	41,6	0,0	12,5
A	16,1	5,9	1,10	54,0	42,29	-11,7	-0,2	-11,7	88,3	54,0	0,0	0,0
M	19,2	7,6	1,21	83,7	19,35	-64,3	-0,8	-64,3	24,0	83,7	0,0	0,0
J	22,1	9,5	1,22	110,9	6,37	-104,6	-0,9	-24,0	0,0	30,3	80,6	0,0
J	24,7	11,2	1,24	140,0	0,54	-139,5	-1,0	0,0	0,0	0,5	139,5	0,0
A	25,4	11,7	1,16	138,5	3,43	-135,1	-1,0	0,0	0,0	3,4	135,1	0,0
Annuel	18,7	90,3		894,6	580,2	-314,4				413,5	481,1	166,7

P : Précipitations moyenne annuelle (mm).

i : indice thermique mensuel.

CL : coefficient de latitude.

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

RFU : Réserve facilement utilisable.

Exc : Excédent.

Def : Déficit agricole.

a = 1.94

Tableau N°4 :Bilan hydrique C.W.THORNTWAITE - Station d'Azzaba (1987-2007)

INTERPRETATION GRAPHIQUE DU BILAN HYDRIQUE DE THORNTWAITE STATION D'AZZABA (1987-2007)

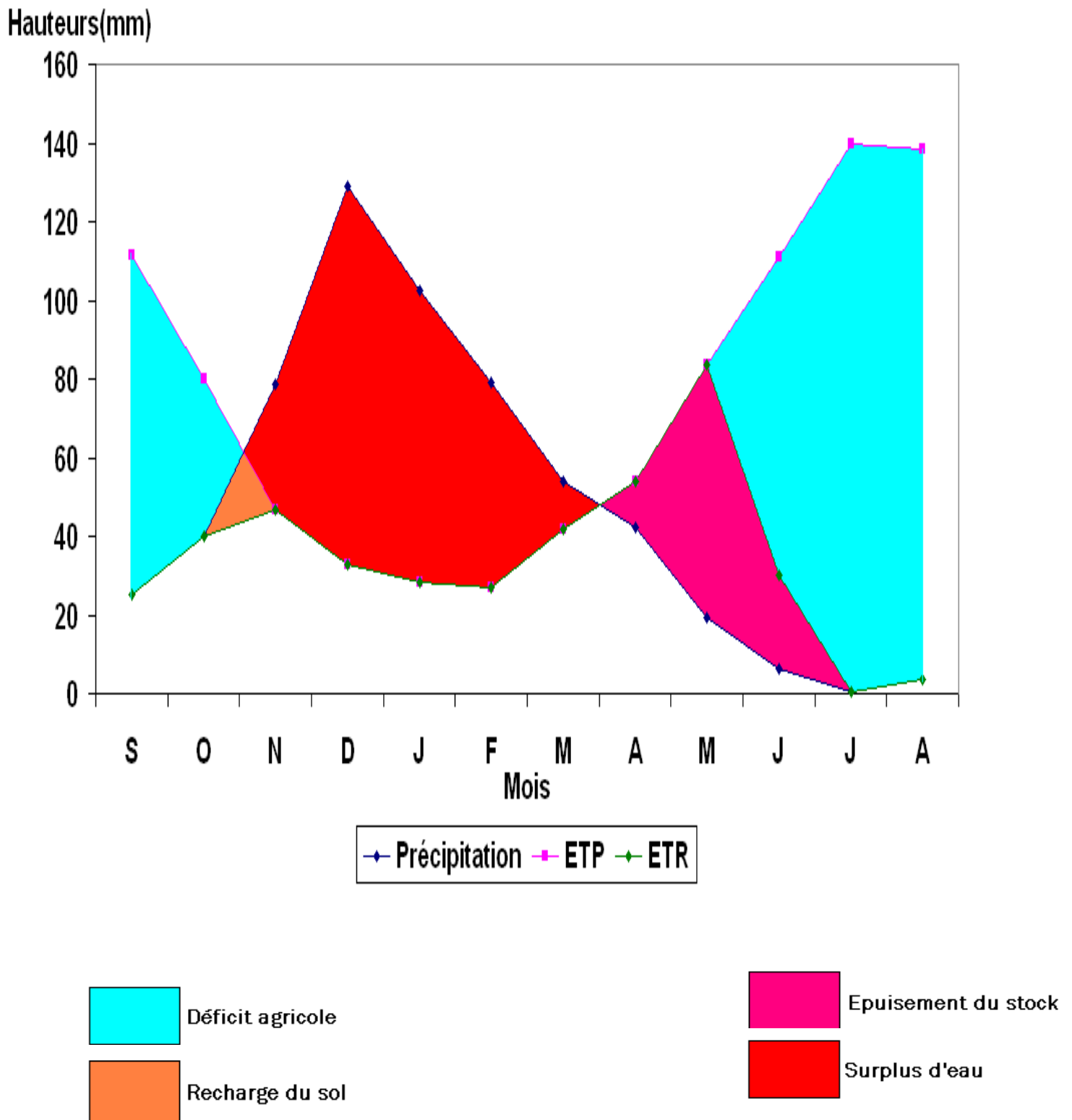


Fig.21

	T	i	CL	ETP	P	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	24,1	10,8	1,03	111,1	46,09	-65,0	-0,6	0,0	0,0	46,1	65,0	0,0
O	21,3	9,0	0,97	82,2	58,13	-24,1	-0,3	0,0	0,0	58,1	24,1	0,0
N	16,6	6,2	0,86	44,9	98,28	53,4	1,2	53,4	53,4	44,9	0,0	0,0
D	13,7	4,6	0,81	29,0	142,58	113,5	3,9	46,6	100,0	29,0	0,0	66,9
J	12,6	4,0	0,87	26,2	102,07	75,8	2,9	0,0	100,0	26,2	0,0	75,8
F	12,5	4,0	0,85	25,3	87,8	62,5	2,5	0,0	100,0	25,3	0,0	62,5
M	14,4	4,9	1,03	40,5	57,66	17,2	0,4	0,0	100,0	40,5	0,0	17,2
A	16	5,8	1,10	53,4	60,63	7,3	0,1	0,0	100,0	53,4	0,0	7,3
M	19,1	7,6	1,21	82,7	34,1	-48,6	-0,6	-48,6	51,4	82,7	0,0	0,0
J	22,5	9,8	1,22	115,0	14,13	-100,9	-0,9	-51,4	0,0	65,6	49,5	0,0
J	25,2	11,6	1,24	146,0	2,23	-143,7	-1,0	0,0	0,0	2,2	143,7	0,0
A	26,3	12,4	1,16	148,4	11,28	-137,1	-0,9	0,0	0,0	11,3	137,1	0,0
Annuel	18,7	90,7		904,7	715,0	-189,7				485,3	419,4	229,7

P : Précipitations moyenne annuelle (mm).

i : indice thermique mensuel.

Exc : Excédent

CL : coefficient de latitude.

RFU : Réserve facilement utilisable.

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

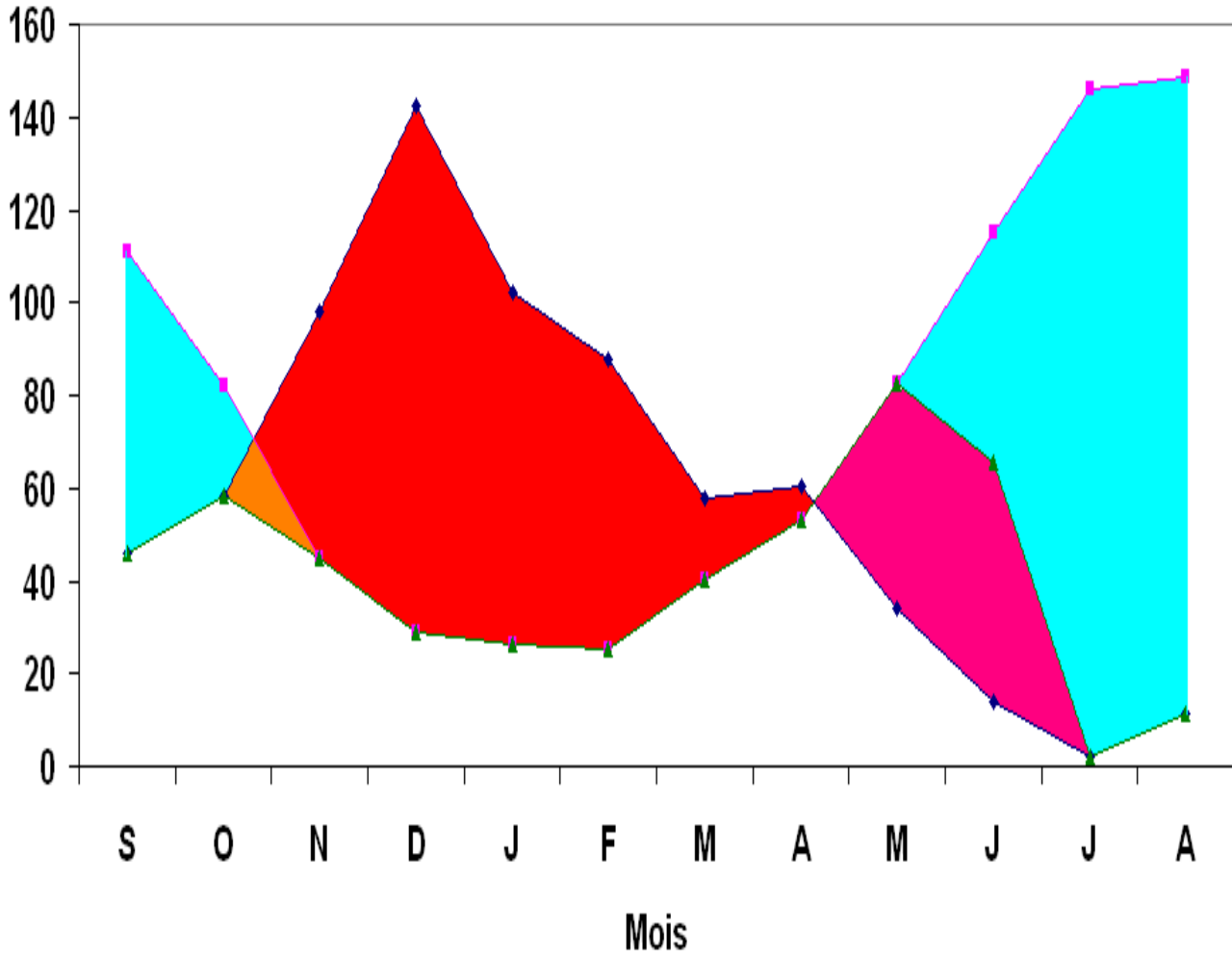
a = 1.95

Def : Déficit agricole

Tableau N°5 :Bilan hydrique de C.W.THORNTWAITE-station de Skikda (1987-2007)

INTERPRETATION GRAPHIQUE DU BILAN HYDRIQUE DE THORNTWAITE STATION DE SKIKDA (1987-2007)

Hauteurs (mm)



◆ Précipitation ■ ETP ▲ ETR



Déficit agricole



Epuisement du stock



Recharge du sol



Surplus d'eau

Fig.22

III – 8. Conclusion :

Les données climatiques étudiées permettent de conférer à la région d'étude un climat subtropical méditerranéen, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide et pluvieuse et l'autre sèche et chaude.

La région d'Azzaba reçoit une moyenne de précipitation de l'ordre de 580.21mm/An et une température moyenne de 18.7°C.

Le déficit agricole représentant 82.91% des précipitations correspond à 481.1mm dans la région de Azzaba, par contre à Skikda, il est 58.65% des précipitations correspond à 419.4mm.

L'évapotranspiration réelle est de 413.5mm à Azzaba et de 485.3mm à Skikda, représentant respectivement 71.26% et 67.87% des précipitations.

Le coefficient de ruissellement calculé est de 81.35mm dans la d'Azzaba et de 148.86mm dans la région de Skikda.

Le calcul du bilan, nous montre que la quantité d'eau qui s'infiltré présente une valeur de 85.35mm dans la région d'Azzaba et une valeur de 80.86mm à Skikda.

IV-1.Introduction :

L'étude hydrogéologique consiste à préciser la structure géométrique des aquifères, permettant l'établissement des relations entre la géologie et les eaux souterraines et localiser l'habitat de l'eau dans les diverses formations géologiques.

IV-2.Généralités :

IV-2.1. Recherche et exploitation des eaux thermales :

Les eaux thermales remontant vers la surface en suivant une faille, ce même cheminement peut être emprunté par les gaz issus des couches profondes, les zones d'émergence seront les mêmes.

Une des techniques de recherche des points d'émergence consiste en la cartographie des teneurs en CO₂ ou en Radon. Le Radon mis par la désintégration des radioéléments contenus dans les granites par exemple va s'échapper en utilisant les failles.

Des prélèvements de gaz du sous-sol ou du sol peuvent être effectués avec géoréférencement des points. Ces données dûment traitées par un logiciel de géostatistique permettent de tracer la carte de teneur en gaz de l'atmosphère du sous sol. Les valeurs élevées peuvent trahir la proximité des zones d'émergence.

IV-2.2. Captage, problème des arrivées diffuses :

Le cheminement de l'eau vers la surface est en général relativement complexe. Dans de nombreux cas, le tronc principal de remontée se divise avant d'atteindre la surface, en plusieurs cheminements différents, conduisant chacun à une propre sortie ou griffon.

Comme la dernière partie du cheminement est différent avec les interactions avec la surface (refroidissement, mélange,..), chaque griffon peut présenter des caractéristiques différentes.

➤ **Présence de plusieurs veines avec mélanges variables :**

Dans ce cas la descente de sondes multiparamètres dans le forage permet de diagnostiquer les différentes arrivées d'eau dans le forage. Lorsque l'on trace l'évolution des différents paramètres avec la profondeur, il est possible dans certains cas de diagnostiquer la profondeur d'arrivée des différentes veines et le cas échéant de préciser quelle la veine la moins affectée par des mélanges. On réalise donc des logs.

➤ **Cas de l'arrivée diffuse en surface :**

Il convient lors de contraindre ces flux diffus à converger vers le même point. Pour cela, on crée un radier perméable surmonté d'une dalle bétonnée, l'eau ne peut alors sortir que par un orifice prévu à cet effet.

➤ **Forage :**

Pour éviter que l'altération des caractéristiques thermales de l'eau ne soient trop affectées lors des dernières phases de la remontée, on peut tenter de forer pour atteindre la veine avant que les mélanges avec l'eau de surface ne se produisent. Pour cela une bonne connaissance de la géologie locale est indispensable afin de déterminer l'orientation probable de circulation profonde (direction des systèmes de fractures locales)

IV-2.3. Les circuits hydrothermaux (thermosyphon) : (Fig.23) :

• **Origines de l'eau thermale, la question de l'origine juvénile :**

Comme les eaux thermales sont chaudes par définition, qu'elles sont souvent liées à des zones relativement actives au niveau tectonique, différents auteurs se sont posé la question de l'origine « juvénile » de l'eau. Selon cette hypothèse, l'eau résulterait de la condensation des vapeurs d'eau échappées des magmas. La cuisson en profondeur des roches d'origine superficielles, hydratées, conduit en effet à la libération de vapeur d'eau. Différentes études ont montré que cette origine « juvénile » était nulle ou insignifiante dans la plus part des cas.

L'eau thermale est essentiellement une eau vadose. Parfois, il peut s'agir d'eau fossile, contenant des minéralisations caractéristiques de ses conditions de dépôt. On retiendra donc qu'en général, l'eau thermale participe à la circulation générale du cycle de l'eau.

- **Le thermosyphon :**

Le thermosyphon est constitué d'un circuit. La zone d'alimentation peut être située en altitude. A ce niveau une partie de l'eau de surface s'infiltré à la faveur d'un réseau de failles.

L'eau froide et dense circule vers la profondeur où elle gagne des couches chaudes, elle se charge en élément dissous par interaction avec les roches encaissantes, et se charge parfois en gaz. Les hautes températures accélèrent la cinétique de l'interaction eau roche (effet de la température sur la cinétique), l'eau chaude étant moins dense remonte vers la surface en empruntant une faille, la différence de densité entre l'eau froide et l'eau chaude, la présence de gaz qui diminue la densité apparente à partir du point de bulle, sont autant de phénomènes qui facilitent la circulation de l'eau.

Le temps de transfert dans le circuit du thermosyphon peut être relativement long et se chiffre en dizaines milliers d'années.

- **Isotopes pour préciser l'origine et l'âge des eaux thermales :**

Il est important de connaître l'origine de l'eau ainsi que son temps de présence dans le circuit. En effet, si le temps de séjour est très long, le risque de voir une pollution récente affecter la qualité de l'eau thermale est très faible. Il peut s'agir de contamination lors d'un mélange partiel avec des eaux de surface lors de la remontée. De même, il est important de connaître la zone d'alimentation pour pouvoir définir des périmètres de protection. Or compte tenu du cheminement complexe des eaux thermales, la connaissance du bassin alimentant la ressource n'est pas aisée.

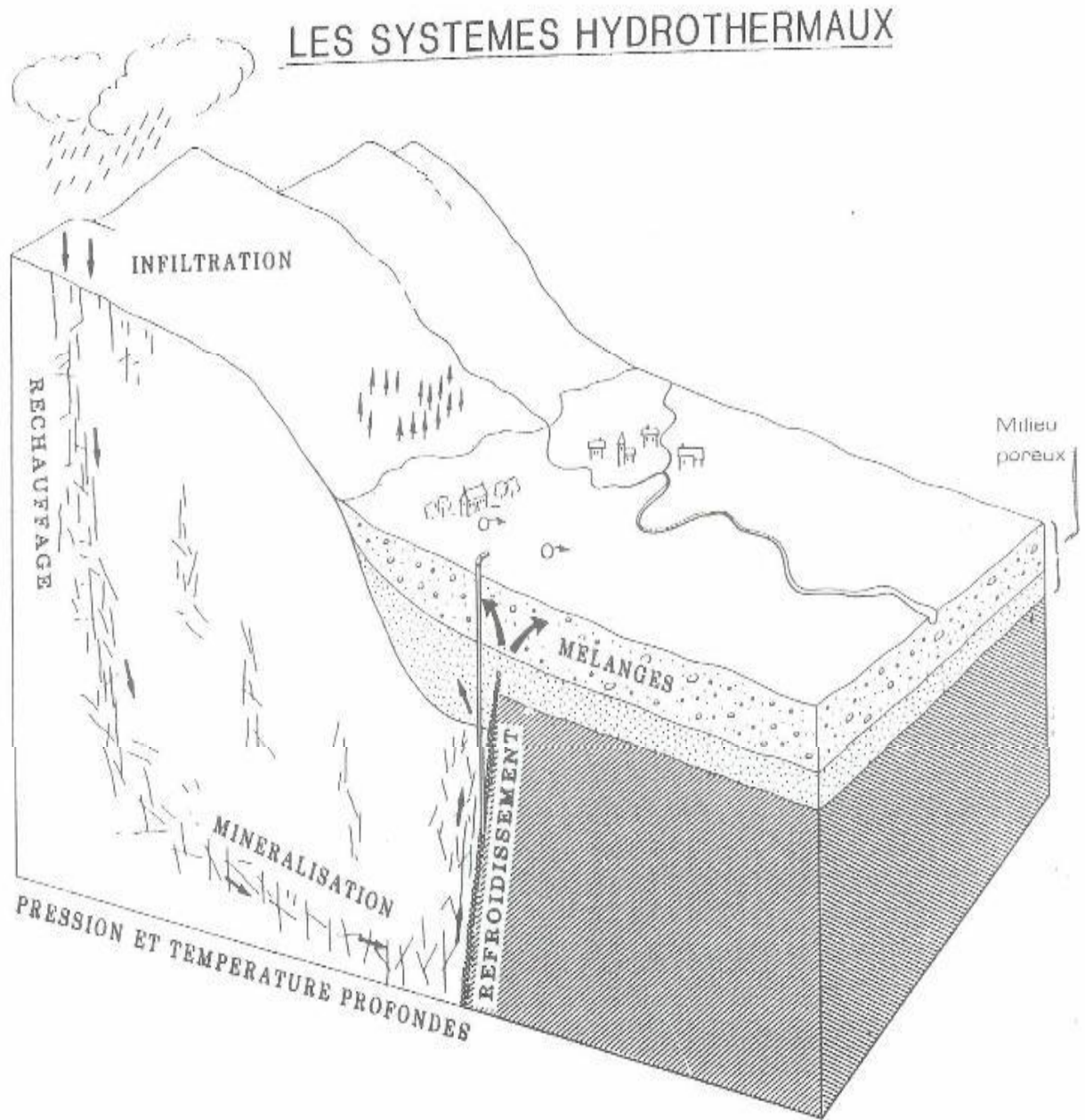


Fig.23

L'outil isotopique peut être d'un grand secours, le O_{18} permet par exemple de déterminer l'altitude de la zone d'alimentation dans le cas où celle-ci se trouve dans une zone de montagne avec des gradients altitudinaux susceptibles de marquer les caractéristiques de la pluie.

De même, l'âge de l'eau, en fait le temps de transit dans les circuits du thermosiphon, peuvent être déterminés par les datations en H_3 , uniquement pour des durées relativement brèves et compatibles avec ce type de traçage.

IV-3. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques : (Fig.24, 25)

Cette étude a été réalisée sur la base des documents suivants :

- La carte géologique d'Azzaba au 1/ 50 000 et sa notice explicative ;
- Les logs stratigraphiques des sondages mécaniques ;
- Les rapports de l'étude géophysique effectuée par la société **Strojexport – Prague – EX - TCHECISLOVAQUI** en 1983 ;
- Les travaux réalisés par **J.M. Vila** dans la région.

A partir de la nature lithologique du secteur étudié nous avons déterminé trois (03) types de formations :

- formation favorables au développement d'aquifères poreux : qui sont caractérisées par une perméabilité en petit liée à la présence des vides interstitiels interconnectés, assimilables macroscopiquement à un milieu continu.

- formations non favorables au développement d'aquifères : qui sont les formations imperméables.

- formations favorables aux développements d'aquifères karstiques : ce sont des formations carbonatées du Jurassique qui sont assez largement répandues. Elles sont représentées par trois (03) faisceaux :

- **Le faisceau jurassique inférieur:** est constitué de dolomies passant progressivement aux calcaires intercalés par l'intermédiaire

de dolomies gréseux avec les argilites et des lentilles de conglomérats.

- **Le faisceau jurassique moyen :** prédominant des dépôts de grés microgrenus et des siltites rouges foncés avec des intercalations de siltites gris verdâtres, de brèche, de grés calcaires et des schistes calcaires.
- **Le faisceau jurassique supérieur :** est caractérisé par la présence des couches superposées de calcaires lités, des couches marneuses et dolomies.

Dans ces formations carbonatées, les indices de karstifications ont été confirmés lors de formation par des néo cristaux de calcites, pertes de boue..., l'épaisseur des formations jurassiques atteinte par le forage est de 86 m.

IV – 4. Contexte hydrogéologique :

Les études géologique et géophysique du secteur d'étude ont permis une bonne reconnaissance des formations imperméables (argile et marne) et perméables susceptibles d'être le siège d'une circulation d'eau à travers les interstices ou les fissures.

Les niveaux perméables ont permis de définir un certain nombre des réservoirs souterrains ou aquifères.

IV – 4.1. Formations aquifères du Mio-plio-quadernaire :

Les formations du recouvrement mio-plio-quadernaire constituent un aquifère superficiel, qui regroupe principalement les alluvions anciennes et récentes, des argiles et des grés.

L'épaisseur de ces formations varie d'un endroit à un autre. Elle est importante au niveau de la plaine. Le substratum imperméable est constitué généralement par des argiles et des marnes schisteuses de l'Eocène supérieur (Oligocène).

IV – 4.2. Formations aquifères de l'Eocène supérieur :

Ce second aquifère est constitué par des formations hétérogènes. Il s'agit des poudingues de base, complexe marno-schisteux de l'Eocène supérieur et une énorme épaisseur du complexe calcaire-schisteux du lutétien. Le substratum de cet aquifère constitue les marnes schisteuses de l'Albo- Aptien.

IV – 4.3. Formations aquifères du Jurassique :

Cet aquifère est constitué par les calcaires massifs du Jurassique.

En conclusion, il en résulte que le contexte hydrogéologique du secteur d'étude est principalement constitué de trois aquifères :

- L'un superficiel, correspondant au remplissage mio-plio-quaternaire de type poreux ;
- Un deuxième aquifère, correspondant aux formations hétérogènes de l'Oligocène ;
- Un troisième aquifère plus profond, correspondant aux formations carbonatées du Jurassique.

C'est dans cet dernier aquifère où se trouve les nappes des sources thermales de notre région d'étude.

IV– 5. Alimentation des aquifères :

Au niveau du Tell et du domaine kabyle, s'il est vraisemblable qu'une partie des eaux alimentant les griffons thermaux a pu être mise en réserve aux périodes de surabondance du quaternaire, il n'en n'est pas moins vrai que des recharges actuelles se produisent comme le montrent les datations effectuées sur le Hammam Grouz ou par **A.Isser** pour les Djebels Guérioun et Fortasse.

Etudiant "l'hydrogéologie du massif calcaire crétacé des monts de Constantine" **G. Durozoy**, constatait qu'avec des précipitations moyennes de

COUPE GÉOLOGIQUE AÁ

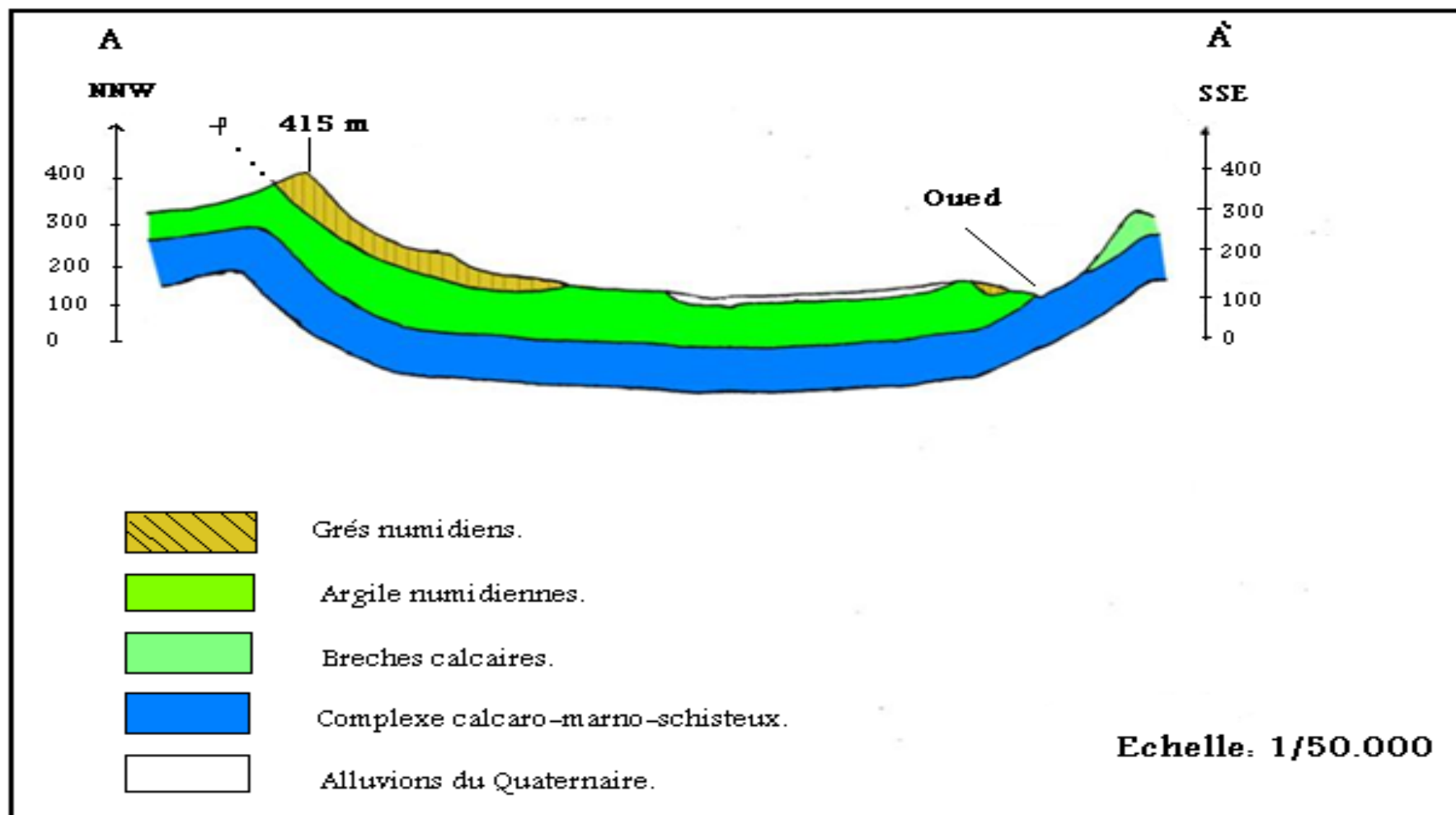


Fig.24

COUPE GÉOLOGIQUE BB

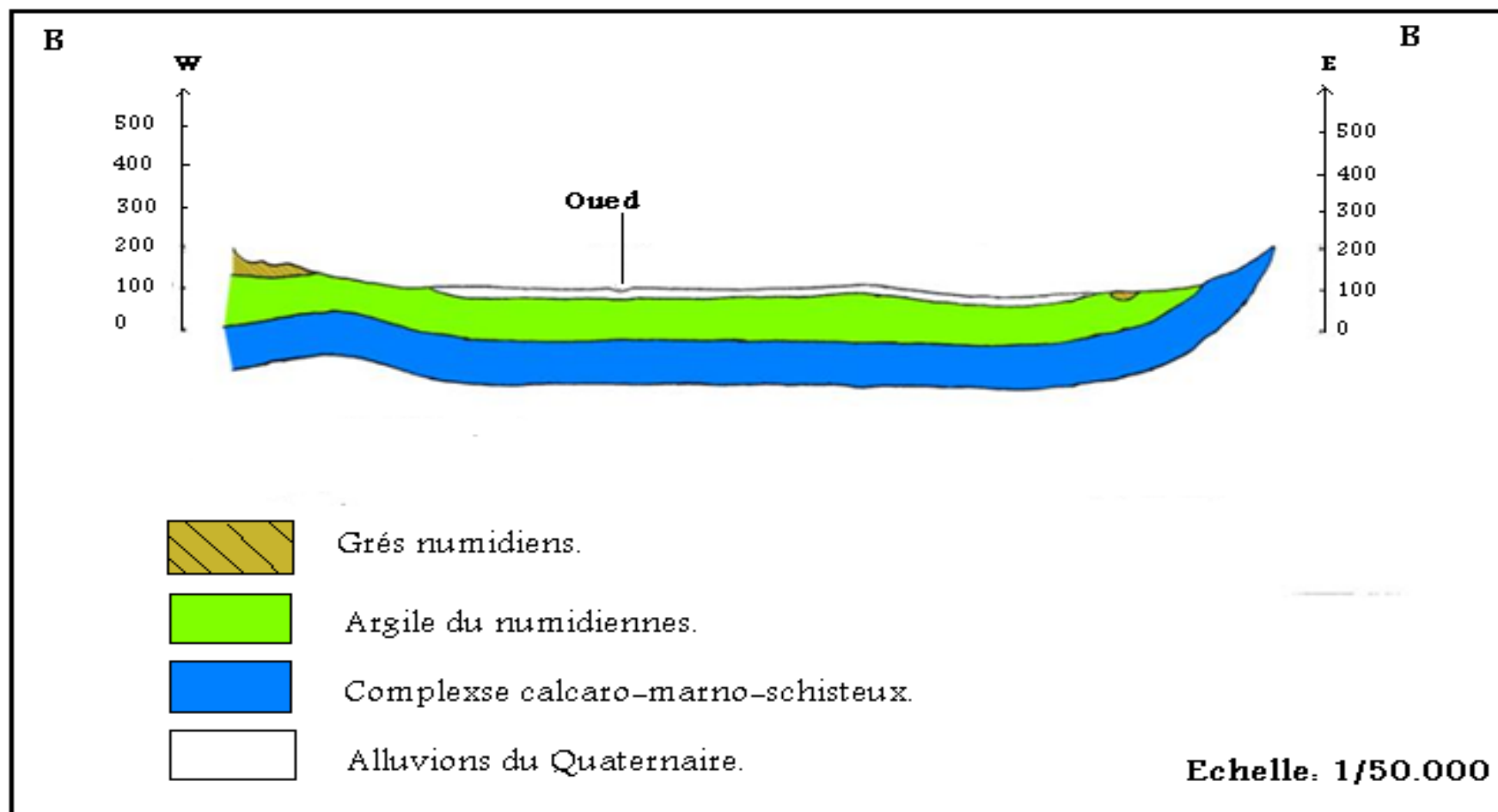


Fig.25

450mm et une infiltration qu'il estimait à 75mm soit 16,7 % au niveau des Djebels Guérioun et fortasse, on avait pour un impluvium de 180km², une mise en réserve de 13,5 millions de m³.

Pour **G. Durozoy**, les sources des environs de Constantine " étant la plus part thermales, l'eau remontant d'une profondeur assez grande a pu circuler sur des distances considérables.

On peut alors envisager une alimentation lointaine, les liaisons hydrauliques s'effectuer en profondeur par le Jurassique moyen et supérieur qu'on est stratigraphiquement et paléogéographiquement fondé à supposer exister sous le Crétacé inférieur affleurant sous les formes de dolomies et de calcaires dolomitisés".

Dans le fait que de nombreux massifs calcaires ne présentent pas d'exutoires visibles, semble militer en faveur de l'hypothèse de **Durozoy**. Dans leur grande majorité, les griffons thermaux sont alimentés par les grands massifs calcaires de l'Est algérien sans qu'il soit tenu compte de leur âge.

En général, les nappes profondes de **Durozoy**, dans leur grande majorité, les griffons thermaux sont alimentés par les grands es massifs calcaires comporteraient des réserves exploitables assez importantes, mais difficiles à chiffrer avec précision à l'état actuel de nos connaissances. Le régime hydrogéologique de ces aquifères nécessite d'être précisé par des prospections géophysiques et des forages de reconnaissances ainsi que par des techniques isotopiques.

IV-6.Conclusion :

Selon la classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologique, nous avons déterminé trois types de formations : formation favorables au développement d'aquifères poreux, formations non favorables au développement d'aquifères et formations favorables aux développements d'aquifères karstiques.

Selon le contexte hydrogéologique, les études géologique et géophysique du secteur d'étude ont permis une bonne reconnaissance des formations imperméables (argile et marne) et perméables susceptibles d'être le siège d'une circulation d'eau à travers les interstices ou les fissures, ces formations sont : formations aquifères du Mio -plio- quaternaire, formations aquifères de l'Eocène supérieur et formations aquifères du Jurassique.

V-1. Introduction :

L'étude du chimisme de l'eau consiste à donner un aperçu sur la qualité des eaux des sources. Le but escompté à travers cette étude est de sortir avec une explication concernant la relation géologique et la chimie des eaux.

L'interprétation des résultats d'analyses chimiques a pour but de déterminer les différents faciès chimiques des différentes analyses.

Les caractéristiques physico –chimique d'une eau thermo- minérale sont la thermalité et la composition chimique. Pour étudier la physico-chimie des eaux, il est nécessaire de faire :

- L'étude de la thermalité : causes, températures observées et essais d'évaluation des températures en profondeur à l'aide des géothermomètres ;
- L'étude de la chimie : représentations graphiques des faciès chimiques.

V-2. Quelques définitions :

A. D'après Vincent Valles :

❖ Eau thermale :

Il s'agit d'une eau dont la température est supérieure à la température moyenne des eaux de nappe de la région. En général, la température des eaux régionales est très proche de la température moyenne annuelle de l'air dans cette même région. La température des eaux du sol et du sous sol suivent les variations de la température de l'air avec un décalage temporel et un amortissement qui augmente avec la profondeur. Au delà de 1,50m les températures peuvent être considérée comme constantes (sauf cas particulier comme certains systèmes karstique).

Donc les eaux thermales sont des eaux dont la température est supérieure à cette valeur régionale. On distingue les eaux thermales de basse enthalpie (basse température) et les eaux thermales de haute enthalpie.

❖ Eau minérale :

Eau dont la composition chimique est recommandée pour une bonne santé, ce caractère, qui peut paraître suggestif, est défini par l'Académie de Médecine à partir de sa composition chimique.

En effet, certaines eaux thermales, du fait de la température du réservoir, acquièrent des propriétés chimiques particulières, différentes des caractéristiques habituellement observées pour les eaux froides de surface. Du fait des températures qui peuvent être élevées dans le réservoir (200 ou 300°C), elles sont capables de dissoudre certains minéraux et s'enrichir "oligo" éléments durant le long temps de contact, parfois plusieurs dizaines de milliers d'années, avec les roches du réservoir profond.

Par ailleurs, le circuit des eaux thermales est généralement assez long, aussi les eaux thermales sont généralement exemptes de contaminants tels que les nitrates et les produits xénobiotiques.

A côté de ses définitions, d'autres termes peuvent apparaître comme "Eau thermominérale" ou d'autres dénominations qui ne sont pas reconnues.

B .D'après Hénia Dib :

Si l'on compare les définitions de l'eau minérale données par différents auteurs, on constate que la phrase suivante se trouve dans toutes les définitions à savoir que "l'eau minérale naturelle est une eau douée de propriétés thérapeutiques". Mais avant de définir une eau minérale, la nécessité de faire la distinction entre eau minérale et eau minéralisée s'impose :

Une **eau minéralisée** est une eau ayant une concentration importante en sels minéraux : Calcium – Magnésium – Sodium – Potassium – Chlorures – Carbonates – Bicarbonates et Sulfates.

Une **eau minérale naturelle** est une eau de source naturelle, douée de propriétés thérapeutiques et ce quel que soit son degré de minéralisation.

Elle provient des grandes profondeurs terrestres (gisement souterrain) se caractérisant par la stabilité de ses caractéristiques physico – chimiques dans le temps, par sa pureté originelle et à l’abri de tout risque de pollution.

Elle ne répond pas aux normes de potabilité, ce qui la différencie des eaux de boisson, et ne subit aucun traitement. L’eau minérale peut être froide ou chaude.

❖ Eau thermale :

C’est une eau dont la température propre est indépendante de celle du lieu de son émergence, elle est supérieure à la température moyenne annuelle de l’air +4°C ou, à la température moyenne du sol +2°C (les températures moyennes de l’air étant calculées sur une période statistiquement valable et ne peut par conséquent être inférieur à 30 années.

On peut également la définir ainsi :

Une eau thermale est une eau d’origine souterraine naturellement chaude à son émergence, dotée de propriétés thérapeutiques et utilisée dans un établissement thermale, (thermes). Son application en médecine thermale fait appel aux éléments chimiques contenus dans les eaux, les gaz et les boues.

Les eaux chaudes ont été recherchées par l’homme pour se soigner dès le tout premier âge de l’humanité.

❖ Eau minérale froide :

Une eau minérale est une eau dont la composition chimique diffère de celles des eaux souterraines locales au lieu de son émergence et qui renferme des substances dissoutes en très petites ou en très grandes quantités, assez actives pour modifier profondément ses qualités ordinaires.

On distingue plusieurs types d’eaux minérales :

- eau minérale naturelle non gazeuse ;
- eau minérale naturellement gazeuse ;

- eau minérale renforcée au gaz de la source ;
- eau minérale gazéifiée.

On classe les eaux minérales en fonction de l'anion prédominant et à partir de teneurs en sels bien déterminées :

- eau sulfatée si $\text{SO}_4^{++} > 200 \text{ mg/l}$;
- eau calcique si $\text{Ca}^{++} > 150 \text{ mg/l}$;
- eau sodique si $\text{Na}^+ > 200 \text{ mg/l}$;
- eau bicarbonatée si $\text{HCO}_3^- > 600 \text{ mg/l}$;
- eau magnésienne si $\text{Mg}^{++} > 50 \text{ mg/l}$;
- eau chlorurée si $\text{Cl}^- > 200 \text{ mg/l}$;
- eau fluorée si $\text{F}^- > 1 \text{ mg/l}$;
- eau ferrugineuse si $\text{Fe} > 5 \text{ mg/l}$;
- eau convenant à un régime pauvre en sels si $\text{Na}^+ < 20 \text{ mg/l}$.

Il faut rappeler qu'une eau de source est différente d'une eau minérale.

❖ Eau de source :

L'eau de source est d'origine souterraine, naturellement potable chimiquement et microbiologiquement mais elle doit se conformer aux normes de potabilité que l'eau du robinet.

Elle ne subit aucun traitement (sauf la séparation d'éléments instables ou de matières en suspension par décantation ou par filtration sans modification de la composition chimique). L'eau de source peut être également gazéifiée par addition de gaz carbonique. Contrairement aux eaux minérales, les composants physico-chimiques de l'eau de source peuvent subir des modifications dans le temps.

V-3 .Les deux types d'eaux thermales fréquentes :

a- Les eaux carbogazeuses :

Les eaux carbogazeuses sont des eaux chargées en CO₂. Ce CO₂ peut être produit exemple par la décomposition de calcite à haute température qui libère le gaz, en effet lorsque des calcaires sont enfouis et portés à haute température, une décomposition de la calcite se produit. Le Calcium et un Oxygène se recombinent par exemple dans une structure silicatée, alors que le CO₂ libéré peut se dissoudre dans l'eau du réservoir.

La quantité de CO₂ dissous est proportionnelle à la pression partielle de ce gaz dans la phase gazeuse en contact avec l'eau. Du fait de la pression liée par exemple à la colonne d'eau surmontant le réservoir, le CO₂ est dissous, parfois en grande quantité. Le pH qui en résulte est bas, et la solution peut dissoudre de grandes quantités de calcite.

Lors de la remontée de l'eau carbogazeuses des modifications physico – chimiques importantes se produisent.

Lors de la remontée des eaux vers la surface, la pression diminue car la hauteur de la colonne d'eau située au dessus diminue. Tant que la pression totale est supérieure à la pression partielle en CO₂, la solution constitue une phase homogène unique. En revanche, dès que la pression totale devient inférieure à la pression partielle en CO₂, le CO₂ commence à changer de phase.

Des bulles de gaz apparaissent, c'est le point de bulle, le mélange qui remonte devient alors multiphasique, il s'agit d'un mélange eau/gaz. Au fur et à mesure de la remontée, le volume gazeux augmente rapidement du fait de la conjonction de plusieurs phénomènes : la pression partielle en CO₂ diminue en s'ajustant sur la pression totale, ce qui provoque un passage d'une quantité croissante en CO₂ de la phase aqueuse vers la phase gazeuse.

De plus, la pression totale diminuant, le volume des bulles subit une expansion selon la loi des gaz parfait : $V = \frac{NRT}{P}$, N augmente, P diminue donc V augmente fortement. Ce processus favorise la remontée du fluide

multiphasique et la perte de CO_2 s'accompagne d'une élévation de pH et une augmentation du produit ionique par rapport à la calcite. A partir d'un certain stade, l'index de saturation par rapport à ce minérale devient positif et la solution est sursaturée par rapport à la calcite qui peut alors précipiter, l'eau devient incrustante.

b- Les eaux Sulfurées :

Il s'agit d'eaux riches en Sulfures et autres composés soufrés ayant différents niveau d'oxydo réduction (Sulfites, Thiosulfates, Soufre organique, Sulfate, Polysulfures, etc...). La présence de sulfures, notamment d'hydrogène Sulfuré, même à l'état de traces, induit une odeur très caractéristique.

De manière générale, ces eaux sont marquées par un caractère réducteur, les espèces réduites étant relativement diverses (non seulement pour l'élément Soufre mais aussi d'autres élément comme le Fer et de concentration variable, on mesure la quantité totale de composés réducteur par la quantité totale de dioxygène nécessaire à l'oxydation de toutes les formes réduites, sans distinction.

La quantité de dioxygène nécessaire à l'oxydation complète sera bien évidemment d'autant plus importante que les formes seront plus réduites et que la concentration de ces dernières sera plus élevée.

V-4.L'altération des caractéristiques physico –chimiques des eaux de leur remonté :

a- Le refroidissement : (précipitation minérale, changement des équilibres chimiques)

Lors de leur remontée les eaux chaudes peuvent se refroidir au contact des couches géologiques plus superficielle, ces variations de température modifient les caractéristiques chimiques des eaux, en effet la solubilité des minéraux variant avec la température, les solutions peuvent se trouver sur saturées par

rapport à certaines espèces minérales et précipiter, ce qui affecte leur teneur en élément dissous.

A l'opposé, elles peuvent devenir sous saturées par rapport à d'autres minéraux et les dissoudre si ce dernier est présent dans les couches traversées, ceci peut provoquer une ou plusieurs précipitations de minéraux par effet d'ion commun.

b- Le mélange avec les eaux de surface (effet de dilution) :

Lorsque les eaux thermales remontent, elles peuvent se mélanger avec des eaux superficielles contenues par exemple dans les formations sédimentaires, les caractéristiques chimiques des eaux sont alors altérées, pour remonter aux caractéristiques initiales, il convient de recourir aux équations de mélanges, ce qui requiert la connaissance de la composition de l'eau de surface. Ces calculs peuvent rapidement devenir lourds et fastidieux et induire des imprécisions importantes.

c-La recharge ou la perte en gaz (O₂, CO₂ ...) :

Consulter pour cette partie la thèse de **Luis Auque** (Université de Zaragoza) sur la géochimie des eaux thermales de base enthalpie des Pyrénées centrales.

Les eaux de surface peuvent plus ou moins facilement échanger des gaz avec l'atmosphère par diffusion au sein de la porosité de la zone non saturée. Les eaux sont alors considérées comme des systèmes ouverts aux gaz.

Lorsque les eaux sont dans des réservoirs très profonds, ces échanges gazeux sont très difficiles voire nuls, le système est fermé par rapport aux gaz, si les eaux sont chargées en CO₂ (cas des eaux carbogazeuses) elles le resteront jusqu'en surface (avec modification de l'état) si les eaux sont appauvries en CO₂, elles le resteront jusqu'à leur arrivée en surface (ou au voisinage de la surface).

Les variations de la lecture de pH sur le terrain pour des eaux d'origine «profonde» permettent de connaître qualitativement le sens des échanges gazeux entre la solution et l'atmosphère.

Le cas de la pauvreté en CO_2 est typique des eaux d'altération des roches d'origine profonde (granit par exemple). De même les échanges gazeux peuvent concerner le di oxygène O_2 , pour les eaux Sulfureuses, les caractéristiques sont très réductrices. Lors de remontée les eaux peuvent capter du dioxygène et commencer à s'oxyder.

d- La baisse de pression :

Cette baisse de pression permet aux gaz dissous de se séparer de la phase liquide dès lors que la pression totale devient inférieure à la pression partielle équilibrante de ce gaz dans la solution.

V-5: Echantillonnage et prélèvement :

La campagne de prélèvements a été effectuée en février 2009. La désignation des points de prélèvements (Fig.26, 27) comporte six (6) points au niveau de la source de l'Oued Hmimine et cinq (5) points au niveau de la source d'El Hamma.

Concernant les prélèvements, on a utilisé des bouteilles plastiques, qu'on a rincé préalablement à l'eau du robinet plusieurs fois, puis on les a laissé sécher, et avant le remplissage des bouteilles on les a rincé trois fois avec de l'eau à analyser, on les a remplis jusqu'au débordement pour éviter toute réaction eau – air.

Chaque bouteille a été repérée par une étiquette où figure le numéro, le lieu et la date de prélèvement de chacune. Les analyses des éléments majeurs exprimés en cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_2^-) plus les analyses de la dureté globale, le titre alcalin complet et les métaux lourds (Pb, Fe, Hg, Cu), les analyses ont été effectués au niveau de

laboratoire du complexe industriel de raffinage du pétrole (zone industrielle de Skikda) . La mesure de pH, conductivité électrique et la température a été faite in situ.

Emergence	Source thermale	X	Y
E ₁	Oued Hmimine	900.200	389.170
E ₂		900.250	389.120
E ₃		900.198	389.010
E ₄		900.310	389.970
E ₅		900.450	389.125
E ₆		900.500	389.205
E ₇	El Hamma	908.905	397.431
E ₈		908.580	397.490
E ₉		908.530	397.600
E ₁₀		908.390	397.740
E ₁₁		908.350	397.790

Tableau N°06 : Désignation des points de prélèvement

V-6. Etude des paramètres physico-chimique des eaux thermominérales :

V-6.1. Etude des paramètres physiques :

Nous savons que, chaudes ou froides, les eaux thermo- minérales sont toutes émergentes, c'est-à-dire qu'elles sortent de par les seules forces et mouvements dynamiques qui les expulsent, des entrailles du sol ; ou un forage peut les aider à sortir mais c'est pour aller les chercher au plus profond et au plus vite.

CARTE D'INVENTAIRE DES POINTS DE PRELEVEMENT
SOURCE THERMALE DE L'OUED HMIMINE

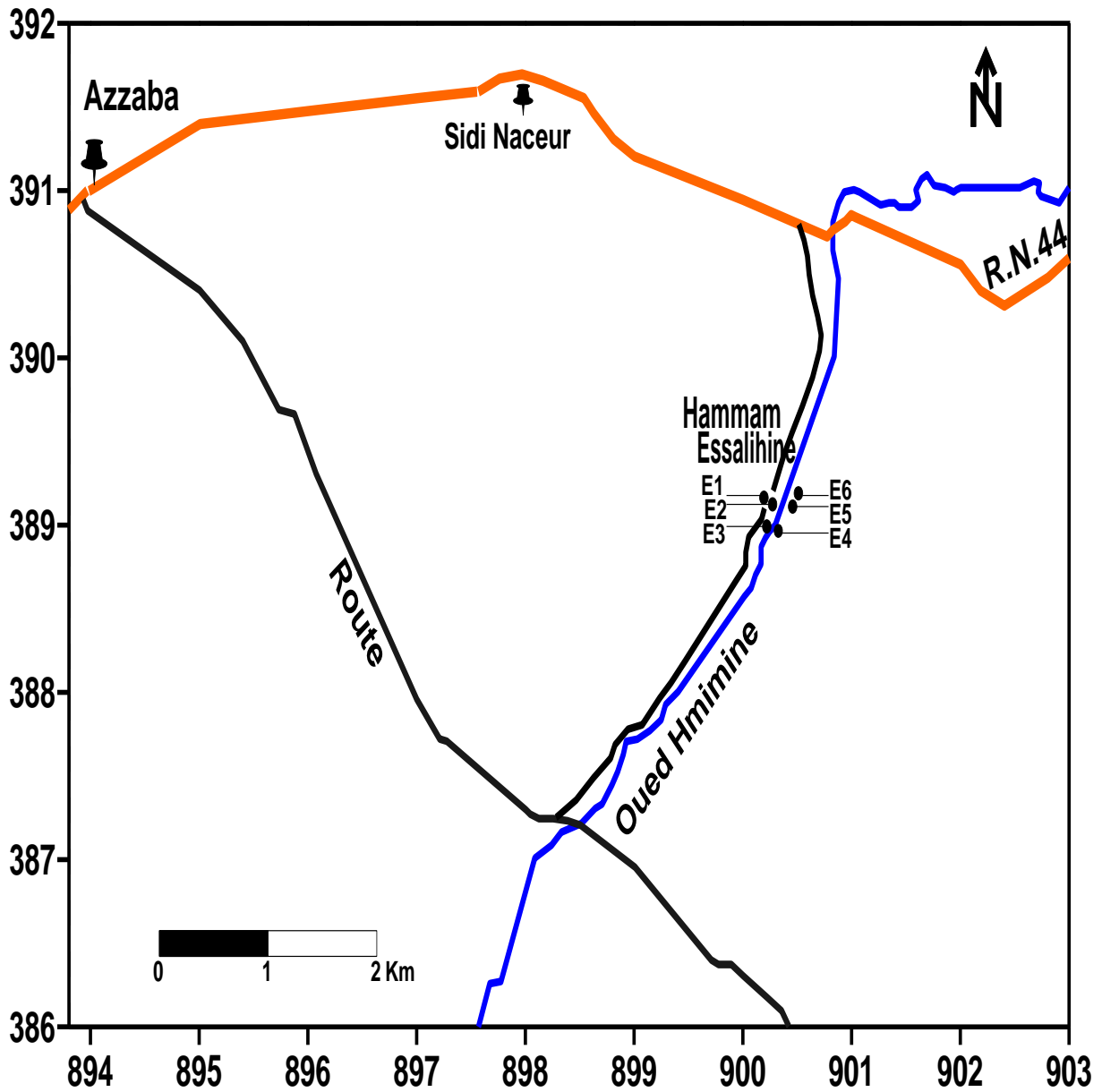


Fig.26

CARTE D'INVENTAIRE DES POINTS DE PRELEVEMENT
SOURCE THERMALE D'EL HAMMA

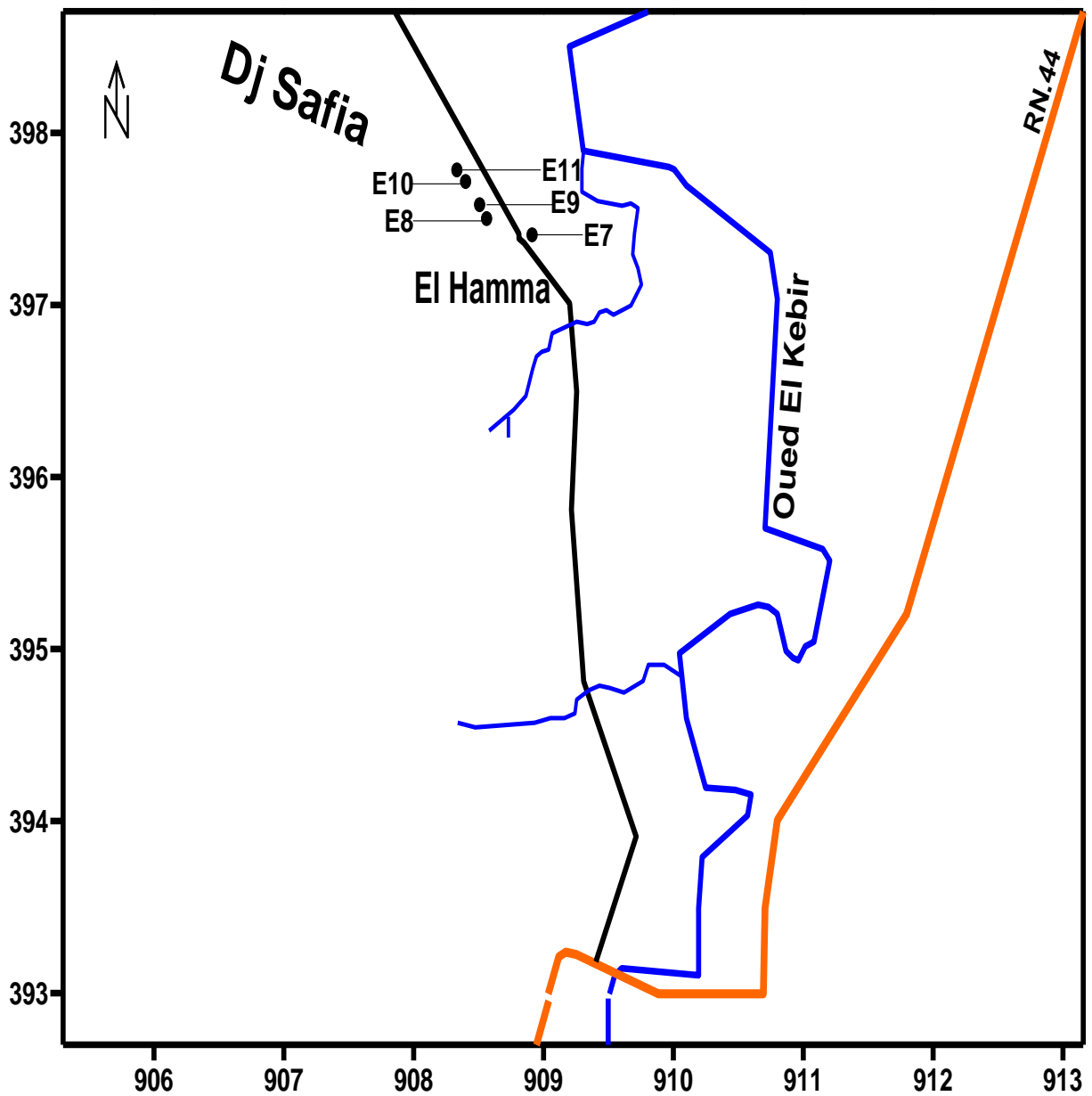


Fig.27

Vu leur richesse, elles représentent, pour ainsi dire, la forme non solide des roches, des minéraux, des minerais, des matériaux, originellement unis par un lien spécial. Elles coulent dans un environnement géophysique, climatique et biosphérique irremplaçable, qui doit être à la base de l'unité du milieu de résurgence ou d'émergence et de la nature profonde des eaux. Là est peut être une donnée de l'explication de leurs propriétés et de leur caractéristiques. Pour ces eaux, il y a plusieurs types de classification, d'où leurs diversités :

- Selon la thermalité (température) ;
- Selon les caractéristiques chimico –radioactives ;
- Selon l'usage médical, c'est-à-dire la thérapie.

Mais la plus utilisée est le premier type de classification.

V-6.1.1. La thermalité :

Selon **Léon Moret**, une source thermominérale est une source dont l'eau est souvent chaude et tient en dissolution des principes susceptibles d'agir efficacement sur la santé humaine.

Selon **Henri Schoeller**, une eau thermale est une eau dont la température est supérieure à la température moyenne annuelle de l'air, plus de 4°C, et selon Madame **Dib**, celle du sol plus de 2°C.

La température d'une eau souterraine est un facteur relatif, lié aux valeurs de la température extérieure, elle-même fonction de la localisation géographique et tout ce qu'elle entraîne. C'est l'une des propriétés les plus tangibles des eaux thermominérales, une de celles qui ont le plus contribué à fixer sur elle l'attention populaire. Rappelons que, Pour un aquifère ou une source ordinaire, la température est celle de la moyenne annuelle du lieu. Cette moyenne dépend de la latitude (1° de diminution pour un éloignement de 2° de l'Equateur), de l'altitude (1° pour 150 à 200m d'altitude). Aux altitudes plus fortes, remarquons que la température des eaux peut être inférieure à cette moyenne.

Monsieur **Pierre Verdeil** et Madame **Dib Adjoul** donnent, selon la thermalité de l'eau, la classification suivante :

- **Eau athermale** : température inférieure à la température moyenne du lieu de l'émergence.
- **Eau hypothermale** : température égale à la température du lieu de l'émergence.
- **Eau mésothermale** : température inférieure à 37°C et supérieur à celle du lieu d'émergence de plus de 4°C.
- **Eau orthothermale** : température comprise entre 37 et 45°C.
- **Eau hyperthermale** : température supérieure à 45°C.

A. Les causes de la thermalité :

La température parfois élevée des eaux thermominérales dépend de plusieurs facteurs qui sont successivement :

- Les réactions chimiques exothermiques ;
- La désintégration des minéraux radioactifs ;
- Le gradient géothermique ;
- Les mouvements de l'écorce terrestre.

a- Les réactions chimiques exothermiques :

Plusieurs réactions se produisent au sein de l'écorce terrestre. Certaines sont exothermiques, c'est-à-dire qu'elles dégagent de la chaleur, telles que l'oxydation, la réduction, l'hydratation et ont pu être invoquées pour expliquer la thermalité de quelques sources. Parmi les plus banales, l'oxydation de la pyrite de Fer, et spécialement de la marcassite, à l'air humide, en donnant du sulfate ferrique puis des hydroxydes ferreux et ferrique et en libérant l'acide sulfurique, élève la température de 300 à 500 degrés. L'oxydation de masses importantes de ce minéral peut donc créer des centres de chaleur susceptibles de réchauffer des circuits vadoses voisins.

La réduction des sulfates et l'hydratation de l'anhydrite qui pourrait à elle seule justifié des températures inférieures à 60°C, ont été également invoquées par **F.Ehrann** pour expliquer la thermalité, de même que la genèse des sources thermominérales de la Kabylie des Babors.

b- La désintégration des minéraux radioactifs :

La concentration de ces corps semble a priori être plus grande dans les couches superficielles de l'écorce, celles précisément où se produisent les circulations hydrothermales.

Ce flux calorifique est donc suffisant pour échauffer dans une notable proportion un courant aquifère voisin et doit être pris en considération pour expliquer la thermalité. La désintégration des corps radioactifs dégage de la chaleur d'une façon continue. Par exemple un gramme de Radium, en équilibre avec ses produits de décomposition, dégage 137 calories/heure.

c- Le gradient géothermique :

La structure de la terre, telle que nous la connaissons pour l'avoir appris dans nos années, montre qu'elle conserve en son sein des masses en fusion (asthénosphère), d'ailleurs prouvées par les volcans. Donc, la température diminue du centre vers la périphérie. Le flux central de la terre est estimé à 85.10^{11} calories par seconde au totale. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que la chaleur augmente quand on s'enfonce dans le sol. Cette chaleur se mesure par le gradient géothermique qui est l'élévation de température pour 100 mètre d'enfoncement dans l'écorce terrestre. Ce gradient est fonction de la conduction calorifique des roches, donc de leur nature lithologique, de la tectonique de la région, et est le résultat de toutes les causes de la thermalité, c'est-à-dire les réactions exothermiques, la désintégration des minéraux ou corps, les mouvements de l'écorce terrestre.

Dans les bassins sédimentaires, il vaut en moyenne 3,3° pour 100m. Mais ces valeurs sont très variables. De plus, si ces valeurs sont très connues pour les premiers kilomètres, elles le sont très mal pour les couches plus profondes.

Ces températures des sols deviennent celles des aquifères, donc de l'eau, pour l'Algérie septentrionale **P.Verdeil** admet pour le flux une valeur moyenne de :

$$F = (5,4428 \pm 0,4187) \cdot 10^6 \text{ j/cm}^2/\text{s}$$

d-Les mouvements de l'écorce terrestre :

Dans l'écorce terrestre, les mouvements sont multiples et multiformes, certaines déformations telles que les bombements, failles, entraînent une surrection du matériel en fusion avoisinant des couches sédimentaires, voire des circuits hydrothermaux. Le volcanisme, entre autre, joue un grand rôle dans le réchauffement de l'eau et le gradient géothermique dans les régions volcaniques est de 1° pour 10m à 15m. Certains circuits peuvent, de ce fait, acquérir une certaine température. Mais nous savons que les centres éruptifs actuels ou récents exhalent des quantités importantes d'eaux juvéniles hyperthermales. Dès lors, il est permis de supposer que, dans le cas de certaines sources à températures anormalement élevées pour les quelles l'explication du gradient reste insuffisante, c'est cette eau juvénile qui, en se mélangeant aux eaux vadoses des thermo-siphons, vient renforcer la température de ces eaux (origine mixte).

B. Les températures observées :

La température des eaux thermominérales doit être mesurée avec soin et au dixième de degrés près, à l'émergence même et à une certaine profondeur pour éviter toute action de refroidissement à la surface. Ces mesures doivent, une fois le captage terminé, être faites à niveau constant. Elles donnent des

renseignements sur les variations à longues périodes, les variations progressives, non périodiques, ...ex.

Pour les sources thermales d'Azzaba, les températures suivantes ont été relevées à différentes émergences :

Emergence	Source thermale	Température moyenne de l'air (°C)	Température mesurée à l'émergence (°C)	Classification thermique
E ₁	Oued Hmimine	18	45	Orthothermale
E ₂			45	Orthothermale
E ₃			43	Orthothermale
E ₄			47	Hyperthermale
E ₅			41	Orthothermale
E ₆			42	Orthothermale
E ₇	El Hamma	18	42	Orthothermale
E ₈			42	Orthothermale
E ₉			43	Orthothermale
E ₁₀			44	Orthothermale
E ₁₁			44	Orthothermale

Tableau N°7 : Températures mesurées sur les émergences.

C. Essais d'évaluation des températures en profondeur a l'aide des géothermomètres chimiques :

Avant d'arriver à la surface du sol, on assiste à un refroidissement de ces eaux vu la distance parcourue. Donc la température en profondeur est différente de celle mesurée en surface. Or, l'utilisation à des fins géothermomètres implique que l'on puisse connaître leur température en profondeur, soit au

niveau géothermal quand il en existe un, soit au point le plus bas du circuit thermal. Pour évaluer cette températures en profondeur des eaux thermominérales, plusieurs auteurs, dont **R.O.Fournier**, **J.J.Rowe**, **A.H.Truesdell** (1966, 1970, 1973, 1974) ont inventé les géothermomètres chimiques. Ce sont des méthodes ou des formules basées sur la composition chimique des eaux thermales qui arrivent en surface.

Pour conduire à des résultats probants, ces méthodes doivent être appliquées à des eaux liées au socle cristallin ou cristallophyllien.

Il existe trois sortes de géothermomètres chimiques :

-Le géothermomètre silice T_1 ;

-Le géothermomètre Na –K –Ca T_2 ;

-Le géothermomètre Na/Li T_3 ;

-Le géothermomètre Na/Li ne peut pas nous servir dans ce travail car nous n'avons pas déterminé la teneur en Lithium de l'eau.

a- Le géothermomètre Silice (SiO_2), T_1 :

Il permet de calculer, à partir de la teneur en silice observée à l'émergence, la température à laquelle le quartz, la calcédoine, la cristobalite ou la silice, résultant de hydrolyse des feldspaths des roches cristallines, ont été mis en solution, sous réserve de vérification que la silice observée ne provient pas de dissolution au niveau et à la température de l'émergence, mais il se peut très bien qu'une partie de la silice contenue dans les eaux chaudes profondes ait précipité sur l'encaissement de la température des eaux. Il est à noter cependant que, d'après les observations effectuées sur des nombreux champs, la teneur en silice des eaux est davantage liée aux possibilités de mise en solution en profondeur que à la solubilité de la silice amorphe qui se trouve en surface ou à proximité. Ce géothermomètre donne la température minimale en profondeur par la formule :

$$T_1 (°C) = (1522/5,75 - \log [\text{SiO}_2]) - 273$$

Avec : $[\text{SiO}_2]$ en mg/l.

Le géothermomètre silice, mis au point par **R.O.Fournier** et **J.J.Rowe** en 1966.

b- Le géothermomètre (Na – K – Ca), T2 :

Préconisé par **R.O.Fournier** et **A.H.Trusdell** en 1973, basé sur la solubilité perspective des ions (Na, K et Ca), lors des réactions qui affectent les minéraux des roches cristallophylliennes et spécialement les feldspaths. Les relations entre Na, K, et Ca sont entièrement expliquées en termes de relations entre silicates ; la méthode n'est donc pas applicable en principe lorsque ces éléments peuvent provenir de la mise en solution des roches sédimentaires. Pour connaître la température d'une eau en profondeur à partir de sa composition chimique à l'émergence, on commence par exprimer la concentration des ions en solution en unités de molarité. Les températures maximales sont calculées par la formule suivante :

$$T_2 = (1647 / [\log (\text{Na}/\text{K}) + \beta \log \sqrt{(\text{Ca}/\text{Na}) + 2,24}] - 273$$

Na, K et Ca on moles/l

Avec :

$\beta = 1/3$ si la température de l'eau est supérieur à 100°C ;

$\beta = 4/3$ si la température de l'eau est inférieur à 100°C.

Les valeurs calculées à partir des formules précédentes sont portées dans le tableau N°08 :

Source thermale	Emergence	Température mesurée à l'émergence (°C)	T ₁ (min) Géothermomètre Silice (SiO ₂) (°C)	T ₂ (max) Géothermomètre (Na –K –Ca) (°C)
Oued Hmimine	E ₁	45	82	617.27
	E ₂	45	81.84	737.42
	E ₃	43	83.74	871.72
	E ₄	47	85.44	762.84
	E ₅	41	80.60	701.55
	E ₆	42	78.79	701.62
El Hamma	E ₇	42	82.07	825
	E ₈	42	82.71	713.22
	E ₉	43	83.15	701.55
	E ₁₀	44	86.75	673.55
	E ₁₁	44	89.23	776.04

Tableau N°08 : Evaluation de température en profondeur à l'aide des Géothermomètres Chimiques.

V-6.1.2. Le potentiel hydrogène (pH) :

La détermination du pH et l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment vu leur rôle primordial dans les propriétés physico –chimiques telles que l'acidité et l'incrustation. Il représente la concentration en ions (H⁺) d'une solution et il est lié à la teneur en ion OH⁻.

Par définition le pH est le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ion H⁺.

$$\text{pH} = \text{Log } 1 / [\text{H}^+]$$

Dans l'eau pure il existe une molécule dissociée pour 10⁷ molécules d'eau, où un pH =7.

Le pH est affecté par la force ionique du milieu.

- Pour un milieu acide $[H^+] > [OH^-]$ $pH < 7$;
- Pour un milieu neutre $[H^+] = [OH^-]$ $pH = 7$;
- Pour un milieu basique $[H^+] < [OH^-]$ $pH > 7$.

Dans notre secteur d'étude le pH varie entre 6,75 et 6,94 à la source thermale de l'Oued Hmimine et entre 6,74 et 6,85 à la source thermale d'El Hamma, donc tous les échantillons ont un $pH < 7$ ce que nous permet de constater que les eaux thermales de la région d'Azzaba sont des eaux acides.

V.6.1.3. La conductivité électrique :

Elle est considérée comme étant la propriété que possède l'eau à laisser passer le courant électrique, celle-ci est fonction de la température, de la concentration et de la nature de l'état d'ionisation des composés dissous.

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sur le terrain, montrent que la plupart des stations ont des conductivités moyennement élevées à importantes.

-La valeur de la conductivité maximale est de l'ordre de $2800\mu s/cm$ observé à la source thermale d'El Hamma.

-Par contre, la valeur de la conductivité minimale est de $2430\mu s/cm$ mesuré à la source thermale de l'Oued Hmimine.

V-6.1.4. La dureté totale (TH) :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métallique à l'exception de ceux des métaux alcalins et d'ion hydrogène.

Elle exprime approximativement la teneur de l'eau en sels de calcium et de magnésium.

Elle est exprimée en degré français (°F).

$$TH (°F) = (r Ca^{++} + r Mg^{++}) \cdot 5$$

Les eaux potables de bonne qualité ont un degré hydrotimétrique inférieur à 15 °F, elles sont acceptables jusqu'à 50 °F, mais si elles dépassent 60 °F leur utilisation causera des problèmes soit à la consommation, soit à certains usages domestique (selon l'O.M.S).

Dans la région d'étude les TH varient entre 147,05 et 191,6°F. La valeur minimale est observée à la source thermale de l'Oued Hmimine ainsi que la valeur maximale.

V-6.2. Etude des paramètres chimiques :

v-6.2.1. Origines des éléments majeurs :

-Le Sodium et le Potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) :

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, il provient essentiellement du lessivage des formations géologiques riches en NaCl et des minéraux silicatés tels que les plagioclases et peut être abondant dans les eaux carbogazeuses. L'eau de la pluie peut fournir également des quantités non négligeables.

Le Potassium K^+ , beaucoup moins abondant que le Sodium, est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l où on le considère comme négligeable par rapport au Sodium.

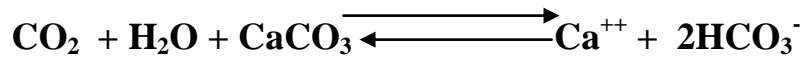
Dans le secteur d'étude les valeurs de ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) varient entre 27,2 et 65,46 mg/l, la valeur minimale observée à la source thermale de l'Oued Hmimine et la valeur maximale observée à la source thermale d'El Hamma.

-Le Calcium (Ca^{++}) :

Le calcium est élément de la dureté, il est généralement l'élément dominant dans les eaux naturelles.

Sa dissolution résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations carbonatées et même lors de leur séjour à l'intérieur de ces formations. Cette dissolution est due à la présence du gaz carbonique dans

l'eau, le gaz provient de l'atmosphère, et des couches superficielles du sol, en raison de l'activité bactérienne selon la réaction :



Le calcium peut provenir aussi des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), il est aussi prédominant dans les eaux thermominérales circulant en milieu calcaire. Il peut exceptionnellement atteindre des teneurs élevées dans des eaux thermominérales carbogazeuses au contact des roches cristallins basiques.

Le minimum de concentration en calcium est observé à la source thermale de l'Oued Hmimine, il est de l'ordre de 435mg/l alors que le maximum est enregistré aussi à la même source thermale avec une valeur de 625mg/l.

-Le Magnésium (Mg^{++}) :

C'est un élément aussi de la dureté totale, résultant principalement de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des marnes dolomitiques soit des roches cristallines ou métamorphique par hydrolyse des minéraux silicatés ferromagnésiens (olivines , micas...) toujours exacerbée dans les eaux carbogazeuses.

La mise en solution du Magnésium dans l'eau nécessite un temps de séjour important. Les teneurs en magnésium sont comprises entre 77mg/l et 92mg/l.

- Les Bicarbonates :

S'acquièrent communément par la dissolution, d'une part du CO_2 du sol produit par la minéralisation de la matière organique, d'autre part des carbonates du sol et des roches (calcaire, dolomie,...). Dans ces conditions, les Hydrogènes carbonatés ne peuvent guère dépasser des concentrations de 10 millimoles d'ions. Au-delà de ces valeurs, on doit envisager la production de CO_2 profond in situ par fermentation ou l'arrivée de CO_2 profond métamorphique ou métamorphique qui rend l'eau à un niveau agressive vis-à-vis de son encaissant.

La concentration des Bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- Le pH de l'eau ;
- La concentration du CO_2 dissous ;
- La température de l'air.

La concentration de l'eau en sels et la nature lithologique des terrains traversés. Notons que les teneurs en CO_3^{-2} sont négligeable dans le secteur étudié, par contre celles des HCO_3^- sont variable et varient entre 184mg/l à la source thermale de l'Oued Hmimine et 260mg/l dans la même source thermale.

-Les Chlorures (Cl^-) :

Les teneurs en Chlorures des eaux naturelles sont extrêmement variées, elles peuvent provenir du lessivage d'anciens dépôts évaporitiques contenant du sel- gemme et sont alors associés au sodium.

Les Chlorures en concentrations plus modestes peuvent avoir une origine magmatique. Ils sont présents dans les eaux minérales des régions à volcanisme récent mais aussi dans les eaux très profondes du socle cristallin.

Dans le secteur d'étude les valeurs de Cl^- sont plus élevées à la source thermale d'El Hamma, alors que les concentrations les moins élevées sont enregistrées à la source thermale de l'Oued Hmimine.

- Les Sulfates (SO_4^{--}) :

L'eau contient toujours des sulfates en proportion très variables, leur présence dans l'eau résulte :

- De la légère solubilité du Sulfate de Calcium (CaSO_4) des roches gypseuses ($\text{Ca SO}_4 2\text{H}_2\text{O}$) ;
- De l'oxydation des Sulfates (pyrites...) ;
- De l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations.

Les concentrations en Sulfates peuvent être très élevées, les Sulfates présent dans les eaux sulfurés sont le résultat d'une réaction biochimique des sulfates dissous.

En ce que concerne notre secteur d'étude, les teneurs en SO_4^{--} sont élevées dans les deux sources thermales et varient entre 891.9mg/l et 1223.5mg/l.

V-6.2.2. Etude des valeurs relatives :

a- Indice d'échange de base (i.e.b) :

Au cours de son trajet souterrain, l'eau rentre en contact avec différentes substances qui ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans l'eau, parmi ces substances, nous avons les minéraux argileux : l'hydroxyde ferrique et les substances organiques.

Schoeller en 1934 a précisé que l'indice d'échange de base (i.e.b) comme le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants, lorsqu'il y'a échange de Na^+ et K^+ de l'eau, contre les calcarino – terreux des argiles alors :

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

- Si $\text{i.e.b} < 0$ l'eau est d'origine cristalline ;
- Si $\text{i.e.b} > 0$ l'eau est d'origine sédimentaire.

Dans notre cas toutes les eaux analysées ont un (i.e.b) positif, ce qui indique un origine de terrain sédimentaire.

Source thermale	Emergence	i.e.b	Origine des eaux
Oued Hmimine	E ₁	+ 0.45	Sédimentaire
	E ₂	+ 0.46	
	E ₃	+ 0.67	
	E ₄	+ 0.6	
	E ₅	+ 0.63	
	E ₆	+ 0.65	
El Hamma	E ₇	+ 0.77	Sédimentaire
	E ₈	+ 0.55	
	E ₉	+ 0.59	
	E ₁₀	+ 0.81	
	E ₁₁	+ 0.79	

Tableau N°09 : Indice d'échange de base (i.e.b)

b- Rapports caractéristiques :

Le rapport caractéristique est défini comme étant le rapport de certains éléments chimiques exprimés en milli -équivalents par litre (méq/l). Les rapports étudiés sont : $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$, $r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r \text{Cl}^-$ et $r \text{SO}_4^{--}/r \text{Cl}^-$.

L'étude des variations de ces rapports donne de précieuses indications sur l'alimentation des nappes et la circulation des eaux souterraines et permet par fois de détecter d'autre formation en profondeur non affleurante.

b-1. Rapport $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$:

Les valeurs du rapport caractéristique $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$ comprises entre un minimum de l'ordre de 0.226 et un maximum de 0.352.

Lorsque ce rapport est supérieur à 1, il traduit la prédominance du Magnésium et ce cas est introuvable dans nos analyses (tous les rapports sont inférieurs à 1).

Lorsque il est inférieur à 1 le Calcium prédomine et c'est le cas de notre analyse, ceci peut être expliqué par la solubilité des calcaires plus riches en Calcium qu'en Magnésium.

b-2. Rapport $r \text{SO}_4^{2-}/r \text{Cl}^-$:

Lorsque ce rapport est supérieur à 1 il y a prédominance de Sulfates, ceci apparaît dans tous les points de prélèvement, qui sont liés essentiellement au lessivage des terrains gypsifères et des l'oxydation des sulfures (pyrites).

Lorsque le rapport $r \text{SO}_4^{2-}/r \text{Cl}^-$ est inférieur à 1 il y a prédominance de Chlorures, ce cas est introuvable dans nos analyses, ces basses teneurs en Chlorure parrapport aux Sulfates liés à la protection de ces sources thermales contre la pollution par les rejets d'eau domestique et industrielle parce qu'elles sont très profondes.

b-3. Rapport $r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r \text{Cl}^-$:

Lorsque le rapport $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r \text{Cl}^-$ est inférieur à 1, il traduit la prédominance des Chlorures, ceci apparaît dans notre cas, cette prédominance de Chlorures liés aux terrains salifères.

Lorsque ce rapport est supérieur à 1, il traduit la prédominance du Sodium.

Source thermale	Emergences	Rapports caractéristiques		
		$r \text{ Mg}^{++}/r \text{ Ca}^{++}$	$r \text{ SO}_4^{--}/r \text{ Cl}^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r \text{ Cl}^-$
Oued Hmimine	E ₁	0.22	11.58	0.54
	E ₂	0.22	12.55	0.53
	E ₃	0.34	4.96	0.33
	E ₄	0.23	11.24	0.54
	E ₅	0.25	9.9	0.47
	E ₆	0.24	9.63	0.45
El Hamma	E ₇	0.26	4.24	0.37
	E ₈	0.26	4.13	0.51
	E ₉	0.24	3.31	0.47
	E ₁₀	0.27	3.83	0.24
	E ₁₁	0.24	3.87	0.27

**Tableau N°10 : Les rapports caractéristiques des sources thermales
d'Azzaba**

V-6.2.3. Résultats des analyses et faciès chimique:

Au total 11 échantillons ont été pris en considération, et les résultats des analyses chimiques effectués en Février 2009 sont consignés dans le tableau N°11.

Afin de vérifier la fiabilité des analyses, on a vérifié les résultats obtenus en établissant la balance ionique pour chaque analyse, nous avons établi la formule ionique et cela en classant par ordre décroissant de gauche à droite les anions puis les cations.

A partir de ces formules ioniques, découle le faciès spécifique de chaque analyse (tableau N°11)

D'après le tableau toutes les analyses présentent un seul faciès chimique qu'est le faciès Sulfaté Calcique.

Source thermale	Emer	Formule ionique	Faciès chimique
Oued Hmimine	E ₁	$rSO_4^{--} > rHCO_3^- > rCl^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté Calcique
	E ₂	$rSO_4^{--} > rHCO_3^- > rCl^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E ₃	$rSO_4^{--} > rHCO_3^- > rCl^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E ₄	$rSO_4^{--} > rHCO_3^- > rCl^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E ₅	$rSO_4^{--} > rHCO_3^- > rCl^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E ₆	$rSO_4^{--} > rHCO_3^- > rCl^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
El Hamma	E ₇	$rSO_4^{--} > rCl^- > rHCO_3^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	Sulfaté Calcique
	E ₈	$rSO_4^{--} > rCl^- > rHCO_3^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E ₉	$rSO_4^{--} > rCl^- > rHCO_3^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E ₁₀	$rSO_4^{--} > rCl^- > rHCO_3^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	
	E ₁₁	$rSO_4^{--} > rCl^- > rHCO_3^- = rCa^{++} > rMg^{++} > r(Na^+ + K^+)$	

Tableau N°11 : Résultats des analyses et le faciès chimique.

V-6.2.4. Classification chimique des eaux :

Pour classer et connaître les différents faciès chimiques auxquels appartiennent les eaux thermales, plusieurs méthodes ont été définies par divers auteurs.

Dans le cadre de notre étude, nous faisons appel aux principales et aux plus utilisées de ces classifications :

- La classification et le mode de représentation de **Piper** (diagramme triangulaire) ;
- La classification de **Stiff** ;
- La représentation de **Schoeller- Berkloff** (diagramme vertical).

V-6.2.4.1. Diagramme de Piper : (Fig.28)

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper permet une classification et une comparaison facile des eaux.

Le principe consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction pourcent de chaque ion par rapport à la somme des ions de même signe, ainsi dans chaque triangle, nous obtenons un point indiquant la dominance d'un cation ou d'un anion.

Les deux parallèles supportant ces deux points se recoupent en un point unique dans le losange représentatif de la nature et du faciès chimique de l'eau.

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le diagramme de **Piper** (Fig. N°25), nous constatons que toutes les eaux analysées se situent dans la partie supérieure du losange de Piper avec la présence d'un seul faciès chimique qu'est le faciès Sulfaté Calcique.

V-6.2.4.2. Diagramme de Schoeller – Berkloff : (Fig.29)

Cette classification est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur un diagramme mis au point par **Schoeller** en 1932 et révisé par **Berkloff** en 1952.

Ce diagramme se compose de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés. Tous les éléments chimiques analysés sont reportés directement en mg/l. Ce type de diagramme permet de représenter sur même diagramme plusieurs eaux, ce qui facilite leurs comparaisons mutuelles.

Cependant, il présente un risque d'interprétation abusive de la conformité de deux échantillons, du fait que les rapports graphiques se font sur une échelle logarithmique. En plus, ce diagramme ne peut contenir que dix analyses à la fois.

Par cette classification, la représentation graphique (Fig N°26) a montré que le faciès chimique des eaux thermales d'Azzaba est le faciès Sulfaté Calcique.

V-6.2.4.3. Diagramme de Stiff : (Fig.30)

C'est un diagramme simple et on peut lire directement sur le graphe la formule ionique et le faciès chimique, dans le diagramme de **Stiff** :

Les cations sont représentés à gauche de l'axe vertical, ce sont les ions de ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), Ca^{++} , Mg^{++} et Fe^{++} .

Les anions sont représentés à droite de l'axe vertical et sont : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^- et CO_3^- souvent la dernière ligne du Fer et du Carbonates ne figurent pas dans le diagramme a cause de la rareté de ces ions.

L'axe horizontal exprime les concentrations en (mé/l), le polygone et dessiné en reliant les points correspondant aux différentes concentrations.

Pour une eau équilibrée, l'aire de la partie droite (anions) devrait égaler celle de la partie gauche (cations).

Dans le diagramme de **Stiff**, les analyses peuvent être représentées en séquences (l'une à coté ou en dessous de l'autre), de ce fait il facilite un archivage graphique des données.

La représentation des résultats d'analyses sur le diagramme de **Stiff** (Fig N°27), montre clairement le faciès chimique cité plus haut.

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE FACIES CHIMIQUE
 DIAGRAMME DE PIPER

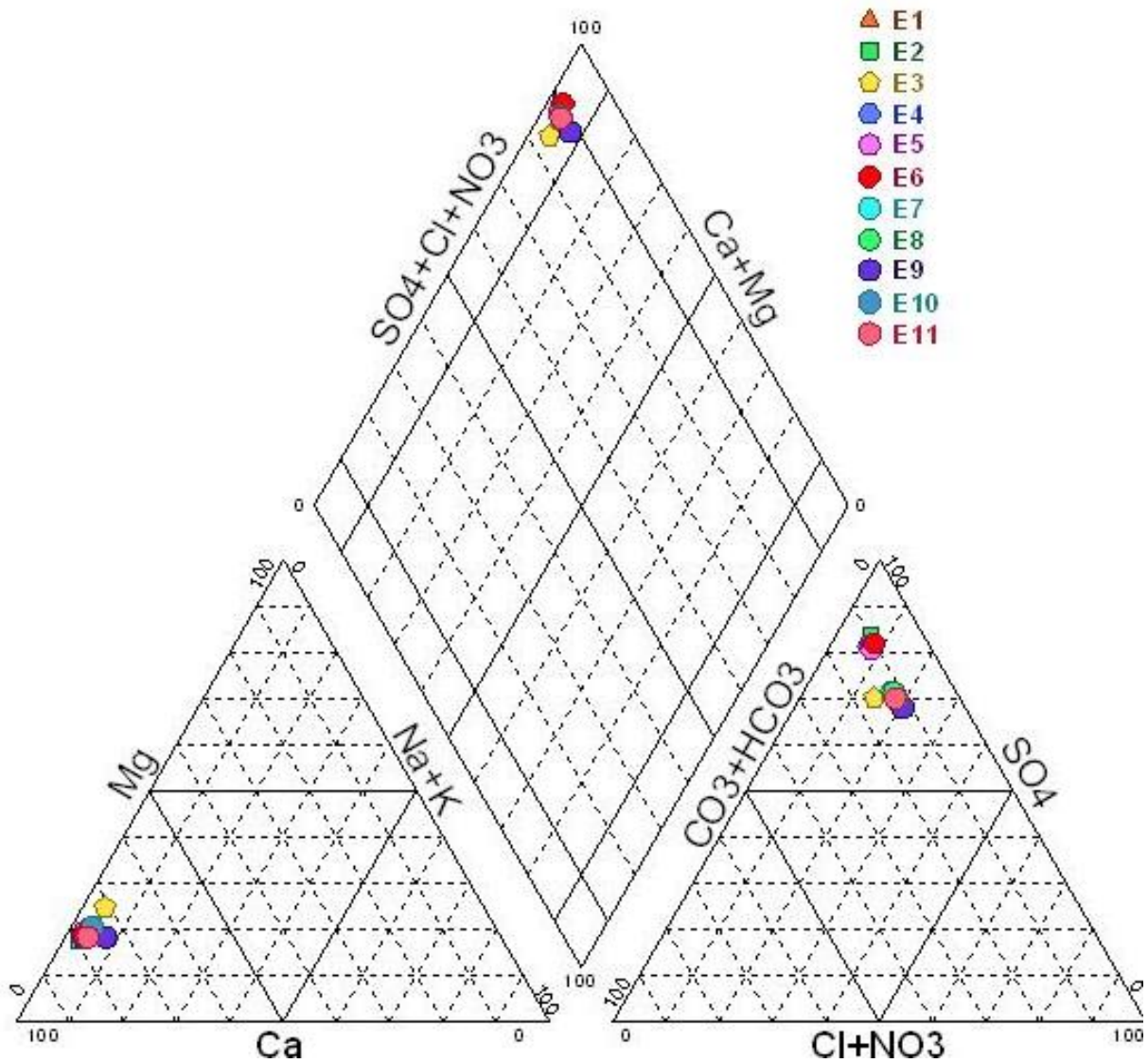


Fig.28

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE FACIES CHIMIQUE
 DIGRAMME DE SCHOELLER - BERKALOFF

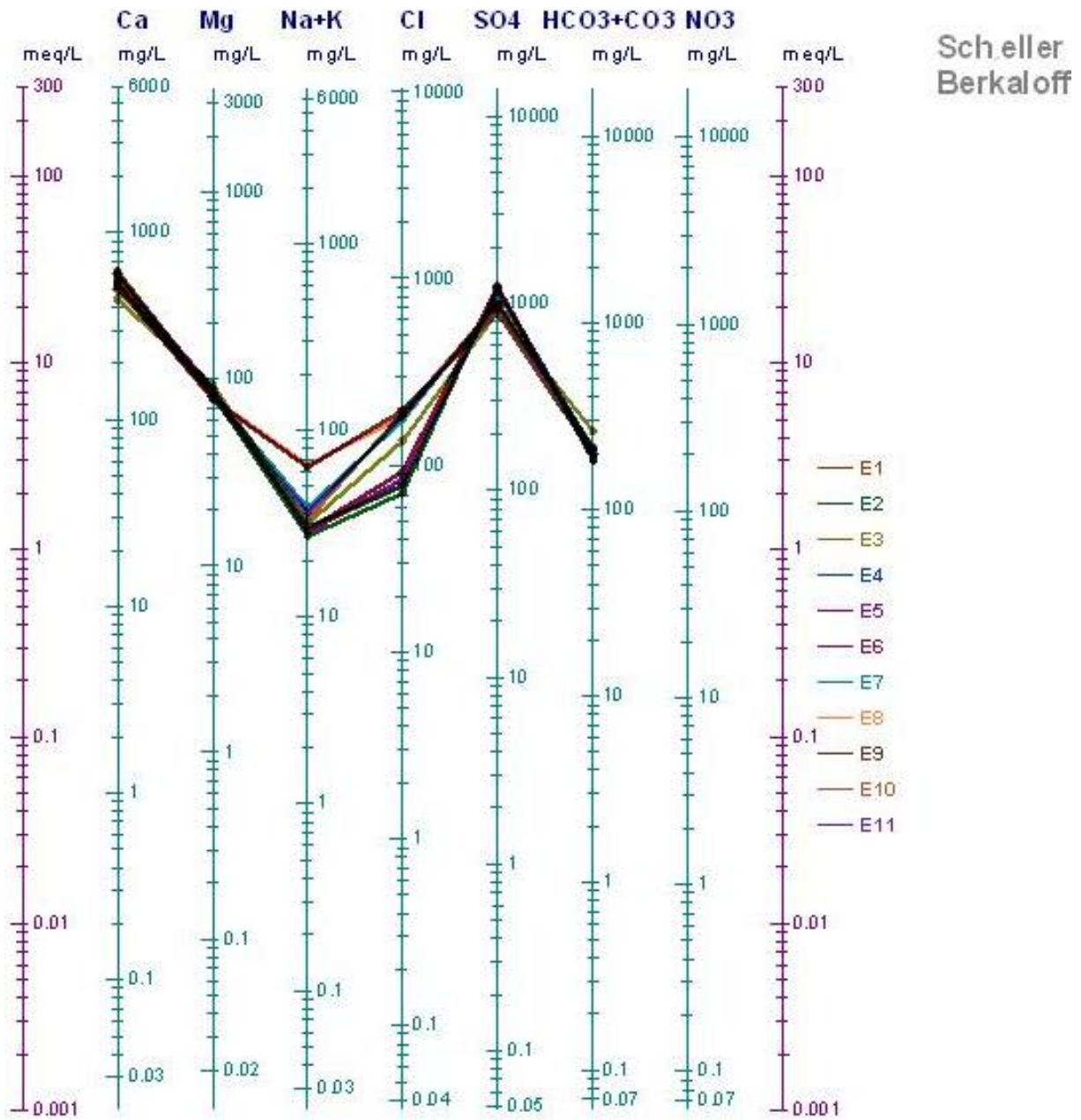


Fig.29

REPRESENTATION GRAPHIQUE DE FACIES CHIMIQUE
 DIAGRAMME DE STIFF

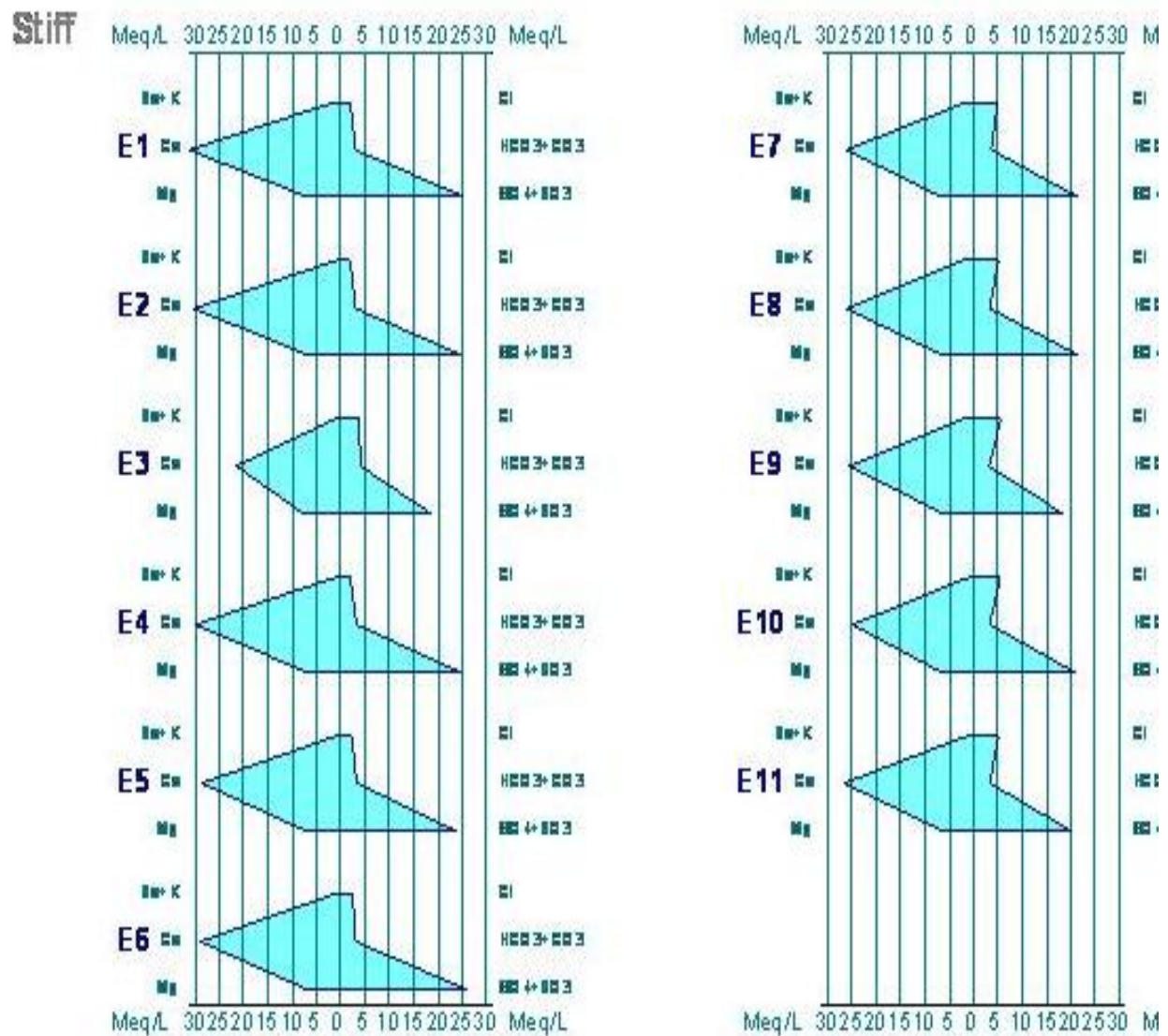


Fig.30

V-6.2.5. Comparaison entre les trois représentations graphiques :

Les trois graphiques, **Schoeller –Berkaloff**, **Piper** et **Stiff** sont des représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes.

Les points essentiels à retenir sont précisés sur le tableau ci – après (tableau N°12)

Diagramme	Points essentiels
Schoeller -Berkaloff	<ul style="list-style-type: none"> - Bien adapté à la comparaison des échantillons des faciès identiques mais différents par leur degré de dilution. - Risques d'interprétation abusive de la conformité de deux échantillons du fait des reports graphiques sur une échelle logarithmique.
Piper	<ul style="list-style-type: none"> - Bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillons. - Risque d'erreurs dans la comparaison d'échantillons du fait d'une représentation en pourcentage (%) des ions.
Stiff	<ul style="list-style-type: none"> - Bien adapté à la lecture des formules ioniques et du faciès chimiques. - Permet la représentation des ions CO_3^{-2} et Fer. - Les analyses peuvent être représentées en séquences (l'une à côté de l'autre ou en dessous) et de ce fait, il permet un archivage graphique des données.

Tableau N°12 : Comparaison détaillée entre les trois représentations.

V-7. Etude du comportement hydrochimique par l'analyse en composantes principales (A.C.P) :

V-7.1. Introduction :

L'analyse en composantes principales (A.C.P) est une méthode statistique essentiellement descriptive, son objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données.

L'A.C.P est une méthode statistique ancienne. C'est à **H.Hotelling** en 1933, que l'on doit la première publication sur ce sujet et c'est de même **K .Pearson** en 1901 qui a entrevu les idées essentielles. Cependant l'utilisation de l'A.C.P est récente. Ce n'est que depuis les années 1960 et l'avènement des ordinateurs que la théorie a pu être mise en pratique.

L'A.C.P peut s'utiliser dans des situations nombreuses et variées et pour savoir comment se structure vos variables : quelles sont celles qui sont associées ? quelles sont celles qui ne le sont pas ? quelles sont celles qui «vont dans le même sens» ? quelles sont celles qui s'opposent ?.

Le schéma de l'A.C.P est une méthode de réduction du nombre des caractères permettant une représentation géométrique des individus et des caractères. La réduction est possible lorsque les caractères initiaux ne soient pas indépendants et ont un coefficient de corrélation non nul.

L'A.C.P est une méthode factorielle, car la réduction du nombre de caractères ne se fait pas sur une simple sélection de certains d'entre eux, mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen des facteurs c'est une méthode linéaire car il s'agit de combinaison linéaire.

Partant d'un tableau de données sur lequel figurent en colonnes (P) variables et en lignes (n) échantillons ; également chaque variable peut être représentée dans un espace à (n) dimension.

On obtient ainsi un nuage de points dont il est impossible de visualiser la structure, aussi faut il avoir recours à une représentation dans un espace à dimensions réduite, déterminée à partir des axes principaux du nuage.

Chaque axe factoriel est choisi de façon à décrire le maximum de variance du nuage de points. L'association deux à deux de ces axes aux facteurs permet une représentation graphique plane de ce nuage.

Généralement le calcul se poursuit jusqu'au facteur qui exprime 90% au moins de la variance totale.

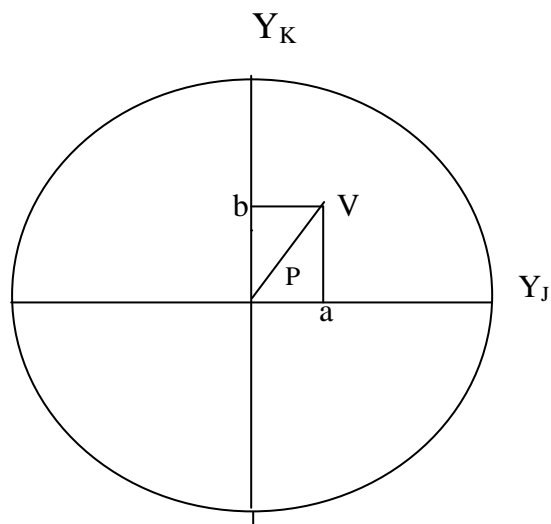
Pour conserver au maximum la forme du nuage, donc son inertie par rapport au centre de gravité on centre la variable, c'est-à-dire faire passer les axes principaux de projection par le centre de gravité, il s'agit alors d'une A.C.P centré de plus, afin d'éliminer l'influence de la taille des variables dépendant des unités choisies, on considère comme variable dans l'A.C.P réduite le rapport de chaque valeur à son écart type, l'A.C.P est dite alors centrée réduite.

Le but de l'A.C.P est de regrouper les éléments présentant une origine ou une évolution similaire.

V-7.2. Représentation des variables : (cercle de corrélations)

La représentation d'un nuage des valeurs centrées se fait dans cercle de rayon $R = 1$ (sphère dans l'espace) dont les coordonnées sur les composantes principales sont les corrélations.

La variation sera d'autant mieux reconstruite et explicative que la variable est proche de la circonférence du cercle.



Y : axe de composition

V : variable

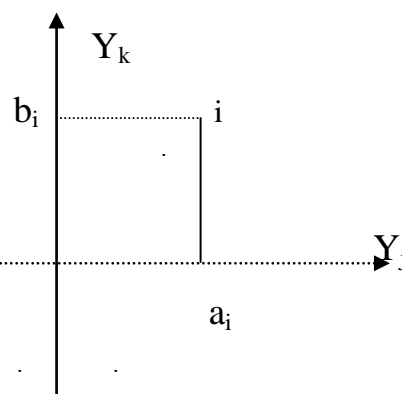
a : corrélation simple entre variable et Y_K

b : corrélation simple entre variable et Y_J

P : corrélation multiple entre variable et Y_K et Y_J .

V-7.3. Représentation des individus :

Les résultats de l'A.C.P permettent de voir la disposition des échantillons par rapport aux axes des composantes dans un plan orthonormé.



V-7.4. Application de l'A.C.P :

V-7.4.1 : Première A.C.P :

Nous avons réalisé une A.C.P globale concernant les points des eaux thermales analysées dans notre zone d'étude. Cette A.C.P comprend 11 observations et 16 variables à savoir (T, pH, CE, Ca, Mg, K, Na, Cl, SO_4 , HCO_3 , TH, TAC, Fe, Cu, Pb, SiO_2).

V-7.4.1.1. Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation (tableau N°13) montre les variables qui sont bien corrélées entre elles, à savoir : [Na, Mg (0,623)], [K, Na (0,612)], [Cl, Ca (0,704)], [Cl, Na (0,667)], [SO_4 , Ca (0,881)], [SO_4 , Cl (0,852)], [HCO_3 , Ca (0,833)], [SiO_2 , Mg (0,676)], [Pb, HCO_3 (0,687)], [Cu, Pb (0,787)], [Fe, HCO_3 (0,842)], [TAC, CA (0,837)], [TAC, Fe (0,834)], [TH, Ca (0,992)].

CORRELATION

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Pb	Cu	Fe	TAC	TH	PH	T	C
Ca	1.000															
Mg	-0.095	1.000														
Na	-0.338	-0.623	1.000													
K	-0.533	-0.525	0.612	1.000												
Cl	-0.704	-0.582	0.667	0.790	1.000											
SO₄	0.881	0.244	-0.531	-0.677	-0.852	1.000										
HCO₃	-0.833	0.430	0.002	0.419	0.344	-0.627	1.000									
SiO₂	0.117	-0.676	0.103	0.320	0.414	-0.195	-0.197	1.000								
Pb	0.628	0.007	-0.237	-0.574	-0.512	0.516	-0.687	-0.146	1.000							
Cu	-0.438	0.260	0.189	0.317	0.201	-0.215	0.549	-0.342	-0.787	1.000						
Fe	-0.688	0.649	-0.158	0.025	0.022	-0.431	0.842	-0.520	-0.250	0.293	1.000					
TAC	-0.837	0.422	0.012	0.425	0.351	-0.637	1.000	-0.195	-0.685	0.546	0.843	1.000				
TH	0.992	0.025	-0.405	-0.592	-0.778	0.919	-0.779	0.029	0.626	-0.403	-0.609	-0.785	1.000			
PH	0.123	0.650	-0.347	-0.492	-0.477	0.428	0.176	-0.389	-0.295	0.582	0.176	0.166	0.207	1.000		
T	0.156	-0.197	-0.223	0.072	-0.152	0.074	0.028	0.489	-0.126	-0.218	-0.077	0.030	0.131	-0.199	1.000	
C	0.198	-0.015	-0.051	0.029	0.048	0.187	-0.247	-0.156	0.315	0.065	-0.220	-0.249	0.194	0.013	-0.661	1.000

Tableau N°13 : Matrice de corrélation

V-7.4.1.2. Etude des variables :

- 1E colonne : corrélation entre les variables et les axes principaux.
- 2E colonne : corrélation aux carrée.

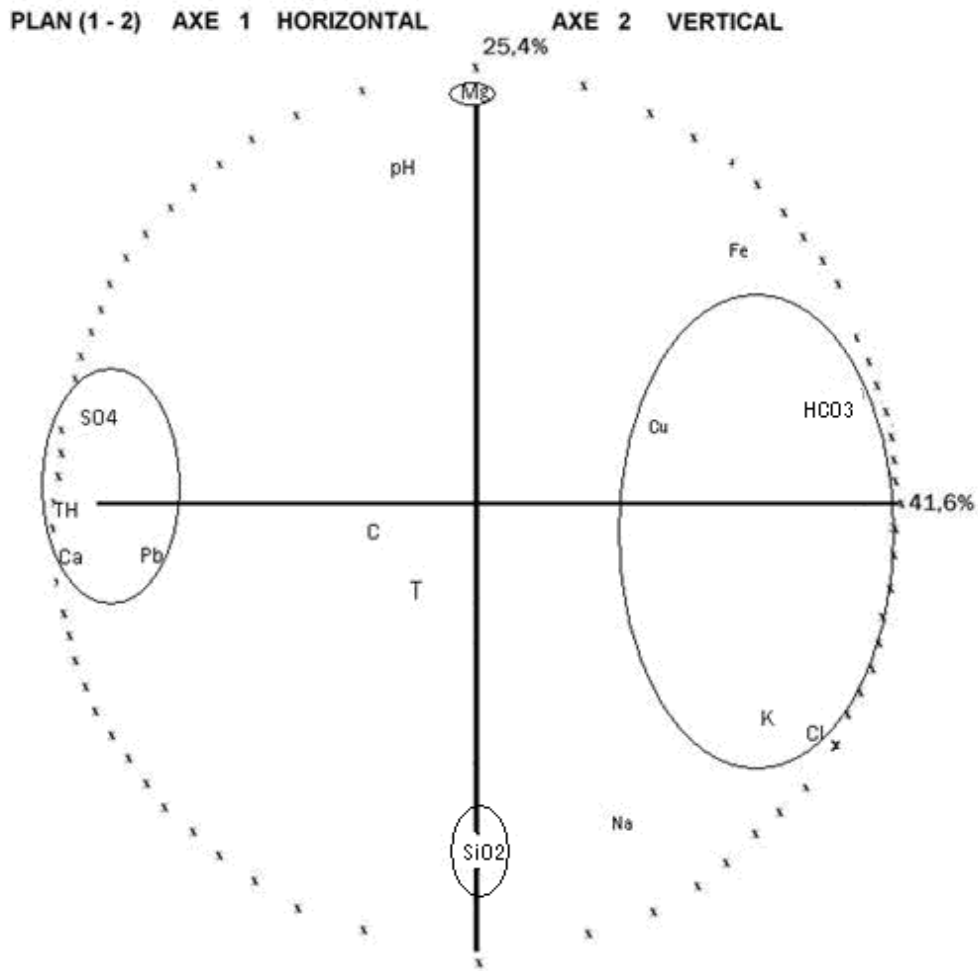
VARIABLES	COMPOSANTES PRINCIPALES									
	AXE 1		AXE 2		AXE 3		AXE 4		AXE 5	
Ca **	-0.9585	0.9188 *	-0.0679	0.0046 *	-0.0416	0.0017 *	0.1949	0.0380 *	-0.0292	0.0009 *
Mg **	0.0068	0.0000 *	0.9667	0.9345 *	-0.0266	0.0007 *	-0.1496	0.0224 *	-0.0664	0.0044 *
Na **	0.4204	0.1767 *	-0.5864	0.3439 *	0.3538	0.1252 *	0.1332	0.0177 *	0.5279	0.2787 *
K **	0.6909	0.4774 *	-0.5376	0.2890 *	0.0832	0.0069 *	0.1530	0.0234 *	-0.1402	0.0197 *
Cl **	0.7349	0.5400 *	-0.6070	0.3684 *	0.2070	0.0429 *	0.0010	0.0000 *	-0.0964	0.0093 *
SO4 **	-0.8842	0.7819 *	0.3122	0.0974 *	-0.0142	0.0002 *	0.2402	0.0577 *	-0.0159	0.0003 *
HCO3 **	0.8664	0.7507 *	0.4147	0.1720 *	-0.1722	0.0296 *	-0.0495	0.0024 *	-0.1510	0.0228 *
SiO2 **	-0.0171	0.0003 *	-0.7190	0.5170 *	-0.4198	0.1763 *	0.2088	0.0436 *	-0.3953	0.1563 *
Pb **	-0.7699	0.5928 *	-0.0636	0.0040 *	0.1428	0.0204 *	-0.6037	0.3644 *	0.0408	0.0017 *
Cu **	0.5528	0.3056 *	0.3928	0.1543 *	0.2719	0.0739 *	0.6415	0.4115 *	0.0394	0.0015 *
Fe **	0.6114	0.3738 *	0.6278	0.3942 *	-0.1211	0.0147 *	-0.4216	0.1777 *	0.0430	0.0018 *
TAC **	0.8710	0.7586 *	0.4065	0.1653 *	-0.1726	0.0298 *	-0.0551	0.0030 *	-0.1449	0.0210 *
TH **	-0.9586	0.9188 *	0.0513	0.0026 *	-0.0423	0.0018 *	0.1841	0.0339 *	-0.0281	0.0008 *
pH **	-0.0983	0.0097 *	0.7626	0.5815 *	0.0904	0.0082 *	0.5592	0.3127 *	0.0338	0.0011 *
T **	-0.0642	0.0041 *	-0.1884	0.0355 *	-0.9207	0.8477 *	0.1364	0.0186 *	-0.0263	0.0007 *
C. **	-0.2180	0.0475 *	-0.0213	0.0005 *	0.8040	0.6465 *	-0.0490	0.0024 *	-0.5162	0.2665 *

Tableau N°14 : Corrélation entre les variables et les axes principaux

V-7.4.1.3. Cercle de corrélation :

Pour les cercles de corrélation (Fig.31, 32, 33) le pourcentage d'inertie cumulée sur les axes principaux : le plan (1 - 2) est de 67%, le plan (1 - 3) est de 54.3% et le plan (1 - 4) est de 51.2%. Ce résultat montre qu'il existe une bonne structure au niveau de cet échantillonnage et que la représentation dans les plans (1 - 2), (1 - 3) et (1 - 4) explique l'essentiel de cette structure.

Pour le plan (1-2) (Fig.31), l'axe horizontal exprimant 41.6% de la variance est caractérisé par un premier nuage de point dans le sens positif regroupant : Cu (0,5528), HCO₃ (0,8664), K(0,6909) et Cl (0,7349) et un deuxième nuage de point dans le sens négatif regroupant SO₄ (-0,8842), TH (-0,9586) , Ca (-0,9585) et Pb (-0,7699).



REPRESENTATION PLAN (1-2) AXE 1 HORIZONTAL AXE 2 VERTICAL

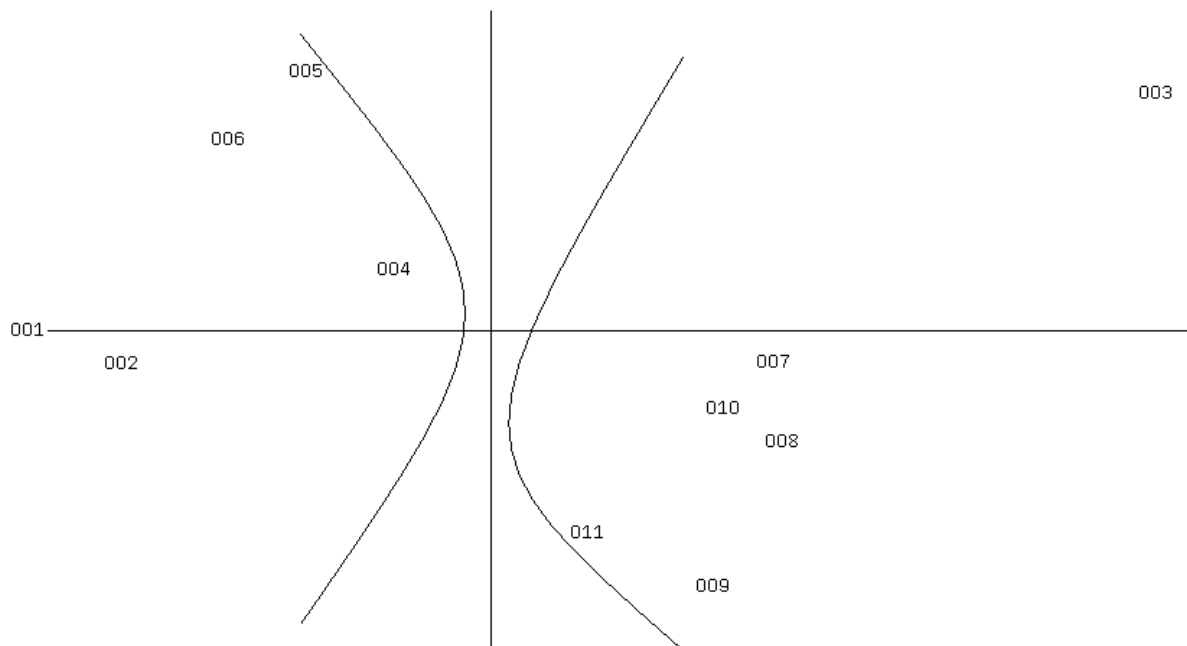


Fig.31 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1-2) .

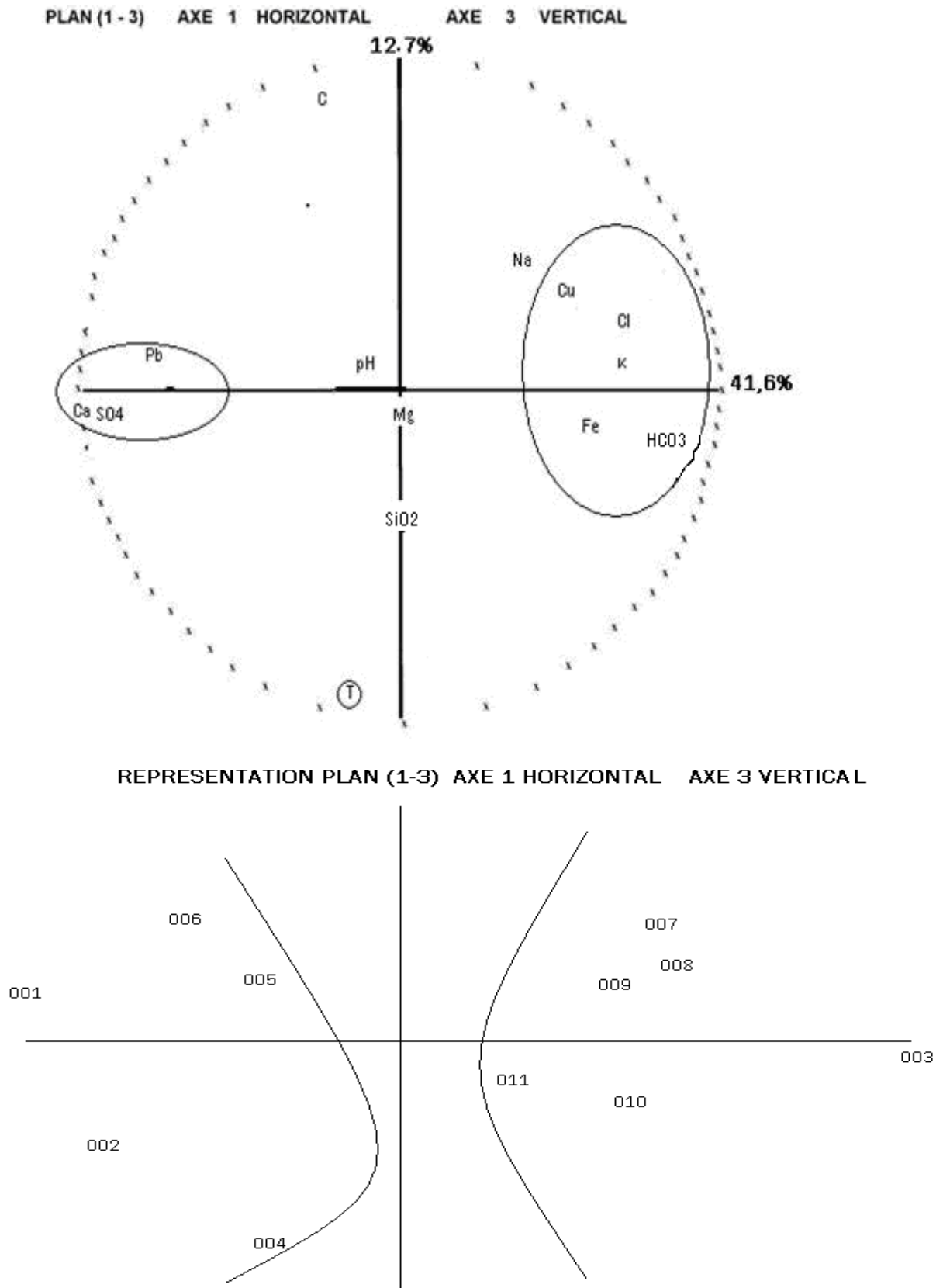
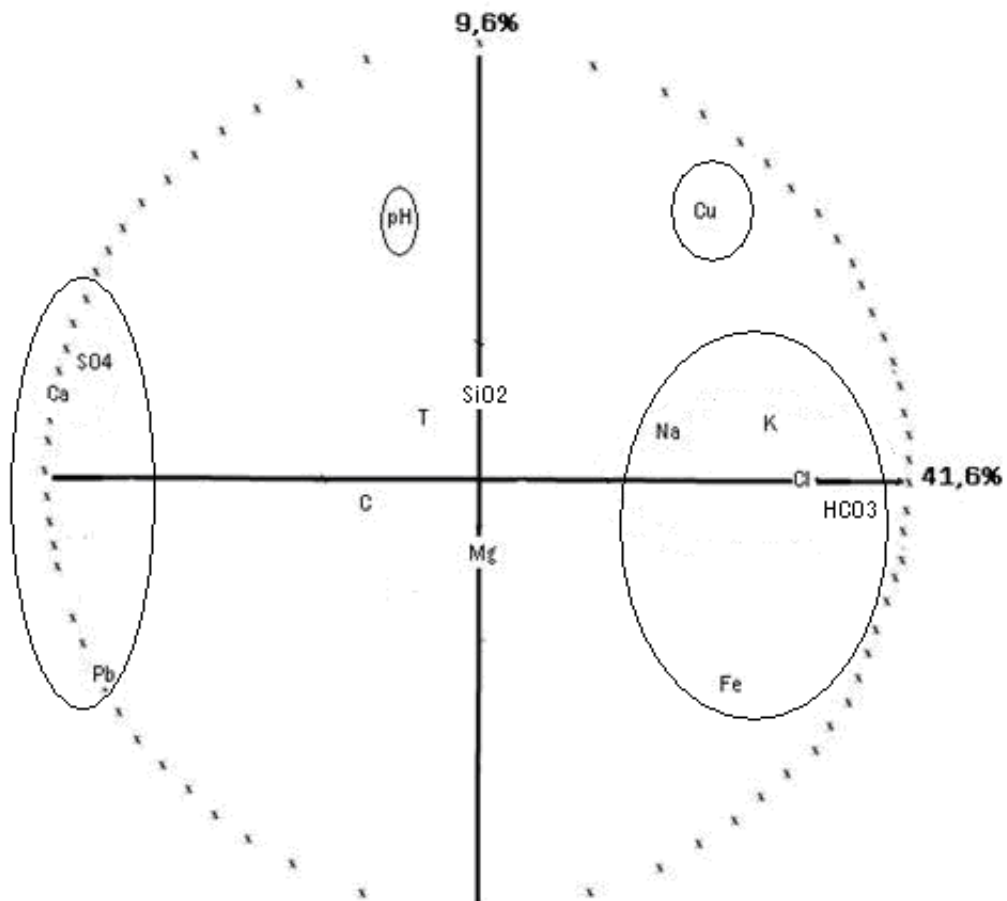


Fig.32 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1-3)

PLAN (1-4) AXE 1 HORIZONTAL AXE 4 VERTICAL



REPRESENTATION PLAN (1-4) AXE 1 HORIZONTAL AXE 4 VERTICAL

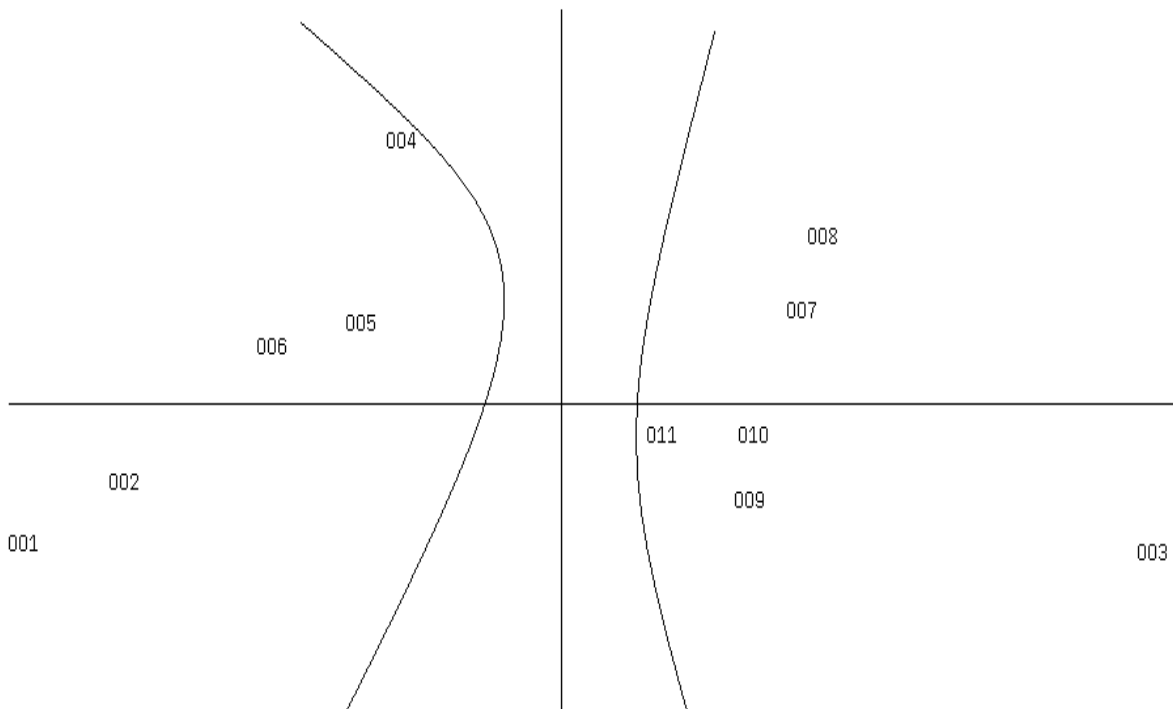


Fig.33 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 4)

L'axe vertical exprimant 25,4% de la variance est caractérisé par Mg (0,9667) et SiO₂ (-0,7190).

Les facteurs du plan (1 – 2) mettent en évidence le T et C qui sont loin de la circonférence du cercle et proche du centre de gravité et par conséquent n'apportent aucun renseignement.

Pour conclure : concernant le plan (1 – 2), l'axe horizontal regroupe les éléments polluant plus les éléments responsables du faciès chimique. L'axe vertical regroupe le SiO₂ et le Mg.

Concernant le plan (1 – 3) (Fig.32) l'axe horizontal, présente 41,6% de la variance, est caractérisé par un nuage de point dans le sens positif regroupant : Cu (0,5528), Fe (0,6114), K (0,6909), Cl (0,7349), et HCO₃ (0,8664) et un nuage de point dans le sens négatif regroupant : Pb (-0,7699), SO₄ (-0,8842) et le Ca (-0,9585).

L'axe vertical exprimant 12,7% de la variance est caractérisé par le T (-0,9207).

Les facteurs du plan (1 - 3) montrent que pH, Mg, SiO₂ et Na sont proche du centre de gravité et ne donnent aucun information.

Donc dans le plan (1 - 3) l'axe horizontal, dans les sens positif et négatif, regroupe les éléments polluants plus les éléments responsables de faciès chimique.

Pour le plan (1 - 4) (Fig.33) l'axe horizontal exprimant 41,6% de la variance, est caractérisé par deux nuages de point, le premier dans le sens positif regroupant : Na (0,4204), K (0,6909), Cl (0,7349) et HCO₃ (0,8664) et le deuxième dans le sens négatif regroupant : SO₄ (-0,8842) et Ca (-0,9585).

L'axe vertical exprimant 9,6% de variance cumulée, est caractérisé par le pH (0,5592).

Pour les axes du plan (1 - 4) mettent en évidence le T, C, Mg et SiO₂ qui sont proche du centre de gravité et par conséquent n'apportent aucun renseignement.

Donc le plan (1 - 4) l'axe horizontal, dans les deux sens positif et négatif regroupe les éléments responsables du faciès chimique.

L'axe vertical regroupe dans le sens positif le pH.

Concernant la projection des individus sur le plan (1 - 2) (Fig.31) on observe que nos individus se répartissent en deux groupes selon l'axe vertical ; le premier groupe d'individus regroupés positivement selon cet axe à savoir 1, 2, 4, 5, 6, correspondant aux eaux thermales de la source de l'Oued Hmimine ; la deuxième groupe s'oppose au premier et regroupe les individus 7, 8, 9, 10, 11 qui correspondent aux eaux thermales de la source d'El Hamma, plus l'individu 3 qui appartient à la source thermique de l'Oued Hmimine.

Ces deux nuages de points ressortent aussi dans les plans (1 - 3) et (1 - 4).

V-7.4.2 : Deuxième A.C.P :

Après la première A.C.P on' a réaliser une deuxième, après la réduction des certaines variables, qui sont : le pH, la température et la conductivité par ce que ces variables sont proche du centre de gravité et ne donnent aucun information.

V-7.4.2.1. Matrice de corrélation :

La matrice de corrélation (tableau N°15) montre les variables qui sont bien corrélées entre elles, à savoir : [Na, Mg (0,623)], [K, Na (0.612)], [Cl, Ca (0,704)], [Cl, K (0,790)], [SO₄, Ca (0.881)], [SO₄, Cl (0,852)], [HCO₃, Cl (0,838)], [HCO₃, SO₄ (0.635)], [SiO₂, Mg (0,676)] , [Pb, Ca (0,628)], [Cu ,Pb (0.787)], [Fe ,HCO₃ (0,843)], [TH ,Ca (0,992)], [TH ,SO₄ (0,919)].

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂	Pb	Cu	Fe	TAC	TH
Ca	1.000												
Mg	-0.095	1.000											
Na	-0.338	-0.623	1.000										
K	-0.533	-0.525	0.612	1.000									
Cl	-0.704	-0.582	0.667	0.790	1.000								
SO₄	0.881	0.244	-0.531	0.677	-0.852	1.000							
HCO₃	-0.838	0.424	0.011	0.424	0.350	-0.635	1.000						
SiO₂	0.117	-0.676	0.103	0.320	0.414	-0.195	-0.197	1.000					
Pb	0.628	0.007	-0.273	-0.574	0.512	0.516	-0.687	-0.146	1.000				
Cu	-0.438	0.260	0.189	0.317	0.201	-0.215	0.549	-0.342	-0.787	1.000			
Fe	-0.688	0.649	-0.158	0.025	0.022	-0.431	0.843	-0.520	-0.250	0.293	1.000		
TAC	-0.837	0.422	0.012	0.425	0.351	-0.637	1.000	-0.195	-0.685	0.546	0.843	1.000	
TH	0.992	0.025	-0.405	-0.592	0.778	0.919	-0.785	0.029	0.626	-0.403	-0.609	-0.785	1.000

Tableau N°15 : Matrice de corrélation

V-7.4.2.2. Etude des variables :

Individus	AXE 1	AXE 2	AXE 3	AXE 4	AXE 5					
Ca	-0.9573	0.9165	-0.0774	0.0060	0.1964	0.0386	-0.0758	0.0057	-0.1525	0.0233
Mg	0.0203	0.0004	0.9743	0.9493	0.0022	0.0000	-0.0310	0.0010	0.0497	0.0025
Na	0.4118	0.1695	-0.6415	0.4115	0.1263	0.0160	0.5639	0.3160	-0.0458	0.0021
K	0.6882	0.4737	-0.5409	0.2925	0.1422	0.0202	-0.0199	0.0004	-0.4279	0.1831
Cl	0.7302	0.5332	-0.6290	0.3956	-0.1065	0.0118	0.0332	0.0011	0.1394	0.0194
SO₄	-0.8766	0.7685	0.2858	0.0817	0.3109	0.0966	-0.0449	0.0020	-0.0860	0.0074
HCO₃	0.8758	0.7670	0.4166	0.1736	-0.0305	0.0009	-0.1648	0.0342	-0.1369	0.0187
SiO₂	-0.0289	0.0008	-0.7215	0.5205	-0.1069	0.0114	-0.6617	0.4379	0.0547	0.0030
Pb	-0.7725	0.5967	0.0381	0.0015	-0.5305	0.2814	0.2833	0.0803	-0.1059	0.0112
Cu	0.5698	0.3247	0.2607	0.0680	0.7488	0.5607	0.0951	0.0009	0.1060	0.0112
Fe	0.6152	0.3785	0.6884	0.4740	-0.3196	0.1022	0.0769	0.0059	-0.1034	0.0107
TAC	0.8756	0.7667	0.4150	0.1722	-0.0338	0.0011	-0.1857	0.0345	-0.1398	0.0195
TH	-0.9557	0.9135	0.0413	0.00017	0.2060	0.0424	-0.0719	0.0052	-0.1617	0.0262

Tableau N°16 : Corrélation entre les variables et les axes principaux.

- 1E colonne : corrélation entre les variables et les axes principaux.
- 2E colonne : corrélation aux carrées.

V-7.4.2.3 : Cercle de corrélation :

Pour les cercles de corrélation (Fig.34, 35, 36, 37) le pourcentage d'inertie cumulée sur les axes principaux : le plan (1 - 2) est de 78,1%, le plan (1 - 3) est de 59,9%, le plan (1 - 4) est de 58% et le plan (1 - 5) est de 53,4%.

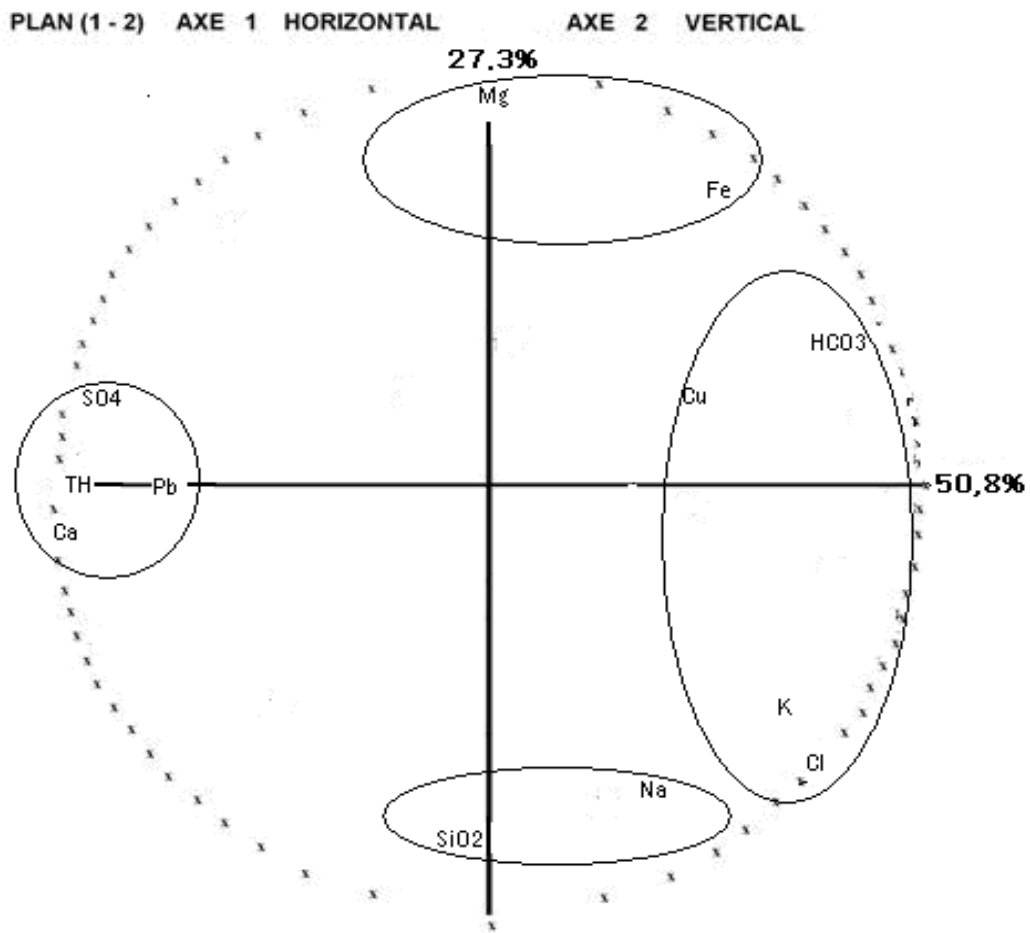
Ce résultat montre qu'il existe une bonne structure au niveau de cet échantillonnage et que la représentation dans les plans (1 - 2), (1 - 3), (1 - 4) et (1 - 5) expliquant l'essentiel de cette structure.

Pour le plan (1 - 2) (Fig.34), l'axe horizontal exprimant 50,8% de la variance est caractérisé Par un premier nuage de point dans le sens positif regroupant : Cu (0,5698), HCO₃ (0,8758), K (0,6882) et Cl (0,7302) et un deuxième nuage de point dans le sens négatif regroupant SO₄ (-0,8766), TH (-0,9557), Ca (-0,9573) et Pb (-0,7725).

L'axe vertical exprimant 27,3% de la variance caractérisé aussi par deux nuages de point, le premier est dans le sens positif regroupant Mg (0,9743) et Fe (0,6884), le deuxième est dans le sens négatif regroupant SiO₂ (-0,7215) et Na (-0,6415). Pour conclure : concernant le plan (1 - 2), l'axe horizontal regroupe les éléments polluant plus les éléments responsables du faciès chimique. L'axe vertical regroupe le SiO₂ plus Na et Mg.

Concernant le plan (1 - 3) (Fig.35), l'axe horizontal présente 50,8% de la variance, est caractérisé par un nuage de point dans le sens positif regroupant : Na (0,4118), K (0,6882), HCO₃ (0,8758), Cl (0,7302) et Fe (0,6152) et un autre nuage de point dans le sens négatif regroupant : SO₄ (-0,8766), Ca (-0,9573) et Pb (-0,7725).

L'axe vertical exprimant 9,1% de la variance est caractérisé par le Cu (0,7488).



REPRESENTATION PLAN (1 - 2) AXE 1 HORIZONTAL AXE 2 VERTICAL

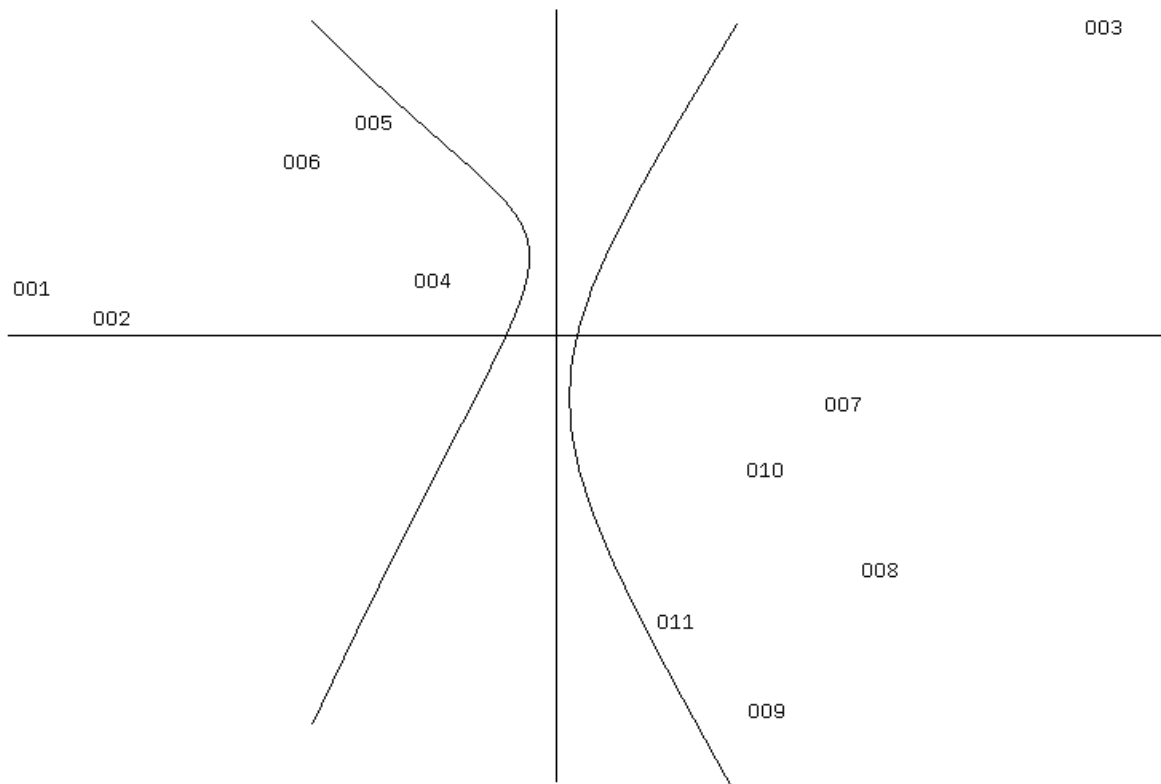
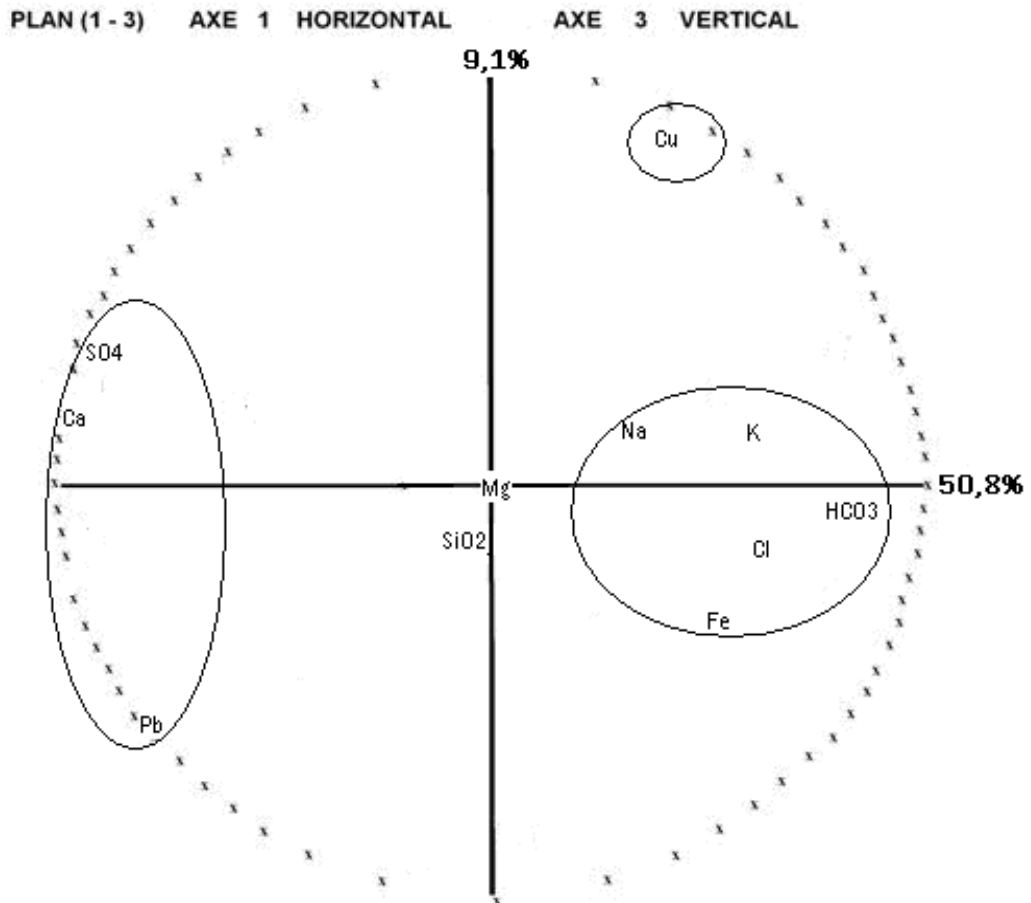


Fig34 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 2)



REPRESENTATION PLAN (1 - 3) AXE 1 HORIZONTAL AXE 3 VERTICAL

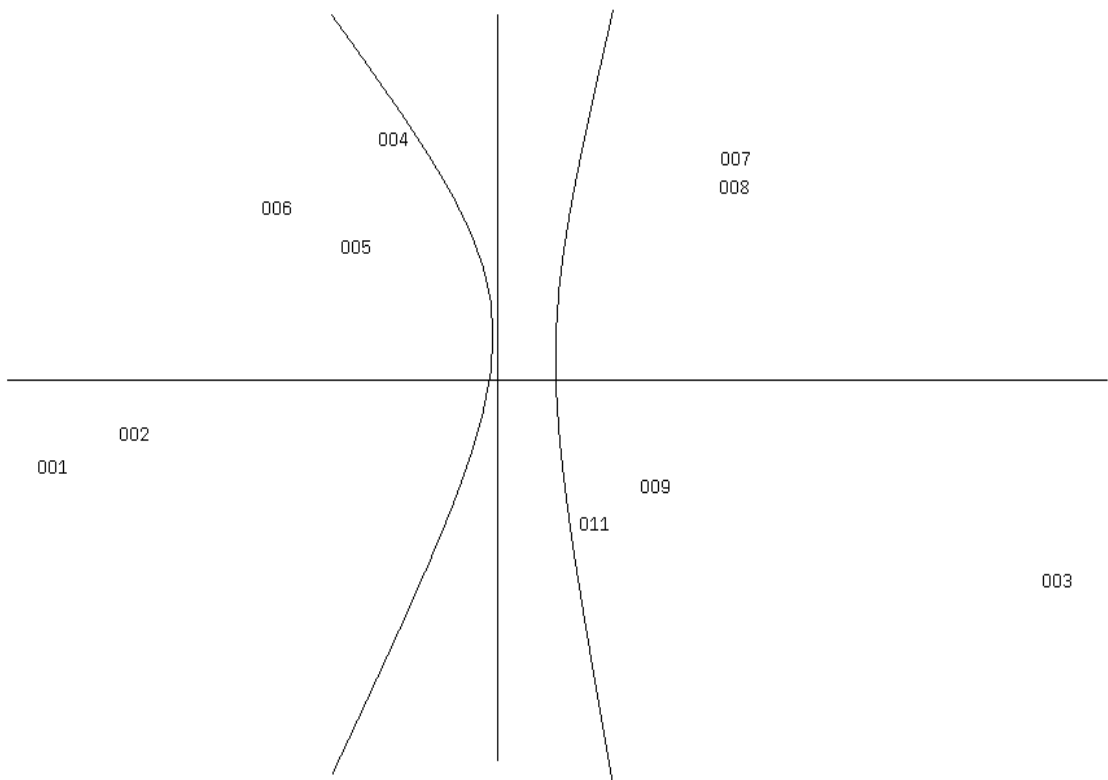
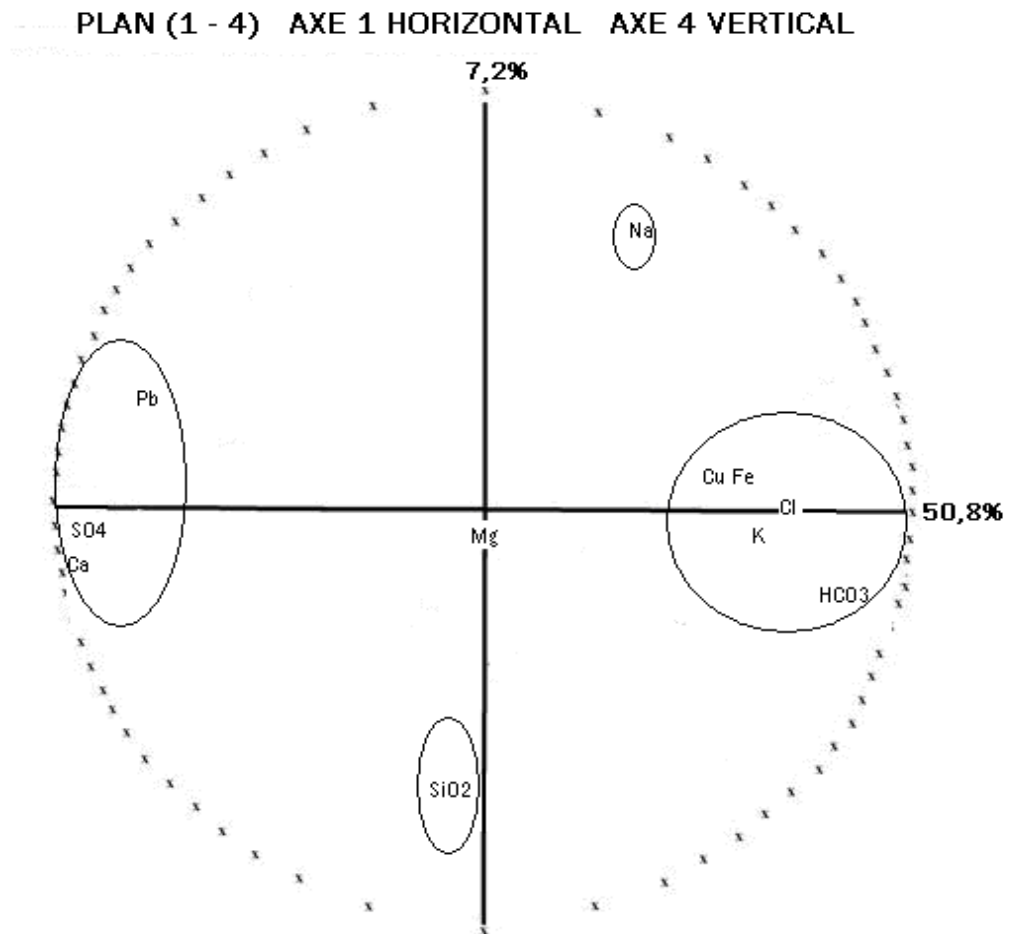


Fig.35 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 3)



REPRESENTATION PLAN (1 - 4) AXE 1 HORIZONTAL AXE 4 VERTICAL

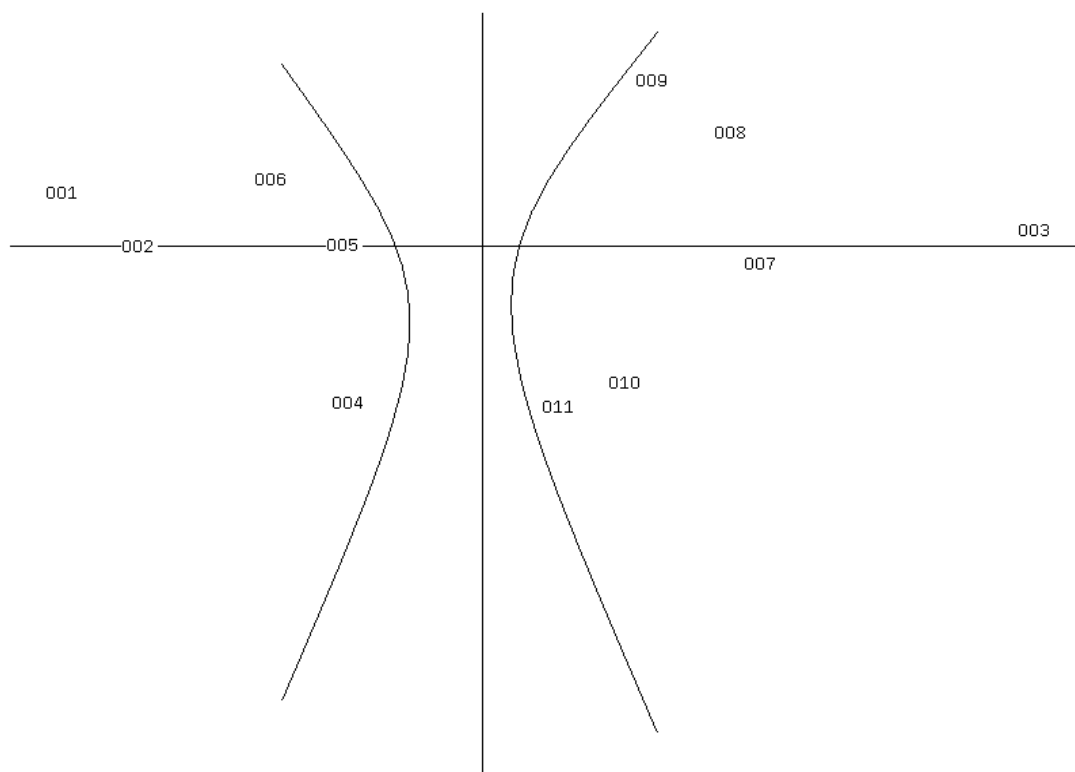
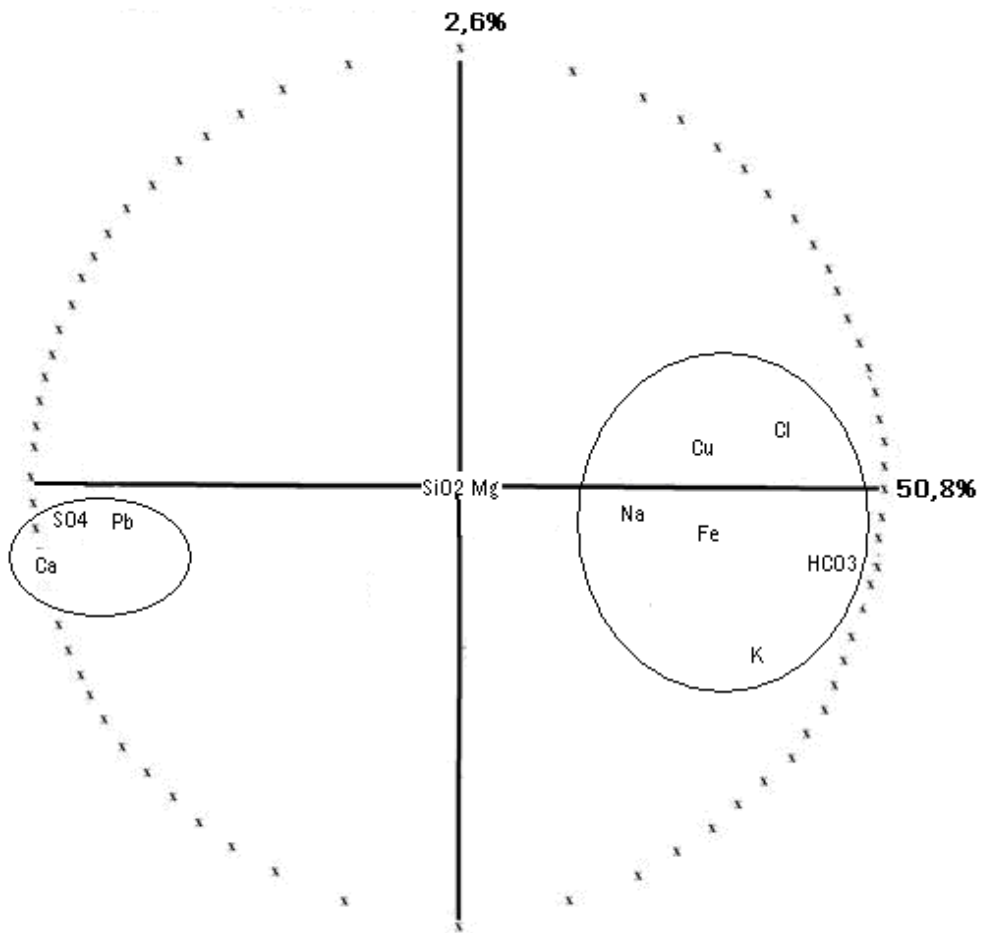


Fig.36: Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 4)

PLAN (1 - 5) AXE 1 HORIZONTAL AXE 5 VERTICAL



REPRESENTATION PLAN (1 - 5) AXE 1 HORIZONTAL AXE 5 VERTICAL

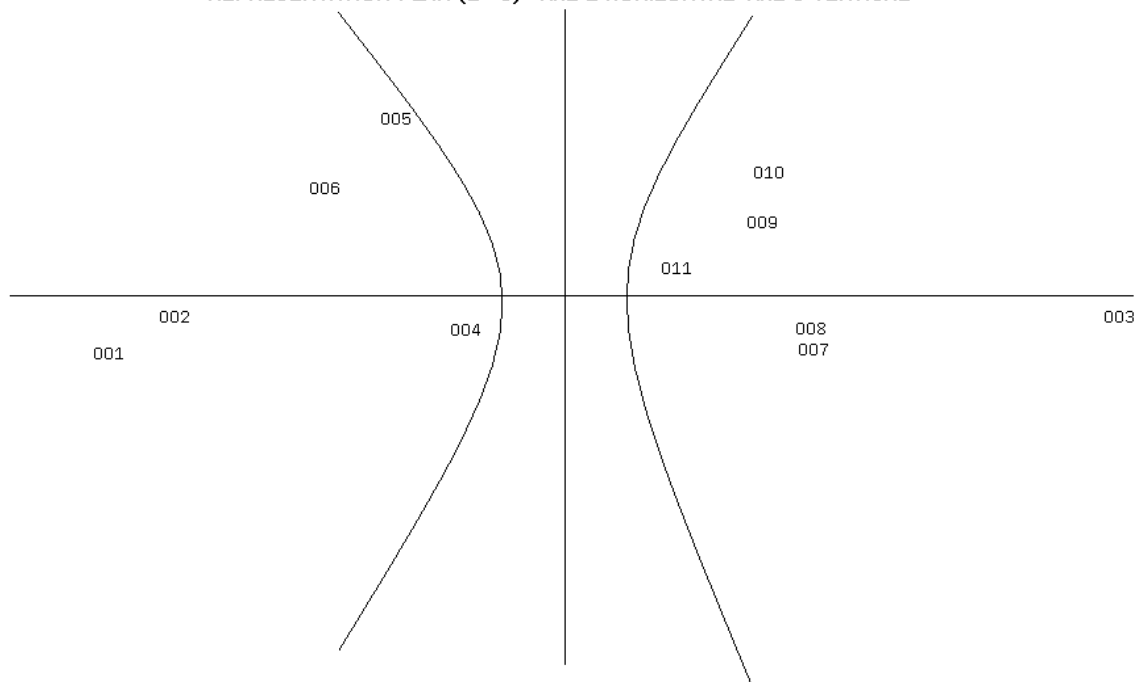


Fig.37 : Cercle de corrélation et représentation des individus dans le plan (1 – 5)

Les facteurs du plan (1 – 3) montre que Mg et SiO₂ sont proches du centre de gravité et ne donnent aucune information.

Donc dans le plan (1 – 3) l'axe horizontal, dans le sens positif et négatif, regroupe les éléments polluants plus les éléments responsables de faciès chimique et l'axe vertical représente le Cu.

Pour le plan (1 – 4) (Fig.36), l'axe horizontal exprimant 50,8% de la variance, est caractérisé par deux nuage de point, le premier dans le sens positif regroupant : Cu (0,5698), Fe (0,6152), Cl (0,7302), K (0,6882) et HCO₃ (0,8758) et le deuxième dans le sens négatif regroupant SO₄ (-0,8766), Ca (-0,9573) et Pb (-0,7725).

L'axe vertical exprimant 7,2% de la variance cumulée, est caractérisé par Na (0,5639) et SiO₂ (-0,6617).

Pour les deux axes du plan (1 – 4) mettent en évidence le Mg qu'est proche du centre de gravité et par conséquent n'apporte aucun renseignement.

Donc pour le plan (1 – 4), l'axe horizontal dans les deux sens, positif et négatif regroupe les éléments responsables du faciès chimique plus les éléments polluants. L'axe vertical regroupe Na et SiO₂.

Pour le plan (1 – 5) (Fig.37), l'axe horizontal exprimant 50,8% de la variance, est caractérisé par deux nuages de point, le premier dans le sens positif regroupant : Cl (0,7302), Na (0,4118), HCO₃ (0,8758), K (0,6882), Cu (0,5698) et Fe (0,6152) et le deuxième dans le sens négatif regroupant SO₄ (-0,8766), Ca (-0,9573) et Pb (-0,7725).

Pour les deux axes du plan (1 – 5), mettent en évidence le Mg et SiO₂ qui sont proche du centre de gravité et par conséquent n'apportent aucune information.

Donc pour le plan (1 – 5), l'axe horizontal regroupe les éléments de minéralisation et les éléments polluants.

Concernant la projection des individus sur le plan (1 – 2) (Fig.34), on observe que nos individus se répartissent en deux groupes selon l'axe vertical ; le premier groupe d'individus regroupés positivement selon cet axe à ,savoir 1, 2, 4, 5, 6 correspondant aux eaux thermales de la source de l'Oud Hmimine et la deuxième groupe s'opposent au premier et regroupe les individus 7, 8, 9, 10, 11 qui correspondent aux eaux thermales de la source d'El Hamma, plus l'individu 3 qui est de la source thermale de l'Oued Hmimine.

Ces deux nuages de points ressortent aussi dans les plans (1 – 3), (1 – 4) et (1 – 5).

Conclusion :

Le but escompté à travers l'A.C.P est de regrouper les éléments présentant une origine ou une évolution similaire, à travers cette étude qui s'est soldé par le regroupement des éléments responsables de faciès chimique d'un côté et par les éléments caractérisants la pollution (Cu, Fe, Pb).

Les individus ont été regroupés de façon à individualiser et caractériser les deux différentes sources, donc ces individus ont été regroupés selon leur origine similaire.

V-8. Indice de saturation :

Le degré de saturation de l'eau peut être estimé par le calcul de l'indice de saturation, qui atteint la valeur zéro quand la solution est en équilibre avec une phase solide.

Un indice de saturation négatif indique une sous saturation et un indice positif indique une sursaturation vis-à-vis des minéraux.

L'interprétation thermodynamique en utilisant la simulation de la concentration des ions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) sous l'effet de l'évaporation isotherme à 25°C, par le logiciel thermodynamique «PhreeqC» en terme d'équilibres sels/solution, montre que les eaux de la région d'étude sont :

-Sous saturées par rapport à la Halite (NaCl), ce qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux de la région en sodium et en chlorures (Fig.38).

-Concernant le Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et l'Anhydrite (CaSO_4) les eaux sont sursaturées ce qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et Anhydrite (Fig.38).

-Les eaux sont sursaturées en Calcite, Dolomie et Aragonite dans tous les points analysés, entraînant aussi la précipitation des éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite et surtout sous forme de Dolomie (Fig.39).

-Sursaturées en Cerrusite (PbCO_3) et en Anglesite (PbSO_4), entraînant une précipitation de ces éléments sous forme de Cerrusite et Anglesite (Fig.40) , concernant le $\text{Pb}(\text{OH})_2$ l'indice de saturation est positif mais très faible dans les

échantillons E₁, E₂, E₄, E₅, E₆, E₉ et E₁₁ qui indique une faible précipitation en Pb(OH)₂ dans ces émergences, dans les autres échantillons les eaux sont sous saturées en Pb(OH)₂ qui provoque la dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en Plomb et en OH⁻ (Fig.40).

-Les eaux sont sursaturées en Chalcedony SiO₂ et en Quartz SiO₂, entraînant une précipitation de ces éléments sous forme de Chalcedony et Quartz (Fig.41).

-Les eaux sont sursaturées en Chrysotile [Mg₃Si₂O₅(OH)₄], Sepiolite (Mg₂Si₃O₇.5OH :3H₂O) et en Talc, qui entraînant une précipitation sous forme de Chalcedony, Sepiolite et surtout Talc (Fig.42).

-Sous saturées en Melanterite (FeSO₄:7H₂O), ce qui provoque une dissolution de Melanterite, et sursaturées en Siderite (FeCO₃), entraînant une précipitation sous forme de Siderite (Fig.43).

Les minéraux dissous dans les eaux thermales		Les émergences										
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉	E ₁₀	E ₁₁
Minéraux évaporitiques	Halite	-4,79	-4,88	-4,54	-4,79	-4,77	-4,72	-4,33	-4,04	-4,01	-4,36	-4,33
	Anhydrite	1,88	1,87	1,65	1,85	1,83	1,86	1,76	1,77	1,72	1,74	1,76
	Gypse	2,08	2,06	1,85	2,05	2,02	2,05	1,96	1,96	1,92	1,94	1,96
Minéraux carbonatés	Calcite	2,59	2,58	2,62	2,63	2,6	2,58	2,61	2,61	2,59	2,59	2,62
	Dolomie	4,43	4,4	4,7	4,53	4,51	4,44	4,55	4,51	4,47	4,52	4,52
	Aragonite	2,45	2,43	2,48	2,49	2,45	2,43	2,74	2,64	2,44	2,45	2,48
Anglesite		1,14	1,09	0,67	0,91	0,95	1,06	0,81	0,82	0,85	0,82	0,84
Cerrusite		3,07	3,02	2,86	2,91	2,94	3	2,88	2,88	2,93	2,9	2,92
Pb(OH) ₂		0,25	0,2	-0,15	0,03	0,08	0,15	-0,02	-0,02	0,08	-0,01	0,03
Chalcedony		2,23	2,22	2,13	2,27	2,02	2,2	2,21	2,22	2,2	2,26	2,28
Quartz		2,66	2,65	2,56	2,7	2,63	2,63	2,64	2,65	2,63	2,69	2,71
Chrysotile		0,25	0,18	0,18	0,3	0,26	0,16	0,21	0,19	0,21	0,32	0,34
Sepiolite		3,64	3,59	3,43	3,74	3,6	3,53	3,58	3,59	3,58	3,74	3,8
Talc		8,41	8,34	8,14	8,55	8,73	8,26	8,34	8,34	8,33	8,55	8,62
Melanterite		-5,02	-5,32	-3,34	-5,34	-4,50	-4,34	-4,79	-4,79	-4,94	-4,69	-4,45
Siderite		0,34	0,04	2,2	0,08	0,92	1,06	0,71	0,7	0,56	0,8	1,05

Tableau N°17 : Indice de saturation des minéraux dissous dans les eaux thermales d'Azzaba

Etat des minéraux évaporitiques dans l'eau

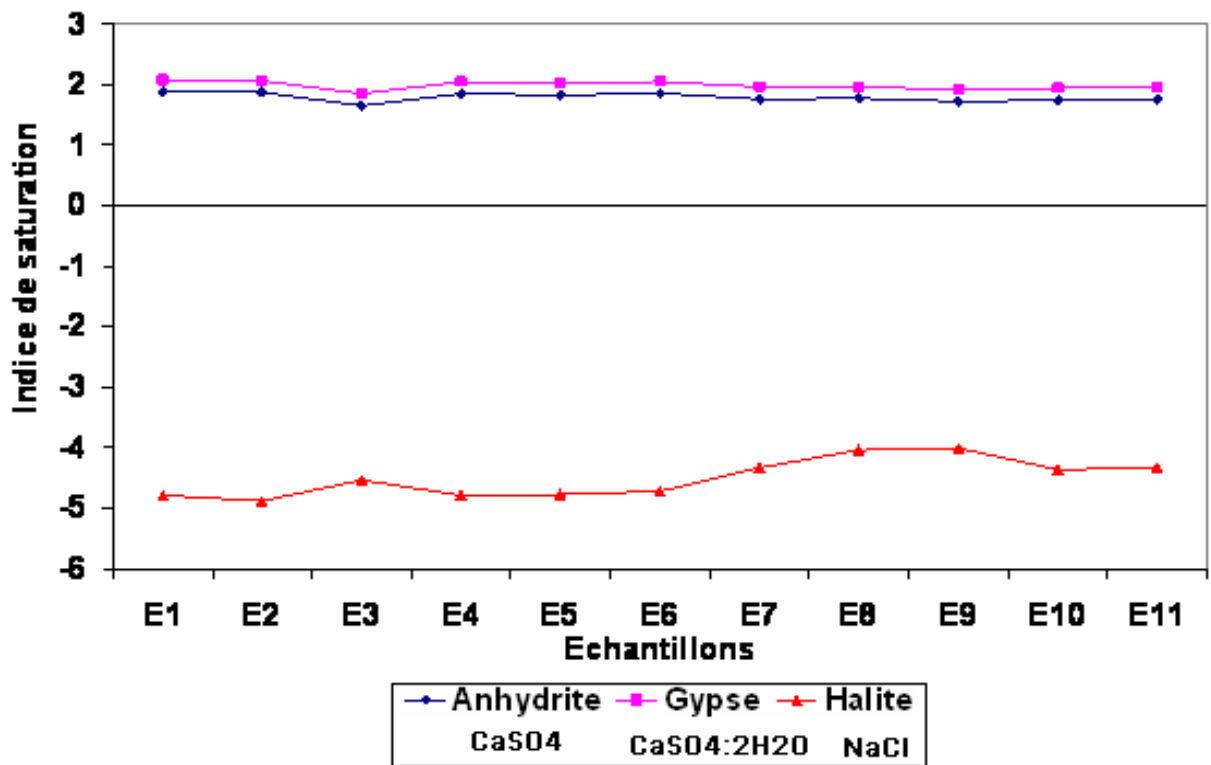


Fig.38

Etat des minéraux carbonatés dans l'eau

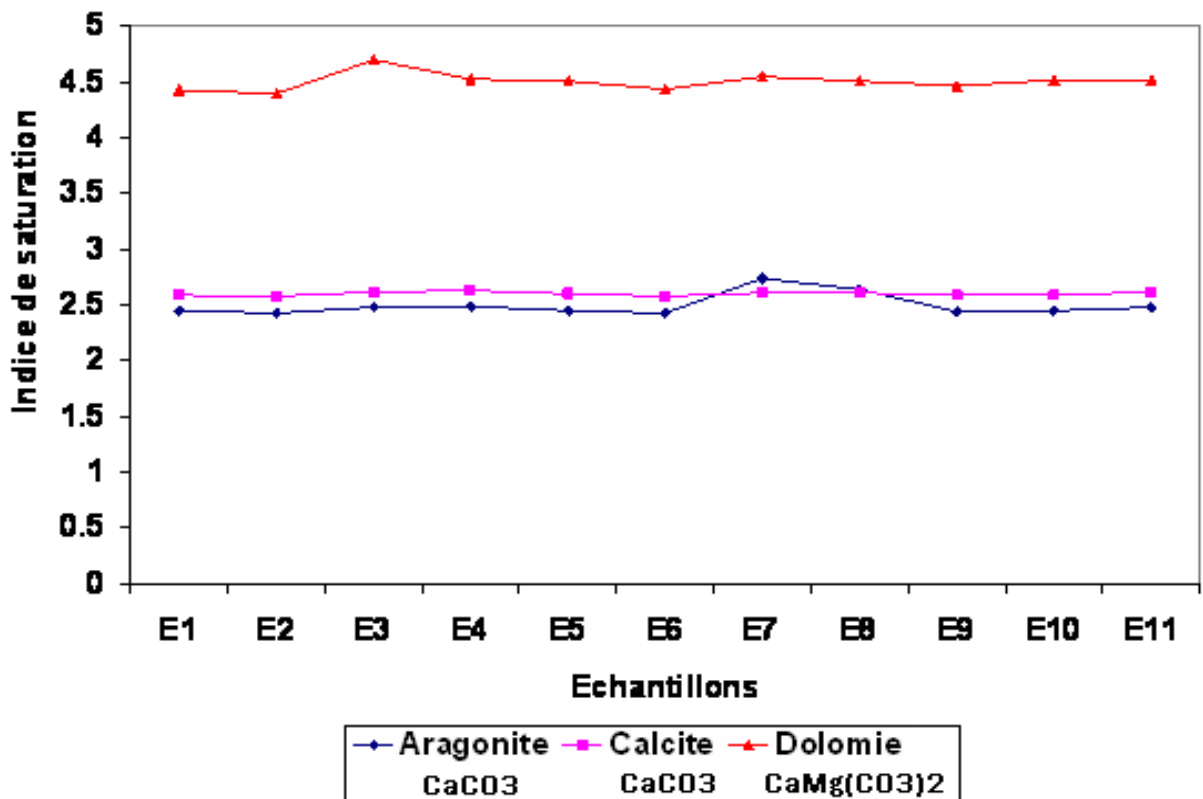


Fig.39

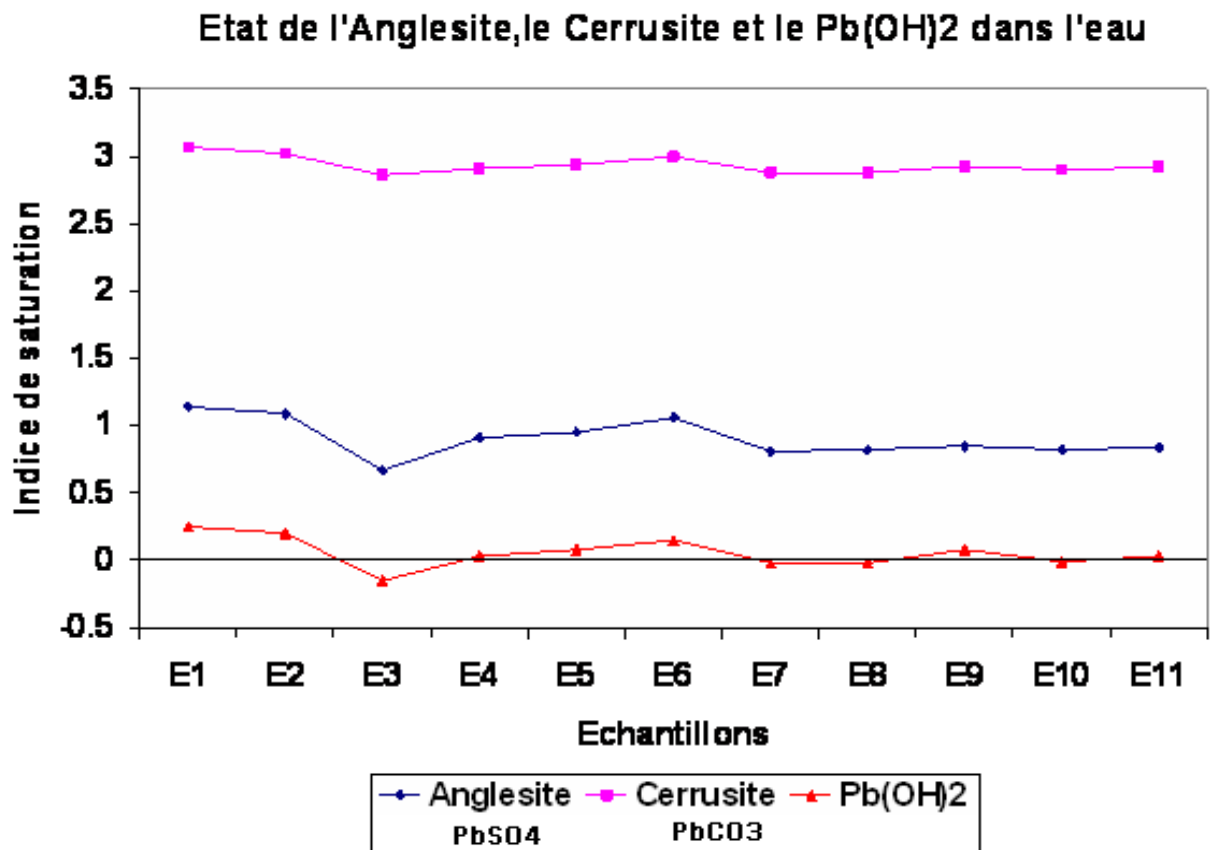


Fig.40

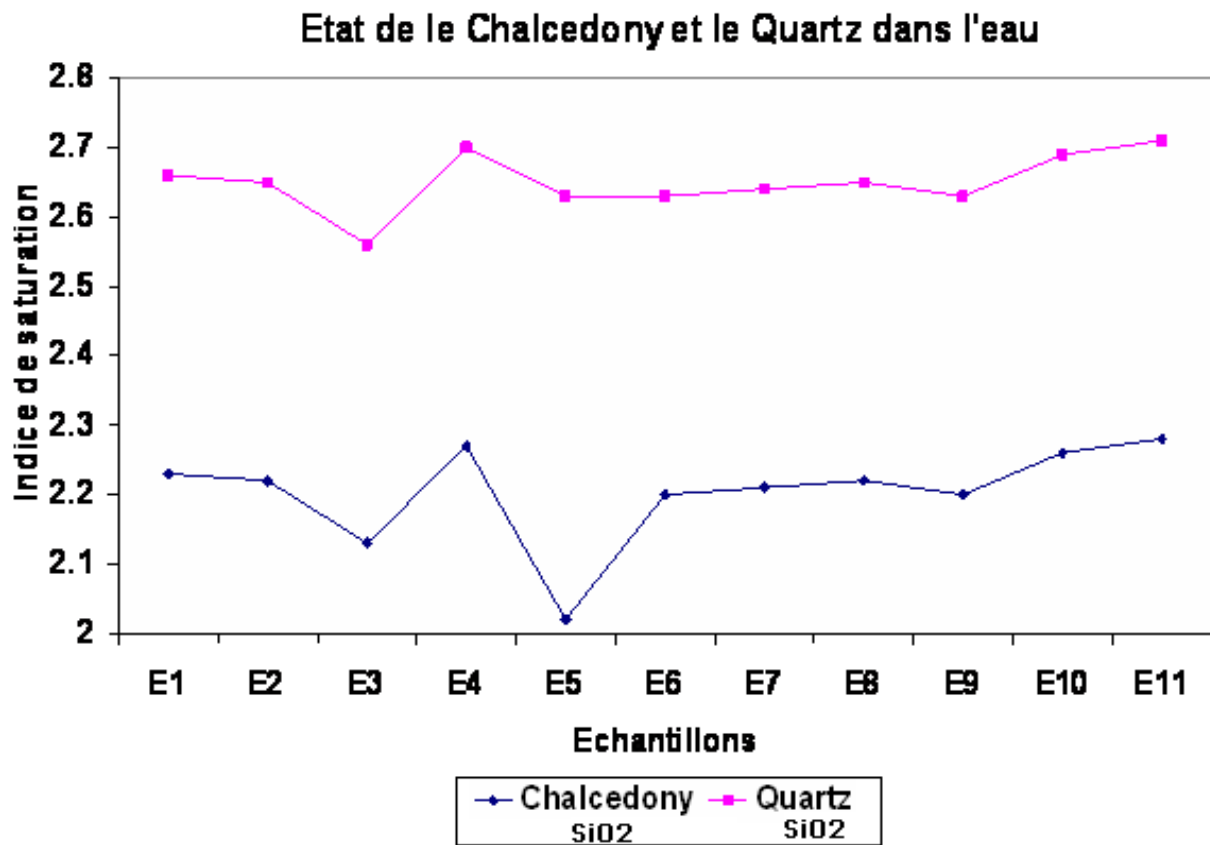


Fig.41

Etat de Chrysotile, le Sepiolite et le Talc dans l'eau

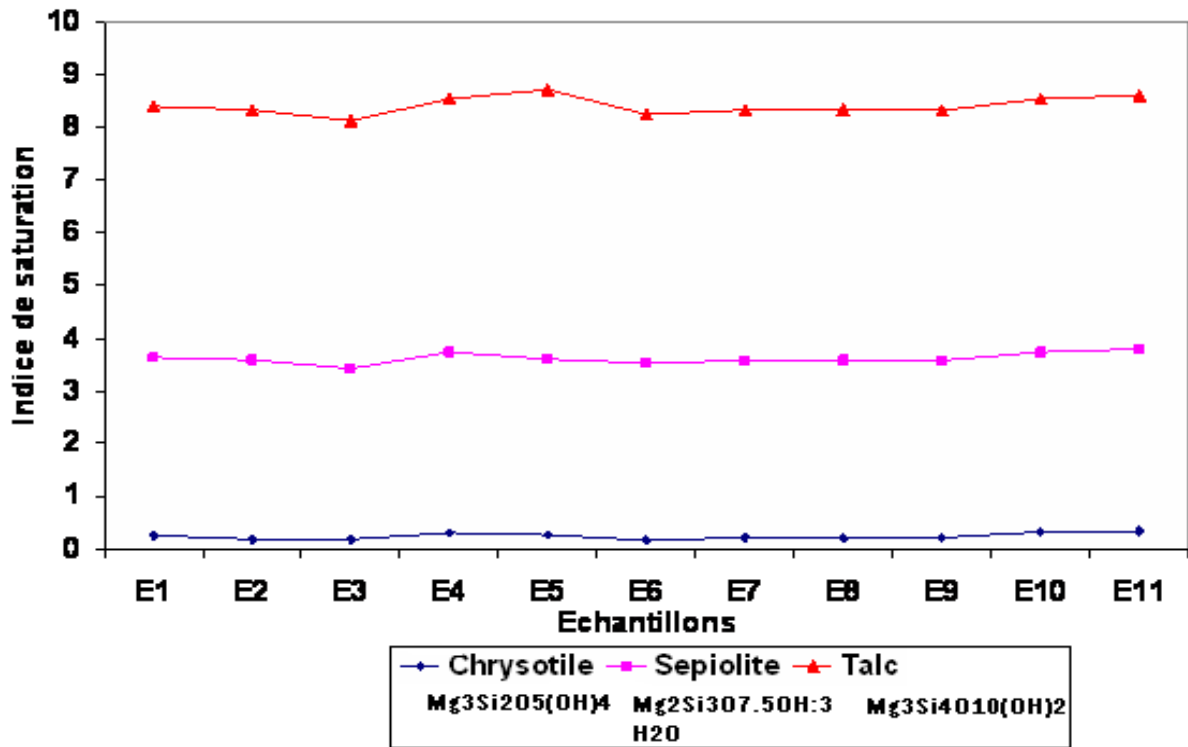


Fig N°42

Etat de Melantherite et le Siderite dans l'eau

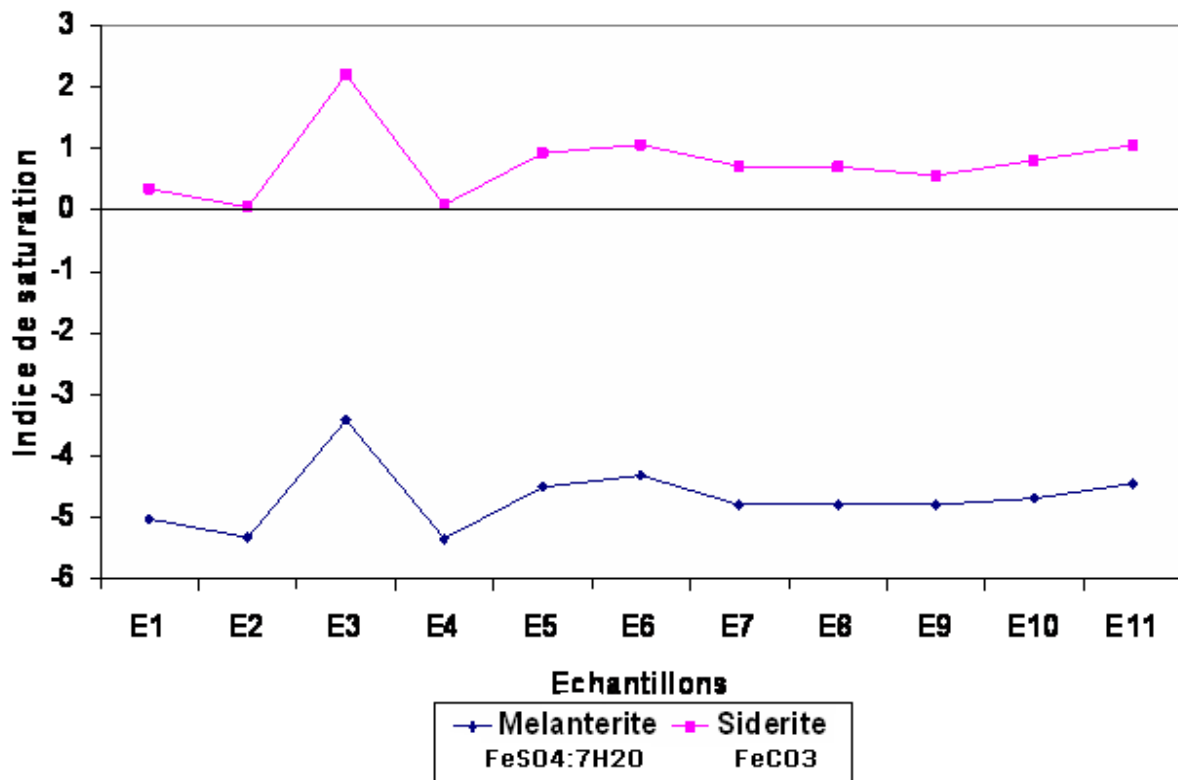


Fig N°43

V- 9. Conclusion:

D'après les résultats des analyses effectuées sur les eaux thermales d'Azzaba et d'après les trois méthodes de classification chimique de ces eaux, on peut conclure que les eaux thermales d'Azzaba ont un seul faciès chimique qui est le Sulfaté Calcique.

Comme il a été escompté dans l'introduction, le but de l'A.C.P étant de regrouper selon les mêmes facteurs, les échantillons présentant des caractères d'origine ou d'évolution similaire.

Pour les variables, l'A.C.P effectuée a pu mettre en évidence d'un côté le faciès chimique caractérisant les analyses effectuées, d'un autre côté, les éléments caractérisant la pollution. Les individus ont été regroupés selon deux nuages de points, le premier présente les eaux thermales de la source de l'Oued Hmimine et le deuxième représente celles de la source d'El Hamma plus l'échantillon 3 qui est de la source thermale l'Oued Hmimine.

L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques, la halite est en sous saturation dans les eaux ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en Sodium (Na) et en Chlorure (Cl).

Le gypse et l'anhydrite sont en sursaturation, ce qui provoque leur sédimentation. Les éléments carbonatés sont en sursaturation dans les eaux, ce qui entraîne leur sédimentation sous forme de dolomie.

VI- 1. Introduction :

L'hydrothérapie est un traitement basé sur une utilisation externe de l'eau, de quelque type que ce soit (de mer, de source, minérale, ou même celle du robinet), sous sa forme liquide, mais aussi gazeuse, et à des températures variables. Cela comprend des bains, des douches, des jets, des compresses, etc.

Souvent les cures d'eau thermales sont effectuées également à domicile, pour compléter les traitements thérapeutiques conduits auprès des stations thermales, toutefois, il faut souligner que, sur la base de l'expérience acquise, l'efficacité thérapeutique des eaux thermales prises auprès des sources est certainement plus élevée pour une série de facteurs. Tout d'abord, l'utilisation de l'eau auprès des sources exclut tout type de détérioration, y compris la dispersion ou la volatilisation d'importants composants chimiques de l'eau.

Enfin, les cures d'eau thermales auprès des thermes ont lieu avec l'assistance d'un personnel médical compétant, qui surveille non seulement les conditions pour la prise optimale des eaux thermales, mais qui fournit aussi des services supplémentaires de soutien à la thérapie thermique, parmi lesquels les prescriptions diététiques et nutritionnelles.

Les cures d'eau minérale, dans différents cas, associées à d'autres traitements thermaux, comme dans le cas de l'hydrothérapie – fangothérapie – balnéothérapie, où la prise des boissons est associée à l'application de boue au niveau hépatique avec une balnéothérapie successive.

VI-2. Historique de la thérapie par les eaux thermominérales :

La plupart des citoyens de l'Empire romain fréquentaient le bain communal tous les jours. En Inde, la purification (physique et spirituelle) par l'eau a toujours fait partie des habitudes quotidiennes. Au Japon, on se rend aux sources d'eau chaude entre amis ou en famille. Dans les pays nordiques, russes ou scandinaves, les bains de vapeur sont utilisés depuis plus de 1 000 ans, tandis que les Amérindiens ont leurs huttes de sudation (sweat lodges).

L'abbé **Sébastien Kneipp** (1821-1897), qui se serait guéri lui-même de la tuberculose, joue un rôle encore plus important dans le développement de la pratique contemporaine grâce à son concept holistique intégré. À son avis, les quatre pierres d'assise d'une bonne santé sont les plantes (médicinales et aromatiques), l'exercice, la nutrition et l'eau, dont les différentes utilisations améliorent les pouvoirs d'autoguérison du corps. Plusieurs établissements des Alpes offrent toujours des cures Kneipp. Aux États-Unis, on doit à un médecin aussi avant-gardiste que farfelu la popularisation de l'hydrothérapie. Il s'agit du Dr **John H. Kellogg** (1852-1943), frère du fabricant des célèbres céréales à déjeuner. Le Dr **Kellogg** a publié une cinquantaine de livres sur ses approches — dont *Rational Hydrotherapy*, en 1903, qui a fait école auprès des naturopathes.

La pratique du thermalisme et de la thalassothérapie connaît une popularité importante en Occident jusqu'à la Deuxième Guerre mondiale, et plusieurs États européens décident de couvrir les frais des cures d'eau, sous certaines conditions. Toutefois, les progrès considérables de la médecine ont occulté peu à peu l'intérêt de l'hydrothérapie. Malgré tout, la forte tradition européenne des cures thermales subsiste.

En Amérique, il n'y a guère de tradition thermale. Les spas et les centres de thalassothérapie sont assez récents, généralement luxueux et mettent plutôt l'accent sur les soins de détente et de beauté. Ce sont plutôt les naturopathes qui appliquent et font connaître les multiples formes de l'hydrothérapie.

VI-3. Les principaux soins et leurs et leurs effets :

VI-3.1. Douches externes :

Les douches externes qui sont encore peu diffusées mais qui représentent un certain bénéfice thérapeutique, représentent une forme de traitement qui peut être pratiqué aussi bien avec l'eau courante qu'avec l'eau thermale, en associant dans ce dernier cas, les avantages de la technique utilisée aux qualités particulières de l'eau. Le jet d'eau qui peut être étendu à toute la surface du corps ou dirigé seulement vers des zones réduites du corps (comme dans le cas des douches filiformes) a non seulement une efficacité directe sur la zone traitée mais génère une action de stimulation générale de l'organisme, qui intéresse de façon particulière l'appareil cardiovasculaire et le système nerveux.

VI-3.2. Irrigations et douches internes :

Les irrigations et les douches internes sont des méthodes thermales qui permettent de mettre en contact l'eau minérale et également les gaz thermaux, avec les muqueuses des cavités ouvertes du corps (muqueuses rectales, vaginales, rhino-pharyngées). L'eau thermale utilisée dans ce but est recueillie dans des récipients prévus à cet effet (appelés irrigateurs) à l'intérieur desquels elle est portée à la température et aux densités demandées pour les différentes applications, avec l'ajout éventuel de médicaments.

VI-3.3. Grottes et étuves chaudes (thérapie en grotte) :

Par le terme "thérapie en grotte", l'on indique les méthodes d'utilisation, dans un but thérapeutique, des vapeurs aqueuses qui se libèrent à l'intérieur des cavités géologiques naturelles ou dans les environnements artificiellement recréés par l'homme. Les cavités utilisables sont classifiées en cavités chaudes ou froides selon la température interne, et seulement les premières ont une utilisation de type thérapeutique : elles se distinguent en grottes chaudes-

humides (c'est-à-dire les grottes par antonomase) et les grottes chaudes-sèches, appelées étuves.

VI-3.4. Inhalations :

L'on entend par inhalation, l'introduction d'eau minérale ou de ses constituants gazeux dans les voies respiratoires au moyen d'appareils spéciaux qui nébulisent l'eau en de minuscules particules. Les cures inhalatrices se distinguent en Inhalations humides et Inhalations sèches, selon si la nébulisation de l'eau thermale est faite avec de la vapeur d'eau ou avec de l'air sous pression. Les principaux types de cures inhalatrices sont : nébulisations, inhalations, aérosols, humages et insufflations.

VI-3.4.1. Nébulisations :

Dans les nébulisations, l'eau thermale est traitée jusqu'à l'obtention d'un brouillard de différente densité, et émise successivement dans des pièces prévues à cet effet où elle est inhalée par plusieurs patients. Les nébulisations sont donc caractérisées par l'utilisation en commun du 'brouillard thérapeutique' dans des pièces prédisposées pour cette utilisation. Comme dans d'autres pratiques inhalatrices, il est possible de prédéterminer les dimensions des particules d'eau suspendues dans l'air ainsi que le niveau d'humidité de la pièce utilisée.

VI-3.4.2. Aérosols :

Les inhalations de type "aérosol" sont caractérisées elles-aussi par la fragmentation des particules d'eau jusqu'à l'obtention d'un diamètre très réduit, inférieur à trois microns. La pratique de l'aérosol est identique à celles des pratiques classiques inhalatrices, et se différencie surtout par le fait que l'inhalation se fait à une température qui correspond à celle de l'eau à la sortie de la source. En dehors des méthodes utilisées pour

obtenir la fragmentation des particules d'eau, l'eau thermale est utilisée dans les mêmes conditions chimiques présentes dans la source.

VI-3.4.3. Humages :

Les "humages" sont caractérisés par l'utilisation de gaz naturels, obtenus des eaux thermales selon des techniques particulières ou qui sont émis par celles-ci de façon spontanée. Pour cette raison les humages sont également appelés "émanations". Les eaux qui présentent le plus d'émanations gazeuses sont les eaux radioactives et plus particulièrement les eaux gazeuses.

VI.3.4.4. insufflations :

Les insufflations constituent un traitement thermal particulier, de type inhalateur, pour le soin des phases initiales de l'insuffisance tubaire de l'oreille moyenne (trompe d'Eustache / tympan / appareil de transmission), dont le cadre pathologique peut dégénérer sous forme d'otite chronique et provoquer la surdité. La pathologie traitée sous forme élective est constituée des otites moyennes avec dysfonctionnement tubaire. Les gaz thermaux sont introduits par voie nasale au moyen du compresseur spécial (manœuvre de Politzer), pour rétablir une ventilation adaptée de l'oreille moyenne. Ces types d'insufflations sont appelés "tubo-tympaniques".

VI-3.5. Balnéothérapie :

Les eaux thermales possèdent des propriétés de constitution et d'action qui rendent la balnéothérapie, c'est-à-dire la pratique de l'immersion totale ou partielle du corps dans des eaux thermales, l'une des principales thérapies thermales pratiquées. Dans la balnéothérapie, les eaux thermales exercent l'action curative grâce à leur structure spéciale, à travers des stimulations déterminées qui sont plus précisément : des actions caloriques, des sollicitations mécaniques, des actions physico-chimiques et chimiques. Pour la composante

calorique, il faut dire que l'eau, qui possède la plus grande chaleur spécifique, un faible coefficient de conductibilité et la possibilité d'être utilisée en masse consistante, possède une forte capacité de rétention de la chaleur.

VI-3.6. Fangothérapie :

La boue thermale est une pâte particulière constituée d'une composante solide argileuse, d'une composante liquide (eau thermale de différente composition) et d'une composante organique qui se forme surtout pendant le processus de maturation. Avant les années 30, l'argile était considérée une substance amorphe et colloïdale mais les méthodes modernes minéralogiques ont permis de mettre en évidence ses plus importants constituants, les minéraux argileux.

VI-3.7. Bains de sable (psammatothérapie) :

Les bains de sable représentent un type particulier de traitement thermal, où le moyen utilisé est le sable marin pour sa composante saline particulière. Les sels et les composants organiques présents dans le sable qui peuvent également varier de façon significative, proviennent d'un processus d'autofiltration qui dérive de l'action du mouvement des vagues. La psammatothérapie constitue souvent la phase d'un processus thérapeutique plus complexe, où elle est associée à la balnéothérapie en eau de mer et à d'autres traitements thermaux spécifiques.

A côté de ces soins ils existent encore des autres traitements comme les différentes techniques de massage (massothérapie et pressothérapie) et le drainage hydraulique.

VI-4. Les propriétés thérapeutiques :

L'eau possède deux caractéristiques mises à profit dans les exercices de rééducation : la résistance uniforme que sa masse oppose au mouvement et la relative apesanteur d'un corps qui y est plongé. Elle possède aussi quatre autres propriétés très utiles en hydrothérapie :

- elle maintient sa température;
- elle communique cette température beaucoup mieux que l'air;
- elle transporte des minéraux ou des essences végétales en suspension;
- elle se transforme en jets, en bulles, en courants, etc.

Les traitements ont très souvent recours à l'eau chaude et à la vapeur, car elles permettent d'augmenter la température du corps.

VI-4.1. L'eau au secours de la peau :

Les bains de vapeur ont également pour effet d'ouvrir les pores de la peau et d'ainsi évacuer une partie des déchets de l'organisme. Parmi ceux-ci : les produits chimiques absorbés par l'air, l'eau ou les aliments, de même que les résidus toxiques de certains processus métaboliques. Cette détoxification se traduit par un bien-être général. Elle est également utile dans le traitement de divers problèmes cutanés.

VI-4.2. Rhumatologie, séquelle de traumatisme ostéo-articulaires /

neurologie :

Contribuer au traitement des maux de dos (douleurs lombaires). Les auteurs d'une méta-analyse publiée en 2006 se sont penchés sur cinq essais cliniques portant sur les effets de la balnéothérapie et des traitements en spa contre les douleurs lombaires. Les résultats de ces études, incluant au total 454 patients, démontrent que les deux types de thérapies induisent des diminutions de la douleur.

Un essai clinique publié en 2005 a comparé les effets de deux types de

balnéothérapie, soit avec une eau minérale riche en soufre, soit avec une eau régulière, auprès de 60 sujets souffrant de douleurs lombaires.

VI – 4.3. Maladie de l'appareil urinaire, maladies métabolique :

La cure thermale est aussi indiquée en cas de troubles urinaires, lithiase urinaire, prostatites, cystite récidivante et douleurs pelvipéritonéales. La cure de boisson est le traitement thermal principal qui a pour objectif l'élimination des résidus de calcul et le rééquilibrage de l'appareil urinaire. Elle prescrit un litre et demi d'eau riche en Magnésium et en Calcium, réduit significativement le risque de lithiase et la douche en position verticale inversée calme la douleur.

VI – 4.4. Voies respiratoires :

Les cures thermales sont indiquées pour soigner les affections respiratoires chroniques tel que l'asthme, la trachéite, la bronchite, la sinusite, l'otite, la rhino-pharyngite, l'angine, la laryngite ou encore la rhinite.

L'objectif principal est d'amener l'eau et/ou le gaz thermal au contact des tissus qui tapissent les voies respiratoires par les différentes techniques d'aérosolthérapie afin de nettoyer (détersion), désencombrer et réguler les voies respiratoires. Ces différents soins stimulent les défenses locales et on obtient une cicatrisation ou une diminution de la fréquence de crises.

VI – 4.5. Phlébologie :

Les douches au jet améliorent la circulation veino-lymphatique, la régule (effet phlébo-dynamique) et, à forte pression, provoque une décontraction musculaire et un drainage tissulaire (élimination l'œdème).

VI-4.6. Irritation des intestins (lavage du colo et cure de boisson) :

Dans les maladies digestives, la cure thermique est indiquée en cas d'irritation du colon, de dégénérescence du tissu intestinal, colopathie. Pour endiguer ces maux, sont pratiquées l'entéroclise (lavage du colon) et la cure de boisson.

VI – 4.7. Maladies de l'appareil digestif :

La cure de boisson est le traitement thermal principal des colites, des troubles de la digestion ou encore des troubles fonctionnels hépatiques. Elle est associée aux bains ou aux douches qui ont un effet régulateur et laxatif de l'appareil digestif et à une éducation nutritionnelle adaptée.

VI – 4.8. Obésité et Diabète : éducation nutritionnelle

Dans les maladies métaboliques, la cure thermique est indiquée pour soigner les problèmes d'obésité et de diabète grâce à un programme d'éducation nutritionnelle sur mesure.

VI – 4.9. Douche thérapeutique contre l'anxiété :

Dans les maladies psychiatriques, la cure est indiquée en cas des dépressions, de troubles du sommeil et de servage médicamenteux. Les douches thérapeutiques sont pratiquées par un psychiatre.

VI – 4.10. Maladies neurologiques :

La cure est utilisée en cas de traumatisme crânien, maladie de Parkinson, sclérose en plaques, d'hémiplégie consécutive à un accident vasculaire cérébral ou lors de séquelles d'encéphalite, de névrite ou d'encéphalite chronique.

VI – 4.11. Maladies cardio -artérielles :

Les bains et les douches, associées à du gaz thermal, augmentent le calibre des vaisseaux sanguins, améliorent et régulent la circulation sanguine (vaso-

réflexe, vasodilatation). Le couloir de marche permet d'effectuer une rééducation active des membres inférieurs.

VI – 4.12. Affections bucco – linguales :

La douche des gencives nettoie les tissus de la bouche et le bain local calme la douleur.

VI – 4.13. Gynécologie :

Les bains et techniques spécifiques (irrigation, columnisation) associés à l'eau minérale permettent de lutter contre les infections et apaisent les douleurs pelviennes (douleurs post – opératoires, règles douloureuses, ...).

VI – 4.14. Troubles du développement de l'enfant :

Les différentes techniques thermales utilisées calment la douleur, stimulent et sont proposées dans le cadre d'une prise en charge globale de l'enfant (psychologique et éducation sanitaire).

VI-5. Les minéralisations requises pour les affections :

VI – 5.1. Eaux bicarbonatées : (des eaux de basse minéralisation, alcalines et froides)

Ce sont des eaux qui proviennent des roches calcaires et contiennent des bicarbonates. La majorité des bicarbonates sont calciques, et le calcium donne à ces eaux un goût agréable. Elles sont utilisées en générales pour les thérapies hydroponiques; les plus concentrées sont utilisées pour les bains, la douche, l'irrigation vaginale et rectale.

Leur utilisation se fait par ingestion, en agissant sur le métabolisme de sorte qu'elles alcalisent le PH gastrique si elles sont prises à jeun, en diminuant l'acidité et en aidant le processus digestif. Elles stimulent aussi la sécrétion pancréatique et ont des fonctions diurétiques.

Ce type d'eau peut s'associer à la composition d'un autre type de minéraux qui vont varier leurs actions. Celles qui sont les plus communes sont :

- **Bicarbonatées sodiques** : Indiquées dans les affections gastriques comme l'hypermotilité intestinale, les ulcères duodénaux, les diarrhées et affections hépatiques et rénales.
- **Bicarbonatées calciques** : elles améliorent la digestion.
- **Bicarbonatées mixtes** : elles améliorent la digestion.
- **Bicarbonatées sulfatées** : indiquées dans des empoisonnements hépatiques et en cas de constipation.
- **Bicarbonatées chlorurées** : indiquées dans les affections rhumatisantes.

Leur application peut se faire par voie orale, en provoquant de la stimulation gastrique et du péristaltisme intestinal, ou par voie externe, indiquées dans des cas d'effort par son important effet sédatif, diminution de la hypertonie musculaire, augmentation du flux sanguin et comme effet analgésique et anti-inflammatoire.

Leur application se fait au moyen de douches, de jets, bains et piscine. Indépendamment des indications précédentes, cette application va augmenter les défenses, la peau et les muqueuses. Elles sont aussi utilisées par le biais d'inhalations et d'étuves.

Ce type d'eau est stimulant pour les fonctions organiques, endocriniennes et métaboliques.

VI – 5.2. Eaux Ferrugineuses :

Eau qui contient une forte teneur en fer, bien qu'elles soient accompagnées généralement de bicarbonates ou de sulfates.

Elles sont indiquées dans des cas d'anémies anémie sidéropénique et d'autres types d'anémies, puisque ce type d'eau est considéré comme reconstituant. Les eaux ferrugineuses sont indiquées en cas d'obésité, de

rhumatismes, d'affections hépatiques, biliaires et pour certaines affections dermatologiques, ainsi que pour des bouleversements du développement infantile.

VI – 5.3. Eaux Sulfureuses :

Elles contiennent du soufre sous différentes formes. Celles qui contiennent de l'hydrogène sulfureux sont caractérisées par une odeur qui vous fera penser à l'œuf pourri.

Elles sont des eaux hyperthermales, dont le PH est de 6.5 et la minéralisation moyenne sulfatée- sulfureuse.

Elles se trouvent dans des sols boueux et sont indiquées pour les affections des articulations, comme processus pour lutter contre les rhumatisants et postopératoires l'appareil locomoteur, anémies, neurologies, dermatoses prurigineuses, inflammations allergiques et affections respiratoires comme l'asthme.

Les eaux sulfureuses sont contre-indiquées dans des cas d'hypertension et hémoptysie.

VI – 5.4. Eaux Sulfatées :

Ce sont des eaux riches en soufre. Ce type d'eaux se caractérise par sa température et minéralisation qui sont variables. Elles peuvent être classées comme : Sodiques et magnésiques : elles ont une importante action laxative.

Elles sont également indiquées pour lutter contre les affections dermatologiques, prurits et même dans quelques cas d'empoisonnement médicamenteux ou alimentaires.

- Sulfatées calciques :

Elles sont indiquées dans des affections du rein et dans certaines maladies métaboliques.

- **Mixtes (calcique et magnésienne) :**

Elles sont aussi indiquées pour le traitement des eczémas, des séquelles et cicatrices des brûlures, comme elles sont indiquées pour les affections veineuses.

VI – 5.5. Eaux Radioactives :(Eaux à haute teneur en gaz radon, un gaz radioactif d'origine naturelle).

Ce type d'eaux est utilisé en thermalisme et n'a aucun effet négatif. Au contraire, elles sont indiquées pour les affections du système neurovégétatif, endocrinien et pour modifications dans le système auto-immune, ainsi que les affections respiratoires chroniques, rhumatologiques et dermiques.

Les soins se font par des bains ou des inhalations. Ces eaux sont particulièrement indiquées pour les traitements anti-effort, dépressions et modifications du système nerveux, le radon ayant des caractéristiques sédatives et analgésiques.

VI – 5.6. Eaux Sulfurées :

Eau dont la composition où prédomine le soufre, ce qui donne un parfum caractéristique des œufs putréfiés.

Son administration est encore effectuée au moyen d'ingestion mais d'autres types d'applications sont également possibles. Dans leur composition, elles peuvent être accompagnées de sodium ou de calcium.

Elles sont indiquées principalement pour des processus rhumatisants, dermatologiques comme eczémas, kératose, psoriasis ou prurits et respiratoires chroniques, comme la laryngite, rhinite, bronchite, et l'asthme.

Elles sont utilisées en postopératoire pour l'appareil locomoteur et les traumatismes. Elles ont aussi un effet sur les affections hépatiques.

VI-5.7.Eaux Carboniques

Elles contiennent du bicarbonate sous différentes formes. Elles sont surtout des bicarbonates-calciques. Le calcium apporte à ces eaux un goût agréable.

Elles s'utilisent presque uniquement sous forme de boisson, mais aussi pour la balnéothérapie, les douches, l'irrigation vaginale et rectale. Pour les bains thermaux elles rééquilibrent l'appareil sanguin.

VI-6. Crénothérapie des sources thermales de secteur d'étude :

Selon les caractéristiques précédentes des eaux thermominérales, on peut donner les spécificités curatives de chaque source thermominérale :

La station thermale de l'Oued Himmimine est très fréquentée par les habitants de la région pendant toute l'année. Les principales affections qui y sont traitées sont : le rhumatisme, la goutte, les névralgies et les affections des organes génito- urinaires. Par leur élément, le Sulfate de Calcium, elles agissent sur le rein qu'elles décongestionnent et possèdent également une action diurétique considérable.

Les eaux du Hammam d'El Hamma semblent avoir une efficacité spéciale contre les éruptions syphilitiques. Elles servent également à l'irrigation. Le débit capté est de 2,25l/s. Les eaux sont riches en Strontium (10,71mg/l) et en Fluor (2,80mg/l).

Selon le docteur **A.Belaitar** (Médecin généraliste spécialisé en Hydrologie et Climatologie médicales à la complexe thermale d'El Challala, Hammam Debegh) les deux sources citées ont la même minéralisation principale : **Sulfatées –Calciques** et la même minéralisation secondaire : **Bicarbonatées –Magnésiennes**. Elles seront dites eaux thermales car la température d'émergences au griffon est inférieure à 50 °C.

Elles seront dites eaux légèrement alcalines car le PH est supérieur à 6.5 et eaux dures car les concentrations du Magnésium et du Calcium dépassent le

500mg/l donc se sont des eaux à pouvoir antimoissant (vis-à-vis du savon) légèrement élève. Elles sont richement ionisées et les indications médicales sont les suivantes :

- certaines affections digestives et de l'appareil urinaire: colopathie fonctionnelle, microlithiase rénale, accès de migraineetc.
- certaines affections du trouble de la croissance chez l'enfant.
- affections rhumatismales (en dehors des poussées) quelque soit la localisation.
- sequelles de traumatologies.
- Certaines affections de la sphère ORL et de l'appareil bronchopulmonaire.
- certaines affections dermatologiques.

Les principaux soins sont :

- soit par ingestion interne dite cure de boisson.
- soit application externe: différentes techniques thermales: jet/douche au jet/douche massage/massage sous l'eau....etc.

Le tout sera module suivant 03 paramètres:

- température ;
- pression ;
- temps.

Nom du Hammam	Faciès chimique	Température (°C)	Affections selon les propriétaires	Affections selon le chimisme des eaux
El Hamma	Sulfaté Calcique	42 - 44	-Dermatologie -rhumatisme	<ul style="list-style-type: none"> - affections du rein ; - maladies métaboliques ; - eczéma ; - séquelles ; - cicatrices de brûlure ; -rhumatisme ; -inflammation en gynécologie ; - affections veineuses.
Oued Hmimine	Sulfaté Calcique	41 - 45		

Tableau N°18 : Spécifié curatives des eaux thermales d’Azzaba.

CONCLUSION GENERALE

L'étude du thermalisme dans la région d'Azzaba, nous a permis de contribuer à la connaissance des sources hydrothermales (manifestation, relation avec la tectonique, chimisme des eaux et par conséquent les effets thérapeutiques, etc....).

L'étude géologique et structurale de notre secteur nous a permis de constater que :

- L'eau thermale remonte d'une profondeur assez grande à travers les zones faibles (failles). Ces aquifères sont alimentés par les grands massifs calcaires ;
- Les sources thermales émergent à faveur des grands accidents tectoniques comme le montre la carte de la néotectonique, sur la bande thermique d'Annaba et la bande thermique de Constantine.

L'étude hydroclimatologique a fait l'objet d'une description et d'une analyse hydrologique des divers facteurs climatiques (températures et précipitations) pour les stations : Azzaba (1987 – 2007) et Skikda (1987 – 2007) qui ont révélé les résultats suivants :

- Un climat subtropical méditerranéen humide avec un hiver froid et humide et avec un été chaud et sec ;
- Une répartition irrégulière des précipitations et des températures.

Donc ces paramètres météorologiques et hydrologiques influent sur l'aspect hydrodynamique des aquifères d'une façon remarquable.

L'étude hydrogéologique a permis de constater que les eaux thermales de la région d'Azzaba remontent à partir des formations du Jurassique en profondeur passant par les formations du Crétacé (dolomie et calcaire), pour atteindre les formations du Quaternaire en surface.

L'étude hydrochimique renseigne sur l'origine de la roche magasin et le cheminement des eaux chaudes. Le faciès chimique dominant pour les eaux thermales de la région d'Azzaba est le sulfaté calcique.

- Les teneurs en sulfates sont dues aux formations argilo – gréseuses.
- Les fortes teneurs en calcium sont dues aux formations carbonatées (calcaire).

Les eaux thermales de la région d'Azzaba sont tous acides et ont des conductivités moyennement élevées à importantes.

La minéralisation des eaux thermales est en générale élevée :

- la forte minéralisation donne le faciès sulfatés;
- les minéralisations élevées sont accompagnées par une température élevée.

L'étude de l'indice d'échange de base (i.e.b) a permis de déduire que tous les points des eaux thermales de la région d'Azzaba ont une origine sédimentaire.

Le type des eaux thermales de notre secteur d'étude dépendant de la température sont Orthothermales pour les eaux dont la température est comprise entre 37°C et 45°C et Hyperthermales pour les eaux dont la température est supérieur à 45°C.

L'analyse à composante principale (A.C.P) effectuée sur les divers échantillons analysés a pu mettre en évidence les éléments caractérisant le faciès chimique et a fait ressortir les éléments responsables de la pollution.

La projection des individus nous a montré que les individus ont été regroupés de façon à caractériser les deux différentes sources, donc ces individus ont été regroupés selon leur origine similaire.

L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques la halite est en sous saturation dans les eaux, ce qui provoque sa dissolution et l'enrichissement des eaux en sodium et en chlorure.

Le gypse et l'anhydrite sont en sursaturation, ce qui provoque leur sédimentation.

Les éléments carbonatés sont en sursaturation dans les eaux, ce qui entraîne leur sédimentation sous forme de dolomie.

L'étude de la spécificité curative des eaux thermales des sources d'El Hamma et de Hammam Es-Salihine montre qu'elles sont bénéfiques pour les maladies dermatologiques et Rhumatismales.

Enfin on peut dire que le domaine de thermalisme représente un investissement important et nécessaire pour l'activation de notre secteur de tourisme en Algérie, le développement du thermalisme devrait être porté par une stratégie englobant les facteurs suivants :

- 1- établissement d'un fichier national informatisé des eaux thermales, minérales et thermominérales, comprenant toutes les informations nécessaires à leurs connaissances ;
- 2- rentabilisation par une modernisation des infrastructures existantes y compris les voies d'accès aux sites, tout en protégeant l'environnement et en réhabilitant les vestiges des anciens thermes ;
- 3- exploitation rationnelle des ressources thermominérales en plus l'hydrothérapie par une complémentarité intégrant les applications multiples qu'elles génèrent, telles l'utilisation des eaux pour la boisson et l'optimisation des ressources géothermiques : chauffage, électricité, agriculture ;
- 4- création de la spécialité de médecine thermique.

BIBLIOGRAPHIE

- ◆ **AHMED HAZILA.D, 2008.** Caractéristiques des eaux thermales de la région d'Azzaba. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Institut des Sciences des la terre. Université d'Annaba*
- ◆ **ALIDRA .A, ALIOUA. S et CHAOUIS, 2002.** Contribution à l'étude géologique, géophysique et hydrogéologique de la région Bouaiza- Tebeiga. *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la Terre- Université d'Annaba.*
- ◆ **BADI.H, RIHIA.F, 2004.** Le thermalisme de l'extrême Est Algérien : Guelma, Souk Ahras, Skikda et Taref. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Faculté des Sciences de la Terre et de l'Aménagement du Territoire. Université de Constantine.*
- ◆ **BOUZAOUT.A et DJEKHARS.S, 2006.** Approche à l'étude hydrogéologique dans la région de Boumaiza (Azzaba), qualité et diagnostic des eaux. *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la Terre. Université d'Annaba.*
- ◆ **BOUZIANE.S et MEBARKI.L, 2004.** Etude hydrogéologique de la plaine d'Azzaba, wllaya de Skikda. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Institut des Sciences de la Terre. Université d'Annaba.*
- ◆ **DELEAU.P, 1938.** Etude géologique des régions Jemmapes- Hammam Meskhoutine et du Col des Oliviers (Tome I). *Publication du service de la carte géologique de l'Algérie.*
- ◆ **DIB.H, 1985.** Le thermalisme de l'Est Algérien. *Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, 281p. USTHB, Alger.*
- ◆ **DIB.H, 2008.** Guide pratique des sources thermales de l'Est Algérien. *Publication du service Géologique National.*
- ◆ **DUROZOY.G, 1958.** Les ressources en eau des massifs calcaires Crétacés de la région de Constantine. *Faculté des Sciences, Université d'Alger.*
- ◆ **GRABSIA.N, 2000.** Qualité et potabilité des eaux de la région d'Azzaba. *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la terre. Université d'Annaba.*

- ◆ **KENNOUZ.N, 1999.** Contamination des eaux superficielles et souterraines de la région d'Azzaba par le Mercure (Traitement statistique des données hydrochimique ACP). *Mémoire de fin d'étude. Institut des Sciences de la terre. Université d'Annaba.*
- ◆ **ORGM ex SONAREM.** Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie (2^{ème} série) stratigraphie- description régionale. *ORGM de Tebessa*
- ◆ **ORGM ex SONAREM, 1990- 01992.** Rapport final sur l'étude hydrogéologique du gisement de Mercure de Fendek. *ORGM de Tebessa.*
- ◆ **ORGM et SONAREM, 1985.** Rapport sur les résultats des travaux de recherche (Mra- Sma et Ismail). *ORGM de Tebessa.*
- ◆ **RADI.H et RIHIA.D, 2006.** Qualité et potabilité des eaux de la région d'Azzaba. Constat de la pollution mercurielle après l'arrêt de l'usine de Mercure. *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Institut des Sciences de la terre. Université d'Annaba.*
- ◆ **SCHOELLER.H, 1976.** Calcul de la température de l'eau des sources thermominérales à leur origine profonde. *C R Acad. Sc. Paris, t 283, Série D 753.*
- ◆ **STROJEXPORT. 1983.** Rapport de l'étude géophysique dans la région d'Azzaba. *ANRH de Constantine.*
- ◆ **VINCENT VALLES.** Cours sur les eaux thermales.

CARTES CONSULTEES :

- ◆ Carte topographique au 1/50 000 d'Azzaba.
- ◆ Carte topographique au 1/25 000 d'Azzaba.

