

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE CONSTANTINE 1

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE

ET DE L'AMEGAGEMENT DU TERRITOIRE

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

N° d'ordre : 110/Mag/2014

Série : 01/GEO/2014

MEMOIRE

Présentée pour l'obtenir le diplôme de

Magister en Géologie

OPTION : HYDROGEOLOGIE

Présentée par

BOULAOUIDAT HAMZA

Thème :

CARACTERISATION, STRUCTURE ET EVOLUTION DE

L'AQUIFERE CARBONATE DU BOUMERZOUG

(CONSTANTINE)

Soutenue le :

Devant le jury composé de :

DIB HENIA	M.C.	Université de Constantine1.	Présidente
CHABOUR NABIL	M.C.	Université de Constantine1.	Rapporteur
MENANI REDHA	Pr.	Université de Batna.	Examineur
BENAISSA ABDELKADER	Pr.	Université de Constantine1.	Examineur

2014

Dédicaces

Je dédie principalement ce modeste travail à :

Mes parents qui sont toujours les premières causes de tout mes succès, avec leurs diverses aides tout au long de mes études.

A mes frères.

À tout le reste de ma famille pour leurs précieux conseils.

À tous mes amis de « hydrogéologie ».

BOULAOUIDAT HAMZA

R E M E R C I E M E N T S

Au terme de ce travail je tiens à remercier ceux qui m'ont aidé à le réaliser, et qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Ma profonde gratitude s'adresse avant tout au Dr. N.CHABOUR mon encadreur, qui a accepté de diriger mon travail et m'a accordé tout son attention et sa patience pour l'accomplir.

Au Dr. H.DIB, de l'université de Constantine, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

Au Pr. R.MENANI, de l'université de Batna et au Pr. A. BENAÏSSA de l'université de Constantine, qui ont examiné ce travail et ont accepté de faire partie du jury.

Mes vifs remerciements s'adressent au corps des Enseignants pour le soutien qu'ils m'ont apporté lors de la préparation de ce mémoire, et pour les conseils avisés qu'ils ont su me donner tout au long de ma post graduation , notamment le Dr. S. GHEBOULI ; Pr. R.MARMI; Dr GUERIREM.

Mes vifs remerciements aux enseignants du département des sciences de la terre de l'université de Constantine.

Par ailleurs, j'exprime ma gratitude aux personnels de l'administration de la DHW de Constantine, de l'A.N.R.H et de SEACO, surtout les personnels qui travaillent à la station de pompage de Boumezoug.

Merci à ma famille et à tous mes proches pour leur patience et soutien de tous les jours, particulièrement pour mes chers parents.

A mes chers amis.

A mes collègues et camarades de promotion de post-graduation, qui ont su m'accorder une partie de leur temps précieux lors de la préparation de ce mémoire.

A tous ceux que je n'ai pas pu citer, qu'ils m'accordent toute leur indulgence.

Introduction générale

Chapitre I Géographique

I.1. Situation géographique.....	13
I.2 Géomorphologie	14
I.3 Climat et Végétation.....	14
I.3.1 Le Climat	14
I.3.2 La Végétation	14
I.4. Réseaux Hydrographique.....	14
I.5.Economie et l'Industrie	15

Chapitre II Géologie

II. Introduction.....	18
II.1. Géologie régionale.....	18
II.1.1. Domaine interne.....	18
II.1.1.1. Le Socle Kabyle.....	18
II.1.1.2. La chaîne calcaire Kabyle.....	18
II.1.2. Domaine médium (sillon des flyschs).....	18
II.1.2.1. Les flysch maurétanien et massylien.....	18
II.1.2.2. Le flysch numidien.....	19
II.1.3. Domaine externe.....	19
II.1.3.1. Les séries telliennes	19
II.1.3.1.1. Une série ultra-tellienne.....	19
II.1.3.1.2. Une série tellienne sensu-structo.....	19
II.1.3.1.3. La nappe péni-tellienne.....	19
II.1.3.2. Les série de l'avant pays allochtone.....	19
II.1.3.2.1. L'avant pays allochtone.....	20
II.1.3.2.2. L'avant pays autochtone.....	20
II.2.Géologie locale.....	21

II.2.1. Description lithostratigraphique.....	21
II.2.1.1. Formations peu ou pas tectonisées.....	21
A. Quaternaire.....	21
B. Mio-Pliocène.....	21
II.2.1.2. Formations tectonisées	22
Les flyschs.....	22
La nappe tellienne.....	22
La nappe ultra-tellienne.....	22
La nappe Tellienne S.S.....	22
La nappe néritique constantinoise.....	23
II.2.1.3. Trias exotique.....	23
II.2.2. Description des unités structurales.....	27
II.3. Analyse structurale.....	28
II.3.1. Les phases tectoniques	28
II.3.2. Aspect tectonique.....	30
A. Tectonique souple.....	30
B. Tectonique cassante.....	30
II.4. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques.....	31
II.4.1. Formations non favorables au développement d'aquifères.....	31
II.4.2. Formations favorables au développement d'aquifères.....	31
Formations favorables au développement d'aquifères poreux.....	32
Formations favorables au développement d'aquifères karstiques.....	32
II.5. Conclusion.....	36
Chapitre III Hydro climatologie	
III. Introduction	38
III.1. Les caractéristiques climatiques.....	38

III.1.1. Le Vent.....	40
III.1.2. La Température	40
III.1.3. Les précipitations.....	42
III.1.3.1. Distribution annuelle des précipitations.....	42
III.1.3.2. Distribution mensuelle et saisonnière des précipitations.....	44
Variation mensuelle.....	44
Variation saisonnière.....	45
III.2. Relation température-précipitation	45
III.2.1. Le Diagramme ombro-thermique de Goussen et Bagnouls.....	45
III.2.2. Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte).....	46
III.2.3. Climagramme d'Emberger.....	48
III.3. Le calcul de l'évapotranspiration	50
III.3.1. Le calcul de l'évapotranspiration réelle-ETR.....	50
III.3.2. Le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	52
III.4. Déficit et bilan hydrique selon Thornthwaite.....	53
III.5. Estimation du ruissellement et de l'infiltration.....	56
III.6. Conclusion.....	57

Chapitre IV hydrogéologique

IV. 1. Introduction.....	60
IV. 2. Description des aquifères.....	60
IV. 2.1. L'aquifère poreux.....	60
IV. 2.1. 1. Formation du Mio-pliocène à moyenne et faible ressource.....	61

IV. 2.1.2. Formation du Quaternaire à forte ressource souterraine.....	61
IV.2.2. L'aquifère fissuré et karstifié	61
IV.2.2.1. Formation du Crétacé.....	61
IV.2.2.2. Généralités sur le karst.....	62
IV.2.2.2.1. Le karst (définition).....	62
IV.2.2.2.2. Génèse du karst.....	62
IV.2.2.2.3. Structure et fonctionnement des aquifères karstiques.....	63
IV.2.2.2.4. Schéma conceptuel général.....	64
IV.2.2.2.4.1. La zone de recharge	66
IV.2.2.2.4.2. Définition de l'épikarst.....	67
IV.2.2.2.4.3. Le réseau de conduits karstiques	67
IV.2.2.3. Les méthodes d'études des réseaux karstiques	68
IV.2.2.4. Les exutoires karstiques régionaux de la région de Constantine et la zone de dj Guerioun.....	69
IV.2.2.5. Le système karstique de l'aquifère (Jurassique-Crétacé) du Boumezoug.....	72
IV.2.2.5.1. Structure et géométrie du réservoir.....	72
IV.2.2.5.2. Relation fracturation - hydrogéologie (identification des plans de drainage à partir de la fracturation),	74
IV.2.2.5.2. 1. Etude de fissuration.....	74
IV.2.2.5.2. 1.1. Déterminations des grandes directions de fissurations.....	74
IV.2.2.5.2. 1.1.1. Global Mapper.....	76
IV.2.2.5.2. 1.1.2. Logiciel Rose.....	80
IV.2.2.5.2. 1.1.3. L'interprétation de rosace.	82
IV.2.2.5.2. 1.2. La fréquence de fissuration.....	82
IV. 2.2.5.3. Alimentation et recharge.....	84

IV. 2.2.5.3.1. Introduction.....	84
IV.2.2.5.3.2. La source de Boumerzoug (Ras el Ain).....	85
IV.2.2.5.3.2.1. Bassin d'alimentation de la source.....	86
IV.2.2.5.3.2.2. Station de pompage du Boumerzoug.....	87
IV.2.2.5.4. Fonctionnement et hydrodynamisme de l'aquifère (variation des niveaux de la nappe au niveau de la source).....	91
IV.2.2.5.5. Relation pluie-débit-rabattement de la nappe...	91
IV.2.2.6. Ecoulement et relation entre les aquifères.....	93
IV. 2.2.6. 1. Ecoulement.....	93
IV. 2.2.6.2. Relation entre les aquifères.....	94
IV. 2.2.6.2.1. Relation nappes karstiques avec les nappes des formations mio- plio- quaternaire.....	94
IV. 2.2.6.2.2. L'interconnexion des massifs calcaires.....	95
Conclusion.....	97

Chapitre V Hydrochimie

V. Introduction.....	100
V.1. Hydrochimie des eaux karstiques.....	100
a- Caractéristiques des éléments majeurs.....	100
b- Les éléments à l'état de traces.....	101
V.2. Les traceurs de l'eau utilisés en hydrogéochimie karstique.....	101
V.2. Les paramètres physicochimiques analysés.....	102
V.2.1. Etude des paramètres physiques.....	102
V.2.1.1. Température.....	102
V.2.1.2. Conductivité.....	103
V.2.1.3. Potentiel hydrogène.....	104
V.2.1.4. Dureté totale (D.H.T).....	105

V.2.2. Étude des paramètres chimiques.....	106
V.2.3. Etude des valeurs relatives.....	106
V.2.3.1. Rapports caractéristiques.....	106
V.2.3.2. Indice d'échange de base (i.e.b).....	108
V.3. Classification des eaux.....	109
V.3.1. Classification de Stabler.....	109
V.3.2. Classification de Piper.....	109
V.3.3. Classification de Schoeller – Berkloff.....	112
V.4. Potabilité des eaux.....	115
V.5. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	116
V.6. Evolution de la conductivité de la source du Boumerzoug.....	119
• Evolution temporelle de la conductivité.....	119
• Evolution interannuelle de la conductivité, des chlorures et des sulfates	
Forage de Boumerzoug (1998-2013).....	121
V.7. Conclusion.....	123
Conclusion générale.....	126
Liste des figures.....	129
Liste des tableaux.....	131
Bibliographies.....	134
Annexes.....	139
Résumé.....	152

INTRODUCTION
GENERALE

Le système karstique est un bassin hydrogéologique à potentiel en eau très important, qui met à jour des sources à débits constants et notables. La connaissance des potentialités en eaux des aquifères est liée aux caractéristiques hydrogéologiques, hydrodynamiques, et hydro-climatiques qui régissent le mode de circulation, d'alimentation, de transfert et de renouvellement de ces eaux. La région de Constantine – Ain M'Lila recèle d'importants aquifères karstiques dont celui de la source de Boumerzoug. Ce type d'aquifères présente un intérêt important en termes de ressources en raison de leur bonne productivité et de la qualité chimique de leur eau. Leurs bonnes potentialités en eaux, nous imposent, en conséquence d'utiliser une méthodologie d'étude permettant d'appréhender la structure et le fonctionnement de la zone noyée des karsts en vue de leur exploitation (Marsaud, 1996).

Le système karstique se caractérise, en outre, par des phénomènes hydrauliques spécifiques tels que l'existence d'importantes sources, de pertes et de l'existence de réseaux à grande échelle. La karstification correspond donc à « l'ensemble des processus de genèse et d'évolution des formes superficielles et souterraines dans une région karstique » (Gèse, 1973). L'objectif de ce travail consiste donc à analyser les systèmes aquifères, décrire leur structure et leur dynamique, estimer les quantités et la qualité d'eau en jeu (flux et stock), enfin comprendre leurs comportements, apprécier leur sensibilité et connaître les conditions de leur exploitation et de leur conservation.

Pour atteindre ces objectifs, le projet sera mené selon les étapes suivantes :

- Situation géographique : situer la source du Boumezoug et leur impluvium et allant jusqu'au les sources de Hamma Bouzaine.
- Délimitation structurale du bassin hydrogéologique : afin de pouvoir délimiter le système hydrogéologique il est essentiel de procéder à une recherche bibliographique sur la géologie régionale et locale pour définir les formations aquifères.
- Etude hydro climatique : C'est l'étude climatique de la région ayant pour but d'établir le bilan hydrique et estimer la part d'eau infiltrée pour alimenter les réserves
- Hydrodynamique des aquifères : Cette partie est abordée en contexte hydrologique superficiel et souterrain. Le milieu karstique étant un milieu hétérogène où les écoulements sont aléatoires, la caractérisation de son fonctionnement est réalisée à partir de l'analyse de la fonction entrée (pluie) et la fonction sortie (débits), Mangin (1975).
- Hydrochimie des sources : L'étude hydro chimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux des sources, de les comparer et de suivre l'évolution dans l'espace et dans

le temps de ces faciès. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation.

Et enfin dans le chapitre de l'hydrochimie faire un suivi d'évolution de la conductivité de la source du Boumezoug (mensuelle et annuelle), et leur relation avec différentes paramètres (précipitation, rabattement et température).

CHAPITRE I : GEOGRAPHIE

I.1. Situation géographique :

Le terrain d'étude (source de Boumerzoug et son impluvium) se situe au Sud de la ville de Constantine, à 18.7 Km de la Daïra d'El Khroub (Fig. I .1). Administrativement, il appartient à la commune de l'Ouled Rahmoun.

La source de Boumerzoug émerge à une altitude de 737 mètres. La source donne naissance au cours d'eau du même nom (oued Boumerzoug).

Les coordonnées Lambert de la source sont :

$$X= 855.25.$$

$$Y= 325.$$

$$Z= 737.5 \text{ m.}$$



Figure. I.1 : Carte de situation géographique de la source et leur impluvium.

Nous étendons la zone d'étude jusqu'à Hamma Bouziane pour comprendre la relation entre cette source et son aquifère avec les sources de Hamma Bouziane (Ain Skhouna et Hammem Zaoui).

I.2 Géomorphologie :

La région d'étude qui fait partie du sud constantinois comprend d'importants massifs carbonatés entièrement dénudés, entaillés parfois par des oueds qui circulent au fond de petites vallées. Ces massifs émergent au sein de plaines marneuses qu'ils dominent de près d'un millier de mètres brisant ainsi la monotonie de la planitude des hautes plaines constantinoises.

I.3 Climat et Végétation :

I.3.1 Le Climat :

La région d'étude est caractérisée généralement par un climat semi aride. D'où un hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud.

Au nord, les précipitations sont plus élevées atteignant en moyenne les 600 mm par an sur les reliefs par contre au sud elles chutent à environ 300 à 330 mm par an.

I.3.2 La Végétation :

La couverture végétale dépend de plusieurs paramètres telle que : le climat, les reliefs, l'activité humaine...etc.

- Sur les reliefs on a une maigre couverture forestière très dégradée au sud par rapport au nord (pins et de chênes verts)
- Au niveau des plaines, la région est vouée aux céréales (orge et blé). Notant aussi qu'il existe une culture irriguée et des arbres fruitiers.

I.4. Réseaux hydrographique :

La région de Constantine est caractérisée par un réseau hydrographique (Fig. I.2) relativement dense, dont la ville de Constantine elle-même est le point de confluence de deux principaux cours d'eau. Oued Bou Merzoug (de direction N-S en amont puis devient NW-SE en aval) et Oued Rhumel (sa direction varie le long de son parcours) et traverse les gorges de Constantine.

Le réseau hydrographique draine le bassin versant du Boumerzoug. Les précipitations interviennent d'une manière irrégulière sur un terrain plus ou moins marneux d'où émergent des massifs carbonatés importantes au Nord et au Sud ; ce ci donne au réseau hydrographique un caractère temporaire.

I.5. L'économie et l'industrie :

Dans les régions irriguées du secteur d'étude, il est possible de cultiver du tabac et légumes maraîchères avec les cultures des céréales. Le marché d'El Khroub est considéré comme l'un des plus grands marchés à bestiaux de l'Est Algérien.

Industrie :

Elle est concentrée autour des grandes agglomérations : Constantine, Khroub, Hamma Bouziane, Ain M'lila. L'industrialisation récente appuie le caractère urbain avec une importante usine de tracteurs au Khroub, la cimenterie de Hamma Bouzaine et CCS→Cabines sahariennes à Ain M'lila.

CHAPITRE II :
GEOLOGIE

II. Introduction :

La géologie constitue la base fondamentale de toute étude hydrogéologique. Elle détermine les formations susceptibles ou non de constituer des aquifères à partir de leur lithologie; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

La synthèse géologique de la région a été réalisée sur la base des documents suivants:

- Les cartes géologiques de Constantine et ses notices explicatives au 1/200 000 ;
- Les logs de sondages effectués dans la région ;
- Les travaux réalisés par Mr J.M.Vila sur la région.

II.1. Géologie régionale :

Parmi les nombreux chercheurs qui ont étudié la structure géologique Nord-africaine, nous citons W.Wildi (1983) qui subdivise le Nord algérien en trois domaines paléogéographiques qui sont du Nord au Sud, (Fig. II.1) :

II.1.1. Domaine interne :

Il comprend le socle Kabyle cristallin et sa couverture sédimentaire paléozoïque peu ou pas métamorphisée, caractérisant surtout la grande et la petite Kabylie.

II.1.1.1. Le Socle Kabyle :

Il est composé de deux grands ensembles :

- Un ensemble de roches peu ou pas métamorphiques ;
- Un ensemble de roches métamorphiques mésozonales à catazonales.

II.1.1.2. La chaîne calcaire Kabyle :

Elle constitue la couverture de la bordure méridionale du Socle Kabyle. Cette dorsale comporte des formations allant du Permo-Trias au Lutétien.

II.1.2. Domaine médium (sillon des flyschs):

C'est un domaine paléogéographique qui a reçu une sédimentation essentiellement argilo-gréseuse depuis le Crétacé jusqu'au Paléocène. En Algérie, ce domaine occupe une position allochtone. Il est classiquement subdivisé en deux types :

II.1.2.1. Les flysch maurétanien et massylien :

Constitués par des formations grès-péliciques qui se sont déposées du Barrémien à l'Albien, au Nord le flysch mauritanien et au Sud le flysch massylien

II.1.2.2. Le flysch numidien :

Il occupe une position structurale allochtone la plus haute de l'édifice alpin. Il comporte une formation pélique de base d'âge Oligocène, des alternances de grosses barres de grès et de pélites de l'Oligocène et de l'Aquitainien et des argiles et silixites sommitales du Burdigalien inférieur.

II.1.3. Domaine externe :

Le domaine externe est situé plus au Sud, il comporte les séries telliennes et les séries de l'avant pays. Les séries telliennes reposent partiellement sur l'autochtone Saharien.

II.1.3.1. Les séries telliennes :

Ce sont des séries épaisses à faciès marno-calcaire d'âge Eocène, issues du sillon tellien. Elles sont constituées par un empilement de trois grandes séries qui sont du Nord vers le Sud :

II.1.3.1.1. Une série ultra-tellienne :

Caractérisée par des formations calcaires et marno-calcaires d'âge Crétacé à Eocène. Elle affleure dans la région d'Oued Zenati entre Constantine et Guelma.

II.1.3.1.2. Une série tellienne sensu-structo:

Caractérisée essentiellement par des dépôts terrigènes du Crétacé inférieur, elle affleure essentiellement dans la région de Sétif (nappe de Djemila).

II.1.3.1.3. La nappe péni-tellienne :

À faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène. La nappe apparaît en lambeaux, charriés sur les massifs néritiques de Djebel Grouz, Djebel Kheneg et Chettaba et en fenêtres sous les marnes noires des nappes telliennes de Djebel Akhal.

II.1.3.2. Les séries de l'avant pays allochtone :

L'avant pays correspond aux formations calcaires et marneuses de la plate-forme constantinoise et du domaine atlasique. Il comporte l'avant pays allochtone et l'avant pays autochtone :

II.1.3.2.1. L'avant pays allochtone :

Il regroupe trois grandes unités qui sont :

- L'ensemble Sud Sétifien.
- L'unité Néritique Constantinoise.
- L'unité de type Sellaoua.

II.1.3.2.2. L'avant pays autochtone :

Il est représenté par des séries sédimentaires mésozoïques épaisses et très plissées. Ces séries sont principalement localisées au niveau de l'Atlas Tunisien, de l'Atlas Saharien, des monts du Hodna, des monts de Batna et des Aurès.

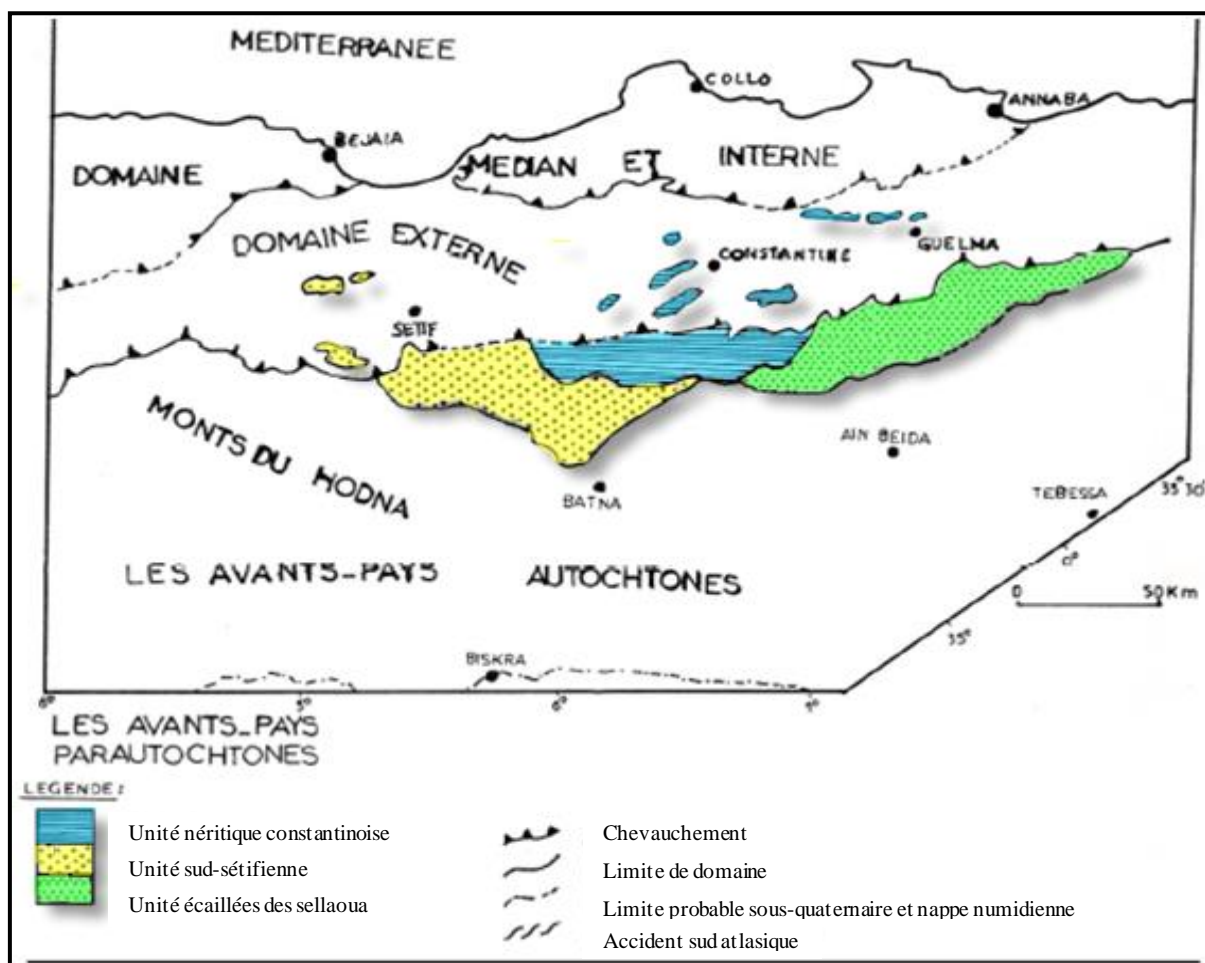


Fig. II.1 : Esquisse structurale du Nord- Est Algérien, (W. Wildi, 1983).

II.2.Géologie locale :

II.2.1.Description lithostratigraphique :

L'étude géologique de la zone considérée est basée sur une analyse lithostratigraphique et structurale. Cette dernière est faite à partir de :

- La carte géologique de Constantine (Fig. II.1) et sa notice explicative montrent trois ensembles distincts :
 - Les formations quaternaires et mio-pliocène peu ou pas tectonisées
 - Les édifices structuraux tectonisés
 - Trias exotique

II.2.1.1.Formation peu ou pas tectonisées :

A. Quaternaire :

Les terrains quaternaires sont très hétérogènes, constitués par :

- des éboulis à blocs qui sont les plus fréquents et les plus récents.
- les alluvions récentes se situent dans les principaux oueds septentrionaux, elles se présentent sous forme de limons, sables, graviers et galets.
- les formations de pente correspondant à des terrasses alluviales (trois terrasses), il s'agit de placages limoneux portant des sols bruns peu ou pas calcaires.
- glaciais polygénique qui correspond à des surfaces très faiblement pentes près des plaines dont la pente augmente progressivement vers les montages. Ces glaciais sont recouverts d'un matériel fragmenté.
- glaciais anciens de Constantine, ils sont constitués exclusivement de blocs numidiens bien roulés.
- les croutes calcaires d'âge villafranchien sont les formations les plus caractéristiques des hautes plaines.
- la sebkha correspond à des étendues plates de sols salés hydromorphes régulièrement inondés.

B. Mio-Pliocène :

Le Mio-pliocène correspond à des dépôts fluvio lacustre offrant habituellement une coloration rougeâtre assez prononcée. La base du Mio-Pliocène est formée par des argiles à gypse au dessus de lesquels reposent des argiles, des marnes gypsifères, des calcaires lacustre, des conglomérats des grès et des sables.

II.2.1.2. Formations tectonisées :

- **Les flyschs :**

Les flyschs numidiens sont la seule unité développée avec une grande masse à l'est de Constantine et quelques affleurements, constitué par deux formations :

- Argiles et grés.
- Argiles de base.

Les flyschs massyliens affleurent mal sont représentés par des formations micro-bréchiques et des marnes renfermant des blocs (formations d'âge sénonien).

- **La nappe tellienne :**

Cet ensemble affleure dans la partie sud du Constantine et dans la région Sud-est de Dj tesselia. Ce sont des argiles priaboniennes à blocs. Dans tous les cas, il s'agit de formations argileuses ou marneuses de teinte grise, parfois à cristaux de gypse isolés à bloc de taille et de nature variable, calcaire ou marne.

- **La nappe ultra-tellienne :**

La nappe ultra-tellienne à la base des massifs numidiens (Dj ouahch), caractérisée par :

- Crétacé supérieur (Coniacien et Santonien) : Ce sont des marnes et des biomicrites claires.
- Eocène (Lutéien marneux) : leur affleurement est rare. Il s'agit de marnes noires à boules jaunes.

- **La nappe Tellienne S.S :**

Crétacé sup à trois termes

- Sénonien inférieur : des marnes grises ou beiges avec des minces intercalations marno-calcaire.
- Sénonien supérieur : débute par une masse marneuse noire affleurant assez mal, repérable en général grâce à la présence de rares boules jaunes éparses.
- en général deux barres calcaires bien individualisées en relief " sénonien sup".

Eocène à deux termes :

- Yprésien-Lutéien inf : c'est le terme médian de la trilogie éocène qui possède deux faciès.
 - Faciès à globigérines.
 - Faciès à nummulites.

Il s'agit de calcaire marneux blanc à cassure noire bitumineuse à la base de la série contenant des rares intercalations marneuses grises.

- Lutétien à priabonien :

- Faciès à huitres, c'est le terme le plus élevé. Il est constitué par des marnes noires à boules jaunes de grandes dimensions.

- **La nappe néritique constantinoise** :

Les séries néritiques constantinoises caractérisées principalement par une puissante série carbonatée composée de 1 500 à 2 000 m de calcaire d'âge mésozoïque, déposée sur la plate-forme faiblement subsidence. Ces séries forment des massifs isolés de taille variable d'orientation générale SW-NE.

Crétacé inf :

- Le néocomien est représenté par des calcaires fins, des marnes rosées ou jaunâtres à ammonites qui se poursuivent par des calcaires à silex et des dolomies cristallines (250-300 m).
- Le Barrémien est représenté par une puissante série calcaro dolomitique 250 à 300 m.
- L'Aptien est carbonaté (Fig. II. 2).
- Albien Vraconien : constitué par des bancs de calcaire noir de 200 m d'épaisseur.

Crétacé sup :

- Le cénomanien est représenté par des calcaires massifs qui peuvent atteindre 300 m d'épaisseur.
- Turonien à hippurites : sont des calcaires rubanés de blancs en patine et à cassure grise (Dj.oum settas) de 180 m.
- Sénonien transgressif représente la couverture des affleurements septentrionaux de la nappe néritique constantinoise. Il s'agit d'un faciès calcaire.

Jurassique :

Est représenté par des dolomies semblables à celle du Dj.Debar et du Télioualt datée par *clypeina jurassica* ; un terme de passage est marqué par des couches à coprolites identique au Dj.Debar.

II.2.1.3. Trias exotique :

C'est une masse sans stratification d'argiles varicolores, gypses broyés blancs et calcaire dolomitique.

Echelle 1/200 000 M 1000 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12 14 16 18 20 km

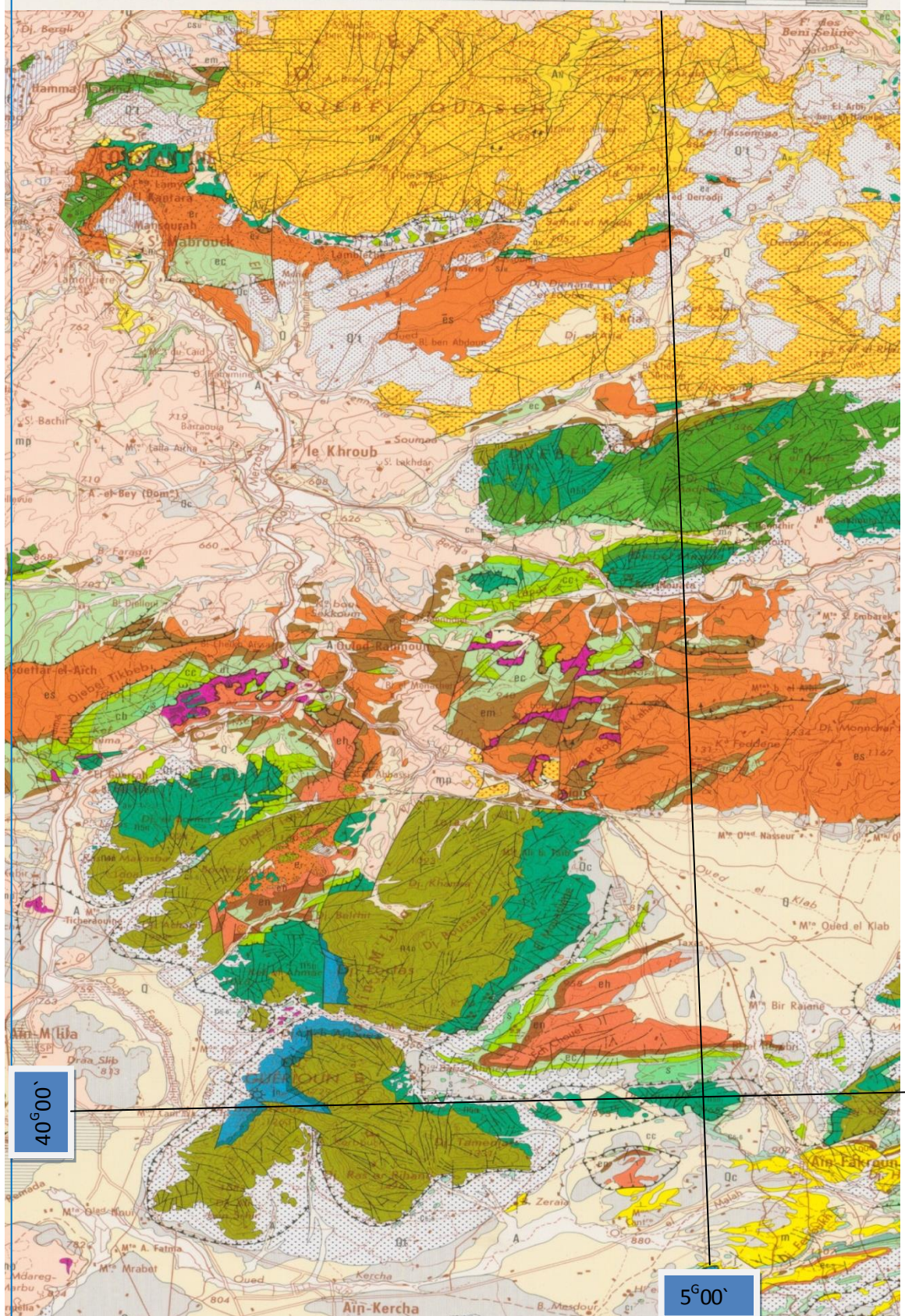
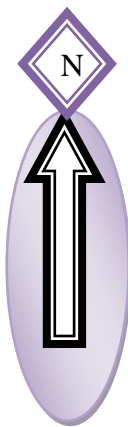


Figure. II.2 : Carte géologique de la région étudiée (Extrait de la carte géologique de Constantine 1/200 000)

Légende :

	Eboulis : 1-à blocs ; 2-a gangue marneuse ; 3-en masse.		Sénonien inférieur.
	Alluvions récents.		Sénonien transgressif.
	Terrasses, formation de pente et quaternaire indéterminée.		Sénonien supérieur marneux.
	Glacis polygéniques méridionaux.		Turonien à Hippurites.
	Glacis anciens de Constantine.		Cénomannien calcaire.
	Villafranchien : Croutes calcaires.		Albien et vraconien.
	Sebkha.		Aptien.
	Sols salés.		Barrémien.
	Mio-Pliocène continental.		Néocomien.
	Argiles et grés.		Jurassique supérieur carbonaté.
	Argiles de base.		Trias calcaro-pélitique.
	Sénonien à micro brèches et à blocs.		
	Argiles priaboniennes à blocs.		
	Lutétien marneux.		
	Coniacien et Santonien.		
	Yprésien-Lutétien inf,		
	em : Faciès à Globigérines, en : Faciès à Nummulites.		
	Sénonien supérieur calcaire.		

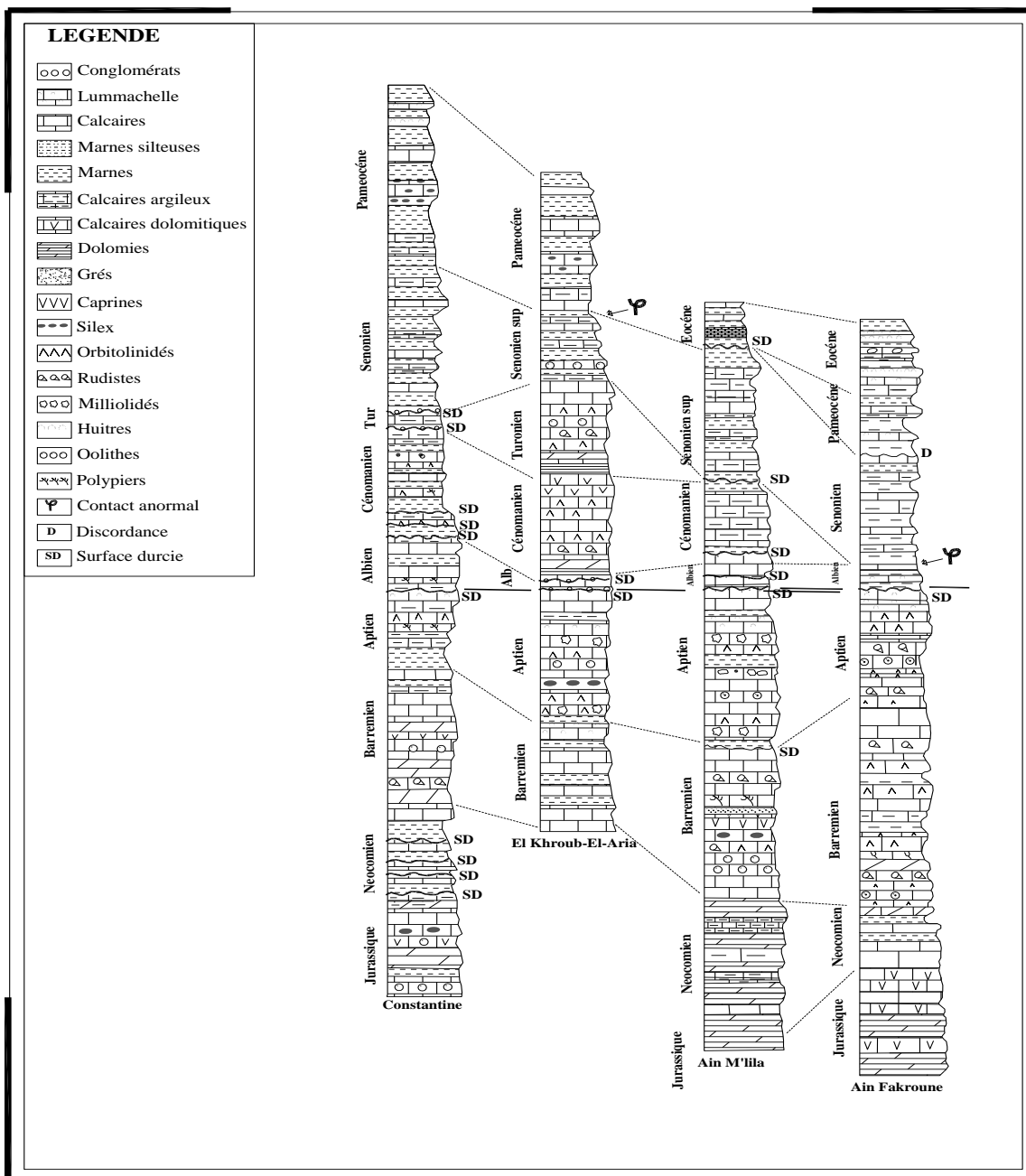


Figure. II.3 : Corrélation litho stratigraphique de la région de Constantine (Marmi .R, et al 2001)

II.2.2. Description des unités structurales :(Fig. II.4 ; Fig. II.5)

L'édifice structural des hautes plaines constantinoises se compose de plusieurs unités superposées et charriées les unes sur les autres du nord vers le sud. Du haut en bas on a :

- **Les flyschs :**

- La série numidienne représente la couverture stratigraphique de l'ensemble tellien septentrionale selon (J.M. Vila, 1980). Elle a été disloquée et déplacée soit vers le nord au dessus des zones kabyle, soit vers le sud sur la zone tellienne externe et l'avant pays.
- La série massyenne a suivi le numidien dans ces mouvements d'âge miocène.

- **La nappe ultra-tellienne :**

Le plus souvent en série renversée.

- **La nappe tellienne S.S :**

Montre des structures plus cohérentes. La déformation de ces structures et le cisaillement basal des séries sont imputables à la phase alpine.

D'une façon générale, les nappes telliennes reposent sur la nappe péni-tellienne et sur la nappe néritique constantinoise.

- **La nappe néritique constantinoise :**

Les calcaires du domaine néritique constituent les massifs émergents d'un ensemble généralement marneux.

Le sondage du Dj Guerioun indique que sous les dolomies jurassiques existent des écailles empilées.

La géomorphologie actuelle nous apprend que de telles surfaces peuvent avoir une extension considérable. C'est le cas de Djebel oum settas.

Et au niveau de la demi-fenêtre d'Ain M' Lila la flèche du chevauchement peut être estimée à une vingtaine de kilomètres.

Figure. II.4 : Coupe interprétative dans la région de Constantine (d'après la carte géologique de Constantine au 1/200000 , SONATRACH ,1977)

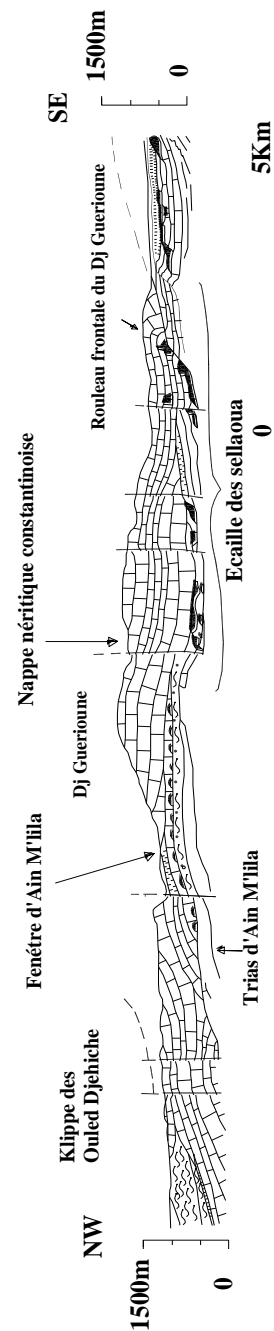
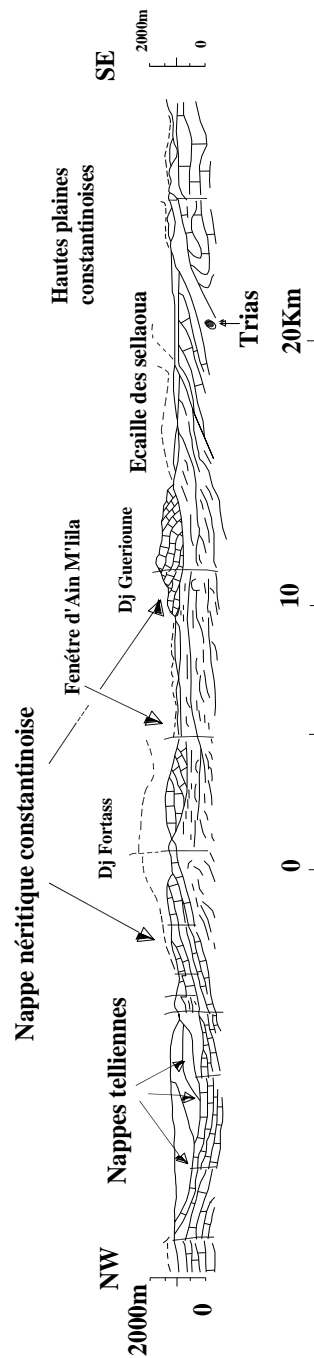


Figure. II.5 : Coupe interprétative dans la région d'Ain M'lila (d'après Vila,1980)

II.3. Analyse structurale :

II.3.1. Les phases tectoniques :

L'analyse structurale des hautes plaines constantinoise laisse apparaitre les phases tectoniques suivantes :

✚ **La phase finie lutétienne :**

Cette phase intervient à la fin d'un grand cycle sédimentaire qui a débuté dès le trias.

<i>AGES</i>	<i>FORMATION</i>	<i>Lithologie et styles structuraux</i>	<i>Phases tectoniques</i>
<i>Miocène sup. Pliocène Et Quaternaire</i>	Formation Continentales marines		Phases récentes
			Phase compressive N170° Miocène terminal
<i>Oligo-Miocène</i>	Nappe Numidienne		Phase compressive N20°-30° Miocène inf à moy
<i>Oligocène</i>			
<i>Eocène</i>	Calcaires phosphatés et calcaire a silex		Phase compressive N120°E Eocène sup.
<i>Paléocène</i>	Marnes		Phase compressive N-S Sénonienne
<i>Sénonien Supérieur</i>	Marne et Marno-calcaire		
<i>Sénonien Inférieur</i>	Calcaire Néritiques	<p>.....Surface d'érosion régionale.....</p>	Phase Distensive N120°E Albo-Cénomanienne
<i>Jurassique Crétacé inf</i>	De Plate-forme		

Figure. II.6 : Chronologie des phases tectoniques définies dans le Constantinois central (Y.ARRIS 1994)

✚ La phase éocène :

Elle est caractérisée par une déformation ductile affectant le socle et les unités anté miocène de petite Kabylie. Cette déformation est matérialisée par des déplacements tangentiels vers le Sud-est (chevauchement).

✚ La phase atlasique :

Est à l'origine des plis NE-SW (R.Laffitte 1939, R Guiraud, 1973, N. Kazi-Tani, 1986). Elle est datée du lutétien supérieur (P.E coiffait, 1992).

✚ La phase priabonienne :

À été le siège d'un raccourcissement important. Elle est responsable des structures syntectoniques priabonniennes à blocs et d'une forte schistosité de fracture (le raccourcissement est estimé par J.M .Vila (1980) à plus de 30 Km.

✚ La phase miocène :

C'est une phase de compression caractérisée dans toute l'Algérie Nord-orientale par un raccourcissement N.S. Elle est caractérisée par des plis et des accidents de directions globalement E.W et NE-SW.

✚ La phase alpine :

Est responsable des grands chevauchements analysés précédemment où le Miocène jalonne bien des contacts quand il existe et responsable aussi de l'aspect anarchique des structures de détail de la nappe tellienne.

II.3.2. Aspect tectonique :

A. Tectonique souple :

Elle engendre des plis et ces dernières seraient favorables à la mise en place d'aquifères ou de réservoirs. Les directions de drainage des eaux sont généralement liées à la direction des axes des plis.

B. Tectonique cassante :

Représentée par les failles et les fracturations affectant les formations dures, ce qui favorise la pénétration de l'eau et le développement de la dissolution des roches (karstification à travers ces fractures). On peut connaître les directions préférentielles des circulations internes des eaux.

II.4. Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologique :

II.4.1. Formation non-favorable au développement d'aquifères :

Il s'agit des formations imperméables suivantes :

- Les argiles varicolores et les gypses broyés blancs du trias.

La nappe néritique :

- Les marnes de l'Albien-Vraconien.

La nappe Tellienne :

La nappe Tellienne S.S :

- Les marnes grises avec intercalations marno-calcaires et les marnes de Sénonien inférieur et supérieur.
- Les marnes noires à boules jaunes du Maestrichtien à Paléocène.
- Les calcaires marneux de l'Yprésien-Lutétien inférieur.
- Les marnes noires à boules jaunes du Lutétien à Priabonien.

La nappe ultra-tellienne :

- Les marnes et biomicroites claires du Coniacien et Santonien.
- Les marnes noires à boules jaunes du Lutétien.
- Les argiles à blocs du Priabonien.

La nappe de flysch :

La nappe numidienne :

- Argiles de base
- Argiles et grés

Le recouvrement

Mio-pliocène :

- Des argiles et marnes gypsifères.

II.4.2. Formation favorable au développement d'aquifères :

Il existe deux types des formations :

- Formation à perméabilité en petit, favorable au développement d'aquifères poreux.
- Formation à perméabilité en grand, due à l'existence des fractures, favorables au développement d'aquifères karstiques.

✚ Formations favorables au développement d'aquifères poreux :

Il s'agit :

- Recouvrement :

- Les formations flyschs gréseuses.
- Des calcaires lacustres, des conglomérats, grès et sables du Moi-Pliocène.
- Croutes calcaires du villafranchien, les travertins et tufs hydrothermaux.
- Des éboulis à blocs, alluvions récentes, terrasses glacis polygénique et glacis anciens de Constantine du quaternaire.

✚ Formations favorables au développement d'aquifères karstiques :

Il s'agit de :

La nappe néritique constantinoise :

- Carbonate avec alternances calcaro-dolomitique du Néocomien.
- Calcaire à silex, calcaire dolomitique de Barrémien (Fig. II.7)
- Calcaire massifs et calcaire micritique noirs de l'Aptien (Fig. II.8).
- Calcaire du Cénomanién (Fig. II.9), calcaire rubané de Turonien et le calcaire noirs micritiques du Sénonien transgressif.

D'après les figures de répartition des faciès et les courbes isopaques au Barrémien, l'Aptien et Cénomanién on constate que :

- Le faciès au Barrémien dans la région d'étude est en majorité calcaire sauf une petite partie au Sud de Ain M'lila montrant des dolomies.
- Presque la même chose pour l'Aptien sauf que les dolomies apparaissent aussi au Nord-Est de l'Khroub.
- Pour le cénomanién, presque la zone d'étude se divise en deux parties. Au Nord, elle est constituée par les calcaires et au Sud par les calcaires et les calcaires marneux.

On remarque aussi que l'épaisseur des formations augmente presque toujours vers le Sud.

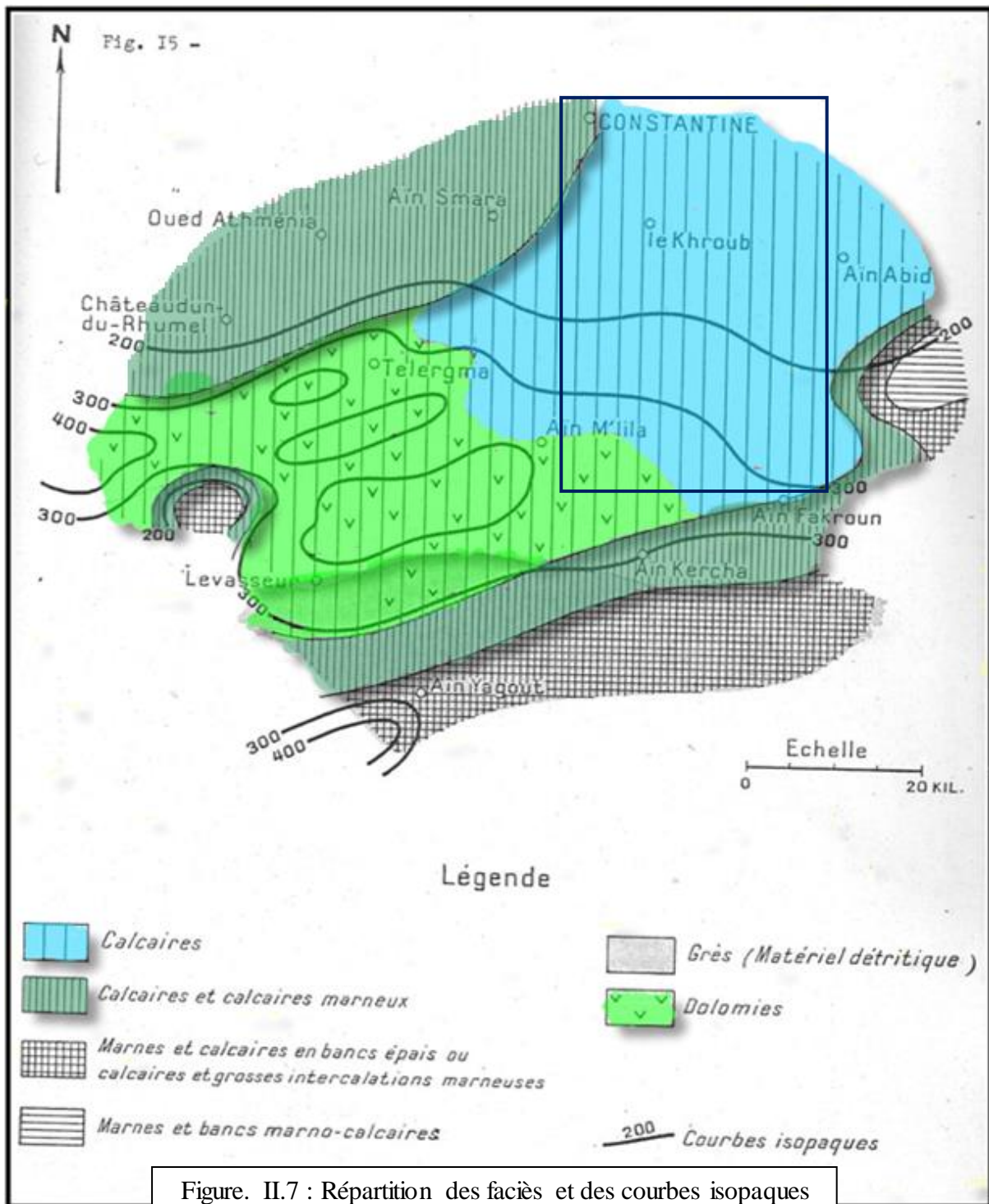


Figure. II.7 : Répartition des faciès et des courbes isopaques au Barrémien. (G.Durozoy, 1955 ; modifié) .

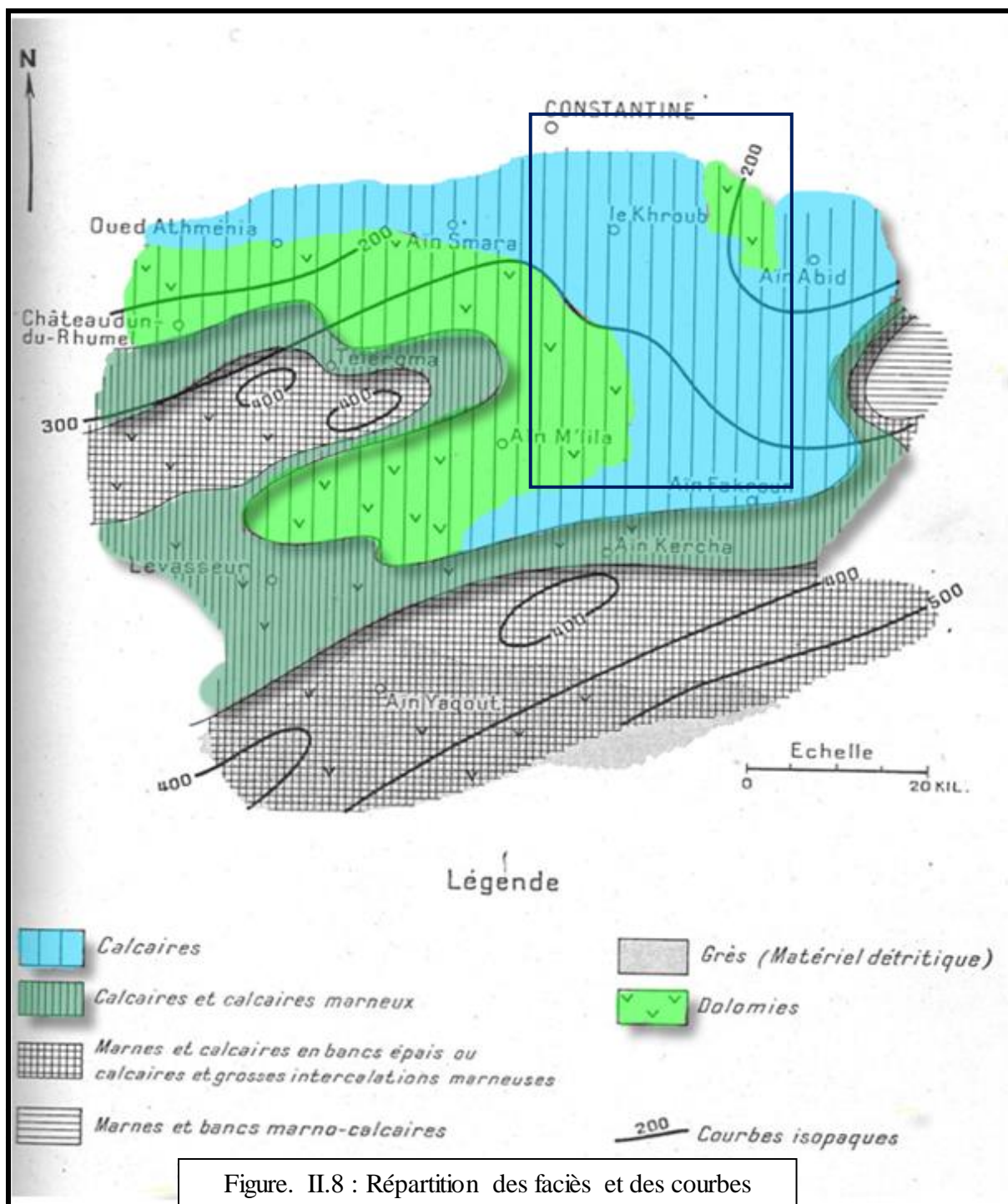
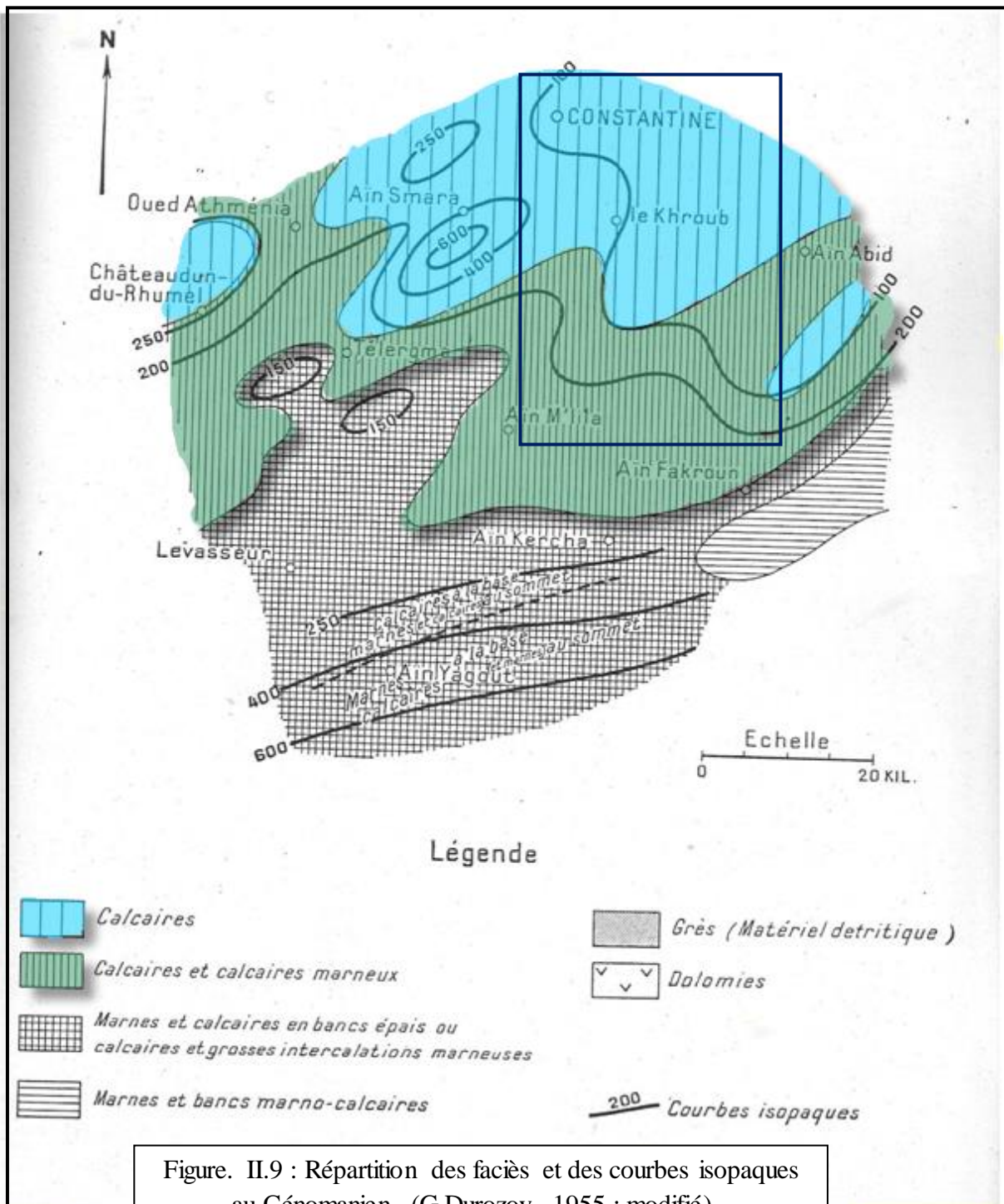


Figure. II.8 : Répartition des faciès et des courbes isopaques à l'Aptien. (G.Durozoy, 1955 ; modifié).



II.5. Conclusion :

La région d'étude est entourée par des massifs montagneux. Ces dernières sont constituées par des formations rocheuses à dominantes carbonatées, et formant une série lithologique du jurassique au Crétacé avec quelques intercalations marneuses et argileuses.

Ces formations ont subi d'intenses mouvements tectoniques, surtout au cours de la phase atlasique et la phase alpine, ce qui a conduit à un style tectonique relativement souple ayant abouti à la formation des anticlinaux et synclinaux de direction générale SW-NE. Ces derniers présentent des styles différents qui ont profondément modifié leurs structures et qui sont notamment les accidents tectoniques et les chevauchements.

Donc à partir de la synthèse géologique, on constate que les niveaux qui peuvent présenter un intérêt hydrogéologique sont :

- L'aquifère poreux représenté par les lacustre, les niveaux conglomératiques ou sableux du Mio-Pliocène et les alluvions du Quaternaire.
- L'aquifère karstique de Dj fortas et Dj Guerioun représenté par la série calcaro-dolomitique du crétacé.

Notons enfin que la continuité des formations carbonatés du Nord (Constantine) jusqu'au Sud (Ain M'lila) et le développement de la tectonique dans cette région permettent de faire une relation entre les eaux de Sud et de Nord.

CHAPITRE III :
HYDROCLIMATOLOGIE

III. Introduction :

L'Algérie est caractérisée par :

- Un climat pluvieux et humide au nord.
- Un climat froid et sec sur les hauts plateaux.
- Un climat chaud désertique à l'extrême sud du pays.

Cette variabilité climatique est liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara. Les montagnes de l'atlas saharien et celles de l'atlas tellien présentent deux obstacles contre les vents désertiques du sud et ceux chargés d'humidité venant du nord.

Selon la classification de l'ANRH, notre région d'étude appartient au grand bassin versant de Kébir –Rhumel N°10. Il est subdivisé en 7 sous-bassins (Fig.III.1).

La zone d'étude se situe principalement dans le sous-bassin versant du Boumerzoug N°10 code 05 Actuellement, cette zone est équipée de quelques stations météorologiques.

D'après la carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Fig.III.2) établie par M. Côte (1998), le climat de la région d'étude est semi-aride avec un hiver froid et un été chaud et sec.

Nous avons utilisé les données de deux stations qui nous semblent caractériser la région : station d'Ain El Bey au Nord et celle d'Ain M'lila au Sud (Tab. N° III.1).

Tableau. N° III.1 : Coordonnées des stations météorologiques.

STATION	X (m)	Y (m)	Z (m)
Ain M'lila	849.10	307.00	800
Ain El Bey	851.5	338.0	694.0

III.1. Les caractéristiques climatiques :

L'étude des valeurs des précipitations et des températures dans des différentes stations climatiques permettra de connaître et d'apprécier les caractéristiques hydro climatologiques du site étudié et de déceler leurs variations ayant affecté le climat de cette région.

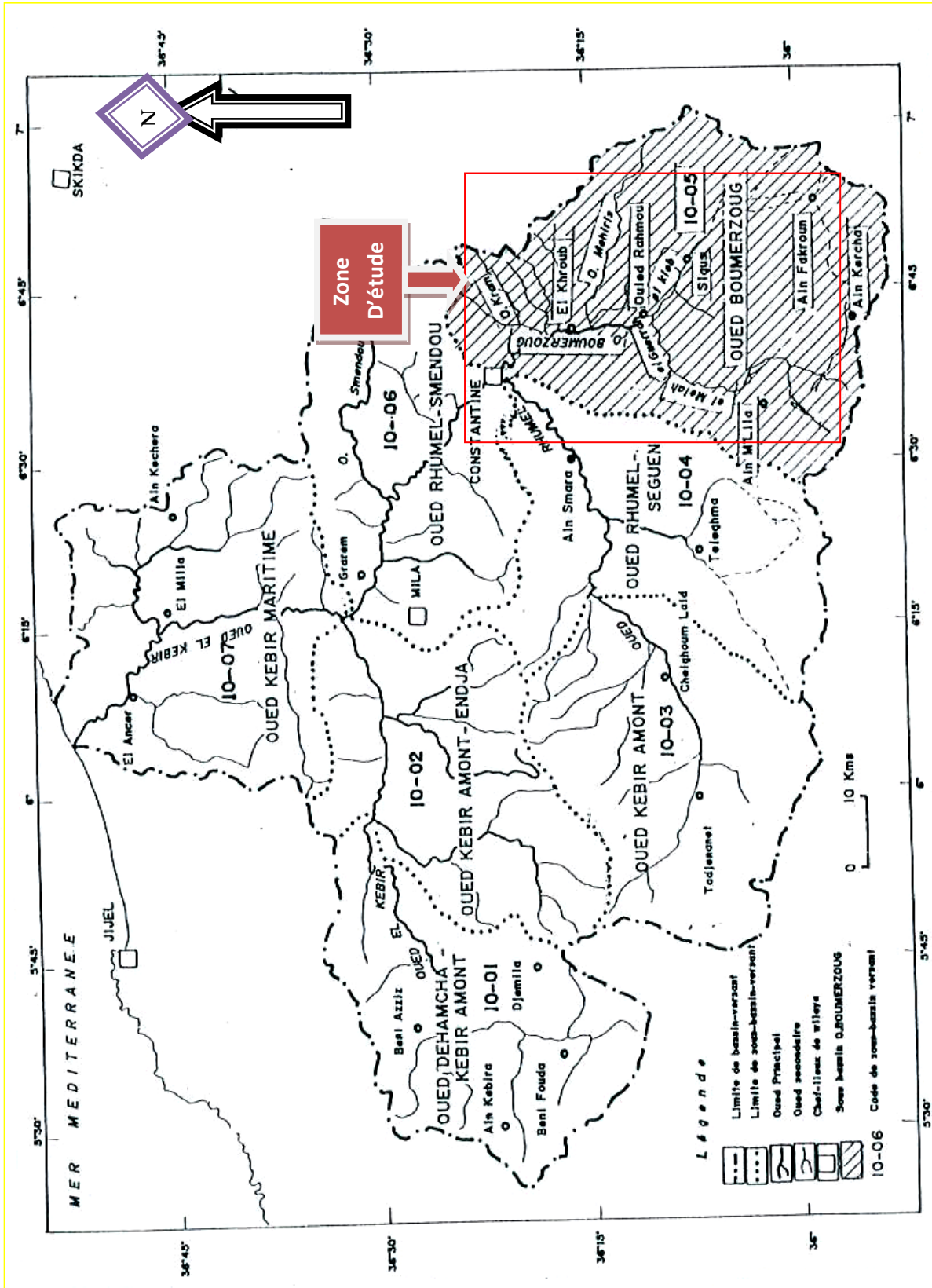


Figure.III.1 : La zone d'étude dans le bassin versant de kébir Rhumel

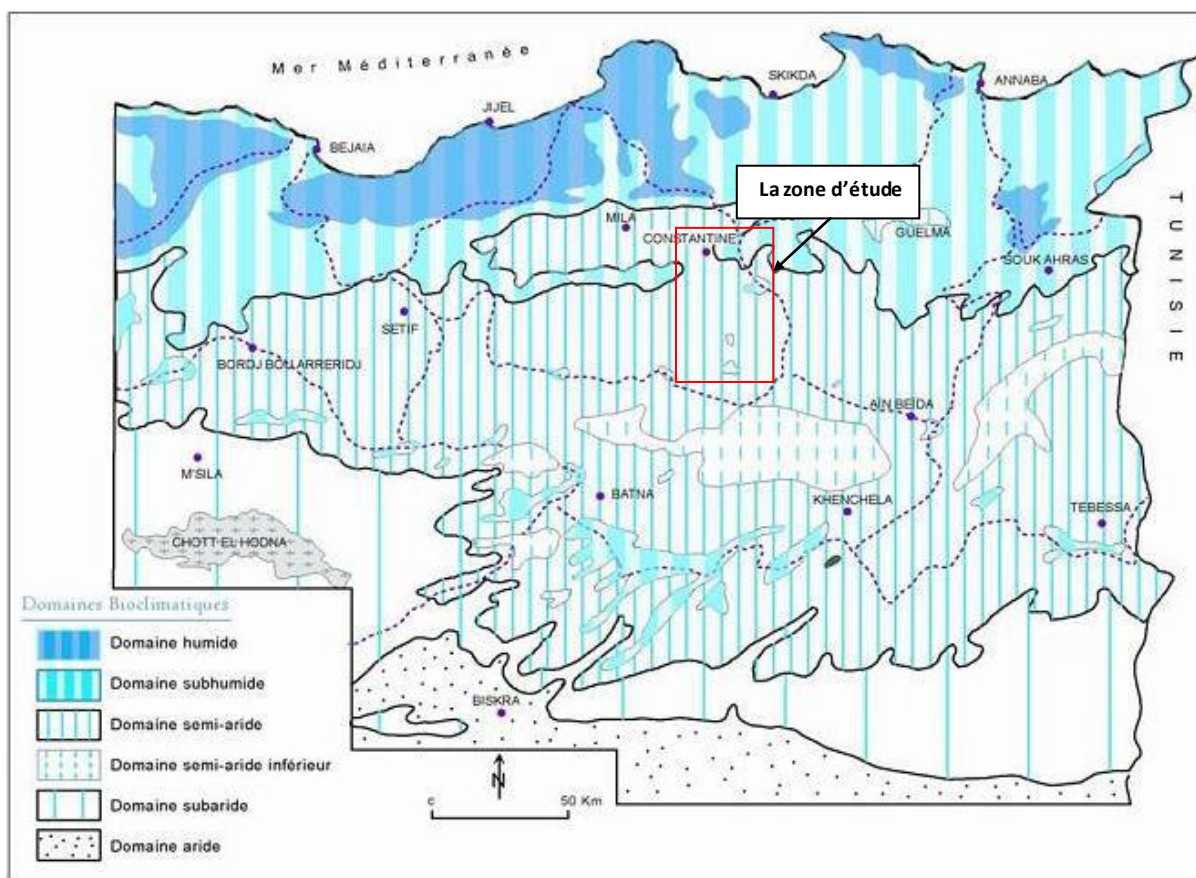


Figure.III.2. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M., 1998).

III.1.1. Le Vent :

Généralement, les vents de l'Ouest et du Nord sont les plus dominants. Leur fréquence et leur violence atteignent le maximum en hiver. Ce sont les vents du Nord-est qui apportent les pluies d'hivers.

Les vents du Sud qui sont fréquents vont augmenter l'évapotranspiration des eaux superficielles.

III.1.2. La Température :

Ce paramètre est très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique.

Les températures sont celles enregistrées aux stations d'Ain El Bey (Constantine) et Ain M' Lila.

Tableau III.2 : la température des deux stations.

Station		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Ain M'lila 1971- 1982	T max	30.0	22.0	17.2	13.0	12.3	13.1	15.2	18.2	24.3	29.4	34.0	34.0	21.9
	T min	13.0	7.5	4.0	2.6	1.5	2.0	3.0	5.0	9.0	13.5	15.0	15.0	7.6
	T moy	21.5	14.8	10.6	7.8	6.9	7.6	9.1	11.6	16.6	21.5	24.5	24.5	14.7
Ain El Bey 1971- 1982	T max	22.7	17.6	12.1	9.9	9.6	9.9	11.8	14.0	19.1	24.4	27.7	27.7	17.2
	T min	18.7	13.1	8.0	9.1	4.5	9.1	6.4	9.2	13.6	18.8	22.5	23.0	12.3
	T moy	20.4	15.3	10.0	7.5	6.7	7.6	9.1	11.3	15.9	21.0	24.6	24.4	14.5
Ain El Bey 1984- 2011	T max	24.3	20.2	13.0	10.9	9.1	10.4	14.3	15.6	21.0	25.3	28.4	28.8	18.4
	T min	19.3	14.2	9.9	5.7	4.6	4.7	7.7	9.9	12.9	19.2	16.0	23.5	12.3
	T moy	23.3	18.7	13.3	9.6	6.7	7.6	10.0	12.7	17.4	22.5	25.7	25.8	16.1

D'après le tableau (III.2), on note que les mois de juillet et aout représentent les mois les plus chauds avec :

- Une température moyenne maximale de 34°C pour la station d'Ain M' Lila.
- Une température moyenne maximale de 27.7°C (série récente) et 28.6°C (série ancienne) pour la station d'Ain El Bey (Constantine).

Les mois de janvier et février sont les plus froids avec :

- Une température moyenne minimale de 1.75°C pour la station d'Ain M'lila.
- Une température moyenne minimale de 4.65 °C (série récente) et 4.85 °C (série ancienne) pour la station d'Ain El Bey (Constantine).

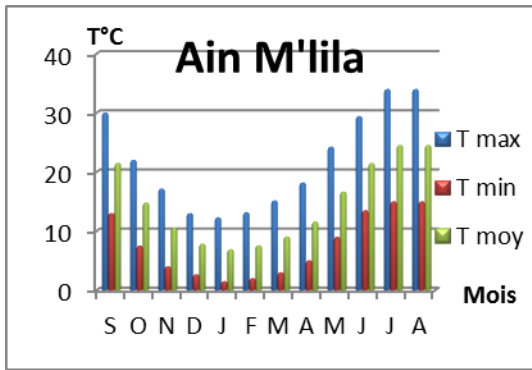


Figure.III.3 : Température (max, min et moy) de la série ancienne (1971-1982)

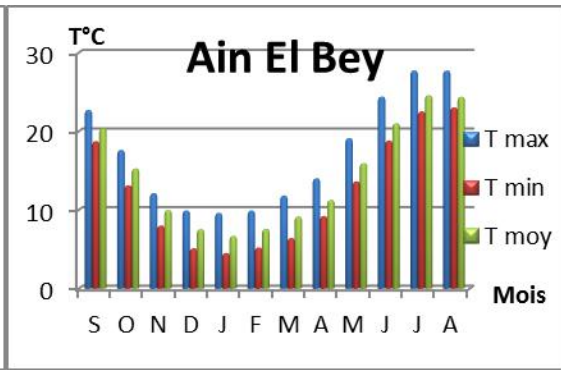


Figure.III.4 : Température (max, min et moy) de la série ancienne (1971-1982)

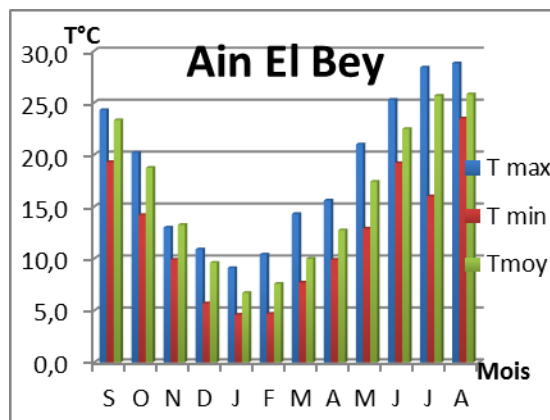


Figure.III.5 : Température (max, min et moy) de la série (1984-2011)

La température moyenne annuelle pour les deux stations est de :

- 14.7°C ———> Ain M'lila
 - 14.5°C ———> Série ancienne
 - 16.1°C ———> Série récente
- } Ain El Bey

III.1.3. Les précipitations :

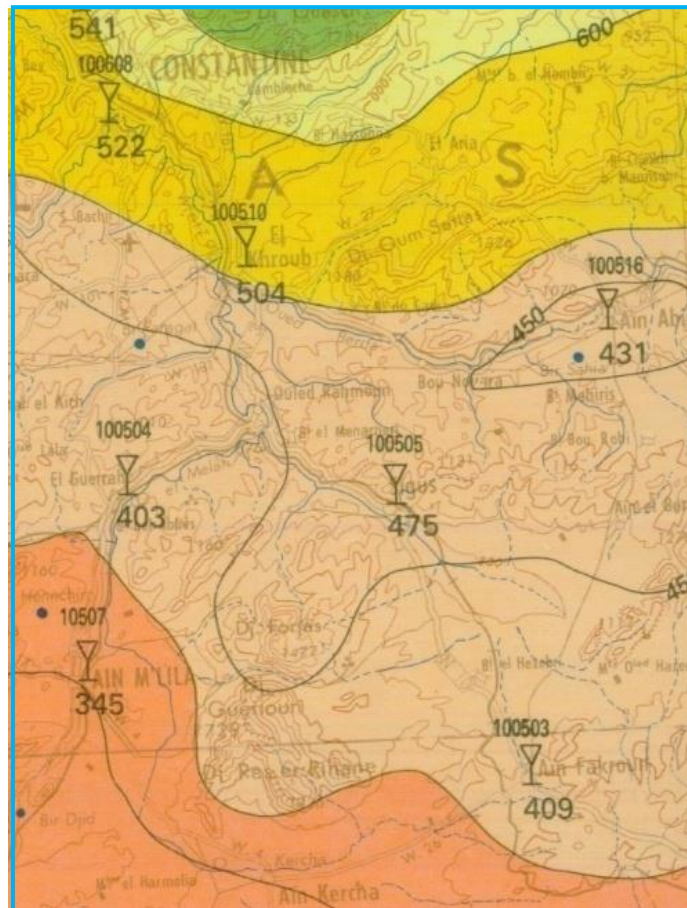
Les eaux météoriques qui tombent sur la surface du secteur d'étude quelque soit l'origine de cette eau (pluie, grêle, neige ou autre forme de condensation) constituent le facteur déterminant de l'hydrologie du secteur.

III.1.3.1. Distribution annuelle des précipitations :

Les précipitations liquides annuelles de notre secteur d'étude sont variables et irrégulières d'une année à l'autre.

La carte pluviométrique (Fig.III.6) montre une répartition géographique des précipitations suivant un gradient longitudinal (décroissance d'Ouest en Est) et en latitude (décroissance du Nord vers le Sud).

- ✚ Pour la région de Constantine et pour la série (1984-2011), les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 563.8 mm mais pour la série (1971-1982), les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 562.7 mm.
- ✚ Pour la région d'Ain M' Lila et pour la série 1971-1982 les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 327.53 mm.



Légende :

	>700 mm
	600 – 700 mm
	500 – 600 mm
	400 – 500 mm
	< 400 mm

Figure.III.6 : carte des précipitations de la région d'étude (Extraite de la carte pluviométrique régionale d'A.N.R.H 1993)

III.1.3.2. Distribution mensuelle et saisonnière des précipitations :

Le tableau III.3 résume la répartition moyenne mensuelle et saisonnière des précipitations dans les stations suivantes :

- Variation mensuelle :

Tableau III.3 : répartition mensuelle des précipitations des deux stations.

Stations	Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
	Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Été			
Ain M'lila 1971-1982	Pen mm	38,58	30	25,3	24,8	25,59	28,3	39,12	39,35	39,25	18,67	3,07	15,5	327,53
		93,88			78,69			117,72			37,24			
	%	28,66			24,02			35,94			11,37			
Ain el Bey 1971-1982	Pen mm	47,7	38,4	50,5	54,7	70,6	63,4	70,6	73,2	55,3	19,7	6,2	12,4	562,7
		136,6			188,7			199,1			38,4			
	%	24,3			33,5			35,4			6,8			
Ain el Bey 1984-2011	Pen mm	43,7	42,6	54,2	93,1	72,7	62,1	61,0	57,4	43,9	17,7	4,7	10,8	563,8
		140,5			227,9			162,2			33,2			
	%	25,0			40,5			28,8			5,9			

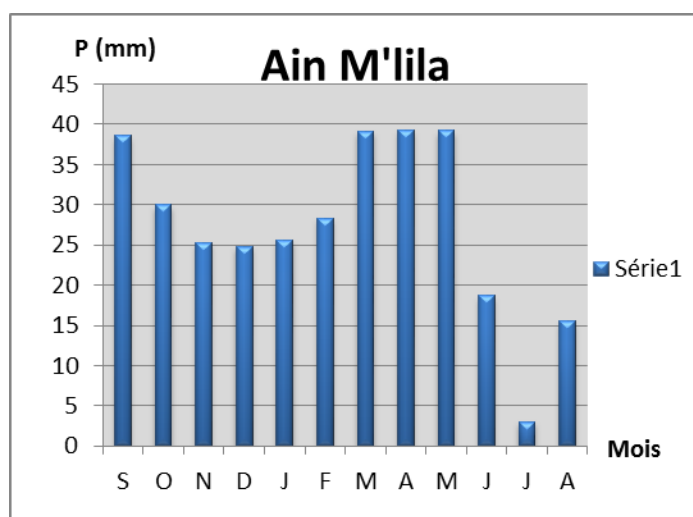


Figure.III.7 : Variations mensuelles des précipitations (1971-1982)

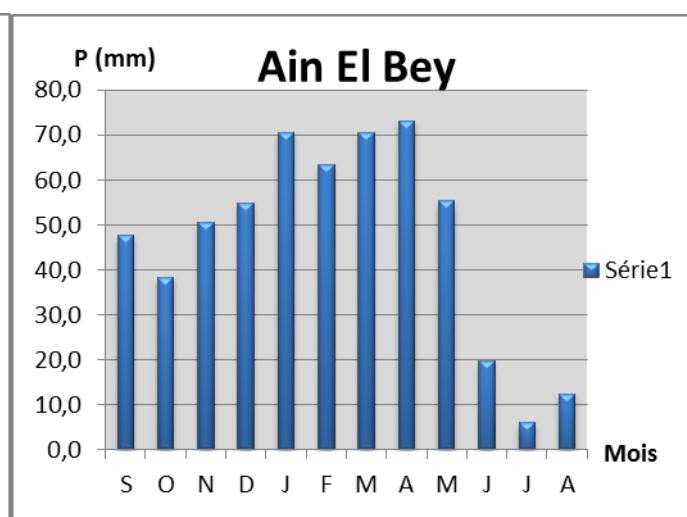


Figure.III.8 : Variations mensuelles des précipitations (1971-1982)

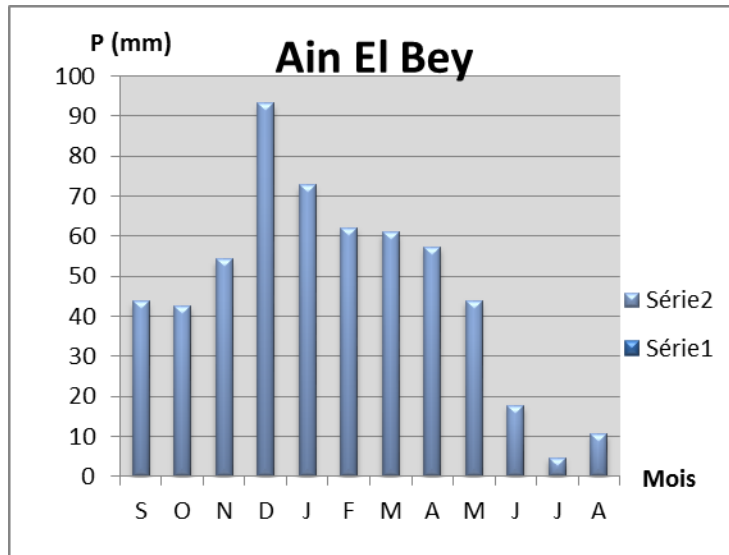


Figure.III.9 : Variations mensuelles des précipitations (1984-2011)

✚ La station d'Ain M'lila :

Pour la série (1971-1982) nous remarquons que le mois d'avril est le plus arrosé (39.35 mm). Par contre, le mois de juillet est le plus sec (3.07 mm).

✚ La station d'Ain El Bey :

Pour la série (1971-1982), on remarque que le mois d'avril est le plus pluvieux (73.2 mm) et le mois de juillet est le plus sec (6.2 mm).

Pour la série (1984-2011), on note que la pluviométrie est importante au mois de décembre (93.1 mm) et elle est très faible au mois de juillet (4.7 mm).

• Variation saisonnière :

Pour la région d'Ain M' Lila, la saison la plus pluvieuse est le printemps avec 35.94%.

Pour la région de Constantine, la saison la plus pluvieuse est le printemps avec 35.4% (1971-1982) et l'hiver avec 40.5% dans la série récente (1984-2011).

III.2. Relation température-précipitation :

III.2.1. Le Diagramme ombro-thermique de Gausсен et Bagnouls :(Fig.3.10 ; Fig.3.11 ; Fig.3.12)

Selon F. Bagnouls et Gausсен, un mois sec est celui dont le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P \leq 2T$).

Période sèche $\longrightarrow P(\text{mm})_{\text{mois}} \leq 2T^{\circ}\text{C}$ (même mois).

L'établissement du diagramme se fait en portant en ordonnée les températures à une échelle double de celles des précipitations et en abscisse les mois de l'année agricole.

Si sur la représentation graphique ainsi obtenue, la courbe des précipitations passe au-dessus de celles des températures, la saison est dite humide. Elle est sèche dans le cas contraire.

La détermination de cette période permet de connaître la période déficitaire en eau.

Tableau.III.4 : précipitation et température mensuelle de chaque station.

Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ain M'lila 1971-1982	P (mm)	25,59	28,3	39,12	39,35	39,25	18,67	3,07	15,5	38,58	30	25,3	24,8
	T°C	6,89	7,57	9,07	11,59	16,62	21,45	24,5	24,5	21,5	14,75	10,57	7,82
Ain El Bey 1971-1982	P (mm)	70,6	63,4	70,6	73,2	55,3	19,7	6,2	12,4	47,7	38,4	50,5	54,7
	T°C	6,7	7,6	9,1	11,3	15,9	21,0	24,6	24,4	20,4	15,3	10,0	7,5
Ain El Bey 1984-2011	P (mm)	72,7	62,1	61,0	57,4	43,9	17,7	4,7	10,8	43,7	42,6	54,2	93,1
	T°C	6,7	7,6	10,0	12,7	17,4	22,5	25,7	25,8	23,3	18,7	13,3	9,6

III.2.2. Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte) :

Le rapport P/T établi mensuellement permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol, il permet de définir quatre types de régime.

$P/T < 1 \longrightarrow$ régime très sec.

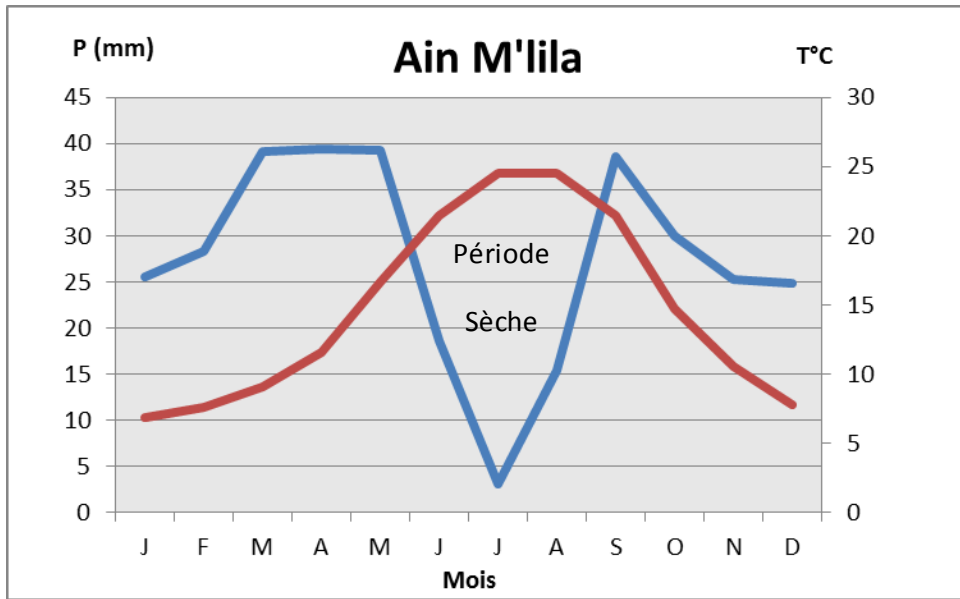
$1 < P/T < 2 \longrightarrow$ régime sec.

$2 < P/T < 3 \longrightarrow$ régime sub-humide.

$P/T > 3 \longrightarrow$ régime humide.

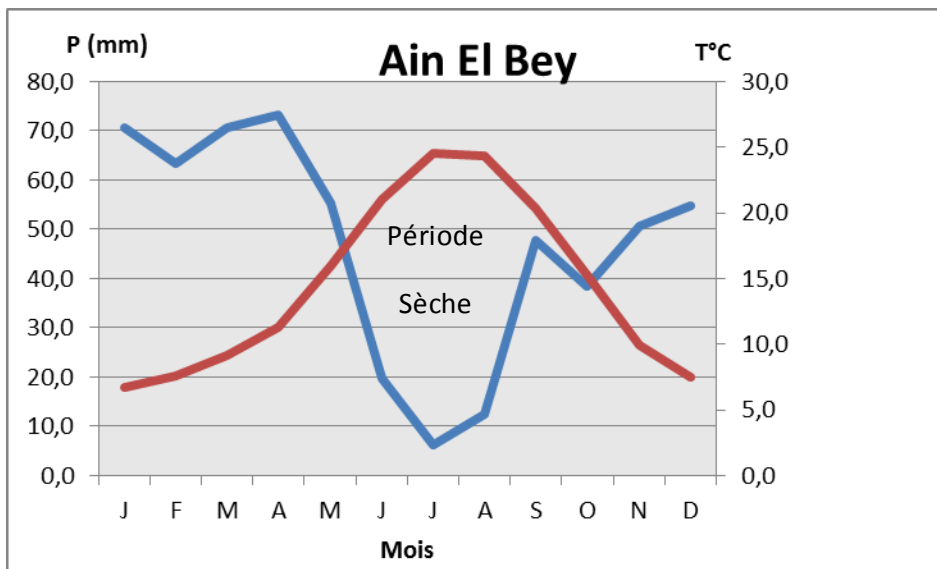
Tableau III.5 : Rapport (P/T) des deux stations.

Saisons- Mois	Automne			Hiver			Printemps			Été			
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Ain M'lila 1971-1982	P (mm)	38,58	30	25,3	24,8	25,59	28,3	39,12	39,35	39,25	18,67	3,07	15,5
	T°C	21,5	14,75	10,57	7,82	6,89	7,57	9,07	11,59	16,62	21,45	24,5	24,5
	P/T	1,8	2,0	2,4	3,2	3,7	3,7	4,3	3,4	2,4	0,9	0,1	0,6
Ain El Bey 1971-1982	P (mm)	47,7	38,4	50,5	54,7	70,6	63,4	70,6	73,2	55,3	19,7	6,2	12,4
	T°C	20,4	15,3	10,0	7,5	6,7	7,6	9,1	11,3	15,9	21,0	24,6	24,4
	P/T	2,3	2,5	5,1	7,3	10,6	8,4	7,7	6,5	3,5	0,9	0,3	0,5
Ain El Bey 1984-2011	P (mm)	43,7	42,6	54,2	93,1	72,7	62,1	61,0	57,4	43,9	17,7	4,7	10,8
	T°C	23,3	18,7	13,3	9,6	6,7	7,6	10,0	12,7	17,4	22,5	25,7	25,8
	P/T	1,9	2,3	4,1	9,7	10,9	8,2	6,1	4,5	2,5	0,8	0,2	0,4



P (mm) ——— T°C ———

Figure.III.10 : Diagramme ombro-thermique (1971-1982)



P (mm) ——— T°C ———

Figure.III.11 : Diagramme ombro-thermique (1971-1982)

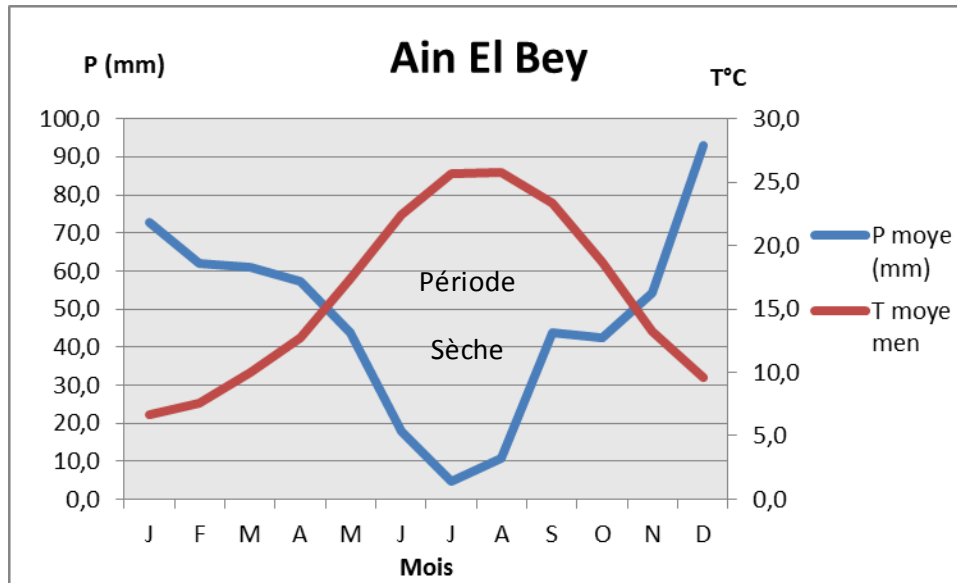


Figure.III.12 : Diagramme ombro-thermique (1984-2011)

Nous constatons d'après les résultats (Tableau III.5) que :

- Les mois de juin, juillet et août correspondent à un régime très sec (saison d'été).
- Le mois de septembre est classé sec pour la région d'Ain M'lila et pour la série récente de Constantine. Par contre, il est classé sub-humide pour la série ancienne de Constantine.
- Les mois d'octobre et mai indiquent un régime sub-humide pour la région d'Ain M'lila et pour la série récente de Constantine.
- Enfin, le régime est humide durant décembre jusqu'au mois d'avril pour Ain M'lila et du mois novembre jusqu'au mois de mai pour la série ancienne de Constantine et du mois de novembre jusqu'au mois d'avril pour la série récente de Constantine.

III.2.3. Climagramme d'Emberger :

Pour situer le climat de la région étudiée, on utilise le climagramme d'Emberger (Fig. III.13) qui est un abaque comportant en ordonnées les valeurs du Q_2 qui sont données par la relation (III.13) et en abscisses la température moyenne des minimas de la saison froide.

$$Q_2 = 2000 [P / (M^2 - m^2)] \quad (\text{III.13})$$

Où :

P : désigne la précipitation moyenne annuelle en mm ;

M : désigne le maximum du mois le plus chaud en degré Kelvin (°K) ;

m : désigne le minimum du mois le plus froid en degré Kelvin (°K)

$$\text{Avec } T (\text{°K}) = T (\text{°C}) + 273,15$$

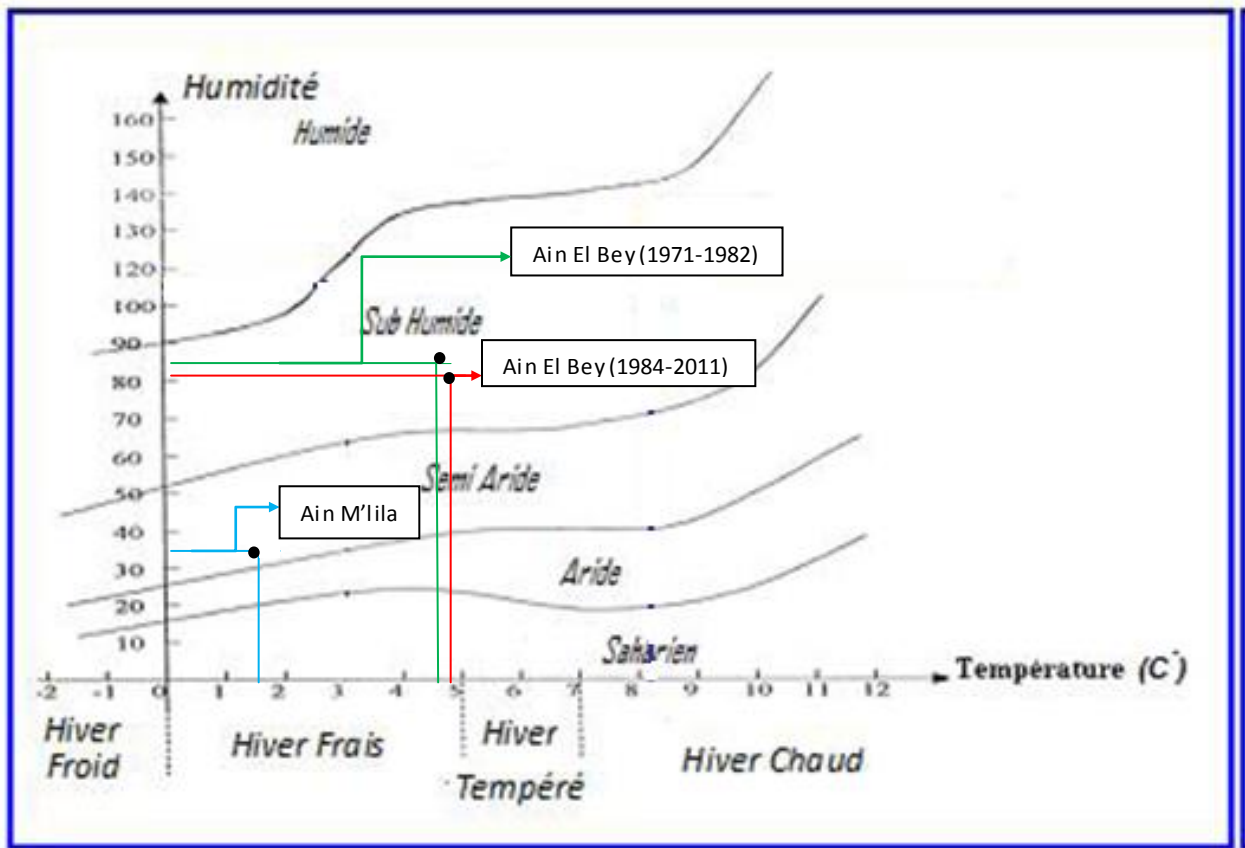


Figure III.13 : Diagramme de L.Emberger

Application numérique :

Tableau.III.6 : les paramètres calculés des deux stations.

Paramètre	Station d'Ain El Bey		Station d'Ain M'lila
	Serie 1984-2011	Serie 1971-1982	1971-1982
M (K°)	$28,8+273,15=301,95$	$27,7+273,15=300,85$	$34+273,15=307,15$
m (K°)	$4,6+273,15=277,75$	$4,5+273,15=277,65$	$1,5+273,15=274,65$
P (mm)	563,8	562,7	327,53
Qn (K°)	80,38	83,85	34,64
T°C	4,6	4,5	1,5

Après le report des coordonnées (4.6-80.38 K°), (4.5-83.85 K°), (1.5-34.64 K°) sur le climagramme d'Emberger.

Les points obtenus indiquent que le régime climatique pour la station d'Ain El Bey est sub-humide et semi-aride pour la station d'Ain M'lila.

III.3. Le calcul de l'évapotranspiration :

Le but de l'analyse du bilan de l'eau est d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes de ce bilan à savoir : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

Ce dernier paramètre étant le plus important dans la mesure où il conditionne l'abondance et l'absence de l'eau pour la végétation et l'écoulement. Nous pouvons le définir comme étant la somme de toutes les pertes par la transformation de l'eau en vapeur.

Le taux d'évapotranspiration est déterminé par l'ensemble des processus d'évaporation (phénomène physique) et transpiration (phénomène biologique lié à la couverture végétale).

Ces deux phénomènes dépendent du climat et de ses variations ainsi que de plusieurs paramètres ; précipitation et humidité de l'air. Les paramètres utilisés dans le calcul du bilan sont soit :

Des paramètres mesurés dans des postes ou des stations climatiques, soit des paramètres calculés empiriquement (ETP et ETR).

III.3.1. Le calcul de l'évapotranspiration réelle-ETR :

L'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement est la quantité évaporée effectivement par le sol pour le calcul de l'ETR. Nous appliquons plusieurs méthodes (Coutagne-turc et le bilan de Thornthwaite.)

- **Méthode de Turc** : Turc présente la formule suivante :
$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

L= coefficient de température = $300 + 25 \times T + 0.05T^3$.

P= Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T= température moyenne annuelle donnée en °C.

Tableau.III.7 : estimation de l'ETR selon Turc aux deux stations.

Paramètres	Station d'Ain El Bey		Station d'Ain M'lila
	Série 1984-2011	Série 1971-1982	1971-1982
P en (mm)	563,8	562,7	327,53
T en °C	16,1	14,5	14,73
Len °C	855,6	813	828,1
ETR en (mm)	488,10	479,17	318,66

- **Méthode de Coutagne :**

Cette valeur fait intervenir la pluviométrie et la température

$$ETR = P - \lambda P^2 \rightarrow \text{formule (1) avec : } \lambda = \frac{1}{0.8+0.14 \times t}$$

P : désigne la précipitation moyenne annuelle en mm ;

λ : désigne un paramètre dépendant de la température ;

Cette formule est applicable pour $1/8 \lambda < P(m) < 1/2 \lambda$.

Tableau.III.7 : estimation de l'ETR selon Coutagne aux deux stations.

Paramètres	Station d'Ain El Bey		Station d'Ain M'lila
	Série 1984-2011	Série 1971-1982	1971-1982
P en (m)	0,5638	0,5627	0,32753
T en °C	16,1	14,5	14,73
λ	0,327	0,353	0,349
ETR en (m)	0,46	0,45	0,29

Dans notre cas :

$$1/8 \lambda < P(m) < 1/2 \lambda \begin{cases} \rightarrow 0,38175 < 0,5638 < 1,527. \\ \rightarrow 0,35375 < 0,5627 < 1,415. \end{cases}$$

Remarque :

Pour la station d'Ain M' Lila cette formule n'est pas applicable \rightarrow
 $0,35777 < 0,32753 < 1,4311$.

Tableau III.8 : Valeurs de l'ETR déterminée dans les deux stations.

Station	Paramètres	Formules	Valeur en (mm)	%par rapport P
Ain El Bey 1984-2011	ETR	Turc	488.1	86.57
		Coutagne	459.7	81.54
Ain El Bey 1971-1982	ETR	Turc	479.2	85.16
		Coutagne	450.8	80.11
Ain M'lila 1971-1982	ETR	Turc	318.66	97.30

III.3.2. Le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Elle représente la température d'un couvert végétal en pleine croissance alimenté en eau continuellement. Ce grandeur correspond donc à un concept théorique et représente les possibilités maximales d'évaporation dans les conditions climatiques données.

Pour le calcul de ce paramètre, Thornthwaite a proposé la formule suivante.

$$ETP = 16 (10 T/I)^a .K$$

D'où:

ETP : évapotranspiration potentielle exprimée en mm

T : température moyenne mensuelle en °C

I : somme des indices thermiques i

$$I = \sum^{12} i \quad \text{ou} : i = (T/5)^{1.514}$$

K : coefficient d'ajustement, facteur correctif mensuel, en fonction de la durée et de l'altitude.

a : exposant climatique, ou :

$$a = 0.016 (I) + 0.5$$

Tableau. III.9 : calcul de l'E.T.P mensuelle selon C.W. Thornthwaite des deux stations.

	Mois	sept	oct.	nov.	déc.	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	aout	Année
	Paramètres													
Ain M'lila 1971-1982	P (mm)	38,6	30,0	25,3	24,8	25,6	28,3	39,1	39,4	39,3	18,7	3,1	15,5	327,5
	T °C	21,5	14,8	10,6	7,8	6,9	7,6	9,1	11,6	16,6	21,5	24,5	24,5	14,7
	I	9,1	5,1	3,1	2,0	1,6	1,9	2,5	3,6	6,2	9,1	11,1	11,1	66,3
	ETP	100,4	55,8	33,2	20,7	17,0	19,7	26,1	38,3	67,2	100,0	123,1	123,1	724,5
	F	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	
	ETP Corr.	103,4	54,1	28,5	17,4	14,8	16,7	26,9	42,1	81,3	122,0	152,6	142,8	802,7
Ain El Bey 1971-1982	P (mm)	47,7	38,4	50,5	54,7	70,6	63,4	70,6	73,2	55,3	19,7	6,2	12,4	562,7
	T °C	20,4	15,3	10,0	7,5	6,7	7,6	9,1	11,3	15,9	21,0	24,6	24,4	14,5
	I	8,4	5,4	2,8	1,9	1,5	1,9	2,5	3,4	5,8	8,8	11,1	11,0	64,5
	ETP	93,2	59,9	31,1	20,3	16,9	20,4	27,3	37,5	63,9	97,6	124,1	122,6	714,6
	K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
	ETP Corr.	96,0	58,1	26,7	17,0	14,7	17,3	28,1	41,3	77,3	119,1	153,8	142,2	791,6
Ain El Bey 1984-2011	P (mm)	43,7	42,6	54,2	93,1	72,7	62,1	61,0	57,4	43,9	17,7	4,7	10,8	563,8
	T °C	21,1	16,5	11,0	7,7	6,7	7,6	9,7	12,3	17,0	22,0	25,4	25,4	15,2
	I	8,9	6,1	3,3	1,9	1,5	1,9	2,7	3,9	6,4	9,4	11,7	11,7	69,5
	ETP	96,0	64,6	33,7	18,9	14,9	18,3	27,5	40,3	67,5	102,8	129,2	129,0	742,8
	F	1,0	1,0	0,9	0,8	0,9	1,2	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	0,9	
	ETP Corr.	98,9	62,7	29,0	15,9	13,0	21,2	28,0	44,4	81,7	125,4	158,9	109,6	788,7

III.4. Déficit et bilan hydrique selon Thornthwaite :

Il a pour but de quantifier les transferts d'eaux issues des précipitations et de caractériser un sol du point de vue sécheresse ou humidité.

Selon Thornthwaite, la quantité d'eau nécessaire pour qu'un sol soit saturé est équivalent à une lame de 100 mm. L'établissement de ce bilan hydrique est basé sur deux conditions.

- ✚ Si $P > ETP \rightarrow ETR=ETP \rightarrow$ il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation. Le surplus représente l'écoulement superficiel ou souterrain et on aura.
 $RFU = (P-ETP) + RFU$ précédente.
 $RFU > 100 \rightarrow$ présence d'excédent.
 $RFU < 100 \rightarrow$ pas d'excédent.
- ✚ Si $P < ETP$, il y aura épuisement des réserves ; dans ce cas on aura un déficit du bilan, $ETP - ETR$ ou encore $ETP - P$ qui représentera la quantité d'eau qu'il faudra ajouter à l'ETR pour atteindre l'ETP.

On peut conclure que le bilan hydrique de Thornthwaite établi mensuellement permet d'estimer pour chaque mois.

- l'évaporation réelle (ETR) ;
- le réserve facilement utilisable (RFU), en utilisant d'avance une RFU minimale= 0 mm au mois d'Aout et une RFU maximale=100 mm pour les climats semi-aride.
- le déficit agricole (D_a) et l'excédent.

Les tableaux (III.10, III.11, III.12) récapitulent les différentes opérations du bilan des deux stations.

✚ Station d'Ain El Bey, série 1984-2011 :

Tableau III.10 : bilan hydrique à la station de Constantine (1984-2011).

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUIL	AOUT	Année
P (m)	43,7	42,6	54,2	93,1	72,7	62,1	61,0	57,4	43,9	17,7	4,7	10,8	563,8
ETP	98,9	62,7	29,0	15,9	13,0	21,2	28,0	44,4	81,7	125,4	158,9	109,6	788,8
P-ETP	-55,2	-20,1	25,3	77,2	59,7	40,9	32,9	13,0	-37,8	-	-154,3	-98,8	-
ETR	43,7	42,6	29,0	15,9	13,0	21,2	28,0	44,4	81,7	79,9	4,7	10,8	414,8
RFU	0	0	25,2	100	100	100	100	100	62,2	0	0	0	587,4
EXC	0,0	0,0	0,0	61,3	59,7	40,9	32,9	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	207,8
DA	55,2	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,5	154,3	98,8	373,9

✚ Station d'Ain El Bey, série 1971-1982 :

Tableau III.11 : Bilan hydrique à la station de Constantine (1971-1982).

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Année
P (m)	47,7	38,4	50,5	54,7	70,6	63,4	70,6	73,2	55,3	19,7	6,2	12,4	562,7
ETP	96	58,1	26,7	17	14,7	17,3	28,1	41,3	77,3	119,1	153,8	142,2	791,6
P-ETP	-48,3	-19,7	23,8	37,7	55,9	46,1	42,4	31,9	-22,0	-99,4	-	-129,8	-
ETR	47,7	38,4	25,9	16,4	14,7	17,3	28,1	41,3	77,3	97,7	6,2	12,4	423,4
RFU	0	0	24,6	62,3	100	100	100	100	78	0	0	0	564,9
EXC	0,0	0,0	23,8	37,7	55,9	46,1	42,4	31,9	0,0	0,0	0,0	0,0	237,9
DA	48,3	19,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,4	147,6	129,8	366,8

✚ Station d'Ain M'lila, série 1971-1982 :

Tableau III.12 : Bilan hydrique à la station d'Ain M'lila (1971-1982).

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	Année
P (m)	38,58	30	25,3	24,8	25,59	28,3	39,12	39,4	39,3	18,67	3,07	15,5	327,5
ETP	103,4	54,1	28,5	17,4	14,8	16,7	26,9	42,1	81,3	122,0	152,6	142,8	802,7
P-ETP	-64,8	-24,1	-3,2	7,4	10,8	11,6	12,2	-2,8	-42,0	-	-	-127,3	-
ETR	38,6	30,0	25,3	17,4	14,8	16,7	26,9	42,1	78,5	18,7	3,1	15,5	327,5
RFU	0	0	0	7,4	18,2	29,8	42	39,2	0	0	0	0	459,8
EXC	0,0	0,0	0,0	7,4	10,8	11,6	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,0
DA	64,8	24,1	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	103,4	149,5	127,3	417,1

III.4.1. Station d'Ain El Bey, série 1984-2011 :

D'après le tableau III.10, les précipitations deviennent supérieures à l'ETP à partir du mois de novembre jusqu'à au mois d'avril. Il y a donc une reconstitution des réserves du sol et qui atteint son maximum au mois de janvier avec un excédent de 59.7 mm. Elle commence à diminuer jusqu'à sa disparition au mois du mai ou les réserves commencent à s'épuiser jusqu'à devenir nulle sur une période de 5 mois, avec un déficit agricole maximale au mois de juillet qui atteint 154.3 mm.

L'ETR est de 414.8 mm. Cela montre que la période sèche commence à partir du mois de juin et se poursuit jusqu'à octobre.

III.4.2. Station d'Ain El Bey, série 1971-1982 :

Presque le même de la série récente avec des petites variations des valeurs telle que :

- l'excédent de 55.9 mm.
- déficit agricole maximal au mois de juillet est de 147.6 mm.
- l'ETR est de 423.4 mm.

III.4.3. Station d'Ain M'lila, série 1971-1982 :

D'après le tableau (III.12), les précipitations deviennent supérieures à L'ETP à partir du mois de décembre jusqu'au mois de mars. Il y a donc une reconstitution des réserves du sol et qui atteint son maximum au mois de mars (12.2 mm) et commence à diminuer jusqu'à sa disparition au mois d'avril où les réserves commencent à s'épuiser jusqu'à devenir nulle sur une période de 7 mois. Le déficit agricole débute au mois de mai et se prolonge jusqu'au mois de décembre dont le maximum est enregistré au mois de juillet qui atteignant 149.5 mm.

L'ETR est de 327.5 mm, \rightarrow ETR = P.

Le déficit annuel est estimé à 417.1mm. Cela montre que la période sèche commence à partir du mois de juin et poursuit jusqu'au mois de novembre.

III.5. Estimation du ruissellement et de l'infiltration :

On a la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Où:

P: précipitation moyenne annuelle en mm

ETR : évapotranspiration réelle moyenne en mm

R : ruissellement moyen en mm

I : infiltration moyenne en mm

D'où: $R + I = P - ETR$ (ETR calculé selon thornthwaite); les valeurs de (R+I) calculer pour la station d'Ain El Bey sont rapportées dans le tableau (III.13).

D'après la formule de Tixeront-Berkalof, le ruissellement superficiel peut être estimé par la formule suivante :

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

Où : P : désigne la précipitation moyenne annuelle en mm.

ETR : désigne l'évapotranspiration potentielle en mm.

Tableau .III.13 : estimation du ruissellement et de l'infiltration

Paramètres	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	R+I (mm)	R (mm)	R (% de P)	I (mm)	I (% de P)
Station						(% de P)		(% de P)
Ain El Bey 1971-1982	562,7	791,6	423,4	139,3	97,3	17,3	42,1	7,5
Ain El Bey 1984-2011	563,8	788,8	414,8	149,0	96,0	17,0	53,0	9,4
Ain M'lila 1971-1982	327,5	802,7	327,5	0,0	18,2	5,6	/	/

On remarque que l'ETP est plus élevée que la précipitation disponible mais un ruissellement et une infiltration peuvent se produire car ces deux phénomènes tiennent compte de la lithologie du terrain.

Station Ain El Bey (1971-1982):

- R = 97.3 mm soit 17.3% des précipitations.
- I = 42.1 mm soit 7.5% des précipitations.

Station Ain El Bey (1984-2011):

- R = 96.0 mm soit 17.0% des précipitations.
- I = 53.0 mm soit 9.4% des précipitations.

Comparaison :

À titre de comparaison, les valeurs de R+I à Ain M'lila sont très faibles (P=ETR), ce qui pose le problème d'application des différentes méthodes en régime semi-aride et aride.

Si on considère une dégradation progressive du climat vers le Sud des valeurs de R et I de l'ordre respectivement de 8% et 6%, nous semblent plus proche de la réalité. C'est ce que l'on constate effectivement dans le Sud Sétifien à régime climatique comparable à celui d'Ain M'lila (valeur appliquée pour les infiltrations I et les ruissellements pour les réserves régulatrices).

III.6. Conclusion :

Ce chapitre a fait l'objet d'une analyse des différents facteurs climatiques importants dans un bilan hydrologique.

D'après les résultats obtenus, on constate que notre région d'étude se range dans un climat semi-aride caractérisé par un hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud.

L'augmentation remarquable de la température engendre une augmentation de l'évapotranspiration. Ce qui va influencer sur le ruissellement et l'infiltration, c'est-à-dire sur l'alimentation des aquifères et sur le renouvellement des eaux. On peut conclure que la situation climatique défavorable vécue durant -au moins- ces deux dernières décennies est caractérisée par un déficit pluviométrique important qui a entraîné une baisse sensible du stock des eaux souterraines ou superficielles au niveau des barrages et des retenues

CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

IV. 1. Introduction :

L'étude hydrogéologique permet d'identifier et de vérifier les différents types d'aquifères existants.

Les ressources en eaux souterraines sont beaucoup plus difficiles à appréhender que celles des eaux de surface en raison de la complexité du système hydrogéologique du grand bassin Kébir Rhumel et notamment de l'ensemble géologique qui constitue l'aquifère néritique constantinoise.

IV. 2. Description des aquifères :

La région d'étude recèle deux systèmes d'aquifère : l'un poreux contenu dans les formations mio-plio-quaternaire et l'autre fissuré et karstique contenu dans les formations carbonatées du Jurassique et du Crétacé (essentiellement dans les calcaires néritiques du Crétacé). En ce qui concerne les aquifères du Tertiaire (Mio-Pliocène), il est, nécessaire de les distinguer de l'aquifère alluvionnaire du Quaternaire développé dans les cours d'eau (vallée de l'oued Boumerzoug). Cependant, à part quelques zones montrant une imperméabilisation des lits des cours d'eau et donc une séparation de ces formations, le système hydraulique du Néogène est regroupé en une seule entité mio-plio-quaternaire. En fait, du fait de la forte tectonique, tous les aquifères sont mis en relation. Certaines zones montrent bien un système karstique binaire.

Face à ces trois ensembles aquifères, le rôle hydrogéologique des autres formations (nappe de flysch, les nappes telliennes) est négligeable du fait de leur très faible productivité.

IV. 2.1. L'aquifère poreux :

On distingue deux types de formations :

- Formations à forte ressources souterraines.
- Formations à moyenne ou à faible ressources souterraines.

IV. 2.1. 1. Formation du Mio-Pliocène à moyennes et faibles ressources :

Cette série du Mio-Pliocène est composée essentiellement d'argiles et des marnes parfois gypsifères, calcaires lacustres, conglomérats, grès et sables. Cette série est très irrégulière à la fois dans son épaisseur et dans ses faciès avec une porosité efficace moyenne à faible, mais à cause des niveaux travertins eux (calcaire lacustre) qu'elle comporte, ces formations possèdent des possibilités d'infiltration dans des secteurs localisés se traduisant par des points d'eau dispersés représentés surtout par des sources.

La circulation des eaux souterraines est commandée par la variation de faciès du remplissage Mio-Pliocène « circulation privilégiée dans les zones à grès, calcaires et conglomérats ».

IV. 2.1.2. Formation du Quaternaire à fortes ressources souterraines :

On considère ici les alluvions récentes formées le long des oueds ainsi que les terrasses, les glacis souvent encroûtés et les croutes calcaires du quaternaire ancien.

- Les nappes localisées au niveau des vallées sont étroitement liées aux cours d'eau et ont une influence directe sur le régime hydrogéologique.
- Les nappes phréatiques des plaines de remblaiement sont en partie en relations avec les massifs calcaires mais l'alimentation reste surtout tributaire des précipitations atmosphériques

IV.2.2. L'aquifère fissuré et karstifié :

IV.2.2.1. Formation du Crétacé:

Les nappes profondes représentent un système hydrogéologique plus complexe, elles se rapportent essentiellement aux massifs calcaires néritiques du sud et ceux du Nord.

- Les massifs méridionaux présentent un karst superficiel très développé avec des émergences thermiquement normales qui se situent au piémont des massifs.
- Les massifs septentrionaux sont caractérisés par la karstification dont certains d'entre eux possédant des sources thermales émergeant à la faveur d'une faille (source de Sidi m'Sid), au pied du roche de Constantine ou à travers des dépôts mio-plio-quaternaire entourant les massifs néritiques.

IV.2.2.2. Généralités sur le karst :

IV.2.2.2.1. Le karst (définition) :

Le terme de karst (mot allemand) est dérivé du nom d'une région calcaire de Yougoslavie dont les formes souterraines et superficielles sont assez exemplaires. Le système karstique se caractérise, en outre, par des phénomènes hydrauliques spécifiques tels que l'existence d'importantes sources, de pertes et de l'existence de réseaux à grande échelle. Là karstification correspond donc à « l'ensemble des processus de genèse et d'évolution des formes superficielles et souterraines dans une région karstique » (Gèse, 1973). Le karst se définit comme une géomorphologie désordonnée et irrégulière montrant des caractéristiques hydrologiques particulières résultant de la présence de roches faiblement solubles, dans lesquelles le drainage a lieu au sein de discontinuités et de conduits élargis par dissolution. La majorité des karsts sont localisés au sein de roches sédimentaires carbonatées et se développent généralement dans la plupart de celles présentant un fort degré de fracturation.

Le terme karst a été différemment interprété par les différentes disciplines relevant des sciences de la terre. La karstologie a été introduite, en premier lieu, par les géomorphologues pour décrire les formes superficielles des massifs carbonatés (exokarst). Plus tard, cette notion a été appliquée à tous les systèmes hydrauliques résultant de la dissolution des roches (roches carbonatées, roches évaporitiques...). Pour Jeannin (1993), l'aquifère karstiques est constitué d'un réseau de conduits connexes aboutissant à des exutoires et drainant ou alimentant des volumes de roches fissurées ou fracturées de faibles perméabilités. De Marsily (1984) décrit le karst comme étant un milieu où l'hétérogénéité des vides a atteint son paroxysme.

IV.2.2.2.2. Génèse du karst :

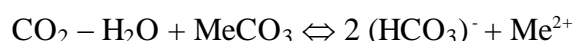
Il est acquis aujourd'hui que les facteurs conduisant à la karstification sont au nombre de trois, à savoir : une masse carbonatée, pourvue de discontinuité (joints de stratification, fractures, failles...), une quantité d'eau renouvelable et agressive (présence de CO₂ d'origine pédologique, atmosphérique), une énergie, ou gradient hydraulique, pour faire transiter cette eau à travers la masse carbonatée : c'est souvent la différence d'altitude entre la zone d'infiltration et la zone de restitution des eaux dans le karst.

Le processus de karstification est régi, en premier lieu, par la dissolution ou corrosion des formations carbonatées sous l'action d'eaux chargées d'acide carbonique. À cela s'ajoute l'état de fissuration de la roche. Les fissures vont permettre à l'eau agressive de s'infiltrer et donc d'exercer son action de dissolution en profondeur. Les propriétés de la roche (composition chimique, texture, structure, etc.) interviennent également dans le processus de

karstification.

La dissolution ne s'effectue pas uniformément dans toute la masse calcaire. Les calcaires possèdent, généralement, de très faibles solubilités en présence d'une eau pure. Il s'agit donc d'une véritable attaque à l'acide carbonique. Les eaux puisent cet acide principalement dans le sol, où les teneurs en CO₂ dues à l'activité biologique sont élevées.

Une fois chargées en CO₂, les eaux sont acides et elles sont capables de dissoudre les roches carbonatées, suivant une réaction triphasée (roche carbonatée, eau et CO₂) dont l'équation générale est la suivante :



Me représente un cation divalent, Ca ou Mg

Cependant, la dissolution du CO₂ est d'autant plus grande que : la température est basse et la pression partielle est plus élevée. Certains auteurs estiment que la dissolution est, principalement dépendante de la température. Ainsi, le phénomène de karstification serait plus marqué en région montagneuse plus froide.

Une part importante de la dissolution a lieu en surface sur un karst nu où les eaux s'infiltrent rapidement. En profondeur, la dissolution est également variable dans le temps et dans l'espace. Elle est importante dans la zone noyée en présence de vastes cavités (Bakalowicz, 1979).

Dans les conditions normales de température et pression (25 ° et 1 atm.), Bakalowicz (1979) à donné les résultats suivants (Tab. IV.1) :

Tableau IV.1 Constante de dissociation de quelques roches carbonatées.

Minéral	composition	Constante de dissociation
Calcite	CaCO ₃ rhomboédrique	3.8 10 ⁻⁹
Aragonite	CaCO ₃ orthorhombique	6.09 10 ⁻⁹
Magnésite	MgCO ₃	5.75 10 ⁻⁹
dolomite	Ca,Mg (CO ₃) ₂	10 ⁻¹⁷

IV.2.2.2.3. Structure et fonctionnement des aquifères karstiques :

De son aspect karstique, la structure du système hydrogéologique de la nappe des calcaires se caractérise par une hétérogénéité spatiale extrême liée à la présence de réseaux de conduits fortement perméables contenus au sein d'une matrice calcaire peu perméable. Cette géométrie karstique influence fortement le fonctionnement hydrodynamique.

Droge (1971) définit un karst, comme un milieu à double porosité où le premier terme concerne les écoulements dans les conduits et le second terme les parties peu ou pas fracturées. Ainsi, du point de vue propriétés hydrauliques, il s'ensuit un comportement hétérogène de la variabilité spatiale de la perméabilité. Les conduits présentent de fortes perméabilités et de faibles capacités de stockage, alors que la matrice rocheuse fracturée présente de faibles perméabilités mais de fortes capacités de stockage. À cela s'ajoute parfois le manque d'inter connectivité entre les réseaux de conduits.

Pour Mangin (1975), le système karstique qui est l'unité fonctionnelle est défini comme : « L'ensemble au niveau duquel les écoulements de type karstique constituent une unité de drainage ».

Le fonctionnement fait appel à la notion de système défini comme une unité de drainage limité dans l'espace et dans le temps, régi par 3 types de fonction (Fig. IV.1) :

- des fonctions d'entrée : les précipitations, le ruissellement, l'évaporation, la température et la chimie des pluies
- des fonctions de transfert, qui engendrent, véhiculent et modifient l'information vers la sortie,
- des fonctions de sortie : le débit, la température et le chimisme de l'eau à l'émergence.

IV.2.2.2.4. Schéma conceptuel général :

Le modèle conceptuel d'un système aquifère karstique repose sur un schéma proposé par Mangin (1975). Ce schéma comprend les caractéristiques suivantes (Fig. IV.2) :

- la zone de recharge,
- l'épikarst,
- le réseau de conduits karstiques,
- la matrice rocheuse fissurée et fracturée,
- les zones de vidange.

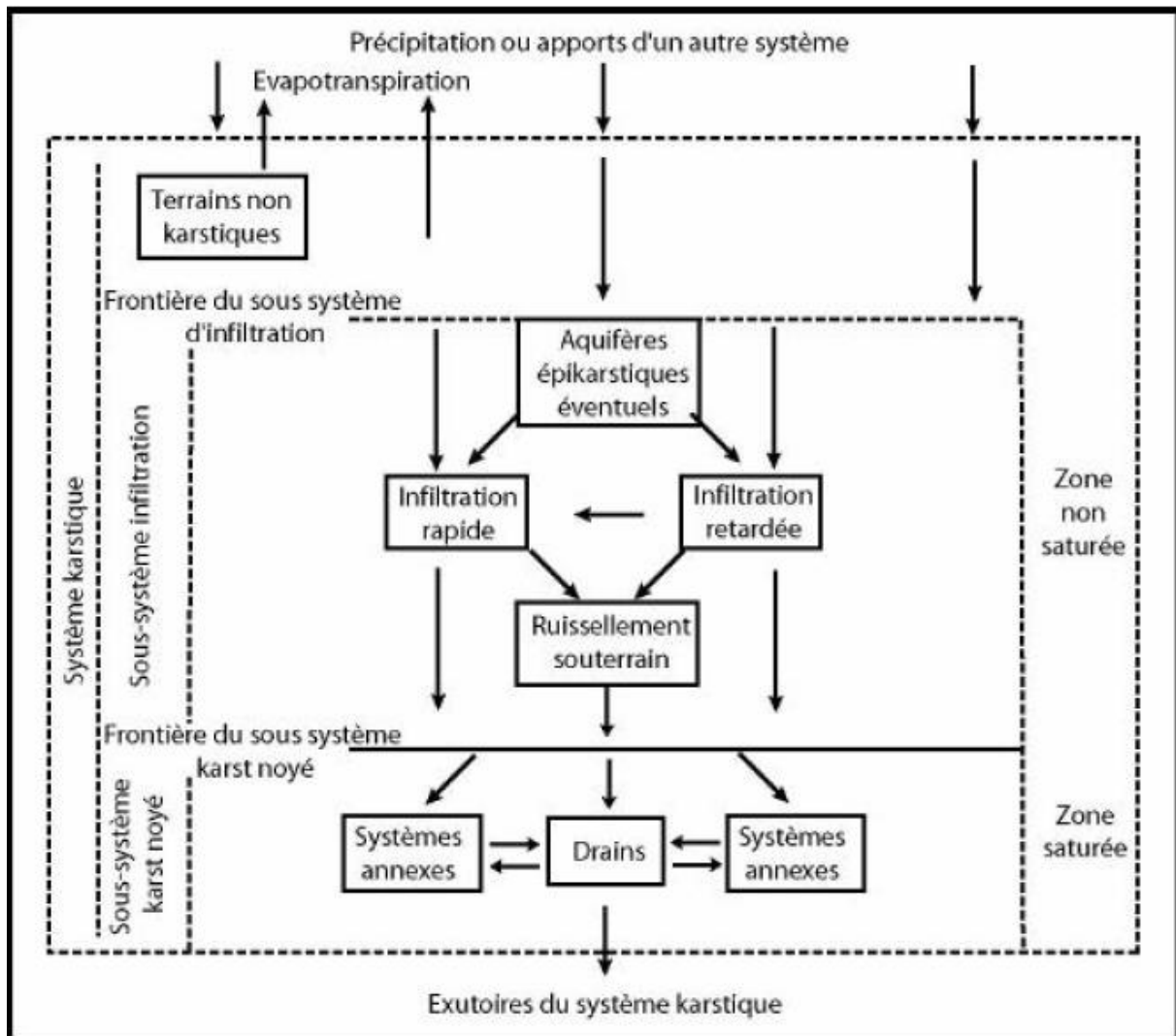


Figure IV.1 Schéma de Fonctionnement général du karst (Mangin, 1975)

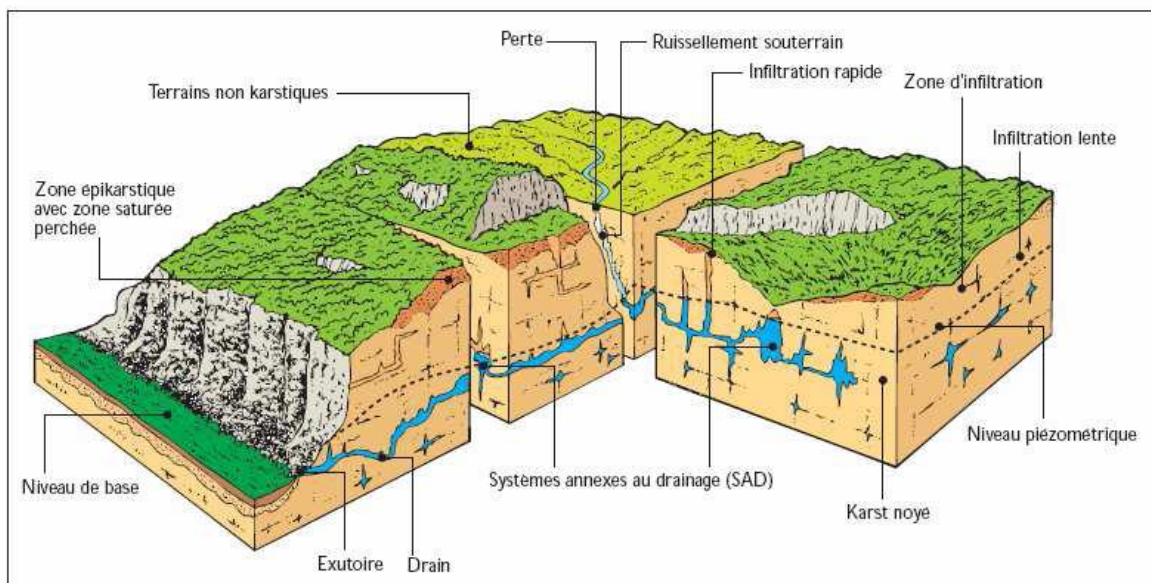


Figure IV.2 : l'aquifère Karstique (Mangin, 1975).

IV.2.2.2.4.1. La zone de recharge :

Les infiltrations rapides ne transitent pas par les blocs peu perméables, mais par des points d'infiltration concentrée tels que des pertes, reliées directement au réseau karstique, ainsi que par l'épikarst.

Les conditions d'infiltrations déterminent les modalités d'alimentation de l'aquifère. Elles peuvent être diffuses ou concentrées. Suivant la nature du bassin-versant recueillant les eaux de pluie (selon qu'il s'agit d'un terrain uniquement karstique ou, en partie, en présence d'une couverture détritique plus ou moins perméable) on peut distinguer les systèmes unaires ou binaires (Fig. IV.3).

Les karsts unaires, pour lesquels l'impluvium est constitué exclusivement, de terrains karstiques reçoivent directement, les eaux de précipitations sur sa surface carbonatée. Les karsts binaires possèdent, dans leur bassin-versant, des terrains non-karstiques et des couvertures imperméables. Les eaux de ruissellements sont drainées par le karst, par le biais de pertes. Le flux traversant ce type de karst est largement supérieur à celui infiltré à travers la surface de l'impluvium.

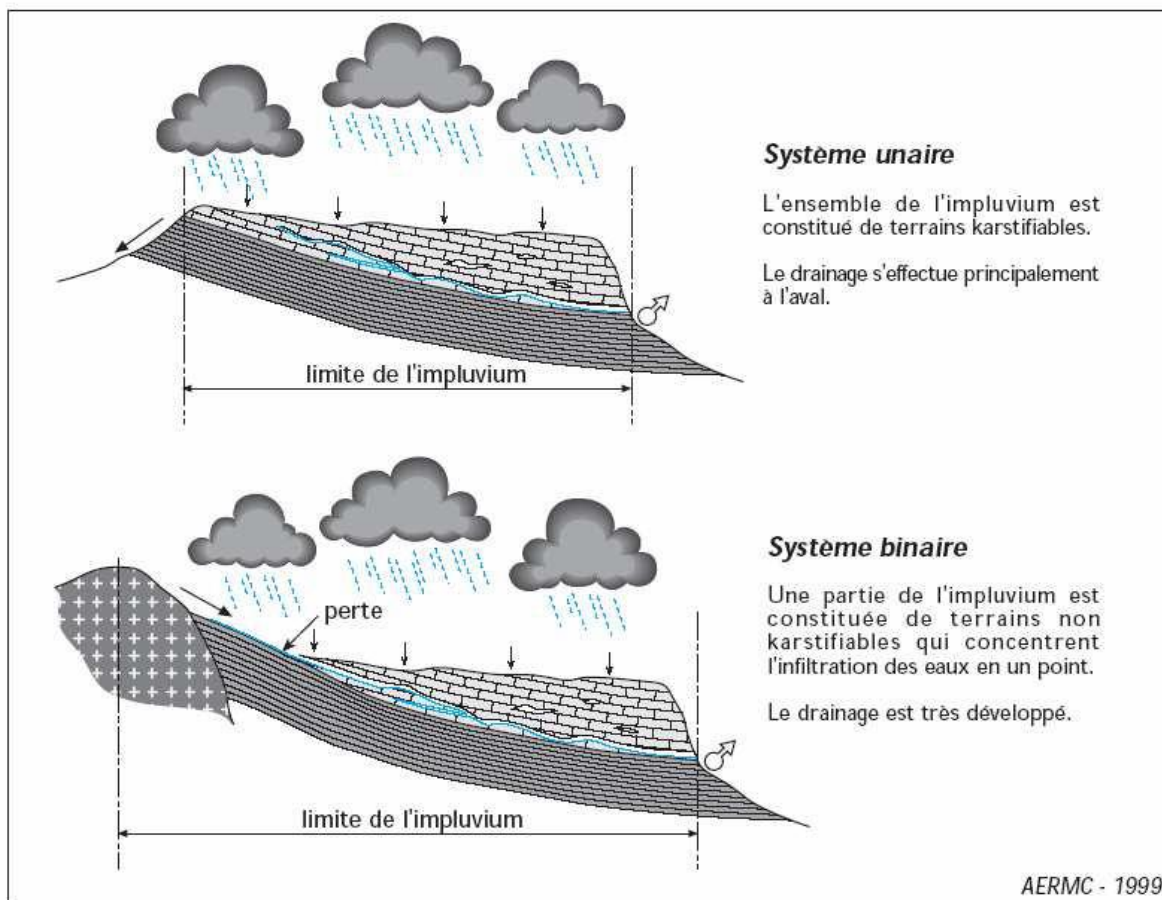


Figure IV.3 : types de systèmes karstiques, d'après leur impluvium (Marsaud, 1996).

IV.2.2.2.4.2. Définition de l'épikarst :

On définit l'épikarst (Fig. IV.4) comme une zone d'absorption très fissurée de quelques mètres d'épaisseur plus perméable du fait de l'altération des terrains. Cette zone supérieure du karst n'est pas continue : elle atteint une épaisseur de quelques décimètres voir quelques mètres et peut contenir un aquifère perché temporaire, qui concentre rapidement l'eau d'infiltration vers le réseau karstique (Mangin, 1975).

Dans le cas d'un système d'alimentation diffus, les eaux rentrent à travers l'épikarst et à travers les fractures et les joints de stratification. Le temps de résidence de l'eau en subsurface est très long.

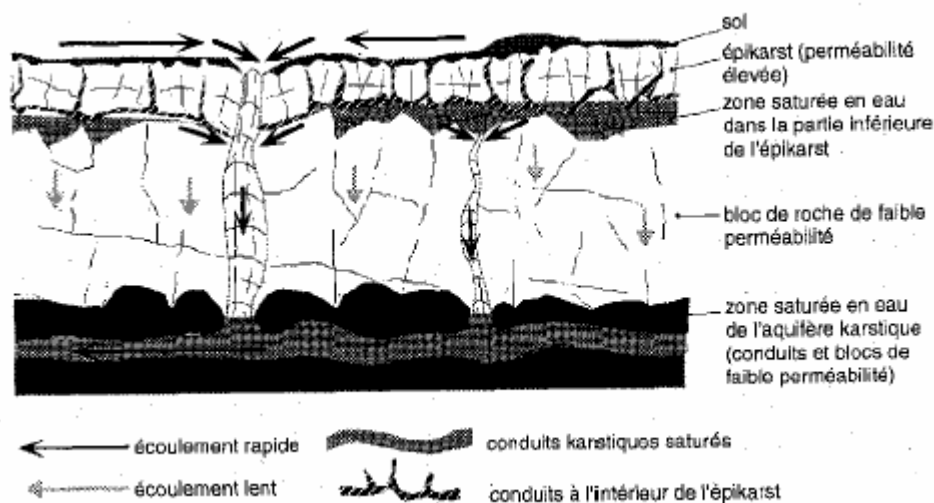


Figure IV.4 : représentation schématique du fonctionnement de l'épikarst (Jeannin, 1996)

IV.2.2.2.4.3. Le réseau de conduits karstiques :

Le réseau karstique a une géométrie complexe en raison de nombreuses ramifications possibles dans l'espace tridimensionnel de la formation aquifère. Il peut être plus ou moins développé et ramifié, en fonction de son histoire géologique, hydrogéologique, chimique et physique.

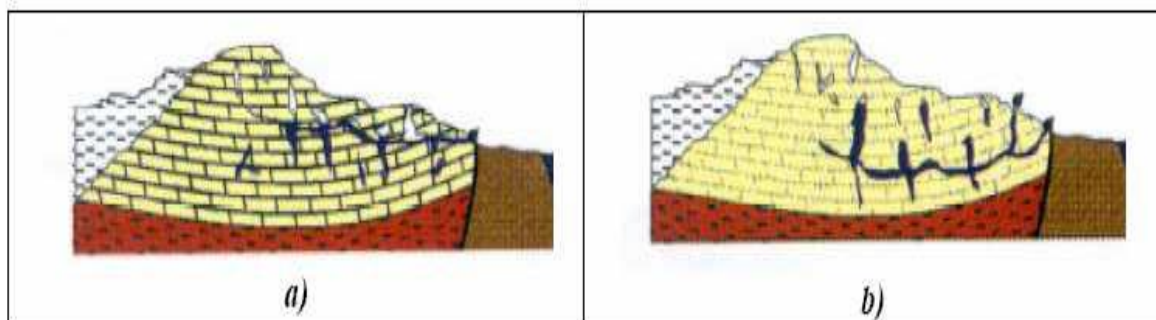
La zone noyée constitue la principale réserve en eau de l'aquifère karstique et assure la fonction de stockage de l'eau. Cette zone est caractérisée par un réseau de drainage organisé et interdépendant, composé d'un drain principal ou axe de drainage qui représente le domaine des rivières souterraines (échelle spéléologique) et de systèmes annexes au drainage (SAD) qui lui sont connectés. A ce niveau les écoulements sont généralement très rapides et turbulents. Au cours de l'écoulement dans la zone saturée, le drain principal assure la fonction transmissive, alors que les SAD assurent la fonction capacitive.

La position de la zone noyée par rapport aux exutoires permet de classer l'aquifère en deux types de systèmes (Marsaud, 1996):

- le système jurassien (Fig. IV.5), montrant un axe de drainage situé plus ou moins au même niveau que celui de l'exutoire
- le système vaclusien, où l'axe de drainage est situé à un niveau plus bas que celui de l'exutoire.

Toutes ces spécificités du karst ont pour conséquence les phénomènes hydrauliques suivants : des variations rapides du niveau d'eau dans certains forages, alors que d'autres sont lentes (Mangin, 1975) des variations importantes et subites du chimisme de l'eau (Bakalovwicz, 1976).

Le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère karstique est suffisant pour atteindre l'équilibre chimique entre l'eau et les minéraux de la roche. Ainsi la composition des eaux des sources est relativement constante. L'équilibre thermique est probablement achevé. Un karst évolué est caractérisé par un taux et une vitesse de transfert importants (Marsaud, 1996)



a) système jurassien. b) système vaclusien

Figure IV.5 : différentes configurations du système de drainage (Marsaud, 1996)

IV.2.2.3. Les méthodes d'études des réseaux karstiques :

A ce stade, il est indispensable de distinguer les différents constituants karsts, au plan des écoulements souterrains, c'est-à-dire de l'hydrogéologie du karst. Le réseau karstique a été défini comme l'ensemble des conduits organisés pour évacuer rapidement vers la source l'eau souterraine de l'aquifère karstique. L'alimentation de la source, ou du groupe de sources, est assurée par l'aquifère karstique qui reçoit les eaux infiltrées à sa surface, mais également souvent les eaux de rivières de surface s'écoulant sur des terrains imperméables non karstiques, s'engouffrant dans des pertes pour rejoindre les autres eaux souterraines. Le bassin d'alimentation des sources karstiques est ainsi dénommé le système karstique.

IV.2.2.4. Les exutoires karstiques régionaux de la région de Constantine et la zone de dj Gueriouun :

Les massifs calcaires de la zone d'étude sont caractérisés par une karstification assez développée, dont certains possédants des émergences thermales sortant directement d'une faille ou à travers des dépôts mio-plio-quaternaires entourant les massifs néritiques.

Il y a plusieurs exutoires dont les principaux sont :

Le karst hydrothermal du Hamma Bouziane avec des exutoires naturel d'importantes sources chaudes, provenant des structures en horsts et grabens des calcaires crétaqués. Les plus importantes est celle de (fig. IV.6, IV.7):

- **La source de Hammam Zaoui :**

Ce sont des griffons qui apparaissent à la faveur d'accidents structuraux au niveau des calcaires du crétaqué inférieur, le rehaussement d'un compartiment faillé, et conduisent à la remontée des eaux sous pression au travers de dépôts continentaux du Miocène.

Ces sources sont disséminées dans un vaste bassin naturel provoquant un écoulement de 800 l/s (1955). Une mesure de débit fait état de 697 l/s (394 l/s à la source, une prise de 50 l/s dans le bassin pour la cimenterie et deux forages totalisant 253 l/s).

Il est à noter que le phénomène d'évapotranspiration au droit du bassin est à prendre en compte pour connaître le débit d'exhaure réel de cet exutoire.

- **La source d'Ain Skhouna :**

A environ un kilomètre au nord de la précédente, des griffons apparaissaient au niveau d'une vasque dont l'origine est la même que pour les sources précédentes. Le débit de cette source, 461 l/s (en 1955 ; à l'heure actuelle, elle est tarie), beaucoup plus faible.

Une campagne de reconnaissance a également été réalisée entre 1954 et 1955 afin d'augmenter les débits pouvant être prélevés directement au niveau de l'aquifère d'âge crétaqué inférieur et ainsi diminuer les pertes de charge de ces remontées d'eau au travers des formations du Miocène.

Il est à noter que ces sources possèdent sensiblement les mêmes caractéristiques physico-chimiques que celle sourdant d'affleurements calcaires (Ain Bergli), d'où leur attribution à une origine commune, les calcaires du Crétacé inférieur et moyen.

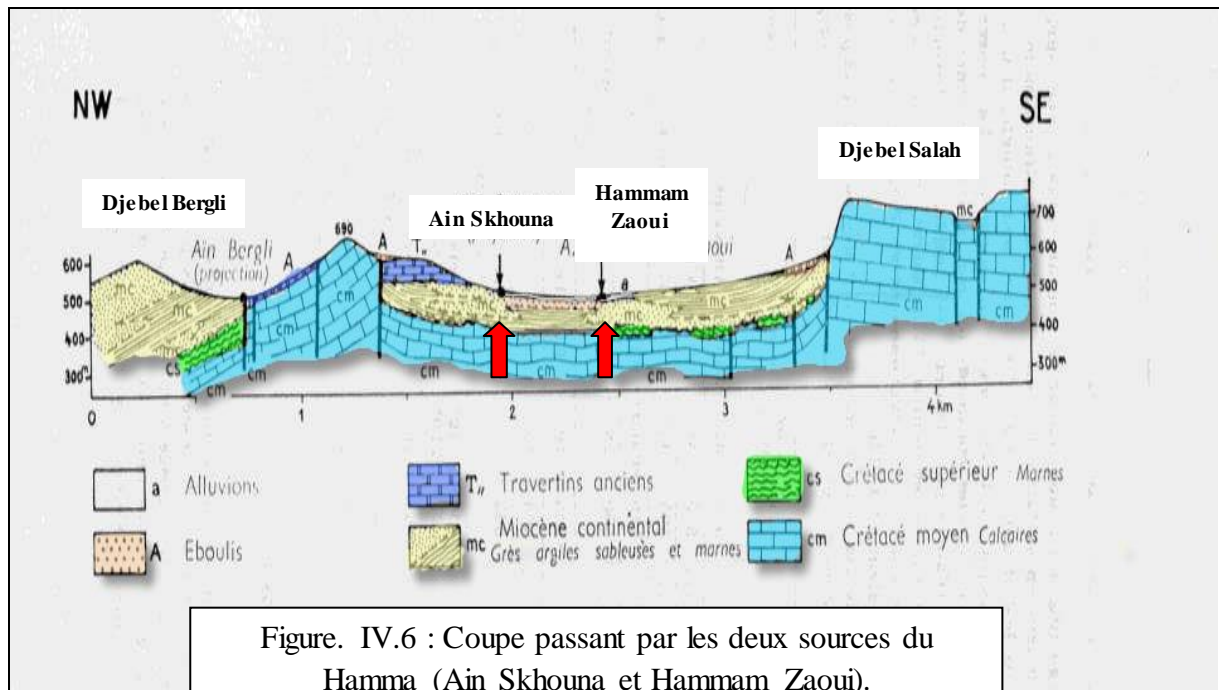
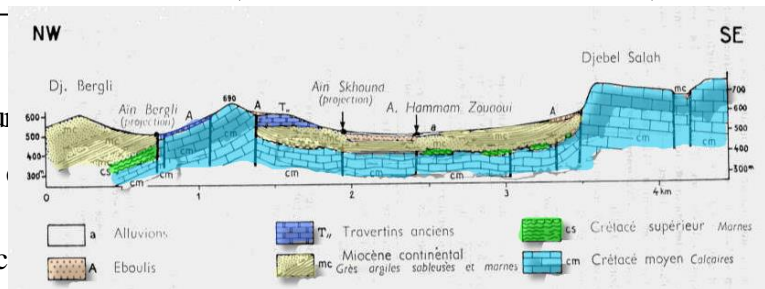


Figure. IV.6 : Coupe passant par les deux sources du Hamma (Ain Skhouna et Hammam Zaoui).

Les sources captif alimenté

- La source



Le système aquifère tacés.

Les forages installés à proximité de la source donnent un débit de 28 à 30 l/s, sa température est de 28° c.

- Plusieurs sources émergent au niveau du rocher de Constantine dont la plus importante est sidi m'Sid avec un débit de 20 l/s.

(le débit a énormément baissé pendant un certain temps actuellement elle a repris avec un débit moindre) et une température T 26° c.

- La source d'ibn ziad donne un débit de 10 l/s.
- La source de Sidi Mhamed (Gourzi) : (X = 858.7, Y = 325, Z = 800 m)

La source de Sidi Mhamed avec une température de 15°C. Elle émerge au point bas de l'ensemble Pliocène lacustre (calcaire blanc et marne rouge) ainsi que le massif de Bordj Bled Ben Cherif et DTEKBEB, au sien d'un ensemble grés et conglomérat.

- **La source de Boumerzoug (Ras el Ain) :** (X = 855.25, Y = 325, Z = 737.5 m)

C'est la plus importante source qui draine l'aquifère carbonaté du Boumezoug.

Et enfin on distingue quatre zones d'émergence au niveau du djebel Gueriouun qui sont :

- Source de Kef ARZEN n° 1

Située à la face ouest du Gueriouun. Elle émergee dans les calcaires néocomiens avec un débit insignifiant.

- Source de Kef ARZEN n°2

Située au sud de la précédente ; c'est une source temporaire avec un débit nul en période d'étiage et en hiver les eaux suintent des rigoles du versant pour se perdre dans les éboulis du Dj Gueriouun.

- Source d'Ain Kerbouche

Située au sud de Dj Gueriouun, le débit de cette source est inférieur à 1 l/s, en période d'étiage, il devient insignifiant.

- **Source de Fésguia:** (X = 855.75, Y = 307.25, Z = 770 m)

La source se situe au bas des éboulis, à la cote 770 m, qui bordent le massif calcaire d'âge crétacé, de Djebel Gueriouun. Ce secteur présente une puissance importante de matériaux détritiques. Cet aspect est à mettre en relation avec la faille d'orientation NW-SE qui coupe l'excroissance sud-ouest de ce relief. Un sondage de 200 m de profondeur réalisé en 1952 non loin de l'émergence n'a pas mis en évidence la présence de formation secondaire, d'où l'importance du rejet de cette faille. Suite aux résultats de cet ouvrage, sept forages équipés en puits filtrants de grand diamètre ont été exécutés pour assurer l'alimentation en eau potable de Constantine.

Les débits moyens observés à la source du temps où elle était exploitée gravitairement étaient compris entre 85 et 90 l/s (DUROZOY, 1960).

Il est à noter l'existence de nombreuses petites sources qui émergent également du Djebel Gueriouun et du Djebel Fortass : Ain El Ghirane (1 l/s), Ain Ben Tour (2 l/s), Ain E

Ksar (1 l/s), Ain Busen (1 l/s), Ain Tassa (1 l/s), Ain Diehich (débit négligeable) et Ain Dridi (1 l/s), soit environ 9 l/s.

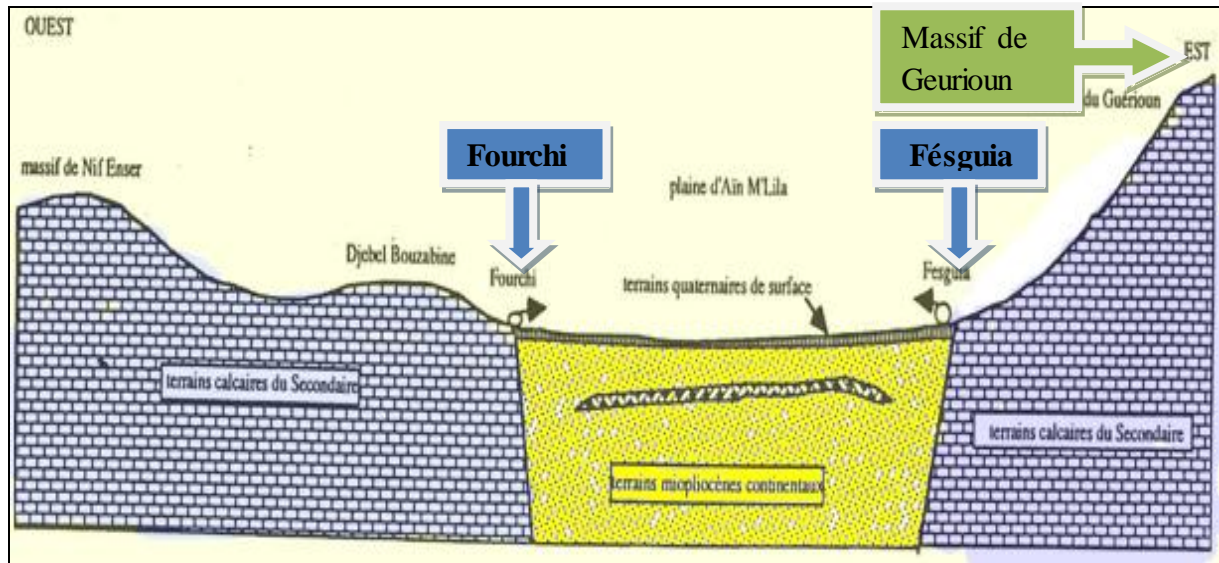


Figure. IV.7 : coupe géologique passant par la source de Fésguia.

IV.2.2.5. Le système karstique de l'aquifère (Jurassique-Crétacé) du Boumezoug :

IV.2.2.5.1. Structure et géométries du réservoir:

L'ensemble Guerioun-Fortas est constitué par une épaisse série carbonatée allant du Jurassique supérieur à l'Albien, ce dernier est parfois marneux. L'épaisseur totale avoisine les 1000 m. En plus de la nature lithologique carbonatée de ces séries, il y a une tectonique de fracture très importante.

Cette configuration est celle d'une aquifère très important où les potentialités en eau doivent être considérables. On notera que les carbonates très compacts ne peuvent contenir de l'eau. Mais, les systèmes carbonatés comme les massifs du Guerioun et du Fortas sont découpés par un ensemble de failles, fractures, fissures qui ont permis le développement d'une karstification importante.

Il existe au sein des massifs un ensemble des chenaux, canaux, galeries, salles par lesquels s'effectue l'essentiel de la circulation des eaux souterraines.

Parmi les formations karstiques qui se manifestent on a :

- **Le karst superficiel (exokarst):**

Les dolines :

Il s'agit parfois, de champs de dolines très importantes. On les rencontre à des altitudes supérieures à 1 000 m, dans les calcaires de Barrémien et de l'Aptien, leurs dimensions sont variables.

Les lapiez :

Les formes de lapiez qu'on rencontre dans la région se présentent, fréquemment, sous forme de deux modèles :

- les lapiez de fractures.
- les lapiez de ruissellement.

Dans les massifs calcaires les lapiez sont observés dans les calcaires barrémien, aptien et du Cénomaniens à des altitudes différentes.

- **Le karst profond (endokarst):**

Les cavités :

Ces cavités sont dues au travail de rivières souterraines ainsi selon les joints de stratification ou les failles. Elles sont localisées à la base des calcaires Néocomien, essentiellement dans les massifs Guerion et Fortass.

Les grottes sont situées à différentes altitudes :

Au niveau de Dj Guerion :

- La grotte de KEF-ARZEN, située à la base des calcaires dolomitiques Néocomien, à une altitude de 1250 m.
- La grotte de NADIA, située à une altitude de 1450 m dans les calcaires du Barrémien.

Au niveau de Dj Fortass :

- La grotte d'AIN TOUR, située à une altitude de 972 m dans les calcaires du Barrémien où on remarque une circulation des eaux.
- La grotte d'AIN HONECH, située à une altitude de 970 m dans les calcaires Barrémien.
- La grotte d'AIN HARBACH, située à une altitude de 940 m.

IV.2.2.5.2. Relation fracturation - hydrogéologie (Identification des plans de drainage à partir de la fracturation)

L'objectif est de démontrer l'étroite relation existant entre la structure du karst ennoyé (endokarst) et le type d'organisation de familles de fractures. Les plans de drainage qui sont les directions préférentielles des écoulements suivent en général les grandes discontinuités (fréquence et longueur des fractures). Il est admis, cependant que les écoulements dans le karst utilisent principalement les fractures ouvertes (failles en distension). Ces écoulements utilisent, en priorité, les fractures qui lui permettent de dissiper le minimum d'énergie (Mangin, 1975).

Dans notre cas d'étude nous n'avons pas pu noter que les fréquences des longueurs et les directions sur le terrain. L'étude des failles a été réalisée en premier approche à partir des cartes géologiques.

On obtient des rosaces avec toutes les directions de drainage possible. Les directions les plus probables des drainages coïncident avec les directions les plus fréquentes.

IV.2.2.5.2. 1. Etude de fissuration :

La fissuration au sens où nous l'entendons, englobe toutes les surfaces de séparation, quelles que soient leurs origines géologiques.

Ce sont les microfractures, à l'échelle du centimètre ou de décimètre et, les macros fractures de dimension plus importante qui nous intéressent et que nous groupons sous le terme de « fissuration » quelle que soit la nature ou l'origine géologique : joints de stratifications, diaclases ou fracture tectonique, faille d'origine diverse.

IV.2.2.5.2. 1.1. Déterminations des grandes directions de fissurations :

Ceci est réalisé à partir de la carte géologique interprétative (extrait de la carte des ressources en eau souterrain du Nord de l'Algérie) (Fig. IV.8) représentant le principal massif entrant dans la constitution de l'impluvium de la source du Boumerzoug et par l'utilisation de deux logiciels pour montrer les principales directions de fissuration.

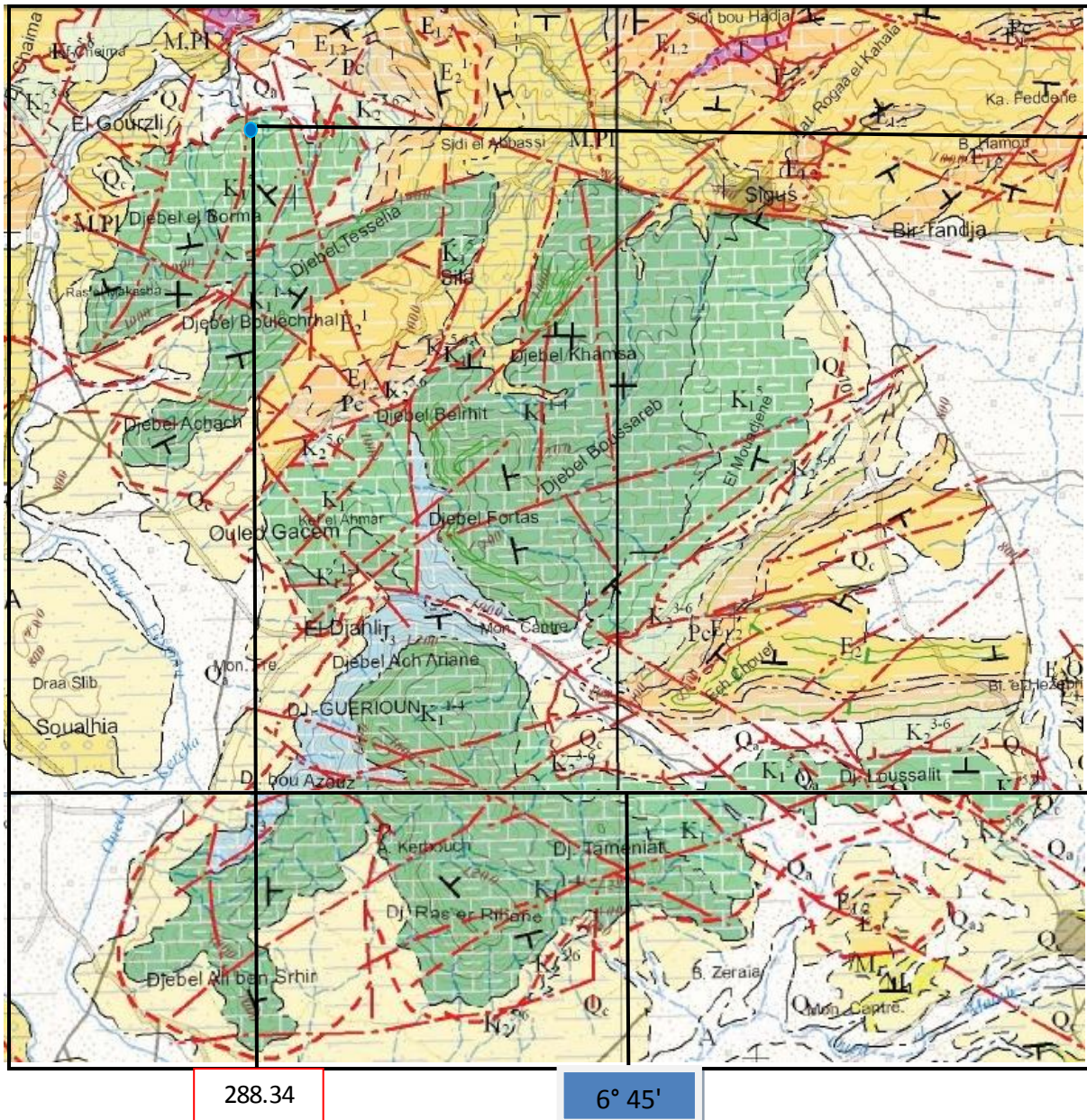



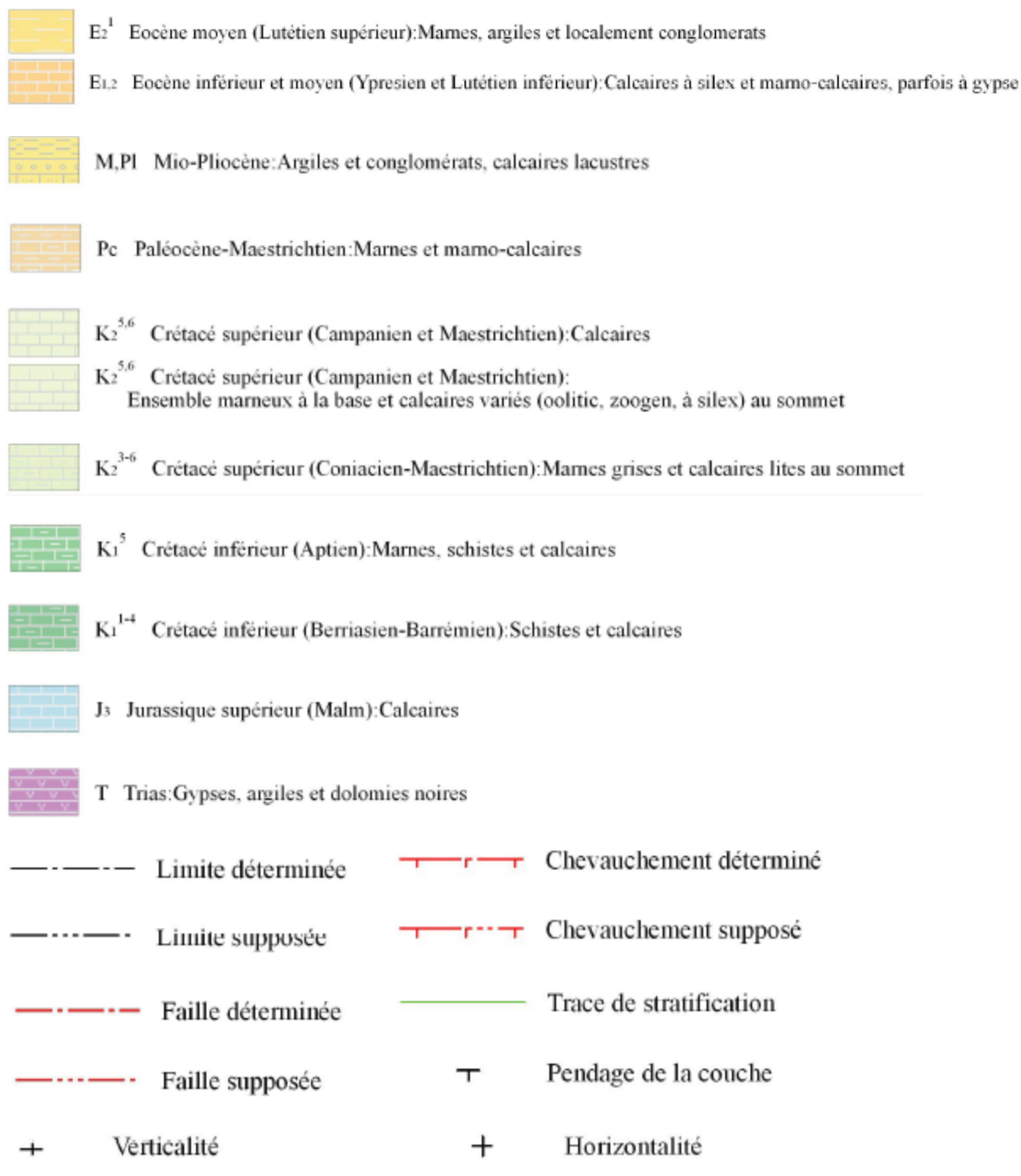


Figure. IV.8 : carte géologique interprétative des massifs de l'aquifère carbonatée de Boumerzoug (Extrait de la carte des ressources en eau souterrain du Nord de l'Algérie, ANRH).

Légende :

● La source du Boumerzoug

-  Q_a Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles et récentes par endroit éboulis des pentes et accumulation de piedmont (sables, graviers et argiles) et mollasses
-  Q_c Quaternaire: Croûte calcaire - dépôts quaternaires anciens avec surface encroûtée
-  M₁ Miocène inférieur: Grès, marnes et bancs de calcaires



IV.2.2.5.2. 1.1.1. Global Mapper :

Ce logiciel est utilisé pour la détermination des longueurs et des directions par rapporte au Nord des failles qui se trouvent dans la région d'étude.

Exemple de l'utilisation de ce logiciel qui apparait par l'interface (Fig. IV.9 et IV.10)

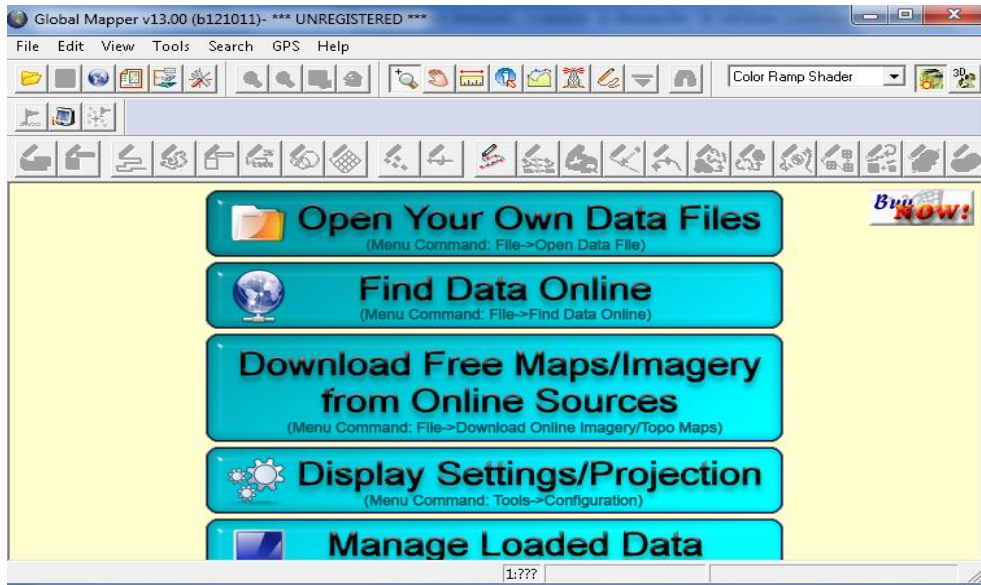


Figure. IV.9 : L'interface de logiciel Global Mapper.

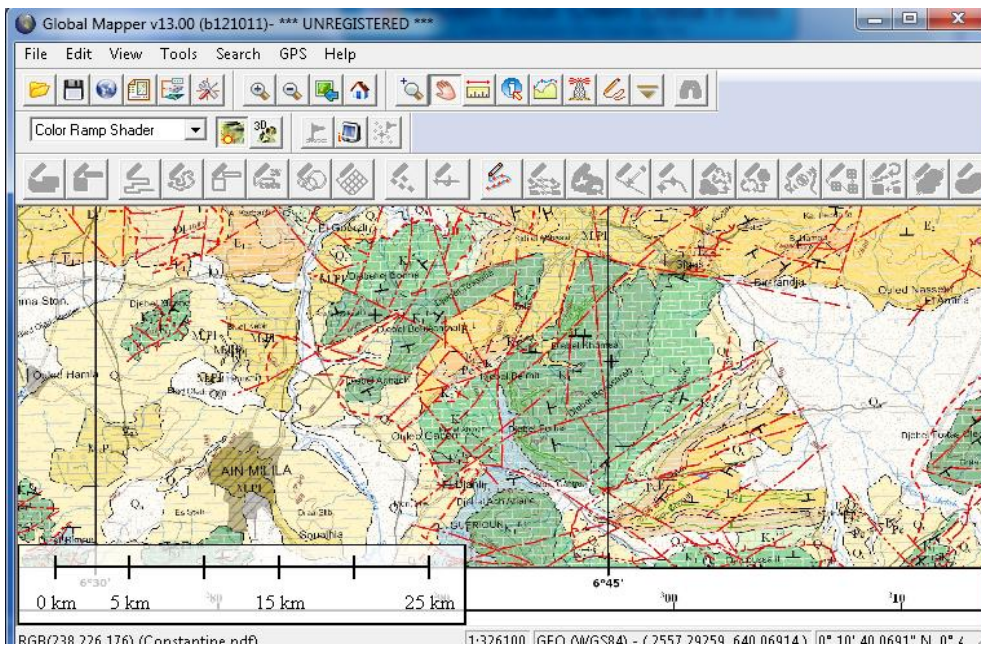


Figure. IV.10 : Le terrain d'étude dans logiciel Global Mapper.

Les données extraites à partir logiciel Global Mapper de longueur et de direction des faille sont mentionnées dans le tableau (IV.4)

Faille	Angle en ° par rapport au Nord	Longueur (km)
1	25	3,225
2	143	2,513
3	129	0,952
4	125	1,726
5	116	1,194
6	72	2,503
7	17	4,408
8	127	3,253
9	49	0,477
10	25	2,344
11	3	2,057
12	30	2,525
13	114	2,401
14	114	2,418
15	122	2,221
16	130	1,955
17	3	1,514
18	61	5,674
19	28	3,711
20	19	2,339
21	25	1,334
22	163	2,536
23	165	1,531
24	157	1,007
25	159	1,777
26	152	1,024
27	107	4,579
28	37	2,157
29	42	4,325
30	121	0,733
31	122	1,941
32	48	1,458
33	46	1,345
34	45	0,988
35	43	1,812
36	33	1,71
37	137	5,082
38	51	4,392
39	52	3,326
40	56	1,315
41	55	1,175
42	61	3,706

43	2	2,672
44	31	0,817
45	22	2,848
46	56	1,208
47	44	1,4
48	87	1,599
49	103	1,483
50	108	2,179
51	112	2,023
52	129	1,96
53	72	1,268
54	77	4,675
55	64	2,157
56	6	1,478
57	20	1,532
58	6	0,974
59	3	4,146
60	171	3,048
61	178	1,587
62	170	2,277
63	178	1,161
64	180	0,541
65	167	0,713
66	176	1,822
67	156	0,676
68	54	9,08
69	72	9,03
70	44	2,388
71	49	1,02
72	89	0,701
73	67	4,69
74	80	1,581
75	70	2,228
76	70	4,579
77	81	3,938
78	54	2,674
79	50	6,267
80	149	1,389
81	122	3,775
82	124	3,687
83	61	0,887
84	58	1,119
85	117	4,054
86	108	8,05

87	101	9,668
88	167	4,122
89	59	2,634
90	51	2,651
91	21	1,46
92	55	4,27
93	88	1,364
94	92	2,183
95	114	1,932
96	111	2,551
97	86	2,106
98	92	0,779
99	63	2,644
100	94	1,368
101	38	3,453
102	19	2,498
103	11	2,011
104	56	3,808
105	11	1.5
106	169	3,189
107	56	11,498
108	39	1,188
109	71	1,248
110	119	4,871
111	68	6,094
112	64	13,69
113	113	3,562
114	120	11,552
115	124	2,032
116	138	1,882
117	130	2,35
118	68	1,343
119	118	5,603

Tableau. IV.2: Les longueurs et les directions des failles.

IV.2.2.5.2. 1.1.2. Logiciel Rose (Thompson, 2001 – 2004, <http://mypage.iu.edu/~tthomps/programs/>),

C'est un logiciel qui permet de représenter graphiquement la répartition statistique de l'orientation de linéaments (failles, dykes, etc.).

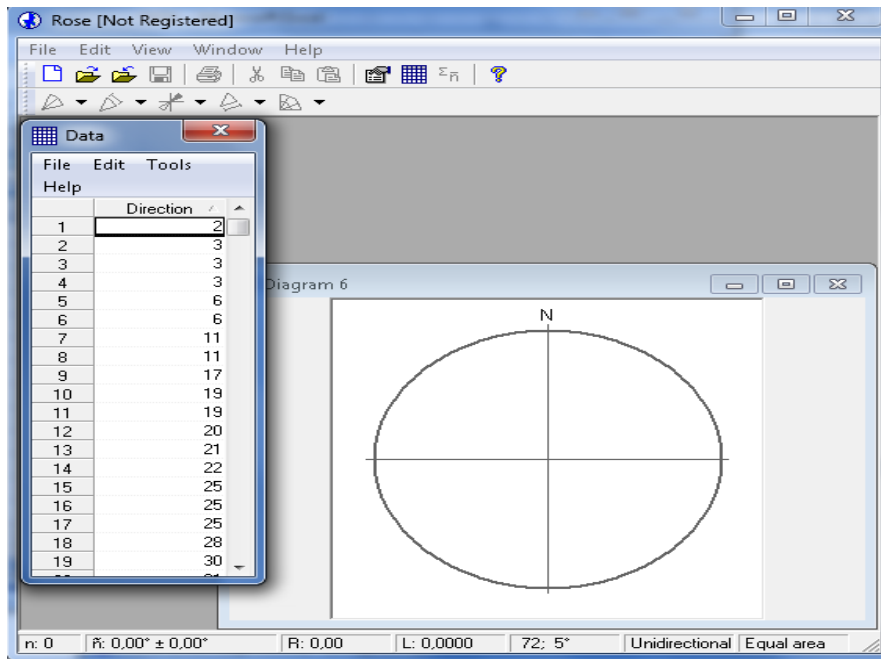


Figure. IV.11 : Les données introduites dans logiciel Rose.

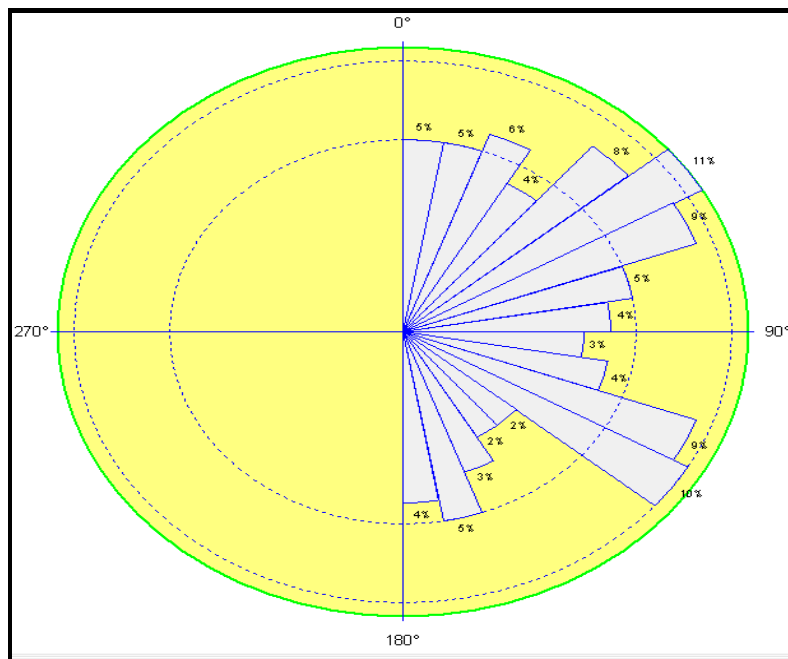


Figure. IV.12 : Rosace montrée les principales directions des failles.

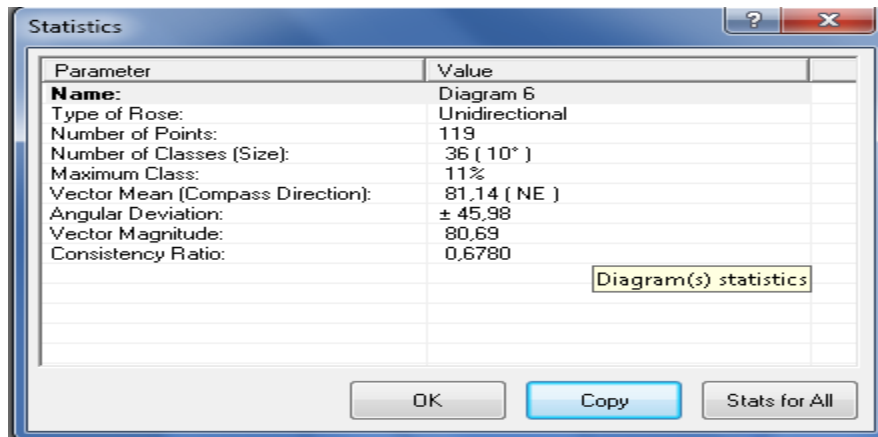


Figure. IV.13 : Les statistiques faites par logiciel Rose.

IV.2.2.5.2. 1.1.3. L'interprétation de rosace :

D'après la rosace (Fig. IV.12) obtenue par le logiciel (**rose**) qui fait les rosaces en nombre de fractures, on remarque quatre directions principales mais on peut considérer deux directions majeures lorsqu'elles sont regroupées en deux familles.

La première famille caractérisée par les directions suivant :

- La direction N (50-60°) ;
- La direction N (60-70°).

La deuxième famille caractérisée par les directions suivant :

- La direction N (110-120°) ;
- La direction N (120-130°).

On constate que les deux familles des directions dominantes sont perpendiculaires :

- La direction NE-SW ;
- La direction SE-NW.

IV.2.2.5.2. 1.2. La fréquence de fissuration :

Les possibilités d'emmagasinement et de circulations de l'eau dans le massif rocheux sont liées à plusieurs facteurs parmi les quels, la nature des fractures tient une place importante dans la fréquence de fissuration. Cette dernière en terrain sédimentaire dépend de :

- La lithologie (elle diminue lorsque la proportion d'argile augmente) ;
- La tectonique ;

- L'épaisseur de bancs stratigraphiques (elle diminue lorsque l'épaisseur des bancs augmente) ;
- et de la profondeur.

La fréquence de fissuration est donc surtout liée à la compétence de la formation.

Tableau. IV.3 : distribution de l'orientation des failles.

Direction	Nombre des failles	%	longueur cumulée (K m)	%
0 - 10	6	5,0	12,841	3,79
10-20	6	5,0	14,288	4,21
20- 30	7	5,9	17,447	5,14
30- 40	5	4,2	9,325	2,75
40- 50	10	8,4	21,48	6,33
50 -60	13	10,9	49,15	14,49
60- 70	11	9,2	47,692	14,06
70- 80	6	5,0	20,305	5,99
80- 90	5	4,2	9,708	2,86
90-100	3	2,5	4,33	1,28
100-110	5	4,2	25,959	7,65
110-120	11	9,2	42,161	12,43
120-130	12	10,1	26,585	7,84
130-140	2	1,7	6,964	2,05
140-150	2	1,7	3,902	1,15
150-160	4	3,4	4,484	1,32
160-170	6	5,0	14,368	4,24
170-180	5	4,2	8,159	2,41
Σ	119	100,0	339,148	100,00

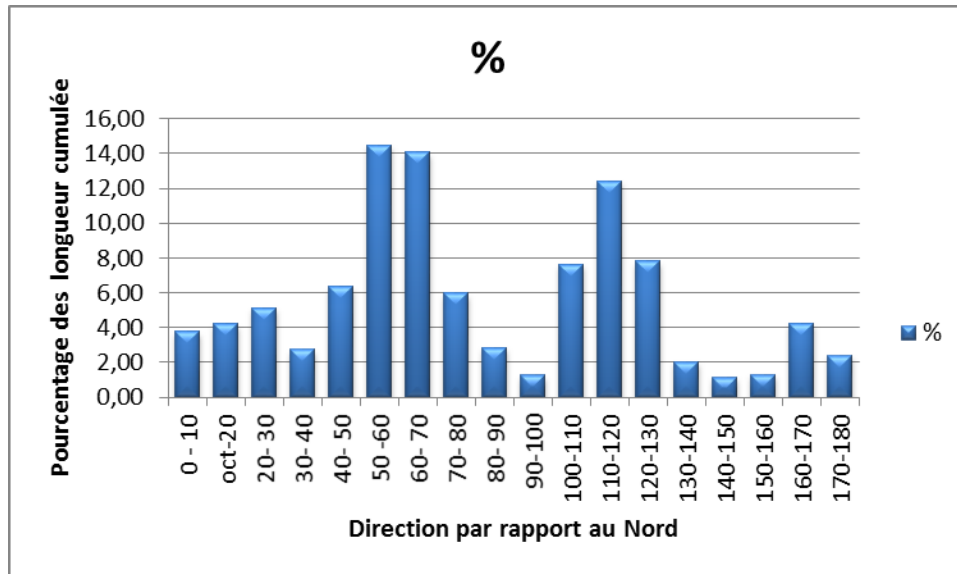


Figure. IV.14 : Le pourcentage des longueurs par rapport les directions.

D'après la Fig. IV.14 et la rosace on constat qu'il y a une relation directe entre le pourcentage des nombres des failles et le pourcentage des longueurs cumulée de la même direction.

IV. 2.2.5.3. Alimentation et recharge :

IV. 2.2.5.3.1. Introduction :

En général, le potentiel d'alimentation en eau d'un système karstique est assimilable, avec une certaine précision, à la hauteur calculée de la pluie efficace infiltrée.

L'estimation de la recharge, en dehors des méthodes de traçages naturels et artificiels (colorant, chimie isotopique) est essentiellement basée sur une approche hydrologique. Il s'agit donc d'une relation précipitation- infiltration en tenant compte de la nature du sol, de la densité de ruissellement et de l'évapotranspiration. On notera tout de même que c'est lors des épisodes neigeux que la source déborde. Ce paramètre n'est pas mesurable dans notre cas d'étude. On adopte ainsi un coefficient d'infiltration qui varie suivant les travaux des auteurs.

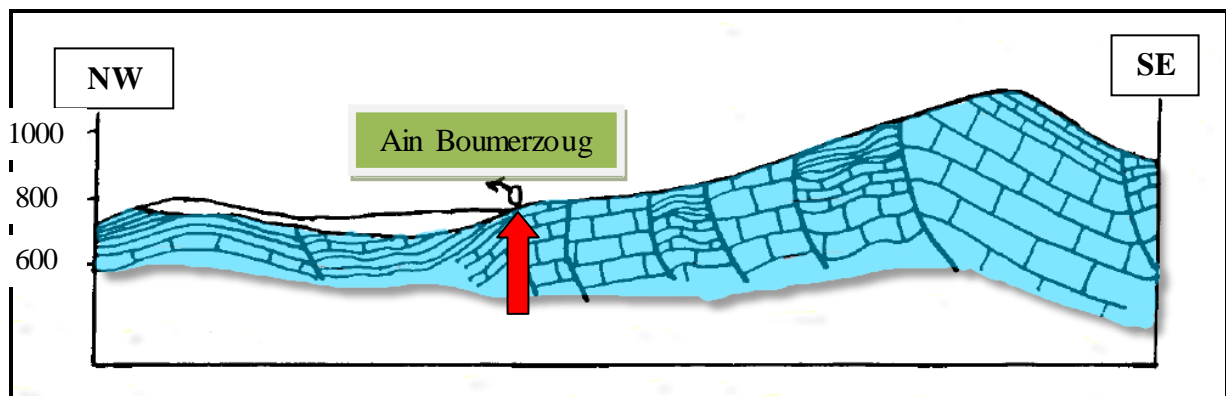
La recharge des aquifères karstique de la région de Boumerzou se fait, donc, 1) par recharge directe à partir des infiltrations (précipitations efficaces) au niveau des affleurements. Elle est maximale pour un faible réseau hydrographique. Le ruissellement est relativement faible dans les massifs avoisinant la source de Boumerzoug, s'agissant de plateaux carbonatés légèrement inclinés n'ayant pas engendré de réseau hydrographique proprement dit ; 2) par recharge indirecte à partir de transfert d'eau provenant d'un autre

aquifère karstique ou poreux. Deux systèmes karstiques mis en relation grâce à la tectonique ou la drainance (Fortas, Guerioune...) ou une couverture néogène, comme c'est le cas au niveau des plaines (Ain M'lila) ; 3) par recharge indirecte à partir de pertes (essentiellement, dans notre région, en relation avec les lits d'oued).

IV.2.2.5.3.2. La source de Boumerzoug (Ras el Ain) : (X = 855.25, Y = 325, Z = 737.5 m).

Cette source donne naissance à l'oued du même nom. En 1960, une fraction de son débit d'exhaure était captée pour l'alimentation de Constantine.

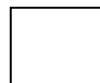
Cette source apparaît à la coté 737 m. au pied des petits massifs calcaires du Boumerzoug et Boulechrhal, accolés aux massifs beaucoup plus importants qui sont les Djebels Fortas et Gueriou. Cette émergence sourde à la faveur d'une extrémité de faille. Les puits et les forages (Fig. A), (logs stratigraphiques en annexe) réalisés pour assurer l'alimentation en eau potable de Constantine sont implantés à l'amont, sur le plan de faille. Les niveaux marneux du Pliocène servent probablement de seuil hydraulique au compartiment amont de la faille (Fig. IV.8). Cette source ne s'écoule plus depuis la mise en service des forages, sauf pendant les périodes de fortes pluies ou d'importantes chutes de neige.



Légende :



Terrains calcaire de crétacé.



Terrains de Mio-plio-Quaternaire.

Figure. IV.15 : Coupe géologique passant par la source du Boumerzoug. (G. Durozoy, 1960 modifié)

IV.2.2.5.3.2.1. Bassin d'alimentation de la source :

Selon G.Durozoy (1960), trois unités géologiques (Tab. IV.4) contribuent à alimenter la source du Boumerzoug spécialement et le réservoir généralement.

Les résultats des travaux de deux auteurs concernant le coefficient d'infiltration méritent d'être pris en considération :

Souag a donné pour le coefficient d'infiltration les valeurs suivantes:

- 0.30 et 0.20 pour les affleurements de roches à perméabilité élevée (formations très karstifiées,
- 0.15 et 0.05 pour ceux des roches moyennement perméables,
- 0.1 et 0.01 pour les affleurements à perméabilité modeste,
- moins de 0.01 pour les dépôts récents imperméables.

Durozoy a adopté un coefficient d'infiltration de 0.16 (1/6) pour les formations carbonatées affleurant dans la zone de Boumerzoug et 0.04 (1/25) pour les formations mio-plio-quadernaires des plaines.

Tableau. IV.4 : le bassin d'alimentation de la source du Boumerzoug.

Unité géologique	Superficie km ²	Apports au cours d'une année de pluviométrie moyenne (L /S)
Calcaires des DJ Guérioun ; fortasse, boulechal, et boumerzoug	140	450
Calcaires des DJ HIRECH, loussalit et DJaffa	45	120
Quaternaire et pliocène de la plaine de Ain M'Lila	100	50
TOTAL	285	620

Les apports annuels moyens du bassin d'alimentation (Fig. IV.16) ainsi défini, équilibrent le débit moyen estimé par G.Durozoy (environ 650 L/S). La hauteur annuelle moyenne de précipitation étant de 600 mm. L'infiltration est estimée à 100mm par an.

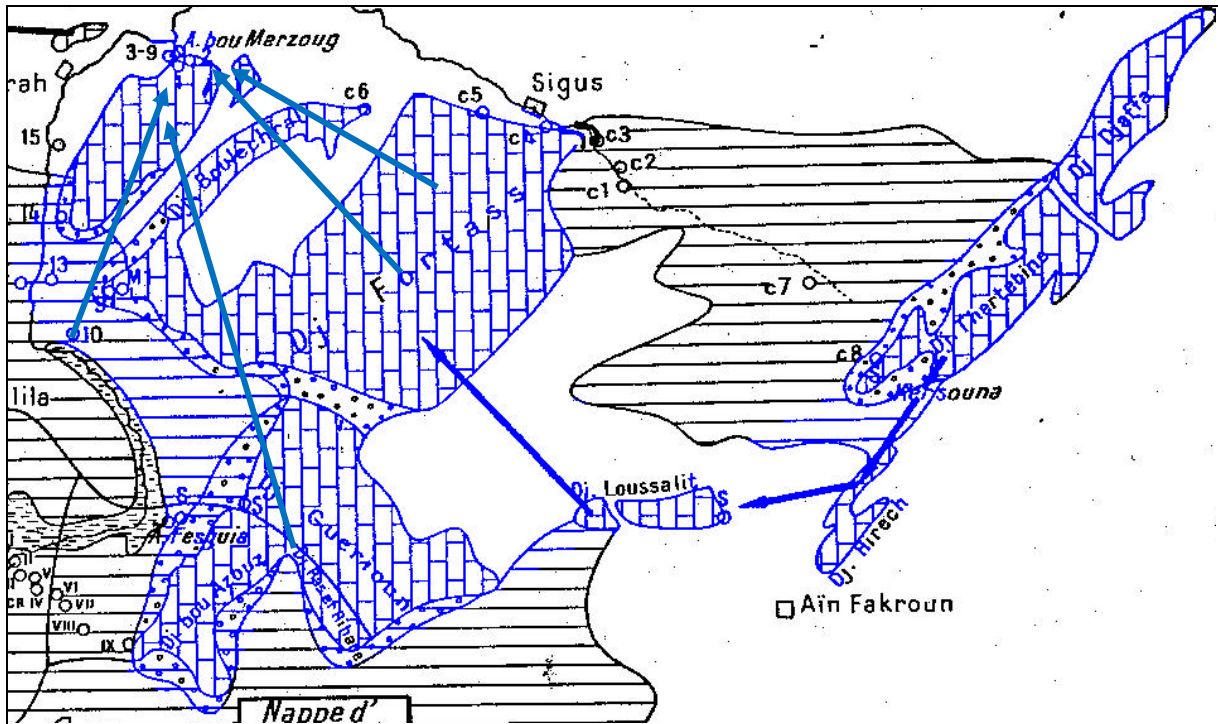


Figure. IV.16 : le bassin d'alimentation de la source du Boumerzoug selon G.Durozoy modifié.

IV.2.2.5.3.2.2. Station de pompage du Boumerzoug :(Photo. IV.1)

Au cours d'une période antérieure (1951) à l'exécution des forages, deux puits avaient été creusés. L'un, le p1 (Fig. IV.9), avait fourni un gros débit : 250 l/s en pompage sans interrompre l'écoulement de la source mesuré à 270 l/s, le puits p2 avait montré une fissuration des calcaires médiocre, et donné des débits peu intéressants. Une première série de forages (S1 et S2) a été réalisé sur le site du puits p1 à l'amont de la source. C'est seulement dans la zone fissurée et minéralisée du plan de faille que se font la circulation d'eau ; ce dernier présente une légère inclinaison vers l'Ouest. Les autres forages (3 à 9) sont alors implantés sur 2 lignes parallèles à la direction du plan de faille.



Photo: la station de la source du Boumerzoug au pied de massif el Borma.

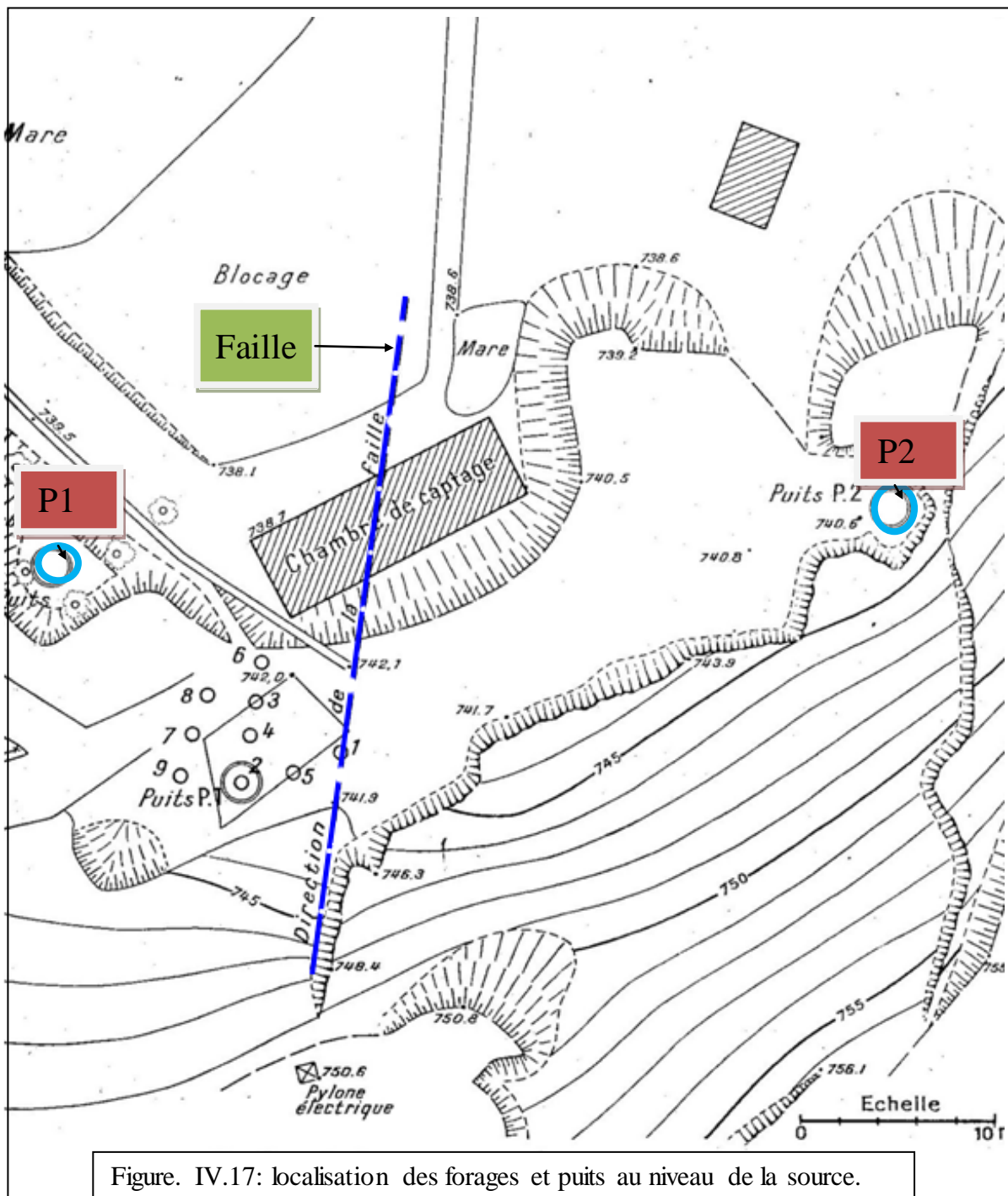


Figure. IV.17: localisation des forages et puits au niveau de la source.

La profondeur des forages varie entre 35 et 41 m, et le niveau d'eau est le même dans tous les forages (09 forages) (Tab. IV.5).

Tableau. IV.5 : Forages d'exploitation du Boumezoug. D'après G. Durozoy.

N°	Diameter	Profondeur	Niveau de l'eau
1	840 mm 310 mm	40 m	De 0.90 à 1.55
2	840 mm 760 mm 310 mm	38.10 m	De 0.90 à 1.55
3	558 mm 444 mm	41 m	De 0.90 à 1.55
4	558 mm 444 mm	40 m	De 0.90 à 1.55
5	558 mm 444 mm	40 m	De 0.90 à 1.55
6	558 mm 444 mm	40 m	De 0.90 à 1.55
7	22"	40.25 m	De 0.90 à 1.55
8	22" 11"	40.25 m	De 0.90 à 1.55
9	22" 11"	35.30 m	De 0.90 à 1.55

IV.2.2.5.4. Fonctionnement et hydrodynamisme de l'aquifère (variation des niveaux de la nappe au niveau de la source) :

Le niveau de la nappe du Boumezoug fluctue en fonction de la recharge des nappes karstiques en périodes hivernales (mois de novembre à mars).

La source a débordé en 1993, 1996, 2003 et 2005, suite à des précipitations hivernales importantes (pour observer un déversement, le niveau de la nappe doit se situer à moins de 3,25 mètres sous le repère que constitue la dalle de la bache des forages).

Au cours des années 1998, 2000, 2001, 2002, la recharge de la nappe a été nulle ou très faible. La nappe a été fortement rabattue tout ou long de l'année, avec des niveaux se situant en permanence entre 13 et 14 mètres de profondeur, et des débits d'exhaure très faibles inférieurs à 300 l/s

Suite aux charges exceptionnelles dans les années 2003 et 2005, les nappes karstiques se sont reconstituées après le cycle climatique particulièrement déficitaire des années 1998 à 2002. En 2005, la source a déversé pendant plusieurs mois un débit très important : le niveau de la nappe s'est maintenu à des niveaux élevés (inférieur à 3 mètre). En avril 2006 le niveau de la nappe se situait à une profondeur de 3 mètres, pour un débit d'exhaure de 650 L/S environ, avec un déversement de la source estimé à 100 l/s environ, alors que la recharge a été faible au cours de l'hiver 2005 – 2006.

IV.2.2.5.5. Relation pluie-débit-rabattement de la nappe :

Pour réduire les indéterminations et les facteurs influant sur les rabattements, nous avons sélectionné les années où les débits de pompage n'ont pas variés. Ainsi les rabattements et par là même les réserves et alimentations sont fonction de l'infiltration directe et de la recharge et du transfert latéral. Pour cela, il aurait fallu avoir des stations pluviométriques dans chaque impluvium, ce qui justifierait les venues des eaux souterraines infiltrées au niveau d'autres impluviums (sans qu'il y ait précipitation au droit de la station de mesure).

La série observée concerne la période 1971-1993. Nous avons choisi quelques données (données des rabattements et des débits en annexe tableaux A, B, C et D) sur un cycle hydrologique où le débit pompé est constant (fig. IV.18).

L'évolution de la courbe de rabattement est donc fonction de précipitations directes (infiltration au voisinage de la source), des apports par transfert latéral à partir des autres

aquifères et des apports par drainance des eaux profondes, ce qui justifie l'évolution de la température des eaux de la source.

Il faut, en outre, tenir compte qu'il existe une différence selon que c'est un système fissuré écoulement lent mais grande fonction capacitive et un système karstique avec écoulement rapide.

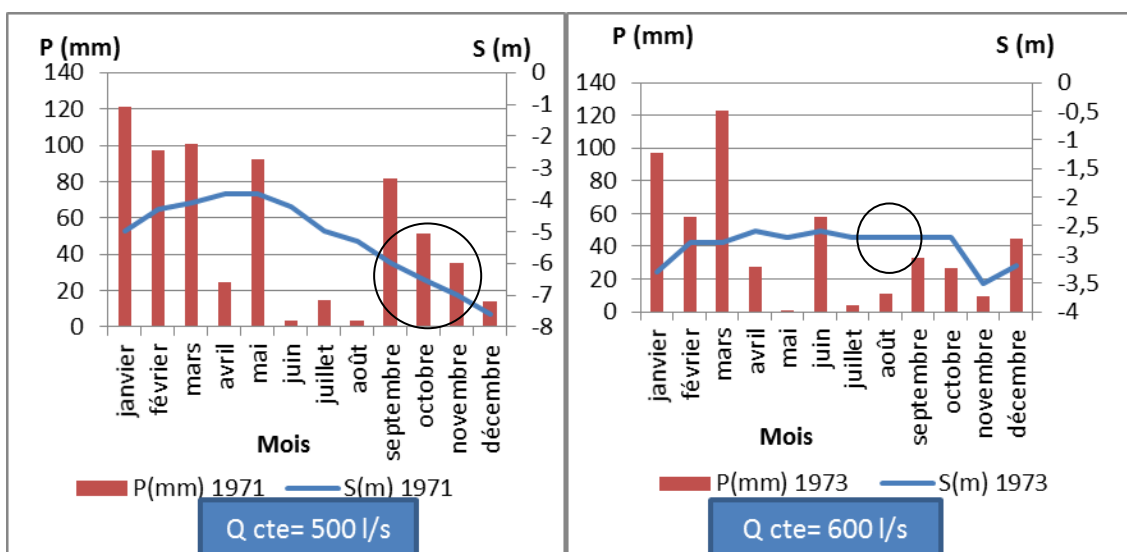
Les mesures ont été réalisées à la station de pompage de la source du Boumerzoug, avec un pas de temps journalier.

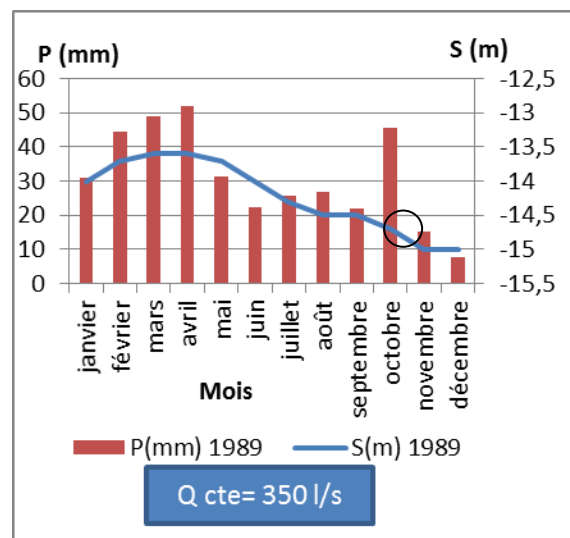
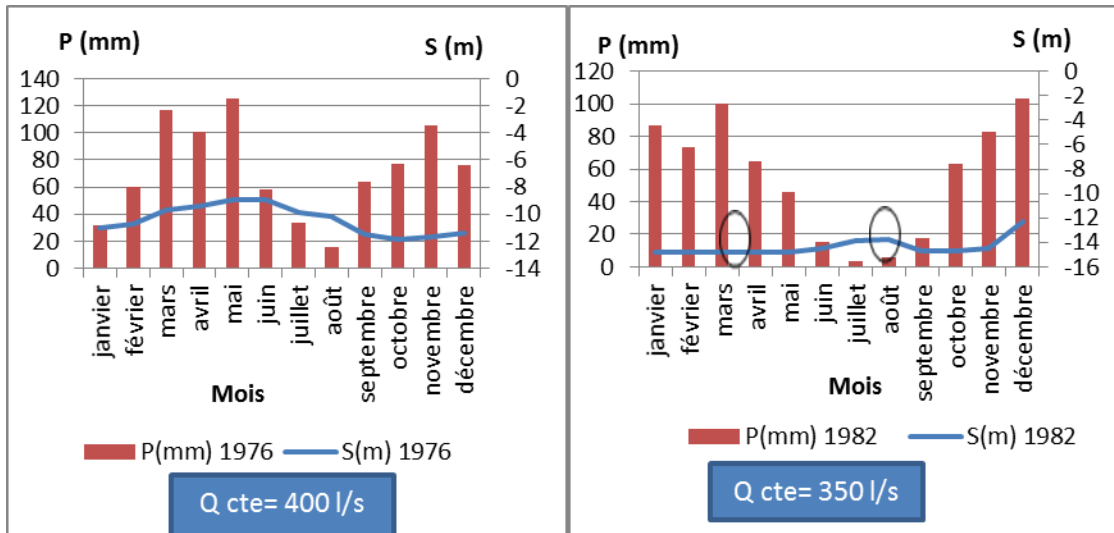
Dans certains cas l'évolution du rabattement apparaît normal (fig. IV.18, année 1976). Les rabattements suivent l'évolution des précipitations avec le décalage conséquent au retard à l'infiltration.

Certaines courbes présentent des anomalies au niveau de l'évolution des rabattements.

Les précipitations de l'automne 1971 (fig. IV.18) et octobre 1989 ne semblent pas influencer le niveau piézométrique. Les rabattements continuent malgré tout à augmenter. Le niveau piézométrique ne commence à s'élever qu'à partir de janvier 1972. Durant les années 1973 et 1982, les rabattements se sont stabilisés même en période estivale, dénotant une certaine alimentation autre que par les précipitations directes.

Il en ressort que des impluviums karstiques évoluent indépendamment avec transfert de masse d'eau d'une zone vers une autre. L'apport des eaux profondes, reconnu au niveau des sources thermales, provoque des signaux et des anomalies au cours de l'évolution de la piézométrie.





Figures. IV.18: relation mensuelle de précipitation-rabattement-débit de différentes années .

IV.2.2.6. Ecoulement et relation entre les aquifères :

IV. 2.2.6. 1. Ecoulement :

Pour 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 se faisant en relai à partir d'autres impluviums. Le bassin hydrogéologique est de ce fait très étendu. Les écoulements se font dans les formations karstiques (Fig. IV.19) situées sous la couverture néogène.

Tous les écoulements sont orientés vers le Nord c'est-à-dire vers le groupe des sources Hamma-Constantine.

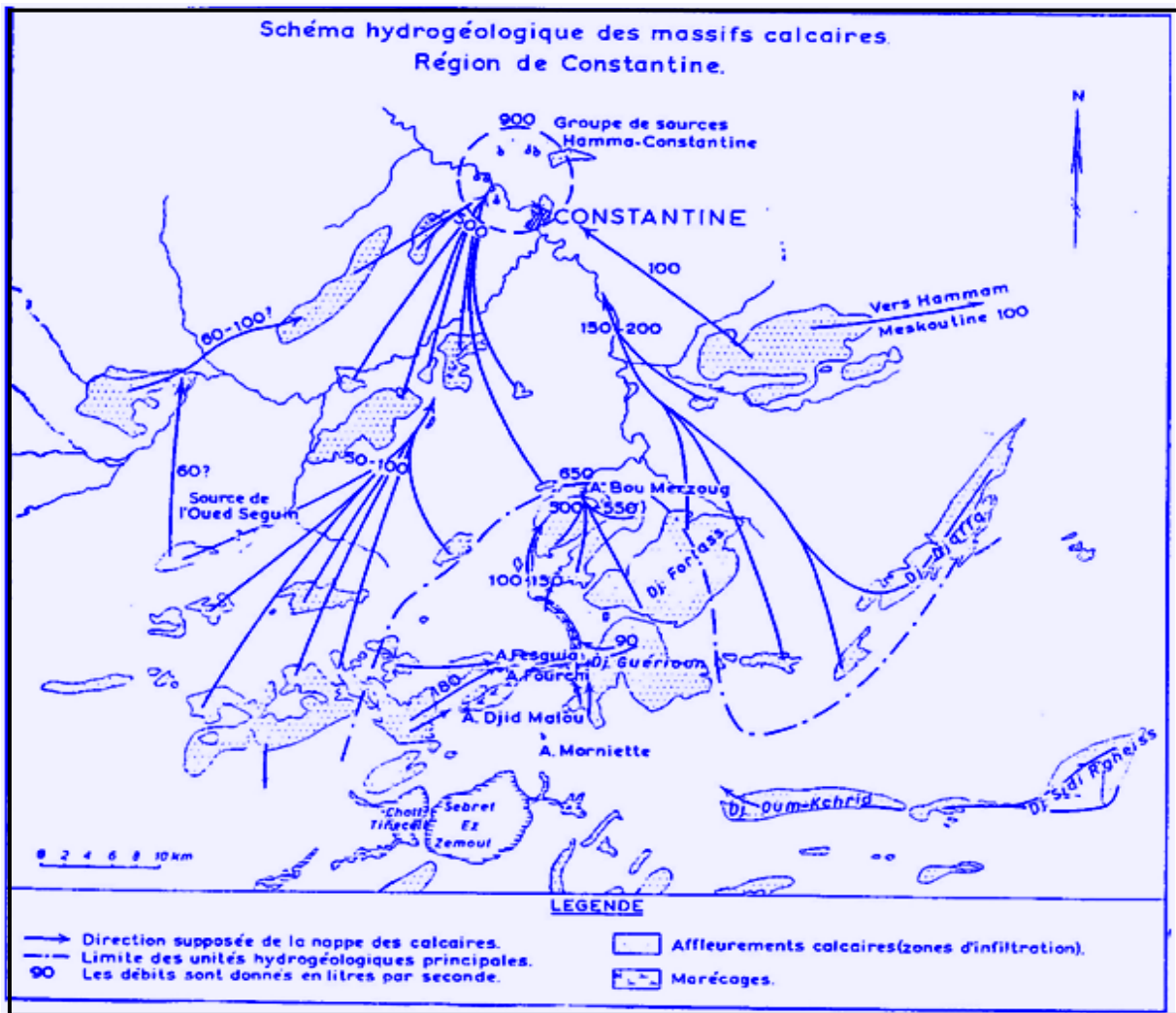


Figure. IV.19 : direction d'écoulement supposée de la nappe calcaire selon G.DUROZOY modifié.

IV. 2.2.6.2. Relation entre les aquifères :

IV. 2.2.6.2.1. Relation nappes karstiques avec les nappes des formations mio- plio-quaternaire :

Les nappes karstiques (les nappes profondes carbonatées d'âge crétacé) ont des relations avec les nappes des formations mio- plio-quaternaire qui commencent sur le piémont des massifs calcaires. Ce phénomène de continuité entre les nappes des calcaires et celles circulant dans la couverture continentale peut se faire de plusieurs manières.

Les eaux profondes remontent à partir de l'aquifère karstique en liaison avec les grands accidents cassants déterminés par la tectonique.

Notons aussi que le contact entre les deux nappes (superficielle – profonde) peut se faire par le phénomène de drainance, c'est-à-dire l'alimentation des aquifères karstiques

profonds par les aquifères superficiels durant les basses eaux et vis versa durant les hautes eaux.

IV. 2.2.6.2.2. L'interconnexion des massifs calcaires :

Des études réalisées par plusieurs auteurs ont fait état de l'existence de relais entre les grands massifs calcaires, avec comme exutoire les sources de Constantine.

Ces relais entre les massifs calcaires à partir des nappes profondes circulant dans des calcaires karstifiés ont été confirmés au cours de l'année 1978, par la réalisation de forages profonds (600 à 700 mètres) le long de la vallée du Rhumel (massifs du Chettaba et du Felten).

En outre un modèle analytique a été réalisé par la SAFEGE (1955) dans le but de simuler la réaction de l'aquifère régional carbonaté suite à une série d'essai de pompage. La simulation consiste en un pompage continu sur 5 ans sur le site du Hamma Bouziane (fig. IV.20). Le débit total du pompage est estimé à 30000 m³/j. Les caractéristiques de l'aquifère consistent en une transmissivité de 4683 m²/j et un coefficient d'emmagasinement de 1*10⁻⁵.

Le résultat de la simulation consiste à suivre le rayon d'influence de ce pompage, montrant des rabattements qui ont atteint, même, la région de la source de Boumerzoug. Le rabattement qui est de 7 mètres dans la zone de pompage donne un rabattement de 4 mètres dans la zone de la source du Boumerzoug et 3.5 mètres au niveau de la source de Fésguia.

Ce ci montre bien le phénomène de continuité hydraulique dans le système karstique sous la couverture néogène.

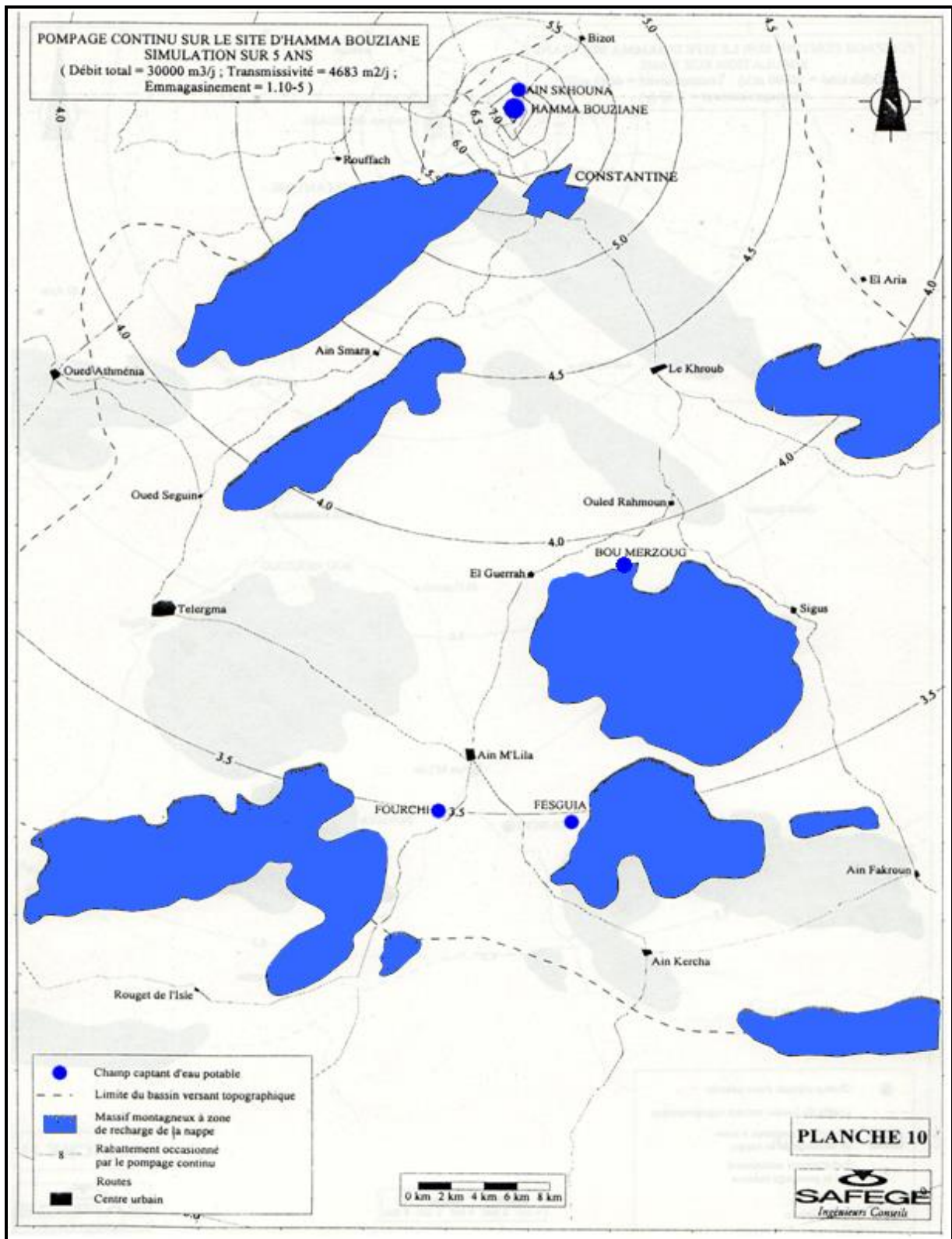


Figure. IV.20 : l'influence de pompage dans le champ de Hamma Bouziane sur les autres sites par SAFAGE (modifié).

Conclusion :

L'étude hydrogéologique de la région montre deux aquifères:

- L'aquifère poreux du Mio-Plio-Quaternaire drainé par les oueds.
- L'aquifère fissuré et karstique du Crétacé (néritique constantinois).

Notre étude est basée sur le système karstique de l'aquifère (jurassique-crétacé) du Boumezoug qui fait partie de l'aquifère crétacé du néritique constantinois, c'est l'ensemble Geurioun-Fortas avec une épaisseur totale approchant les 1 000 m, cet ensemble est caractérisé par l'existence de structures karstiques au siens des massifs (Ex : chenaux, canaux, galeries...).

La source du Boumezoug qui sourde à la faveur de la faille est très importante avec un débit qui dépasse les 650 l/s durant des périodes pluvieuses, le volume d'eau annuel moyen régularisé à 20 000 000 m³, soit une capacité de stockage de 700 000 m³ par mètre d'épaisseur de tranche aquifère.

Dans la station de pompage les profondeurs des forages ne dépassent pas les 41 m, et le rabattement dans les années étudiées est inférieur à -16 m qui est considéré comme le seuil d'alarme.

L'impluvium de l'aquifère et de la source est estimé par G. Durozoy avec une superficie de 285 km².

Le niveau de la nappe du Boumezoug est fonction de la recharge, qui se fait par plusieurs manières:

- L'infiltration au voisinage de la source ;
- Apport par transfert latéral à partir des autres aquifères ;
- Apport par drainance des eaux profondes.

La réponse de la nappe à cette recharge est fonction de :

- Retard d'infiltration ;
- Alimentation autre que par les précipitations directes, et aussi les différences entre un système fissuré avec écoulement lent mais à grande fonction capacitive et un système karstique avec écoulement rapide.

L'étude des fissurations de l'impluvium montre deux directions principales perpendiculaires NE-SW et SE-NW. Elles influencent sur la direction d'écoulement des eaux souterraines qui se fait du Sud vers le Nord

Enfin, on remarque qu'il existe une relation entre l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire et l'aquifère karstique par drainance et une continuité hydraulique dans le système karstique de néritique constantinois sous la couverture néogène.

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

V. Introduction :

L'hydrochimie se définit comme la connaissance des caractéristiques physicochimiques des eaux souterraines, des processus de leur acquisition et des lois décrivant les échanges entre l'eau, le sol et le sous sol.

V.1. Hydrochimie des eaux karstiques :

La minéralisation des eaux contient la totalité des informations relatives aux substances dissoutes (Bakalowicz, 1979). Cependant, deux éléments constituent en général à eux seuls souvent près de 90% de la minéralisation des eaux karstiques. Il s'agit des ions bicarbonate (HCO_3^-) et calcium (Ca^{2+}) dont la mise en solution résulte des processus de dissolution de la roche carbonatée. Viennent ensuite dans un ordre variable selon les karsts étudiés les ions Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-} . La teneur en Na^+ , K^+ est généralement très faibles dans les eaux karstiques, cet élément peuvent alors être qualifié de mineurs.

a- Caractéristiques des éléments majeurs

Les éléments majeurs correspondent aux anions et cations qui constituent de façon prépondérante de la minéralisation des eaux. Ils sont classiquement représentés par les espèces suivantes : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- .

- les ions Ca et Mg :

Ces ions ont toujours une origine interne au système. Ils proviennent, surtout, de la dissolution des roches calcaires et dolomitiques. Le calcium peut aussi provenir du gypse. Ils indiquent, principalement le temps de séjour de l'eau dans l'aquifère.

- les ions Cl, Na et K :

Ils sont d'origine, principalement, externe. Ils peuvent provenir des formations salifères du Trias ou des formations marneuses et argileuses. Na et K peuvent provenir de l'altération des minéraux silicatés. En revanche l'élément Cl peut avoir une origine météorique (lessivage des formations lithologiques par les apports pluviométriques). Ces ions sont, généralement, très peu abondants dans les terrains carbonatés, excepté dans des conditions particulières de gisement (Bakalowicz, 1979)

- l'ion SO_4^{2-} :

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, toujours des ions sulfates dans des proportions très variables. Leur présence résulte de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (Bakalowicz, 1979).

- **l'ion HCO_3 :**

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaires) par des eaux chargées en gaz carbonique.

b- Les éléments à l'état de traces

Les éléments à l'état de traces sont essentiellement les métaux, on distingue trois groupes :

- les alcalins et les alcalino-terreux : Rb, Sr, Cs, Ba;
- les métaux de transition : Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Mo, As, Sb;
- les métaux lourds : Zn, Cd, Pb, Ti, U.

Parmi ces métaux, le plus couramment utilisé pour l'étude des eaux souterraines est le Strontium (Sr). En milieu karstique, les teneurs en Sr sont de quelques dizaines à plusieurs centaines de $\mu\text{g/l}$. Le Sr peut remplacer le Ca dans la structure cristalline des minéraux carbonatés car ces deux éléments possèdent des rayons ioniques très voisins. Cet élément est donc utilisé comme traceur des circulations souterraines.

V.2. Les traceurs de l'eau utilisés en Hydrogéochimie karstique

Le terme traceur a été défini par Molinari (1976) « une substance, par définition identifiable, au moyen de la quelle on cherche à appréhender le devenir du milieu marqué ».

Il existe deux types de traceurs : les traceurs naturels et les traceurs artificiels.

Les traceurs naturels du karst sont les éléments chimiques et isotopiques qui sont apporté au système par les précipitations (Fontes, 1976), ou acquis naturellement au sein de l'aquifère.

Il existe une large gamme d'éléments chimiques que l'on trouve naturellement dans les eaux karstiques, mais tous n'apportent pas le même type d'information. On distingue les éléments majeurs et mineurs ; le carbone minérale et organique ; les éléments en traces ; les isotopes stables de l'eau et du soluté (Oxygène¹⁸ et Deutérium, Tritium, ¹³C, ¹⁵N) ; les isotopes radioactifs de l'eau et du soluté (¹⁴C, les isotopes du strontium) ; et les gaz dissous (exemple Radon)

Les traceurs artificiels ont une origine externe, ils sont injectés de façon artificielle dans le système (Tableau V.1).

Tableau V.1. Principaux traceurs artificiels utilisés en hydrogéologie (Meus, 1996 in Plangnes, 1997).

Traceurs fluorescents	Traceurs xanthéniques	Uranine, éosine, rhodamine B, sulforhodamine B, amidorhodamine G, rhodamine WT, rhodamine 6G erythrosine, rose bengale
	Autres fluorescents	Pyranine, naphthionate, amino G, lanaperl, lissamine; tinopal CBS-X, leucophore, photine CU, azurant optique 28, amidoflavine
Traceurs ioniques	Cations	N ⁺ , Li ⁺ , K ⁺ , Sr ²⁺ , Cs ⁺
	Anions	I ⁻ , Br ⁻ , Cl ⁻
Traceurs particuliers		Spores de lycopodes (+ colorants) Microsphères fluorescentes

V.3. Les paramètres physicochimiques analysés :

Cinq sources sont analysées dans deux campagnes. Les deux campagnes sont analysées au laboratoire d'hydrogéologie de l'université de Constantine, la première campagne au mois de février (2013) et la deuxième campagne au mois de juin (2013). Les résultats d'analyses sont mentionnés dans le tableau. F en annexes

V. 3.1. Etude des paramètres physiques :

L'origine de l'eau ainsi que sa solubilité dépend de certains paramètres qui sont : la température (T°), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité (σ) et la minéralisation (Ms).

V. 3.1.1. Température :

Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et dans la dissolution des sels dissous. Donc sur la conductibilité.

Ce paramètre est très important à connaître, car il permet de différencier les eaux qui circulent près de la surface de celles qui circulent en profondeur, et donc la qualité de l'eau.

La variation thermique des eaux souterraines dépend de la profondeur de l'aquifère et le gradient géothermique.

Cependant, pour les eaux superficielles, elle est due aux influences atmosphériques et particulièrement les changements de la température de l'air.

La température moyenne annuelle de l'air dans le secteur d'étude est de l'ordre de 16.1°C (station d'Ain el bey) et les températures des sources (Tab. V.2) varient entre 14 à 35°C.

À l'inverse des sources thermales de Hamma Bouzaine (Hammem Zaoui, Ain Skhouna) qui sont caractérisées par des températures constantes durant les deux périodes, les autres sources étudiées (Fésguia, Gourzi, Boumerzoug) indiquent une augmentation de 1 à 4 °C du mois de février au mois de juin. Cette variation est probablement due à l'influence de l'atmosphère.

D'après le (Tab. G en annexe) du suivi de la température et de la conductivité, la température de la source du Boumerzoug dépassent le 22 °C. Le 13-06-2013 et le 12-07-2013 elle a atteint les 24 °C, ce qui fait d'elle une eau thermale.

V. 3.1.2. Conductivité :

La conductivité électrique de l'eau caractérise sa faculté à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est exprimée en µS / cm. Les valeurs de conductivité mesurées (Tab. V.2) sont corrigées à une température standard de 20 °C. La conductivité ou son inverse la résistivité permet donc une estimation de la minéralisation des eaux. On sait que l'eau salée est très conductrice. Par contre, l'eau pure est très résistante.

Des faibles conductivités sont observées au niveau des sources de Fésguia et Gourzi.

La source de Boumerzoug qui est située dans la région voisine de Fésguia et Gourzi, elle possède (comme pour la température) une conductivité relativement élevée d'un ordre de grandeur équivalent à celui des sources (Ain Skhouna, Hammem Zaoui) situées plus au Nord dans la région de Constantine.

Tableau. V.2 : la température et la conductivité des différentes sources dans les deux périodes.

Sources	Température (°C) de février 2013	Température de (°C) de juin 2013	Conductivité corrigé à 20 °C de février 2013 (µS/cm)	Conductivité corrigé à 20 °C de juin 2013 (µS/cm)
Fésguia	18	19	574.56	552.42
Gourzi	14	15	563.56	546.48
Boumerzoug	20	22	1145.88	1054.2
Ain Skhouna	35	35	1085.28	979.02
Hammem Zaoui	31	31	1109.68	999

V. 3.1.3. Potentiel hydrogène :

Le potentiel hydrogène (Tab. V.3) est liée principalement à la nature lithologique des terrains traversés. Il constitue le mode de représentation de la concentration en ion H^+ d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité du chimisme du milieu. Il est exprimé par le log décimal de l'inverse de la concentration en ion H^+ .

$$pH = \log 1/ [H^+].$$

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

- Si $[H^+] = [OH^-] \rightarrow$ Le $pH = 7$, donc l'eau est neutre.
- Si $[H^+] > [OH^-] \rightarrow$ Le $pH < 7$, donc l'eau est acide.
- Si $[H^+] < [OH^-] \rightarrow$ Le $pH > 7$, donc l'eau est basique.

Les eaux des sources étudiées sont basiques avec $pH > 7$.

Ainsi pour le pH mesuré et le pH d'équilibre, les eaux peuvent être caractérisées comme agressives, incrustantes ou neutres.

- Si le pH mesuré $>$ pH d'équilibre, l'eau est incrustante.
- Si le pH mesuré $<$ pH d'équilibre, l'eau est agressive.
- Si le pH mesuré = pH d'équilibre, l'eau est neutre.

La quantité de CO_2 libre en mg/l obtient graphiquement d'après le diagramme de Schoeller – Berkloff (diagramme classique).

Tableau. V.3 : Caractères de l'eau selon les pH mesurés et les pH d'équilibre et le CO₂ en mg/l.

Sources	pH mesuré de février	pH de mesuré juin	pH d'équilibre février	pH d'équilibre juin	CO ₂ de février (mg/l)	CO ₂ de juin (mg/l)	P.H caractère de l'eau	
							Période de février	Période de juin
Fésguia	7.6	7.3	7.6	7.3	9	9	neutre	neutre
Gourzi	7.6	7.3	7.78	7.72	5.2	10.5	Eau agressive	Eau agressive
Boumerzoug	7.7	7.4	7.35	7.35	8.5	15	Eau incrustante	Eau agressive
Ain Skhouna	7.7	7.2	7.27	7.25	9.5	28	Eau incrustante	Eau agressive
Hammem Zaoui	7.6	7.1	7.25	7.2	12	38	Eau incrustante	Eau agressive

V. 3.1.4. Dureté totale (D.H.T)

La dureté totale ou le degré hydrotimétrique (D.H.T) indique la teneur totale de l'eau en sels de calcium (Ca⁺⁺) et de Magnésium (Mg⁺⁺). Elle est exprimée en degré français (°F) et calculer selon la formule suivante :

$$\text{D.H.T} = 5 (r \text{ Ca}^{++} + r \text{ Mg}^{++}) \text{ } ^\circ\text{F.}$$

Où:

r Ca⁺⁺ et r Mg⁺⁺ : désigne respectivement les quantités en réaction de calcium et de magnésium en mé / l.

Pour les eaux potables de bonne qualité, la dureté totale généralement ne dépasse pas 15 °F mais elle est acceptable jusqu'à 50 °F. Si elle dépasse cette valeur, elle deviendra impropre aux usages domestiques.

Pour la source de Boumerzoug, la dureté totale reste inférieure à 50°F pendant les deux périodes (42.6° F en février et 42.2°F en juin) (Tab. V.4). Elle donc est classée comme une eau de potabilité acceptable.

Tableau. V.4 : la dureté totale des sources.

Sources	D.H.T°F de Février	D.H.T°F de Juin
Fésguia	29.6	29.8
Gourzi	23.8	23.4
Boumerzoug	42.6	42.4
Ain Skhouna	44.4	46.4
Hammem Zaoui	44.4	47.2

V. 3.2. Étude des paramètres chimiques :

Toute eau naturelle contient des sels minéraux acquis lors de son trajet. Cette acquisition se fait soit par dissolution, soit par échanges d'ions avec les terrains traversés.

Tableau. V.5 : les valeurs des principaux éléments chimiques analysés en (mg/l).

Sources	Période 2013	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ +K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
Fésguia	Février	73.74	26.88	26.22	272.06	96	21.3
	Juin	86	20	32	278.2	94	26.1
Gourzi	Février	80.16	9.02	24.15	163.48	88	46.15
	Juin	91.38	1.33	31.97	169.58	86	53.25
Boumerzoug	Février	114.63	33.48	80.27	320.86	108	159.75
	Juin	117.83	31.08	99.36	322.08	126	173.95
Ain Skhouna	Février	121.84	33.48	63.48	359.9	146	95.85
	Juin	126.65	35.4	63.02	364.78	146	106.5
Hammem Zaoui	Février	121.04	33	84.87	372.1	152	117.15
	Juin	133.86	33	78.66	391.62	146	120.7

Le (Tab. V.5) montre que presque toutes les teneurs des éléments chimiques analysés de la source du Boumerzoug augmentent du mois de février au mois de juin sauf le magnésium.

L'augmentation la plus remarquable concerne les éléments Na⁺+K⁺, SO₄⁻ et Cl⁻ en conséquence au lessivage des terrains évaporitiques (mélange d'eau) ou aux rejets domestiques et/ou à la présence des engrais.

V. 3.3. Etude des valeurs relatives :

V. 3.3.1. Rapports caractéristiques :

Les principaux rapports caractéristiques utilisés en hydrochimie sont :

rMg^{++} / rCa^{++} ; rSO_4^{-} / rCl^{-} ; $r(Na^{+} + K^{+}) / rCl^{-}$.

- **Rapport : rMg^{++} / rCa^{++} :**

Lorsque le rapport (Tab. V.6) est inférieur à 1, cela implique que le calcium domine, on observe ça dans toutes les sources d'eau étudiée et durant les deux périodes. La cause probable de la prédominance du calcium est la dissolution importante des formations calcaires du crétacé.

Lorsque ce rapport est supérieur à 1, cela implique que le magnésium domine et donc dissolution des dolomies.

Tableau. V.6 : rapport rMg^{++} / rCa^{++} des sources dans les deux périodes.

Sources	rMg^{++} / rCa^{++} de Février	rMg^{++} / rCa^{++} de Juin
Fésguia	0.601	0.383
Gourzi	0.186	0.024
Boumerzoug	0.482	0.435
Ain Skhouna	0.453	0.461
Hammem Zaoui	0.463	0.407

- **Rapport : rSO_4^{--} / rCl^- :**

Lorsque ce rapport (Tab. V.7) est supérieur à 1, c'est la prédominance des sulfates, liés essentiellement au lessivage des terrains gypsifères ou à la présence des engrais. C'est le cas des sources Fésguia, Gourzi, Ain Skhouna durant les deux périodes.

Lorsque ce rapport est inférieur à 1, cela traduit la prédominance des chlorures, liée au lessivage des terrains salifères ou aux rejets domestiques. C'est le cas des sources Boumerzoug et Hammem Zaoui durant les deux périodes.

Tableau. V.7 : rapport rSO_4^{--} / rCl^- des sources dans les deux périodes.

Sources	rSO_4^{--} / rCl^- de Février	rSO_4^{--} / rCl^- de Juin
Fésguia	3.33	2.66
Gourzi	1.41	1.19
Boumerzoug	0.5	0.53
Ain Skhouna	1.12	1.01
Hammem Zaoui	0.96	0.89

- **Rapport : $r(Na^+ + K^+) / rCl^-$:**

Lorsque ce rapport (Tab. V.8) est supérieur à 1, cela implique que le sodium est prédominant et essentiellement lié aux formations riches en NaCl. C'est le cas des sources d'eau suivants : Fésguia et Hammem Zaoui durant les deux périodes et Ain Skhouna durant la période de Février.

Dans le reste, ce rapport est inférieur à 1, ce qui traduit une prédominance des chlorures liée aux terrains salifères et/ou aux rejets domestiques telle que les sources Gourzi et Boumerzoug durant les deux périodes et Ain Skhouna durant la période de Juin.

Tableau. V.8 : rapport $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / \text{rCl}^-$ des sources dans les deux périodes.

Sources	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / \text{rCl}^-$ de Février	$r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / \text{rCl}^-$ de Juin
Fésguia	1.9	1.89
Gourzi	0.81	0.93
Boumerzoug	0.77	0.88
Ain Skhoua	1.02	0.91
Hammem Zaoui	1.12	1

V. 3.3.2. Indice d'échange de base (i.e.b) :

Au cours de leur trajet souterrain, les eaux entrent en contact avec des différentes substances qui ont la propriété d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans les eaux.

Schoeller (1934) appelle l'indice d'échange de base, le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants.

Il est donné par la formule suivante :

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

Si l'i.e.b est négatif, les ions Ca^{++} et Mg^{++} de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes. Par contre si l'i.e.b est positif, les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{++} et Ca^{++} des formations encaissantes.

Cet indice donne des informations concernant l'origine des eaux à savoir :

- Si **i.e.b > 0** ⇒ l'eau est d'origine sédimentaire;
- Si **i.e.b < 0** ⇒ l'eau est d'origine cristalline.

D'après les résultats qui sont mentionnés dans le (Tab. V.9) en annexes. On constate que 3 sources présentent un $\text{i.e.b} > 0$ qui sont : Gourzi et Boumerzoug durant les deux périodes et Ain Skhoua dans la période de juin, ce qui indique que l'enrichissement des eaux est en chlorures qu'en Alcalins. Donc les eaux sont d'origine sédimentaire.

Par contre, les sources Fésguia et Hammem Zaoui durant les deux périodes et Ain Skhoua durant la période de février présentent un $\text{i.e.b} < 0$ mais sont d'origine sédimentaire puisque d'après Schoeller, dans le climat semi-aride et aride l'i.e.b est négatif et malgré ça les eaux sont d'origine sédimentaire.

V.4. Classification des eaux :

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été introduites afin de pouvoir connaître leurs faciès chimiques.

Nous nous sommes basés sur les classifications de Stabler, de Schoeller et de Piper.

V.4.1. Classification de Stabler :

Dans cette classification, les concentrations exprimées en mg/l sont réduites en quantité en réaction pour cent (r%) par rapport à la concentration(T).

La formule ionique étant obtenue en classant de gauche à droite et par ordre décroissant les quantités en réaction pour cent des ions ensuite celles des cations, en se basant sur la prédominance de tel ou tel ion.

Cette classification a mis en évidence trois (03) familles de faciès chimiques :

- Faciès bicarbonaté ;
- Faciès sulfaté ;
- Faciès chloruré.

La source du Boumezoug et après la classification de Stabler (Tab. V.10) est de faciès bicarbonaté calcique durant les deux périodes de l'analyse et la même chose pour les autres sources.

Tableau. V.10: Classification des eaux selon Stabler.

Les sources	Formules caractéristiques Ou ioniques	Faciès
Fésguia	$r\%HCO_3 > r\% SO_4 > r\% Cl = r\%Ca > r\%Mg > r\%Na+K$	Bicarbonate Calcique
Gourzi	$r\%HCO_3 > r\% SO_4 > r\% Cl = r\%Ca > r\%Na+K > r\%Mg$	Bicarbonate Calcique
Boumerzoug	$r\%HCO_3 > r\% Cl > r\% SO_4 = r\%Ca > r\%Na+K > r\%Mg$	Bicarbonate Calcique
Ain Skhouna	$r\%HCO_3 > r\% SO_4 > r\% Cl = r\%Ca > r\%Mg > r\%Na+K$	Bicarbonate Calcique
Hammem Zaoui	$r\%HCO_3 > r\% Cl > r\% SO_4 = r\%Ca > r\%Na+K > r\%Mg$	Bicarbonate Calcique

V.4.2. Classification de Piper :

Cette méthode est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les eaux entre elles. Ce diagramme comporte un losange ABCD et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent (100) parties égales correspondant à des quantités en réaction pour cent (calculé par rapport à des ions de même signe). Ainsi dans chaque triangle, un point représentatif est obtenu. Les

deux parallèles supportant ces deux points s'intercroisent en un seul point dans le losange ABCD, indiquant la nature du faciès chimique des eaux.

Les points sont représentés sur le diagramme de Piper (Fig. V.1) et les faciès obtenues sont :

- Le faciès bicarbonaté calcique et magnésien est présenté pour la période de juin la source de Fésguia et pour la période de février par les sources de Fésguia et Ain Skhouna ;
- Le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien est présenté pour la période de juin par les sources Boumezoug et Gourzi, pour la période de février, il est présenté par les sources Boumerzoug, Gourzi et Hammem Zaoui ;
- Durant la période de juin, les sources d'Ain Skhouna et Hammem Zaoui restent entre le faciès bicarbonaté calcique et magnésien et le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

De cette classification, on constate qu'il y a un changement de faciès dans certaines sources telles que les sources d'Ain Skhouna et Hammem Zaoui. Ce changement est due probablement à la variation saisonnière de la concentration des éléments chimiques qui est liée à l'effet des conditions climatiques de la région (précipitations, évaporation) et à l'exploitation des ressources par pompage et à l'irrigation.

Diagramme de Piper

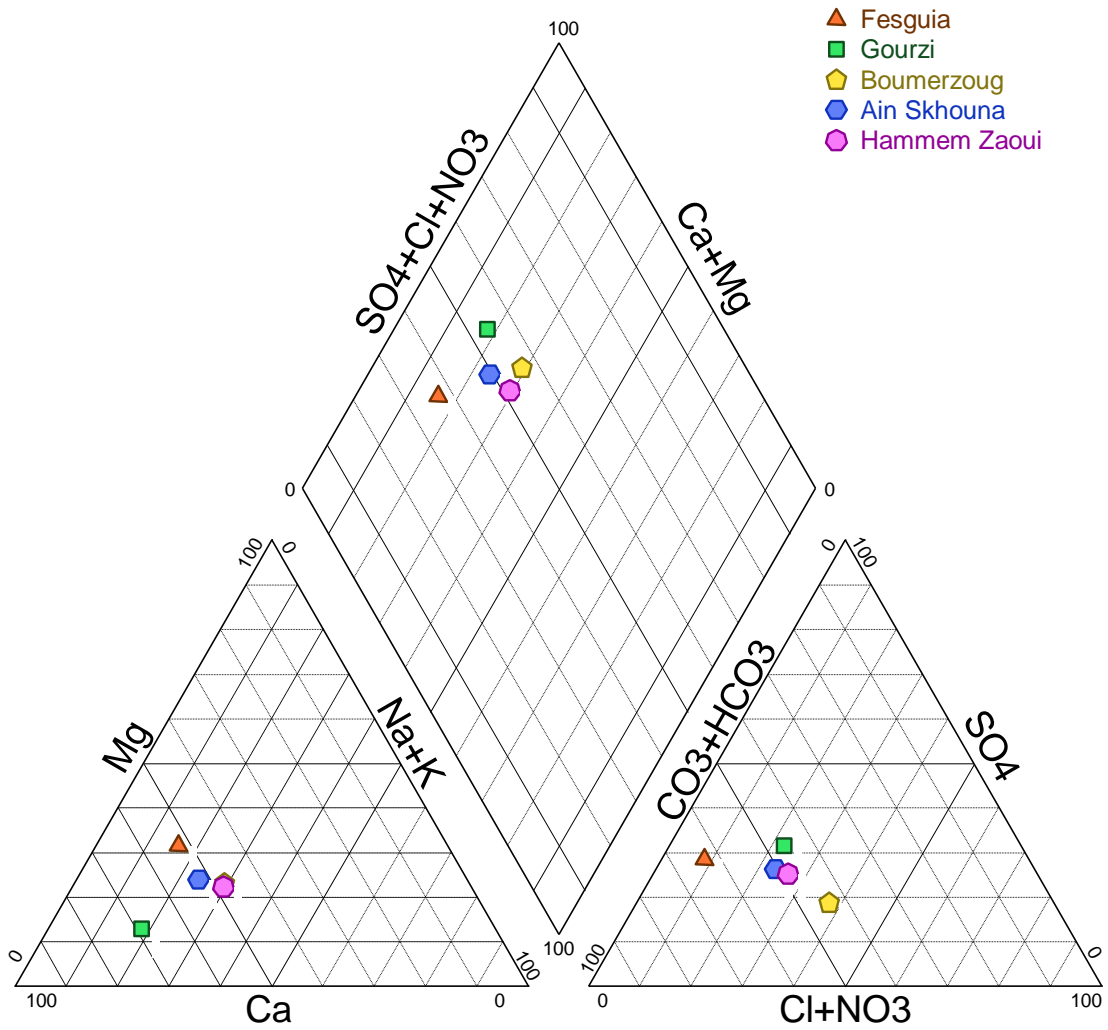


Figure. V.1 : Représentation des eaux sur le diagramme de piper période de février (2013).

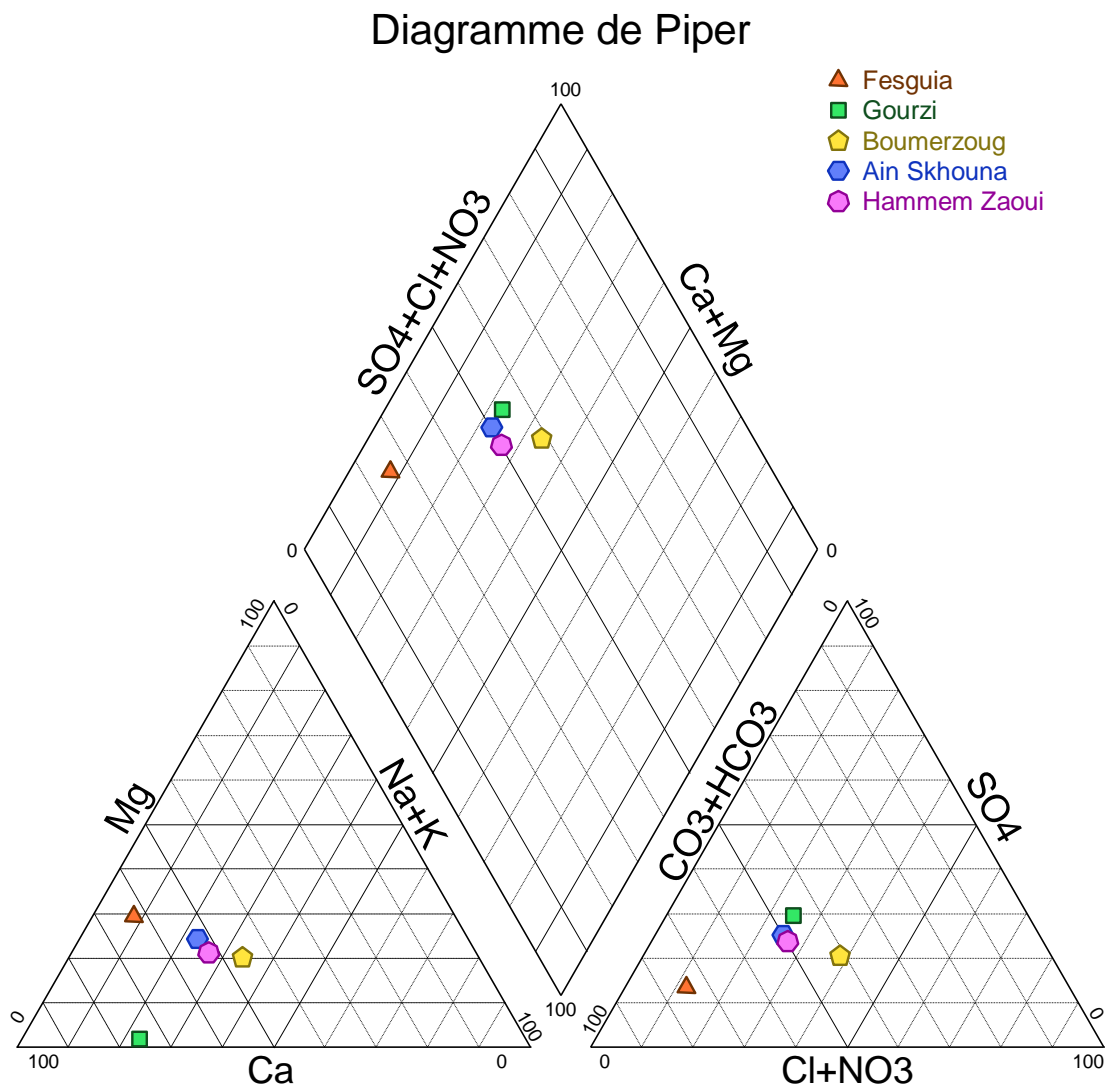


Figure. V.2 : Représentation des eaux sur le diagramme de piper période de juin (2013).

V.4.3. Classification de Schoeller – Berkaloff (Fig. V.3a, b) :

Elle consiste à représenter les résultats des analyses chimiques sur un diagramme semi-logarithmique vertical mis au point par Schoeller et révisé par Berkaloff.

Il se compose de sept échelles logarithmiques verticales équidistantes qui sont appropriées aux principaux ions : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , DHT, et le PH.

Cette représentation graphique permet de déterminer le PH d'équilibre et le caractère de l'eau comme suit :

Si : $\text{pH}_e > \text{pH mesuré} \rightarrow$ l'eau est agressive.

$\text{pH}_e = \text{pH mesuré} \rightarrow$ l'eau est neutre.

$\text{pH}_e < \text{pH mesuré} \rightarrow$ l'eau est incrustante.

On obtient graphiquement la quantité de CO_2 libre en mg/l (Tab. V.3).

D'après la représentation sur le diagramme de Schoeller – Berkloff, on constate que les sources d'eau étudiées ont un caractère incrustant pour Boumerzoug, Ain Skhoua et Hammem Zaoui pendant le mois de février et agressif pour le mois de juin, la source de Gourzi est agressif durant les deux périodes, seulement la source de Fésguia est neutre durant les deux périodes. Ce changement de caractère de l'eau des sources Boumerzoug, Ain Skhoua et Hammem Zaoui (incrustant devient agressif) peut être due à un apport de CO_2 dans le milieu (relation avec la zone saturée).

Le pH d'équilibre varie entre 7.25 et 7.78 pendant le mois de Février et entre 7.2 et 7.72 pendant le mois de Juin, alors que les valeurs du pH mesurés sont comprises entre 7.6 et 7.7 pendant le mois de Février et entre 7.1 et 7.4 pendant le mois de Juin.

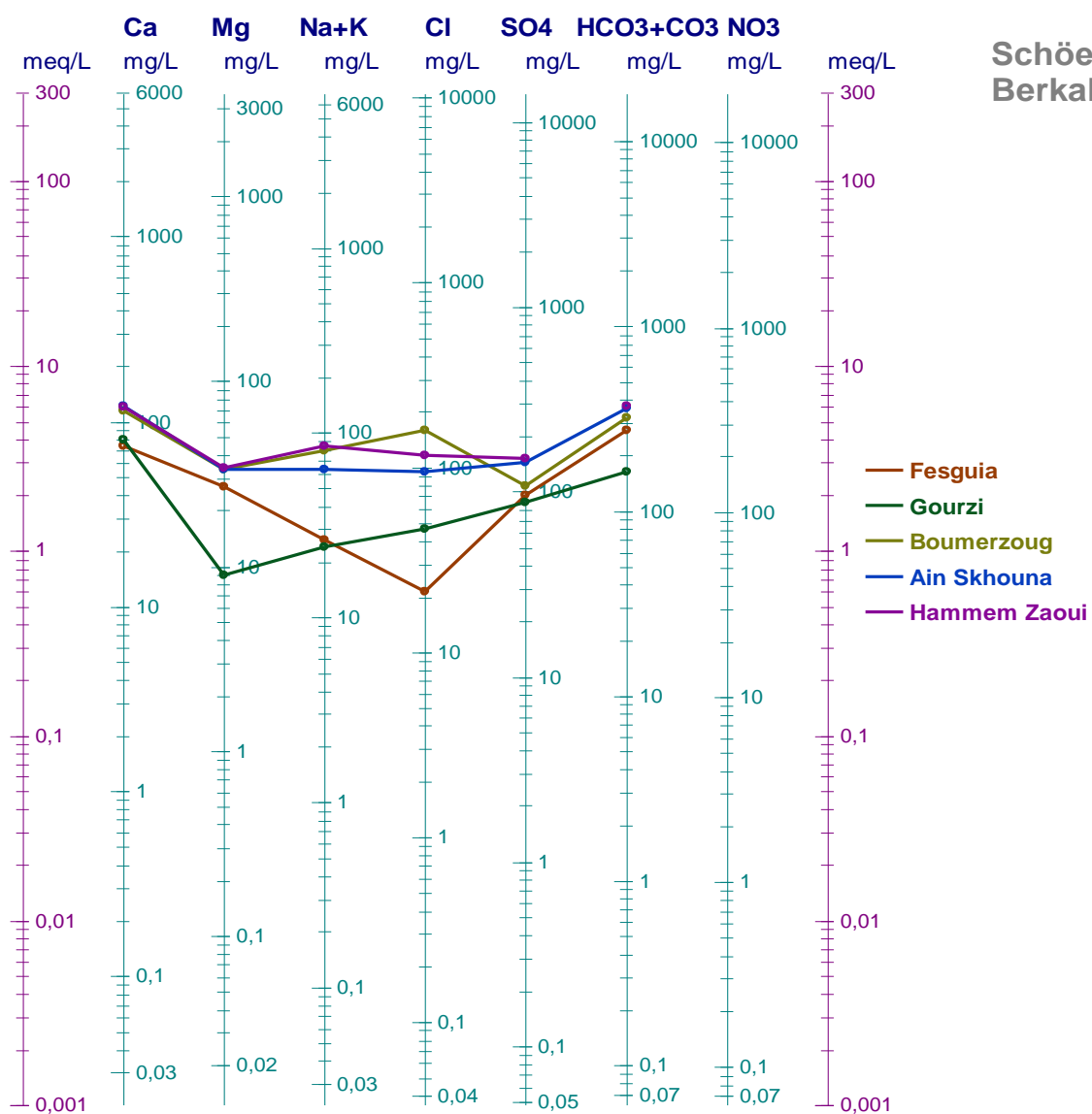


Figure. V.3a : Représentation graphique des eaux sur le diagramme Schoeller Berkaloff (période de février (2013)).

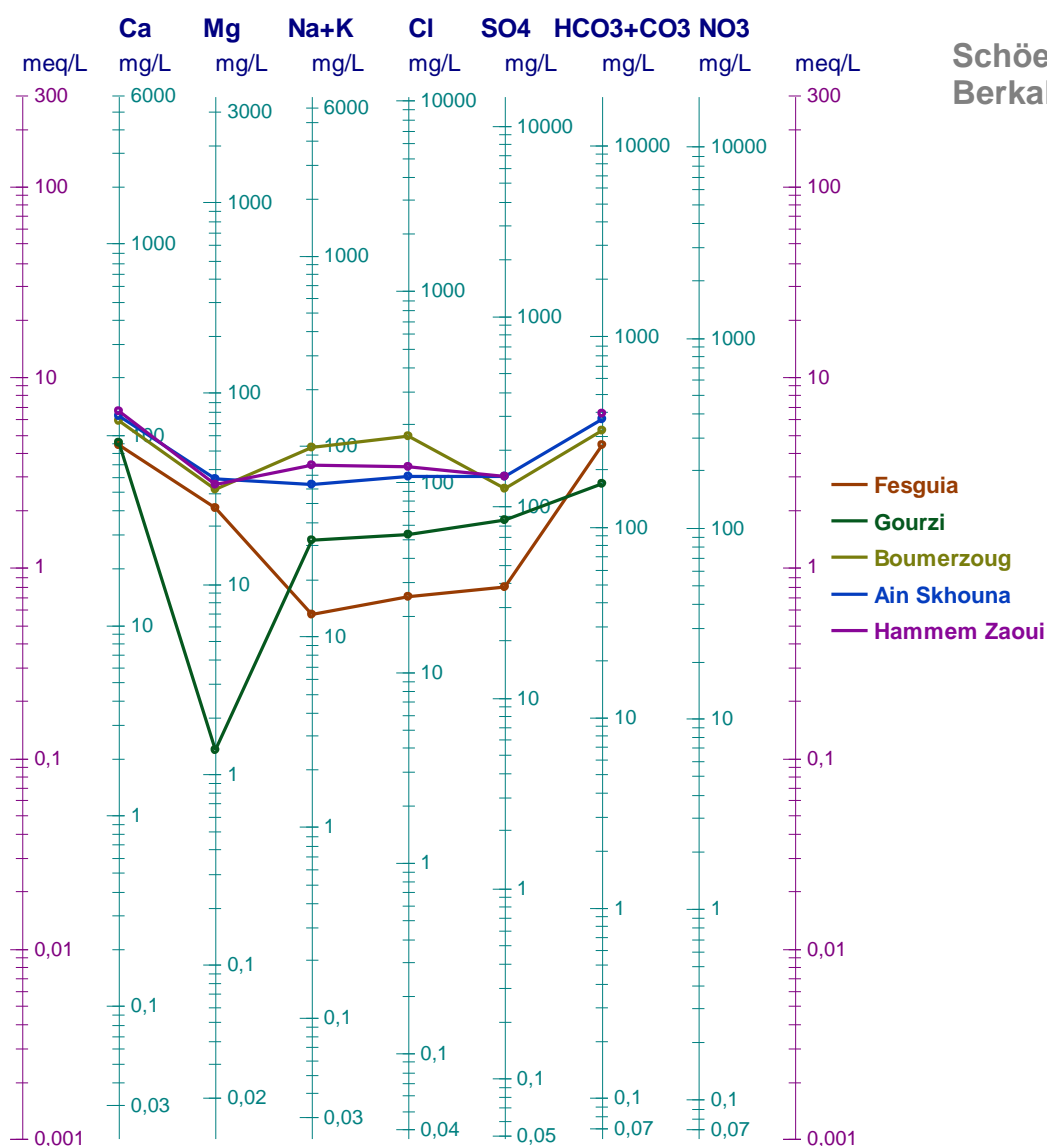


Figure. V.3b : Représentation graphique des eaux sur le diagramme Schoeller Berkaloff (période de juin (2013)).

V.5. Potabilité des eaux :

Les eaux destinées à la consommation humaine doivent être dépourvues de tout agent polluant et d'impureté.

Les eaux souterraines présentent toujours une certaine concentration des différents éléments chimiques (Tab. V.11) élevées. Ces concentrations ne doivent pas dépasser un certain seuil défini par les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les services de la santé publique.

Tableau. V.11 : Potabilité des eaux.

Valeurs extrêmes des normes internationales (O.M.S) en mg/l	des normes internationales (O.M.S) en	Période 2013	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	So ₄ ⁻	Cl ⁻	(D.H.T) F°	Potabilité des eaux
			140	150	250	250	50	
Fésguia		février	73.74	26.88	96	21.3	29.6	potable
		juin	86	20	94	26.1	29.8	potable
Gourzi		février	80.16	9.02	88	46.15	23.8	potable
		juin	91.38	1.33	86	53.25	23.4	potable
Boumerzoug		février	114.63	33.48	108	159.75	42.6	potable
		juin	117.83	31.08	126	173.95	42.4	potable
Ain		février	121.84	33.48	146	95.85	44.4	potable
Skhouna		juin	126.65	35.4	146	106.5	46.4	potable
Hammem		février	121.04	33.96	152	117.15	44.4	potable
Zaoui		juin	133.86	33	146	120.7	47.2	potable

V.6. Aptitude des eaux à l'irrigation :

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles. A cet effet étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole. Une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger des certains éléments chimiques.

La qualité de l'eau pour l'irrigation est déterminée par :

- **Méthode du S.A.R:**

Le S.A.R (Fig. V.4) est défini comme étant une détermination du pouvoir d'échange des ions Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ par le Na⁺ dans les argiles et les colloïdes. Il est défini par la relation de Richard (1954).

$$S.A.R = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$$

Na⁺ : Concentration (Na) en mé/l

Ca⁺⁺ : Concentration (Ca) en mé/l

Mg⁺⁺ : Concentration (Mg) en mé/l

La combinaison du S.A.R et de la conductivité électrique de l'eau permet la classification de l'eau d'irrigation.

D'après la fig. V.4, les eaux des sources étudiées appartiennent aux classes suivantes :

- **La classe (Faible 1,2) :**

Englobe les eaux des sources : Fésguia, Gourzi, présentant un danger de salinité moyenne et un faible danger d'alcalinité. Elles sont mauvaises à l'irrigation.

- **La classe (Faible 1,3) :**

Englobe les eaux des sources : Boumerzoug, Ain Skhouna, Hammem Zaoui, présentant un danger de salinité élevé et un faible danger d'alcalinité. Elles sont mauvaises à l'irrigation.

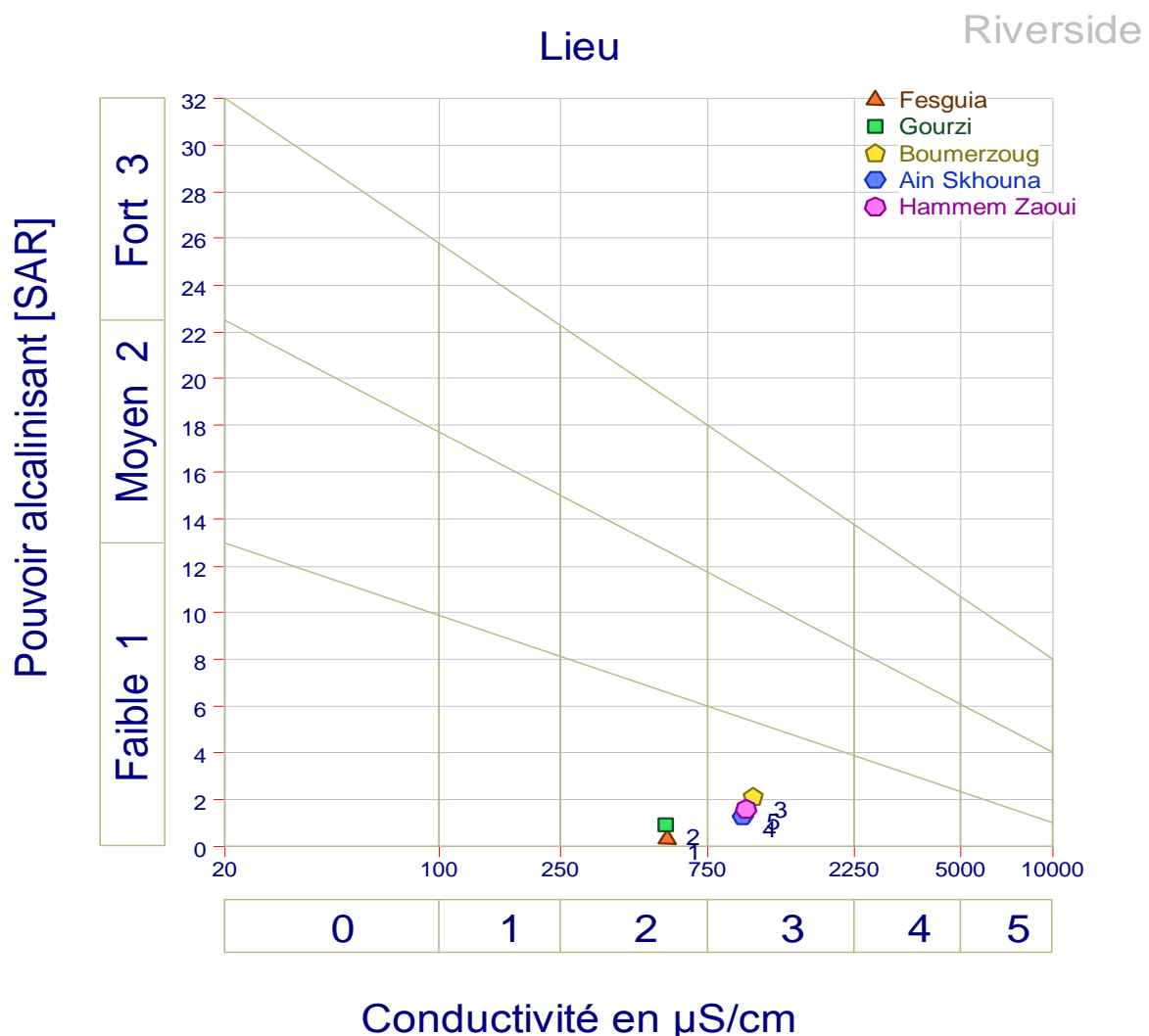


Fig. V.4 : Classification des eaux d'irrigation (Méthode du S.A.R)

(D'après Richard .1954 modifié) période du février (2013).

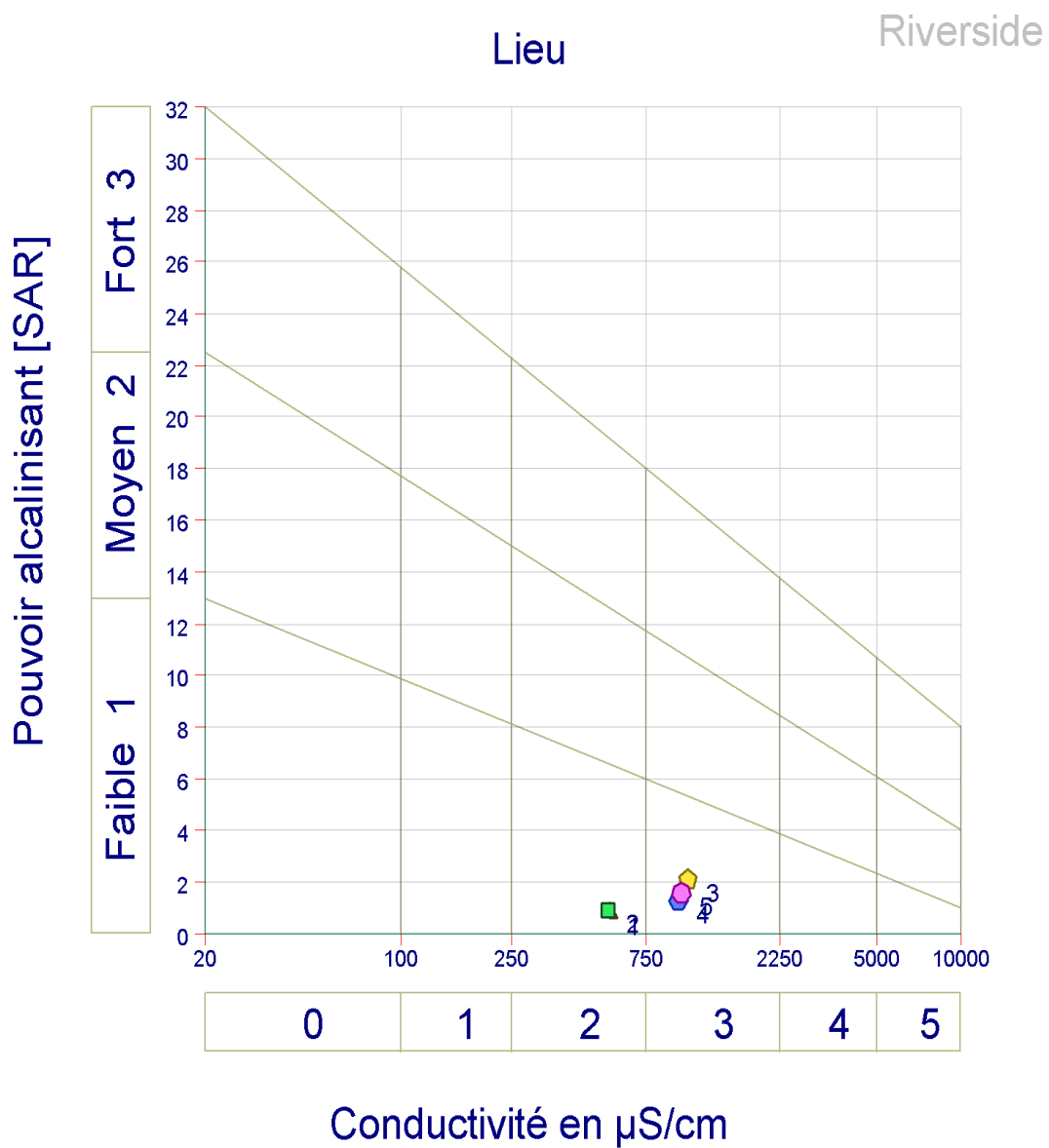


Fig. V.4 : Classification des eaux d'irrigation (Méthode du S.A.R)
 (D'après Richard .1954 modifié) période du juin (2013).

V.7. Evolution de la conductivité de la source du Boumerzoug :

- **Evolution temporelle (chaque 15 jour) de la conductivité**

Les suivis de la conductivité et de la température de la source du Boumerzoug sont réalisés au pas de temps de 15 jours, débutant de 27/01/2013 jusqu'au 12/07/2013. Ce suivi montre que la température de l'eau varie entre 20 °C et 24 °C et la conductivité de l'eau varie entre 883.6 et 1207.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tab. V.12).

Tableau. V.12 : suivi de la conductivité et de la température de la source du Boumerzoug.

Date	T°C	μ à 20°C
27/01/2013	20	1145,88
14/02/2013	20	1130,3
28/02/2013	20	1105,2
16/03/2013	20	1020,5
31/03/2013	21	930,5
17/04/2013	21	883,6
02/05/2013	21	1190
16/05/2013	21	1185,28
30/05/2013	21	986,74
13/06/2013	24	1013,46
27/06/2013	21	991,44
12/07/2013	24	1207,7

Ces fluctuations suivent les modes de l'alimentation de la source (infiltration au voisinage de la source, apport latéral lointain ou par drainance) et peuvent être aussi influencées par les variations saisonnières de l'air.

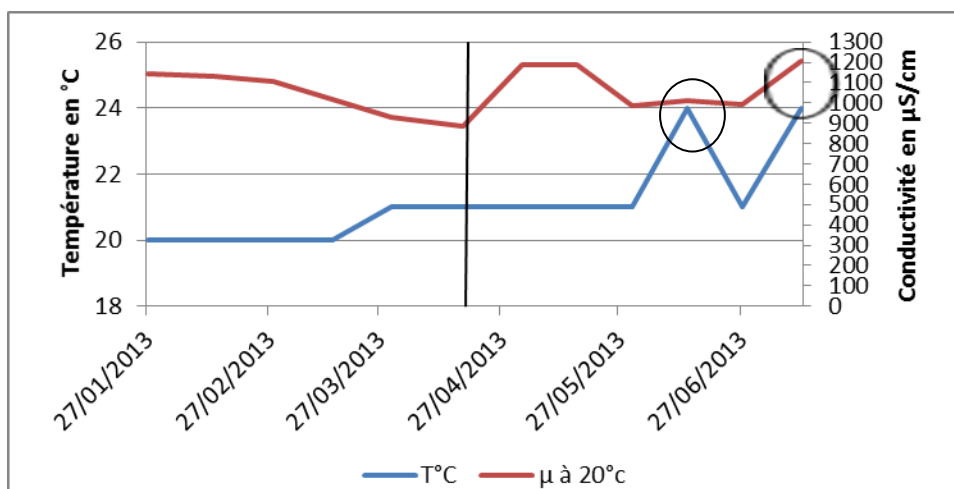


Figure. V.5 : Evolution temporelle de la conductivité corrigée à 20°C et de la température de l'eau de la source du Boumerzoug (période 27/01/2013 – 12/07/2013).

La figure. V.5, montre qu'après le 27/04 et jusqu'au 27/05, la température reste constante (21°C). Par contre, la conductivité augmente puis diminue. La relation apparait vers la fin marquant l'augmentation des deux paramètres (conductivité, température) en même temps, dénotant une relation directe.

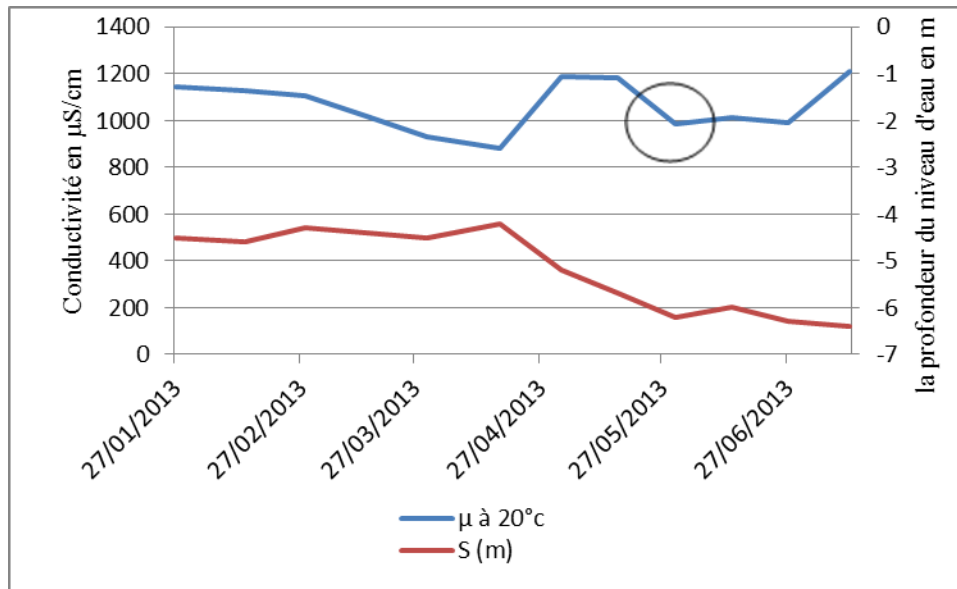


Figure. V.6 : Evolution temporelle de la conductivité et le rabattement de la source du Boumerzoug (période 27/01/2013 – 12/07/2013).

Pour la conductivité, on observe que, dans l'ensemble, l'évolution de celle-ci se fait dans le même sens que celui de la profondeur du niveau d'eau (Fig. V.6) (c'est-à-dire, quand la profondeur du niveau d'eau augmente la conductivité augmente).

Cependant, vers le 27/05, malgré la forte augmentation de la profondeur du niveau d'eau, on observe une diminution de la conductivité. On suppose donc une arrivée d'eau d'un autre secteur et ceci a eu lieu après les pluies des trois jours respectivement 14/ 05, 15/ 05 et 16/ 05, avec des valeurs de 3 mm, 0.2 mm et 0.6 mm.

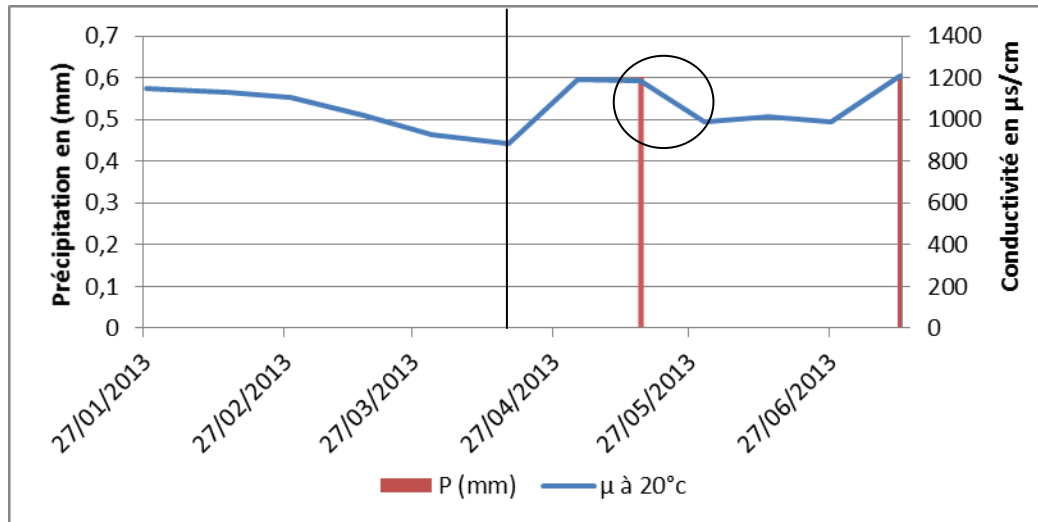


Figure. V.7 : Evolution temporelle de la conductivité et les précipitations (période 27/01/2013 – 12/07/2013).

En générale et d’après les données des précipitations des mois de l’année 2013, on remarque que la période pluvieuse (Fig. V.7) montre une diminution continue de la conductivité. Elle revient peut être à l’apport d’eau des pluies permanent durant cette période. Après le 16/05/2013, on constate une fluctuation de la conductivité qui revient probablement à l’apport d’eau des pluies des orages.

- **Evolution interannuelle de la conductivité, des chlorures et des sulfates :**
forage de Boumerzoug (1998-2013) (données de l’ABHCSM (Tab. V.13)).

1- Evolution de la conductivité :

Dans les années (1998-2013) et d’après la Fig. V.8, on remarque deux périodes de l’augmentation de la conductivité. La première période entre (1998-2001) où la conductivité atteint la valeur 1266.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et la deuxième entre (2003-2007) avec une valeur maximale de 1315 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ces deux périodes sont séparées par une période de diminution de la conductivité entre (2000-2002) et aussi une période de stabilité entre (2001-2003) avec une valeur de 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et enfin la période entre (2007-2013) est classée aussi comme une période de diminution de la conductivité.

2- Evolution des chlorures :

Les valeurs des chlorures sont comprises entre 120 et 174 mg/l pendant les années 1998-2013, où deux périodes de l’augmentation des valeurs sont marquées entre 1998-2000 et 2004-2006 et deux périodes de diminution, la première entre 2000-2003 (145-120 mg/l) et la deuxième entre 2006-2013 (172-142 mg/l). (Fig. V.8)

L'année 2003 présente la valeur la plus faible et l'année 2013 marque la valeur la plus forte.

3- Evolution des sulfates :

Les valeurs des sulfates sont comprises entre 76 et 150 mg/l. Depuis l'année 1998 la quantité des sulfates dans l'eau commence à augmenter jusqu'à 2003, puis en 2004 diminue et reprise à l'augmentation en 2006 jusqu'à 2007 puis en 2013 diminue par rapport à l'année 2007. (Fig. V.8)

Année	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	σ (μS/cm)
1998/1999	130	120	1180
1999/2000	146	124	1260
2000/2001	140	136	1266,7
2001/2002	130	138	1100
2002/2003	120	150	1100
2004	170	76	1200
2006	172	102	1295
2007	170	132	1315
2013	174	126	1054.2

Tableau. V.13 : Résultat des analyses chimiques des Cl⁻, SO₄²⁻ et de la conductivité (1998-2013)

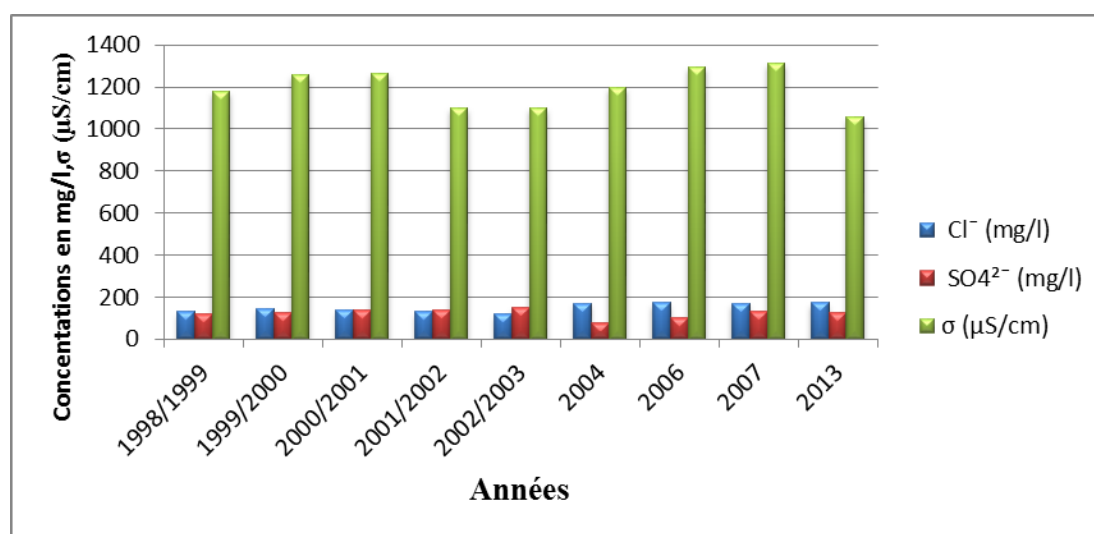


Figure. V.8: Evolution chimique du forage du Boumerzoug (1998-2013).

4- Relation conductivité-précipitation :

Le suivi réalisé durant la période 1998 – 2013 montre une certaine relation entre les précipitations et la conductivité. Entre 1998 et 2001, la conductivité évolue dans le sens inverse des précipitations, montrant une dilution directe à partir des eaux de surface, sauf

cependant pour la période de 2004 où on observe une augmentation de la conductivité avec celle des précipitations.

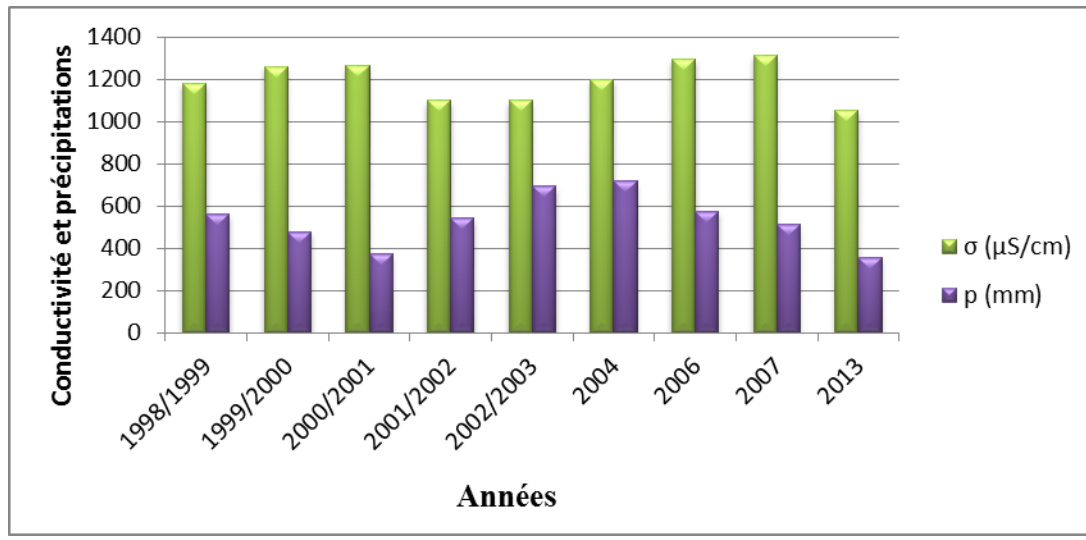


Figure. V.9 : Relation conductivité-précipitation (1998-2013).

V.7. Conclusion :

Les facteurs principaux qui contrôlent la composition chimique des eaux souterraines sont la nature lithologique des formations traversées, le temps de transit, la profondeur de la nappe et le développement du système karstique.

Cette étude hydrochimique a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité de la plupart des paramètres physico-chimiques ayant une influence sur l'évolution et la qualité des eaux des sources analysées.

Toutes les eaux des sources étudiées sont classées comme des eaux potables, avec un faciès dominant bicarbonaté calcique.

La classification des eaux à l'irrigation montre que les eaux des sources sont mauvaises à l'irrigation durant les deux périodes.

L'étude de l'évolution de la conductivité et de la température de la source de Boumerzoug, montre que :

- La température de l'eau varie de 20 à 24 °C dans la période de janvier jusqu'au mois de juillet suivant les variations saisonnière de l'air et le mode de la recharge.
- La conductivité de l'eau varie entre 883.6 et 1207.7 μS/cm dans la même période. Cette variation est en fonction de la précipitation.

- Une relation univoque entre l'évolution des rabattements d'eau et la conductivité de l'eau.
- L'évolution annuelle de la conductivité est en relation inverse avec la précipitation à cause du phénomène de la dilution des eaux.

CONCLUSION GENERALE

L'aquifère karstique de la région de Constantine apparaît comme l'un des plus complexes systèmes karstiques du Nord-est algérien. L'aquifère carbonaté du Boumezoug (Jurassique-Crétacé) et son importante résurgence karstique (la source du Boumezoug) en fait partie, avec une grande potentialité dépassant les 650 l/s au période pluvieuse.

Le climat de la région est semi-aride, la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 563.8 mm au Nord à la station de Constantine et de l'ordre de 327.53 mm à la station d'Ain M'Lila.

Les études géologiques et hydrogéologiques ont permis de définir deux aquifères : l'aquifère fissuré et karstique du Crétacé (néritique constantinois) qui est très important et l'aquifère poreux du Mio-Plio-Quaternaire qui est devenu sans intérêt hydrogéologique après des décennies de sécheresse.

Le développement karstique dans l'épaisse formation de l'ensemble Fortass-Geurioun (qui avoisine les 1 000 m) est le siège de grandes potentialités en eau (le volume d'eau annuel moyen régularisé à 20 000 000 m³/an) celui-ci est acquis à partir, directement, des précipitations, ou latéralement en relai à partir d'autres aquifères. Les sorties se font au niveau de la source de Boumerzoug qui sourde à la faveur d'une faille et déborde en période pluvieuse et neigeuse.

- Les écoulements se faisant, généralement du Sud vers le Nord, sont influencés par la structure et la tectonique. Deux directions principales de fissuration apparaissent dans l'impluvium de la source : la direction NE-SW et la direction SE-NW.

L'étude hydrochimique a été élaborée dans le but de caractériser les types d'eau des sources étudiées à partir de plusieurs modes d'interprétation usuelles en hydrochimie, dans le but de montrer :

- les faciès chimique des différentes eaux des sources, représentant le même faciès bicarbonaté calcique.

- La minéralisation augmente vers le Nord, c'est-à-dire avec le sens d'écoulement, avec cependant une zone de forte minéralisation entre la source de Fésquia et la source du Boumezoug.

La conductivité évolue en fonction des précipitations (effet de dilution).

Listes des tableaux et des figures

Liste des figures

CHAPITRE I : GEOGRAPHIE

- Figure. I.1 : Carte de situation géographique de la source et leur impluvium.....13
- Figure. I.2 : Les principaux cours d'eaux du secteur d'étude.....16

CHAPITRE II : GEOLOGIE

- Figure. II.1 : Esquisse structurale du Nord- Est Algérien.....20
- Figure. II.2 : Carte géologique de la région étudié (Extrait de la carte géologique de Constantine 1/200 000).....24
- Figure. II.3 : Corrélation litho stratigraphique de la région de Constantine..... 26
- Figure. II.4 : Coupe interprétative dans la région de Constantine..... 28
- Figure. II.5 : Coupe interprétative dans la région d'Ain M'lila..... 28
- Figure. II.6 : Chronologie des phases tectoniques définies dans le Constantinois Central.....29
- Figure. II.7 : Répartition des faciès et courbes isopaques au Barrémien.....33
- Figure. II.8 : Répartition des faciès et courbes isopaques à l'Aptien.....34
- Figure. II.9 : Répartition des faciès et courbes isopaques au Cénomaniens.....35

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

- Figure.III.1 : La zone d'étude dans le bassin versant de kébir Rhumel.....39
- Figure.III.2. Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien.....40
- Figure.III.3 : Température (max, min et moy) de la série ancienne (1971-1982).....42
- Figure.III.4 : Température (max, min et moy) de la série ancienne (1971-1982).....42
- Figure.III.5 : Température (max, min et moy) de la série (1984-2011).....42
- Figure.III.6 : Carte des précipitations de la région d'étude.....43
- Figure.III.7 : Variations mensuelles des précipitations (1971-1982).....44
- Figure.III.8 : Variations mensuelles des précipitations (1971-1982).....44
- Figure.III.9 : Variations mensuelles des précipitations (1984-2011).....45
- Figure.III.10 : Représenté le Diagramme ombro-thermique (1971-1982).....47
- Figure.III.11 : Représenté le Diagramme ombro-thermique (1971-1982).....47
- Figure.III.12 : Représenté le Diagramme ombro-thermique (1984-2011).....48

Figure III.13 : Diagramme de L.Emberger.....	49
--	----

CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

Figure IV.1 Schéma de Fonctionnement général du karst.....	65.
Figure IV.2 : l'aquifère Karstique.....	65
Figure IV.3 : types de systèmes karstiques, d'après leur impluvium.....	66
Figure IV.4 : représentation schématique du fonctionnement de l'épikarst.....	67
Figure IV.5 : différentes configurations du système de drainage.....	68
Figure. IV.6 : Coupe passée par les deux sources du Hama (Ain Skhouna et Hammam Zaoui).....	70
Figure. IV.7 : coupe géologique passée par la source du Fésguia.....	72
Figure. IV.8 : carte géologique interprétative des massifs de l'aquifère carbonatée de Boumezoug.....	75
Figure. IV.9 : L'interface de logiciel Global Mapper.....	77
Figure. IV.10 : Le terrain d'étude dans logiciel Global Mapper.....	77
Figure. IV.11 : Les données introduites dans logiciel Rose.....	81
Figure. IV.12 : Rosace montrée les principales directions des failles.....	81
Figure. IV.13 : Les statistiques faites par logiciel Rose.....	82
Figure. IV.14 : Le pourcentage des longueurs par rapport les directions.....	84
Figure. IV.15 : Coupe géologique passée par la source du Boumerzoug.	85
Figure. IV.16 : le bassin d'alimentation de la source du Boumerzoug	87
Figure. IV.17: localisation des forages et puits au niveau de la source.....	89
Figures. IV.18: relation mensuelle de précipitation-rabattement-débit de différentes années	93
Figure. IV.19 : direction d'écoulement supposée de la nappe calcaire.....	94
Figure. IV.20 : l'influence de pompage dans le champ de Hama Bouziane sur les autres sites.....	96

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

Figure. V.1 : Représentation des eaux sur le diagramme de piper période de février.....	111
Figure. V.2 : Représentation des eaux sur le diagramme de piper période de juin.....	112
Figure. V.3a : Représentation graphique des eaux sur le diagramme	

Schoeller Berkaloff (période de février).....	114
Figure. V.3b : Représentation graphique des eaux sur le diagramme	
Schoeller Berkaloff (période de juin).....	115
Fig. V.4 : Classification des eaux d'irrigation (Méthode du S.A.R)	
(D'après Richard .1954 modifié) période du février.....	117
Fig. V.4 : Classification des eaux d'irrigation (Méthode du S.A.R)	
(D'après Richard .1954 modifié) période du juin.....	118
Figure. V.5 : Evolution temporelle (chaque 15 jour) de la conductivité corrigé à 20°C et de la température de l'eau de la source du Boumerzoug	
(période 27/01/2013 – 12/07/2013).....	119
Figure. V.6 : Evolution temporelle (chaque 15 jour) de la conductivité corrigé à 20°C et le rabattement de la source du Boumerzoug	
(période 27/01/2013 – 12/07/2013).....	120
Figure. V.7 : Evolution temporelle (chaque 15 jour) de la conductivité corrigé à 20°C et la précipitation (période 27/01/2013 – 12/07/2013).....	121
Figure. V.8 : Evolution chimique du forage de Boumerzoug (1998-2013).....	122
Figure. V.9 : Relation conductivité-précipitation (1998-2013).....	123

Liste des tableaux

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

Tableau III.1 : Les coordonnées des stations météorologiques utilisées.....	38
Tableau III.2 : Valeur minimales et maximales des deux stations.....	41
Tableau III.3 : répartition mensuelle des précipitations de deux stations.....	44
Tableau.III.4 : La précipitation et la température mensuelle de chaque station.....	46
Tableau III.5 : Rapport (P/T) de deux stations.....	46
Tableau.III.6 : Représentée les résultats des calcules.....	49
Tableau.III.7 : Estimation de l'ETR selon Turc aux deux stations.....	50
Tableau.III.7 : Estimation de l'ETR selon Coutagne aux deux stations.....	51
Tableau III.8 : Valeur de l'ETR déterminés dans les deux stations.....	52
Tableau. III.9 : Calcul de l'E.T.P mensuelle selon	

C.W. Thornthwaite des deux stations.....	53
Tableau III.10 : Bilan hydrologique à la station de Constantine (1984-2011).....	54
Tableau III.11 : Bilan hydrologique à la station de Constantine (1971-1982).....	55
Tableau III.12 : Bilan hydrologique à la station d'Ain M'lila (1971-1982).....	55
Tableau III.13 : Estimation du ruissellement et de l'infiltration.....	57

CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

Tableau IV.1 Constante de dissociation de quelques roches carbonatées.....	63
Tableau IV.2: Les longueurs et les directions des failles.....	80
Tableau IV.3 : le nombres des failles, la longueurs cumulé et leur pourcentage par rapport les directions.....	83
Tableau IV.4 : le bassin d'alimentation de la source du Boumerzoug.....	86
Tableau IV.5 : Forages d'exploitation du Boumezoug.....	90

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

Tableau V.1. Principaux traceurs artificiels utilisés en hydrogéologie.....	102
Tableau.V.2 : la température et la conductivité des différentes sources dans les deux périodes.....	104
Tableau.V.3 : Caractères de l'eau selon les P.H mesurés et les P.H d'équilibre et le CO ₂ en mg/l.....	105
Tableau.V.4 : la dureté totale des sources dans les deux périodes.....	105
Tableau.V.5 : les valeurs des principaux éléments chimiques analysés en (mg/l).....	106
Tableau.V.6 : rapport rMg^{++} / rCa^{++} des sources dans les deux périodes.....	107
Tableau.V.7 : rapport rSO_4^{-} / rCl des sources dans les deux périodes.....	107
Tableau.V.8 : rapport $r(Na^{+} + K^{+}) / rCl$ des sources dans les deux périodes.....	108
Tableau.V.9 : montre i.e.b des sources dans les deux périodes.....	109
Tableau.V. 10: Classification des eaux selon stabler.....	116
Tableau V.11 : Potabilité des eaux.....	119
Tableau V.12 : Résultat des analyses chimiques des Cl, SO ₄ ²⁻ et de la conductivité (1998-2013).....	122

BIBLIOGRAPHIE

A.B.H (agence de Bassin hydrographique) (2009) : qualité des eaux souterraines dans les bassins du Kebir-Rhumel, de la seyouse et de la Medjarda-Mellegue, 2004-2007. Les Cahiers de l'Agence. p13.

ARRIS Y., (1994) : Etude tectonique et micro tectonique des séries jurassiques à plio-quadernaires du Constantinois central (Algérie nord orientale) caractérisation des différentes phases de déformations. Doctorat d'université, Nancy I, 215p.

Bakalowicz M., (1976) : Géochimie des eaux karstiques : une méthode d'étude de l'organisation des écoulements souterrains. Actes coll. Hydol. Pays Calcaires, Besançon-Neuchatel.

Bakalowicz, M., (1979) : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P et M Curie paris. 260P.

Bakalowicz, M., Mangin, A., (1980) : L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. Mém. h. sér. Soc. géol. France, 11: 71-79.

Bakalowicz, M., (1992) : Géochimie des eaux et flux de matières dissoutes. L'approche objective du rôle du climat dans la karstogénèse, Karst et évolutions climatiques. Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux, pp. 61-73.

Bakalowicz, M., (1999) : Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Guide N°3. Bassin Rhône- Méditerranée- Corse.

Bakalowicz M., (2005) : Eau, sociétés, économie et politique. Quelle place pour le spécialiste de l'eau ? Master M1 STEE Université Montpellier II.

Bakalowicz M., (2005) : Le karst, objet géologique particulier. Caractéristiques et concepts. Méthodes d'étude et de reconnaissance. 107 p.

Bakalowicz M., (2005) : Karst groundwater: a challenge for new resources. Hydrogeology Journal, 13 (1): 148-160.

Bouedja. F., (2010) : Tectonique actuelle et récente et risque sismique de la région de Constantine. Thèse de Magister. Université de Constantine. p.4.

Boularak.M., (2003) : Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin du Boumezoug. Vulnérabilité des eaux souterraines et impact de la pollution sur la région d'El Khroub. Thèse de Magister. Université de Constantine. p. 94-95.

Bouroubi. Y., (2009) : Etude hydrogéologique du synclinal de la Taoura : Fonctionnement et évolution des ressources en eaux souterraines. Thèse de Magister. Université de Constantine. p.114-125.

Castany. G., (l'année) : Structures hydrogéologiques et régularisation des ressources en eaux. p. 423.

Chabour. N., (2006) : Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Constantine. p.85-92.

Coiffait P E., (1992) : Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale). Thèse Sciences. Nancy I.P.502.

COTE.M., (1974) : Les régions bioclimatiques de l'est algérien. C.U.R.E.R Université de Constantine.

Djebbar M., (2005) : Caractérisation du système karstique hydrothermal Constantine-Hamma Bouziane -Salah Bey dans le Constantinois central (Algérie nord orientale) Thèse de Docteur.

Djebbar M., (2006) : Le système karstique hydrothermal constantinois (algérie nord orientale) : structure et fonctionnement. Acte 8^{ème} colloque d'hydrogéologie en pays calcaire, AISH, - UNESCO, Neuchâtel, pp 89-92

Droque, C., (1971) : Coefficient d'infiltration ou infiltration efficace, sur les roches calcaires. Ann. Sc. Univ. Besancon, 3^{ème} série, pp. 121-130

Durozoy, G., (1952) Hydrogéologie du massif calcaire crétaé des monts de Constantine étude préliminaire. Ed Publ.Soc.Géol. Carte Géol. Algérie.

Durozoy. G., (1960) : Etude géologique de la région de chateaudun du Rhumel. Thèse en science Alger. 1958.

Durozoy G., (1960) : Les ressources en eau des masses calcaires crétaées de la région de Constantine (étude hydrogéologique appliquée). Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural- service des études scientifiques, Clairbois-Birmandreis, Alger.

Ferraga A., (1986) : Ressources en eau des karsts du Nord Est Algérien- thèse pour obtenir le grade de docteur-Ingénieur. 166 p.

Fontes J. CH., (1976) : Isotopes du milieu et cycle des eaux naturelles. Quelques aspects. Thèse de Docteur ès Sciences. Université de Paris VI. Paris.

Ford, D., Williams, P., 1989. Karst geomorphology and hydrology, Chapman and Hall Publ., 601 p. Guerre, A., (1969): Etude comparative du tarissement des principes sources karstiques du Liban. Thèse Doctorat de spécialité. Université de Montpellier, 61p. +ann.

Gèze B., (1973) : Lexique des termes français de Spéléologie physique et de karstologie, Ann. De Spéleo., Tome 28, fasc. 1.

Guiraud R., (1973) : Evolution post Triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine en Algérien d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse doctorant. Univ.Nice.

ISSAADI A., (1981) : Etude hydrogéologique des massifs du Gueriou et Fortass (dans le Sud constantinois). *Thèse de Doctorat troisième cycle. IST. USTHB. Alger.*

- Jeannin P.Y., (1993) : Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques. Thèse, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchatel.
- KAZI-TANI N., (1986) : Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine: le domaine inter-plaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. Thèse Doctorat en Sciences, Université de Pau et des Pays de l'Adoure, 2 tomes.
- Laffite R., (1939) : Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull. Serv. Carte géologique Algérie, Alger, 2eme édition, 484 p.
- Laghouag.M.Y., (2011) : Apport de la télédétection (images landsat 7 ETM+) pour la cartographie géologique de la région d'Aflou (Atlas saharien). Mémoire d'ingénieur. Université Ferhat Abbas-Sétif. p.52.
- Lastennet, R., (1994) : Role de la zone non saturée dans le fonctionnement des aquifères karstiques. Hydrogéologie Thesis, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Avignon, 239 pp.
- MARMI R., CHADI M., INES M., (2001) : Synthèse stratigraphique du Constantinois. 1er Séminaire sur la Géologie du Grand Constantinois 06-07 Novembre Constantine.
- Mangin A., (1975) : Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques, constitution et fonctionnement des aquifères karstiques, Ann. Spéléol., 30, pp. 21-124
- Mangin, A., (1978) : Le karst, entité physique abordé par l'étude du système karstique, Colloque de l'Association des Géologues du Sud-Ouest, Tarbes, pp. 21-37.
- MARSAUD B., (1996) : Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux. Thèse, Univ.Paris XI Orsay.
- Marsily de G., (1980) : Cours d'hydrogéologie. Centre d'information géologique. E.N.S. des mines de Paris. 273p.
- Mebarki A., 1982. Ressource en eau et aménagement en Algérie : le bassin du Kebir Rhumel. O.P. U. Alger.
- Molinari J., (1976) : Perspectives offertes par l'utilisation rationnelle des traceurs naturels et artificiels en hydrologie karstique. Commentaires de nombreux exemples récents de multi traçages. Ann. Sc. Univ. Besancon, 2 ème Colloque Hydrologie en pays calcaire, fasc, 25, 3ème série, 1976, pp 275-306.
- Muet P., (1985) : Structure, fonctionnement et évolution de deux systèmes aquifères karstiques du Nord du causse de Martel (Corrèze), thèses 3^e cycle, université Bordeaux I.
- PLAGNES V., (1997) : Structure et fonctionnement des aquifères karstiques. Caractérisation par la géochimie des eaux. Th. Doc.Univ Montpellier II Sciences et techniques du Languedoc, num. id. 97 MON.

Souag M., (1985) : Etude hydrogéologique hydrochimique et isotopique de la nappe néritique septentrionale de Constantine N-E Algérien. Thèse doctorat Univ de Paris Sud France, pp 135–141.

Vila J.M., (1980): La Chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P et M Curie. Paris VI. 450 P.

Wildi W., (1983) : La chaîne tello-rifaine (Algérie - Maroc - Tunisie) : Structure stratigraphique et évolution du Trias au Miocène. Revue géol. Dyn. Géogr. Phys ; vol 24.

Données :

- Données climatiques (précipitation et température) par l'ANRH de Constantine.
- Logs stratigraphiques des forages à la station du Boumezoug par l'ANRH de Constantine.
- Les données des débits et le rabattement par SEACO.

Cartes consultées :

- Cartes géologique et topographique de Constantine à la 1/200000 avec notice explicative.
- Carte des bassins, ANRH 1989.
- Carte structurale du Nord- Est Algérien, (W. Wildi, 1983).
- Carte de répartition des faciès et courbes isopaques au Barrémien.
- Carte de répartition des faciès et courbes isopaques à l'Aptien.
- Carte de répartition des faciès et courbes isopaques au Cénomaniens.
- Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M., 1998).
- Carte pluviométrique régionale d'A.N.R.H 1993.
- Carte des ressources en eau souterrain du Nord de l'Algérie.

ANNEXES

FORAGE / PUIS

Nom : Bou - Mezouf - 1 -

X = 850.800

Indice :

Y = 323.000

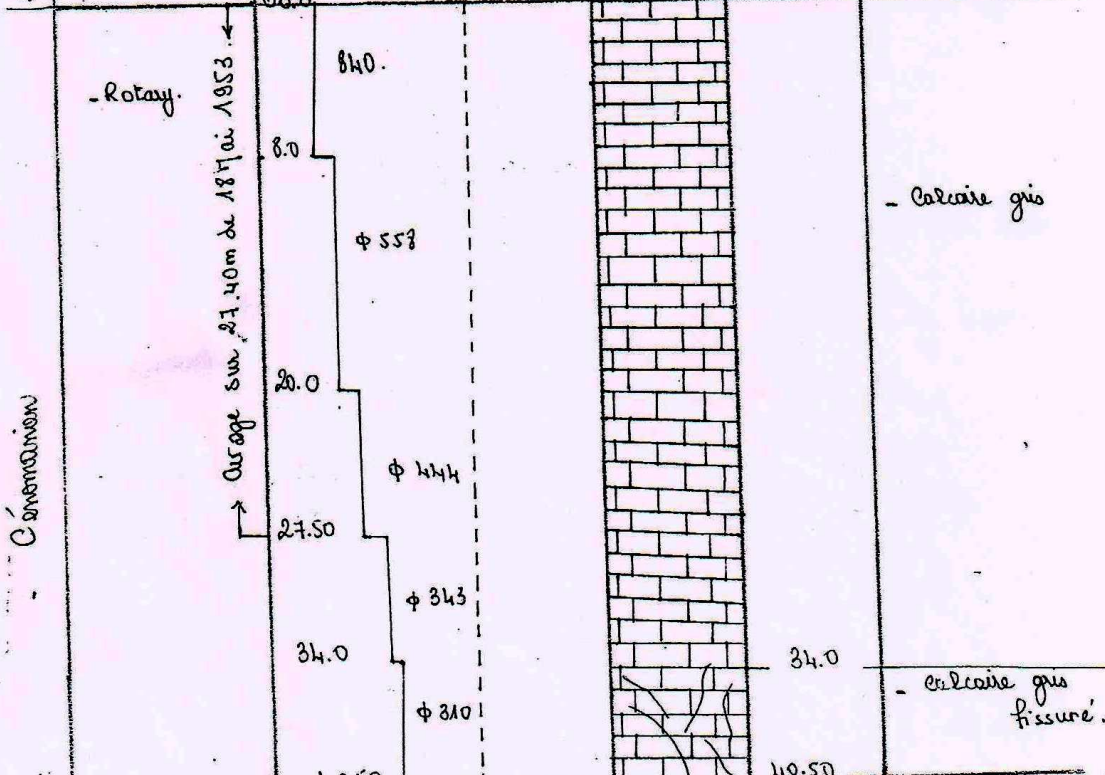
Date de réalisation : 1953

Utilisation : ~~AEF~~ Agricole - Industrielle

Z =

FORATION	EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE
----------	------------	-------	------------

METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION,	DESSIN	PROFONDEUR	DESCRIPTION
---------	-------------------------------	--------	------------	-------------



Niveau piézométrique / soi (date), sans pompage =

Débit d'exploitation : Horaire =
Journalier =

Niveau dynamique / soi (date) =

Caractéristiques de la pompe : débit =

H.M.T =

Qualité de l'eau : $dH^2 = 40^{\circ}F$
R.S = 682 mg/l

Profondeur =

FORAGE / PUIITS

Nom : Bou. Mazoug - 6 -

X = 850.800

Indice :

Y = 323.000

Date de réalisation
1953.

Utilisation : A.E.P. - Agricole - Industrielle

FORATION	EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE	
METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION, ..	DESSIN	PROFONDEUR	DESCRIPTION
- Rotary.			00.00 m	
			3.10	- Calcaire dur fissuré avec failles.
			11.10	- Calcaire très dur.
			13.05	- Egalement de la pierre de forage.
			14.90	- Calcaire dur avec grosses failles.
			24.90	- Calcaire extrêmement dur.
27.40	- Calcaire dur fissuré avec failles.			
31.00	- Calcaire schisteux.			
			41.00	

Niveau piézométrique/ sol (date), sans pompage =

Débit d'exploitation : Horaire =
Journalier =

Niveau dynamique/ sol (date) =

Caractéristiques de la pompe : débit =

H.M.T =

Profondeur =

Qualité de l'eau : $\text{dH}^\circ = 40^\circ\text{F}$.
R.S. $\approx 632 \text{ mg/l}$

Cénomanien

FORAGE/ PUIS Nom : Boufrazoug - 2. X = 850. 800
 Indice Y = 323. 000
 Date de réalisation: 1958 Utilisation: ~~ABE~~ Agricole - Industrielle Z =

FORATION		EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE	
SF	METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION, ...	DESSIN	PROFONDEUR	DESCRIPTION
	- Rotary.	curage par 28.00 m de 1870x53			00.00 11.60 14.95 34.00 38.00

CONSTRUCTION

Niveau piézométrique/ sol (date), sans pompage =
 Débit d'exploitation : Horaire = Niveau dynamique/ sol (date) =
 Journalier =
 Caractéristiques de la pompe: débit = H.M.T. =
 Profondeur =
 Qualité de l'eau: d.H. = 40 °F
 R.S. = 682 mg/l

FORAGE / PUIITS

Nom : Bou-Manzoug - 3 -

X = 850.800

Indice :

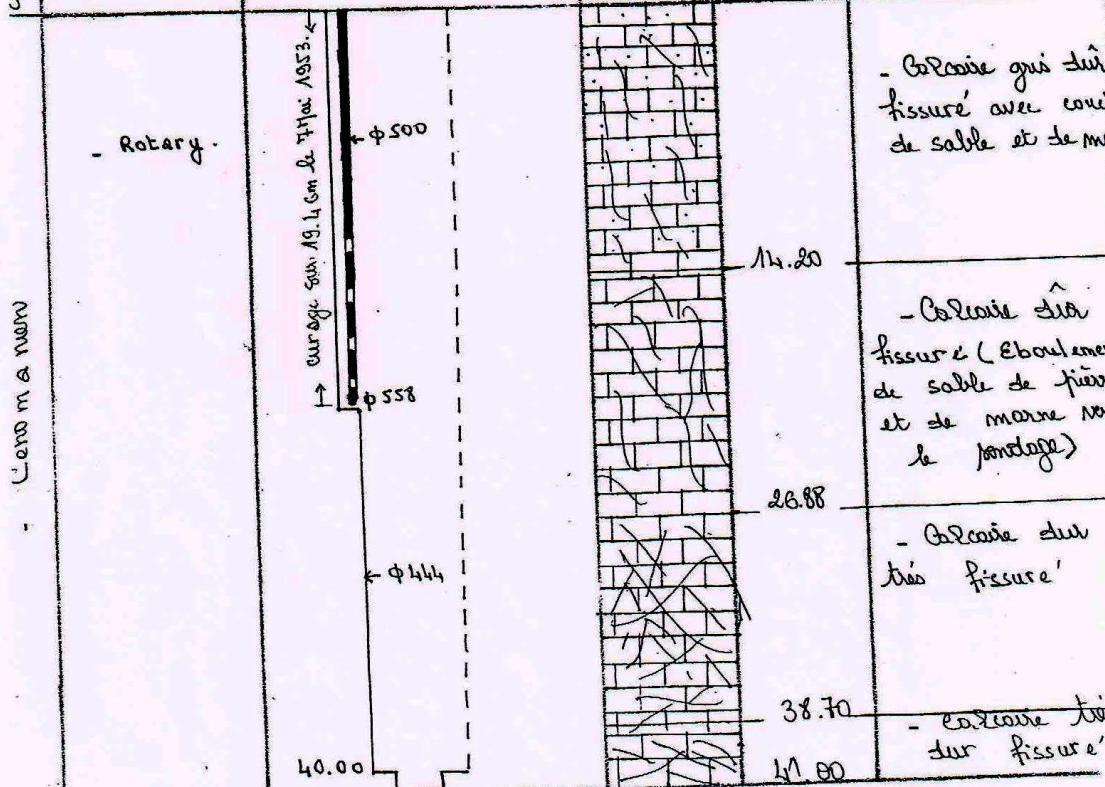
Y = 323.000

Z =

Date de réalisation
1953

Utilisation : ~~AEP~~ Agricole - Industrielle

FORATION	EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE	
METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION, ..	DESSIN	PROFONDEUR en m.	DESCRIPTION



L'essai a manœ

Niveau piézométrique / sol (date), sans pompage =

Débit d'exploitation : Horaire =
Journalier =

Niveau dynamique / sol (date) =

Caractéristiques de la pompe : débit =

H.M.T =

Qualité de l'eau : $dH = .40^{\circ} F =$

Profondeur =

R.S = 682 mg/l

FORAGE / PUIITS

Nom : Bou. Mazoug-4 -

X = 857.800

Indice :

Y = 323.000

Z =

Date de réalisation 1953.

Utilisation : AER - Agricole - Industrielle

FORATION	EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE	
METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION, ..	DESSIN	PROFONDEUR	DESCRIPTION
- Rotary.	<p>Curage toute la hauteur le 11 Nov 1953.</p> <p>Ø 500</p> <p>Ø 444</p>		00.00m	
			8.10	- Calcaire très dur
			12.00	- Calcaire dur avec couche de sable et de marne
			20.00	- Calcaire très dur et très fissuré.
			34.00	- Calcaire fissuré schisteux.
			40.50	- Calcaire dur fissuré.

- CERNOMANON

Niveau piézométrique/ sol (date), sans pompage =

Débit d'exploitation : Horaire =
Journalier =

Niveau dynamique/ sol (date) =

Caractéristiques de la pompe : débit =

H.M.T. =

Qualité de l'eau : dH₂ = 40 °F
R.S. ≈ 682 mg/l.

Profondeur =

FORAGE / PUIITS

Nom : *Bou. Manzung - 3.*

X = 850.800

Indice :

Y = 323.000

Z =

Date de réalisation
1953

Utilisation : ~~AEP~~ Agricole - Industrielle

FORATION	EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE	
METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION, ...	DESSIN	PROFONDEUR 00.00 m	DESCRIPTION
- Rotary -	<p>curage par Ag. 1 cm de Filloc 1953.</p> <p>↑ φ 500</p> <p>↓ φ 558</p> <p>φ 444</p> <p>40.00</p>		14.20	- Calcaire gris dur fissuré avec couche de sable et de marne
			26.88	- Calcaire dur fissuré (Éboulement de sable de finesse et de marne vers le fondage)
			38.70	- Calcaire dur très fissuré
			41.00	- Calcaire dur très fissuré

L'axe m a marne

Niveau piézométrique / sol (date), sans pompage =

Débit d'exploitation : Horaire =
Journalier =

Niveau dynamique / sol (date) =

Caractéristiques de la pompe : débit =

H.M.T =

Qualité de l'eau : dH° = 40° F°

Profondeur =

R.S = 682 mg/l

FORAGE / PUIITS

Nom : Bou. Mazoug - 6 -

X = 850.800

Indice :

Y = 323.000

Date de réalisation
1953.

Utilisation : A.E.P. - Agricole - Industrielle

FORATION	EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE	
METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION, ..	DESSIN	PROFONDEUR	DESCRIPTION
- Rotary.			00.00 m	
			3.10	- Calcaire dur fissuré avec failles.
			11.10	- Calcaire très dur.
			13.05	- Egalement de la pierre de forage.
			14.90	- Calcaire dur avec grosses failles.
			24.90	- Calcaire extrêmement dur.
27.40	- Calcaire dur fissuré avec failles.			
31.00	- Calcaire schisteux.			
			41.00	

Niveau piézométrique/ sol (date), sans pompage =

Débit d'exploitation : Horaire =
Journalier =

Niveau dynamique/ sol (date) =

Caractéristiques de la pompe : débit =

H.M.T =

Profondeur =

Qualité de l'eau : $\text{dH}^\circ = 40^\circ\text{F}$.
R.S. $\approx 632 \text{ mg/l}$

Cénomanien

FORAGE / PUIITS

Nom : Bou. Mazoug-4 -

X = 857.800

Indice :

Y = 323.000

Z =

Date de réalisation 1953.

Utilisation : AER - Agricole - Industrielle

FORATION	EQUIPEMENT	COUPE	LITHOLOGIE	
METHODE	TUBAGE, CREPINE, CIMENTATION, ..	DESSIN	PROFONDEUR	DESCRIPTION
- Rotary.	<p>Curage toute la hauteur le 11 Nov 1953.</p> <p>φ 500</p> <p>φ 444</p>		<p>00.00m</p> <p>8.10</p> <p>12.00</p> <p>20.00</p> <p>34.00</p> <p>40.50</p>	<p>- Calcaire très dur</p> <p>- Calcaire dur avec couche de sable et de marne</p> <p>- Calcaire très dur et très fissuré.</p> <p>- Calcaire fissuré schisteux.</p> <p>- Calcaire dur fissuré.</p>

- Caramanem

Niveau piézométrique/ sol (date), sans pompage =

Débit d'exploitation : Horaire =
Journalier =

Niveau dynamique/ sol (date) =

Caractéristiques de la pompe : débit =

H.M.T. =

Qualité de l'eau : dH₂ = 40 °F
R.S ≈ 682 mg/l.

Profondeur =

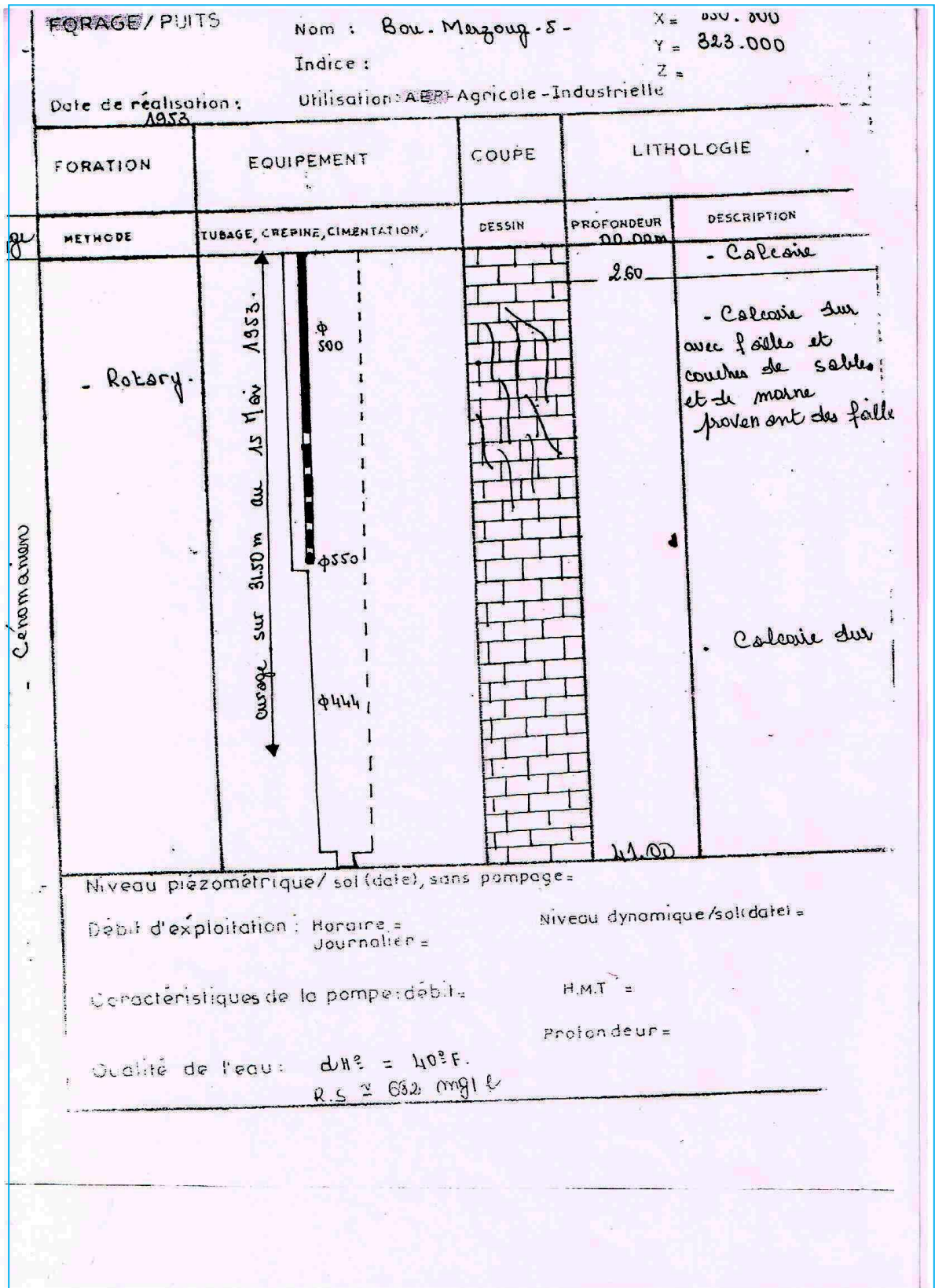


Figure. A : Logs stratigraphiques des différents forages de la station du Boumerzoug.

Les Sources	unité	cation			Σ^+ mé/l	anions			Σ^- mé/l	Minéralisation mg/l	T °C	CE à 20°C µs/cm	DHT F°	I.e.b	rMg/rCa	rSO ₄ / rCl	r(Na +K)/r Cl	pH mesuré
		Ca	Mg	Na+K		Hco ₃	SO ₄ ⁻	Cl ⁻										
Source de Fesguia	mg/l	73.74	26.88	26.22	7.06	272.06	96	21.3	7.06	516.2	18	0.574	29.6	-0.9	0.601	3.33	1.9	7.6
	me/l	3.68	2.24	1.14		4.46	2	0.6										
	R%	52.12	31.72	16.147		63.17	28.33	8.49										
Source de Gourzi	mg/l	80.16	9.02	24.15	5.81	163.48	88	46.15	5.81	410.96	14	0.563	23.8	0.19	0.186	1.14	0.81	7.6
	me/l	4.01	0.75	1.05		2.68	1.83	1.3										
	R%	68.98	12.91	18.07		46.13	31.49	22.37										
Source de Boumerzoug	mg/l	114.63	33.48	80.27	12.01	320.86	108	159.75	12.01	816.99	20	1.145	42.6	0.22	0.482	0.5	0.77	7.7
	me/l	5.73	2.79	3.49		5.26	2.25	4.5										
	R%	47.71	23.23	29.06		43.79	18.73	37.47										
Source d'Ain Skhouna	mg/l	121.84	33.48	63.48	11.64	359.9	146	95.85	11.64	820.55	34	1.085	44.4	-0.02	0.453	1.12	1.02	7.7
	me/l	6.09	2.79	2.76		5.9	3.04	2.7										
	R%	52.32	23.79	23.71		50.68	26.12	23.19										
Source de Hammem Zaoui	mg/l	121.04	33.96	84.87	12.57	372.1	152	117.15	12.57	881.12	30	1.109	44.4	-0.12	0.463	0.96	1.12	7.6
	me/l	6.05	2.83	3.69		6.1	3.17	3.3										
	R%	48.13	22.51	29.35		48.53	25.22	26.25										

Les Sources	unité	cation			Σ^+ mé/l	anions			Σ^- mé/l	Minéralisation mg/l	T °C	CE à 20°C µs/cm	DHT F°	I.e.b	rMg/rCa	rSO ₄ / rCl	r(Na +K)/r Cl	pH mesuré
		Ca	Mg	Na+K		Hco ₃	SO ₄ ⁻	Cl ⁻										
Source de Fesguia	mg/l	73.74	26.88	26.22	7.06	272.06	96	21.3	7.06	516.2	18	0.574	29.6	-0.9	0.601	3.33	1.9	7.6
	me/l	3.68	2.24	1.14		4.46	2	0.6										
	R%	52.12	31.72	16.147		63.17	28.33	8.49										
Source de Gourzi	mg/l	80.16	9.02	24.15	5.81	163.48	88	46.15	5.81	410.96	14	0.563	23.8	0.19	0.186	1.14	0.81	7.6
	me/l	4.01	0.75	1.05		2.68	1.83	1.3										
	R%	68.98	12.91	18.07		46.13	31.49	22.37										
Source de Boumerzoug	mg/l	114.63	33.48	80.27	12.01	320.86	108	159.75	12.01	816.99	20	1.145	42.6	0.22	0.482	0.5	0.77	7.7
	me/l	5.73	2.79	3.49		5.26	2.25	4.5										
	R%	47.71	23.23	29.06		43.79	18.73	37.47										
Source d'Ain Skhouna	mg/l	121.84	33.48	63.48	11.64	359.9	146	95.85	11.64	820.55	34	1.085	44.4	-0.02	0.453	1.12	1.02	7.7
	me/l	6.09	2.79	2.76		5.9	3.04	2.7										
	R%	52.32	23.79	23.71		50.68	26.12	23.19										
Source de Hammem Zaoui	mg/l	121.04	33.96	84.87	12.57	372.1	152	117.15	12.57	881.12	30	1.109	44.4	-0.12	0.463	0.96	1.12	7.6
	me/l	6.05	2.83	3.69		6.1	3.17	3.3										
	R%	48.13	22.51	29.35		48.53	25.22	26.25										

Les résultats des analyses chimiques de mois de février.

Les Sources	unité	cation			Σ^+ mé/l	anions			Σ^- mé/l	Minéralisation mg/l	T °C	CE à 20°C µs/cm	DHT F°	I.e.b	rMg/rCa	rSO ₄ / rCl	r(Na+K)/rCl	pH mesuré
		Ca	Mg	Na+K		Hco ₃	SO ₄	Cl ⁻										
Source de Fesguia	mg/l	88	25	13	7.01	268	38	25	6.88	536.3	19	552.42	32	-0.89	0.383	2.66	1.89	7.3
	me/l	4.3	1.7	1.4		4.6	2	0.7										
	R%	58.5	22.58	18.61		62.8	26.85	10.05										
Source de Gourzi	mg/l	91.38	1.33	31.97	6.06	169.58	86	53.25	6.07	433.51	15	546.48	23	0.07	0.024	1.19	0.93	7.3
	me/l	4.6	0.1	1.4		2.8	1.8	1.5										
	R%	75.3	1.8	22.9		45.8	29.5	24.7										
Source de Boumerzoug	mg/l	117.83	31.08	99.36	12.76	322.08	126	173.95	12.80	870.3	21	1054.2	42	0.12	0.435	0.53	0.88	7.4
	me/l	5.9	2.6	4.3		5.3	2.6	4.9										
	R%	46	20.2	33.7		41.2	20.5	38.3										
Source d'Ain Skhouna	mg/l	126.65	35.4	63.02	11.97	364.78	146	106.5	12.02	842.35	35	979.02	46	0.08	0.461	1.01	0.91	7.2
	me/l	6.3	3.0	2.7		6.0	3.0	3.0										
	R%	52.7	24.5	22.8		49.7	25.3	25										
Source de Hammem Zaoui	mg/l	133.86	33	78.66	12.81	391.62	146	120.7	12.86	903.84	31	999	47	-0.006	0.407	0.89	1	7.1
	me/l	6.7	2.8	3.4		6.4	3.0	3.4										
	R%	52	21.4	26.6		49.9	23.6	26.4										

Tableau. F : Les résultats des analyses chimiques de mois de juin.

Tableau. G : Le suivi de différents paramètres de la station du Boumerzoug.

Date	T°C	PH	μ à 20°C	Q (m3)	Q (L/S)	S (m)	P (mm)
27/01/2013	20	7,7	1145,88	34500	399,3	-4,5	0
14/02/2013	20	7,6	1130,3	31900	369,2	-4,6	0
28/02/2013	20	7,4	1105,2	33700	390,0	-4,3	0
16/03/2013	20	7,7	1020,5	33200	384,3	-4,4	0
31/03/2013	21	7,6	930,5	34000	393,5	-4,5	0
17/04/2013	21	7,8	883,6	33000	381,9	-4,2	0
02/05/2013	21	7,2	1190	52800	611,1	-5,2	0
16/05/2013	21	7,4	1185,28	49600	574,1	-5,7	0,6
30/05/2013	21	7,6	986,74	32100	371,5	-6,2	0
13/06/2013	24	7,7	1013,46	32700	378,5	-6	0
27/06/2013	21	7,3	991,44	32700	378,5	-6,3	0
12/07/2013	24	7,6	1207,7	30400	351,9	-6,4	0,6

Tableau. V.7 : montre i.e.b des sources dans les deux périodes.

Sources	<u>i.e.b</u> de Février	<u>i.e.b</u> de Juin
Fésguia	-0.9	-0.89
Gourzi	0.19	0.07
Boumerzoug	0.22	0.12
Ain Skhouna	-0.02	0.08
Hammem Zaoui	-0.12	-0.006

RÉSUMÉ

Ce travail s'inscrit dans une démarche d'approfondissement des connaissances du fonctionnement des aquifères karstiques - le système karstique de l'aquifère carbonaté du Boumezoug - et leurs résurgences karstiques. La source du Boumezoug qui se situe à une trentaine de kilomètres au sud de Constantine appartient à un vaste impluvium régional, structuré en plusieurs unités hydrogéologiques interconnectées entre elles (depuis les monts de Ain Mlila jusqu'aux massifs de Constantine). Le fonctionnement hydrodynamique est régi par la recharge directe à partir des précipitations et les transferts de masses d'eau entre ces unités hydrogéologiques. La source du Boumezoug avec un débit initial d'environ 650 l/s (avant la réalisation d'un champ de captage au droit des failles productives), ne se déverse qu'à la suite des grands épisodes pluvieux et neigeux. Cette source draine les eaux des massifs méridionaux du Guerioune et du Fortass, et il est en relations avec les aquifères du Hamma à Constantine. L'analyse et l'interprétation des données de mesures, avec un pas de temps variable, des débits d'exhaure, des précipitations et des rabattements de la nappe ainsi que la conductivité (sur un cycle hydrologique), nous a permis de mieux comprendre les caractéristiques hydrodynamiques, les modalités de recharge, d'alimentation et d'écoulement de l'aquifère karstique. Dans ce cas, le fonctionnement karstique est bien mis en évidence avec son caractère de non-stationnarité et non linéarité. L'analyse met en évidence, outre la recharge directe (infiltration-réponse rapide) à partir des précipitations, une infiltration retardée (du type fissural) et un transfert d'eau à partir des massifs méridionaux transitant par les formations néogènes superficielles.

Mots clés : Boumerzoug, karst, recharge, transfert de masses d'eau souterraines.

Summary

This work is part of a process of deepening knowledge about the functioning of karst aquifers - the karst system of carbonate aquifer the Boumezoug - and karstic resurgences. The source of Boumezoug which lies thirty kilometers south of Constantine belongs to a large regional catchment area, divided into several hydrogeological units interconnected entered (from the mountains of Ain Mlila to the massifs of Constantine). The hydrodynamic behavior is governed by the direct recharge from precipitation and transfers of water masses between the hydrogeological units. The source of Boumezoug with an initial rate of environ 650 l/s (before the implementation of a well field to the right of productive faults), is poured as a result of substantial rainfall and snowfall. This source drains the southern mountains water of Guerioune and Fortass, it's in relation with Hamma aquifers in Constantine. Analysis and interpretation of measurement data, with a variable time flow of drainage, rainfall and groundwater drawdown and conductivity (a hydrological cycle), has allowed us to better understand the hydrodynamic characteristics, methods of charging power and flow of the karst aquifer. In this case, the karst operation is highlighted with it's character of non-stationarity and non-linearity. The analysis highlights, besides the direct recharge (infiltration-fast response) from rainfall, delayed infiltration (the fissure type) and a transfer of water from the southern massive transiting by a surface Neogene formations.

Keywords: Boumerzoug, karst recharge, transfer of groundwater bodies.

ملخص

هذا العمل يندرج في إطار تعميق المعرفة حول عمل طبقات المياه الجوفية الكارستية -النظام الكارستيكي لطبقة المياه الجوفية الكارستية الكربونية ل بومرزوق - و انبثاق الماء فيها ثانياً كارستيكيًا. منبع بومرزوق الذي يقع على بعد 30 كيلومتر جنوب قسنطينة ينتمي إلى حوض تغذية إقليمي واسع مكون من عدة وحدات هيدروجيولوجية مترابطة فيما بينها (من جبال عين مليلة إلى جبال قسنطينة). يخضع السلوك الهيدروديناميكي للشحن المباشر من خلال الأمطار و التحويلات المائية بين هذه الوحدات الهيدروجيولوجية. منبع بومرزوق يتدفق أولي حوالي 650 ل/ثا (قبل إنشاء حقل استغلال للمياه على خط صدوع منتجة)، لا يسيل إلا لأحداث مطرية أو تلجية كبيرة. هذا المنبع يفرغ مياه الكتل الصخرية الجنوبية لجبال القريون و الفرطاس. هو على علاقة بطبقات المياه الجوفية للحامة بقسنطينة. تحليل وتفسير بيانات القياس لزمن متغير، لتدفق المياه، التساقط، انخفاض مستوى المياه و كذلك التوصيلات الكهربائية للمياه (على دورة هيدروجيولوجية)، سمحت لنا بفهم أفضل للخصائص الهيدروديناميكية، طرق الشحن، تغذية و سيولة الطبقة الحاوية للماء الكارستيكية. في هذه الحالة، يتم تمييز العملية الكارستية مع طابعها غير السكوني وغير الخطي. يوضح التحليل، علاوة على الشحن المباشر (تسرب إجابة سريعة) من خلال التساقطات، نفاذه متأخرة (من نوع شقي) و تحويل الماء من الكتل الصخرية الجنوبية مرورا بالتكوينات النيوجينية السطحية.

كلمات مفتاحية: بومرزوق، كارست، شحن، تحويل المياه الجوفية.