



Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Magister
En Sciences de la Terre

**Valorisation des ressources en eau dans une zone semi-aride à aride
(Cas bassin du moyen Chélif oriental)**

Présenté et soutenu publiquement par :

M. AHMED RAHMANI Rachid

Devant le jury composé de :

M. MAHBOUBI Mohamed	Pr. Univ. Oran2	Président
M. SAFA Aissa	MCA. Univ. Oran2	Rapporteur
M. MANSOUR Hamidi	Pr. Univ. Oran2	Examineur
M. HASSANI Moulay Idriss	Pr. Univ. Oran2	Examineur

Année 2017/2018

Valorisation des ressources en eau dans une zone semi-aride à aride (Cas bassin du moyen Chéelif oriental)

Résumé :

Compte tenu de la tendance actuelle de l'accroissement de la demande en eau, l'épuisement prévisible et la pollution des ressources en eau douce de certaines régions du pays, risque s'il n'est pas correctement géré de poser un problème majeur à l'avenir (notamment dans les régions semi-aride) où le problème primordial de trouver de l'eau en quantité suffisante a eu tendance à se minimiser et même à faire oublier celui de la qualité.

Ce travail a été réalisé en zone semi-aride, et concerne la nappe du moyen Chéelif orientale (Nord Algérien). Elle constitue une source d'eau potable fiable pour près de 446658 Habitants. Actuellement, elle se trouve menacée par un phénomène de salinité et par de nombreux foyers de pollution en particulier, les rejets des eaux domestiques qui sont déversés dans la nature sans traitement préalable et en dehors de toute mesure de protection de l'environnement et des ressources en eau.

Dans le bassin de Moyen Chéelif orientale, les formations des grés et sables pliocène constituent les bordures Nord et les formations calcaires jurassiques affleurent dans les bordures Sud et les formations alluvionnaires siègent au centre et se répartissent uniformément dans la plaine. Ces formations géologiques constituent un système aquifère à nappes empilées.

L'objectif principal de cette étude est d'améliorer les connaissances sur le système aquifère du bassin du moyen Chéelif orientale, principale ressource d'eau potable dans une région semi aride. Il s'agit de mettre en valeur la situation, hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du moyen Chéelif orientale.

Sur le plan hydrogéologique ; l'étude piézométrique montre un écoulement des eaux souterraines se fait suivant une direction Est - Ouest, l'alimentation de cette nappe est générée soit par l'infiltration des eaux de précipitations soit par l'oued Chéelif.

Sur le plan hydrochimique, les résultats des analyses physico-chimiques ont permis de déterminer la dominance de faciès chimique Chlorurée calcique des eaux de cette nappe.

La région du moyen Chéelif Oriental dispose de grandes réserves hydriques d'ordre 132,158 Hm³ tant souterraines que superficielles. Cette ressource disponible, permet de couvrir les demandes actuelles. Ce chiffre sera atteint en termes de demande à l'horizon 2020, Le bilan demandes / ressource apparaît déficitaire ce qui laisse présager des risques de pénurie en cas de superposition des évènements d'étiage.

Mots clé : zone semi-aride, Moyen Chéelif orientale, piézométrie, faciès chimique, ressource disponible, demande en eau.

Valorization of water resources in a semi-arid to arid zone (Middle Eastern Chelif basin case)

Abstract:

Taking into account the current tendency of the increase in the demand for water, foreseeable exhaustion and the pollution of the fresh water resources of certain areas of the country, risk if it is not correctly managed, to pose a major problem in the future (in particular in the areas semi-arid) where the main problem is to find water in sufficient quantity tended to be minimized and to even make forget the quality side.

This work was achieved in semi-arid zone and relates to the aquifer of Middle Chélif East, (North Algerian). It constitutes the main source of drinking water for nearly 446658 inhabitants.

In the basin of Middle Chélif East, the Pliocene sand and sand formations form the northern margins, the Jurassic limestone formations are exposed in the southern margins and the alluvial formations sit in the center and are distributed uniformly in the plain. These geological formations constitute an aquifer system with stacked nappes.

The main objective of this study is to improve knowledge on the aquifer system of the Middle Chélif Oriale basin, the main drinking water resource in a semi-arid region. The aim is to highlight the hydrogeological and hydrochemical situation of the aquifer of the Middle Chélif East.

On the hydrogeological level; The piezometric study shows a flow of groundwater flows in an east-west direction, the feeding of this water table is generated either by the infiltration of precipitation waters or by the wadi Kelli.

From the hydrochemical point of view, the results of the physicochemical analyzes made it possible to determine the dominance of chemical facies Calcium chloride of the waters of this aquifer.

The region of the Middle Chélif East has large reserves of water of order 132,158 Hm³ both underground and superficial. This resource is available to cover current requests. This figure will be reached in terms of demand by 2020. The demand / resource balance appears to be in deficit, which suggests risks of shortage in the event of overlapping low-water events.

Key words: semi-arid zone, eastern Middle Mead, piezometry, chemical facies, available resource, water demand.

تقنين موارد المياه في منطقة شبه جافة إلى منطقة جافة (حالة حوض شلف الشرقي اوسط)

الملخص:

نظرا لزيادة الطلب على الماء, النفاذ والتلوث المرتقب للمياه الصالحة للشرب في بعض مناطق البلاد, إذ لم يتم تسيره بطرق عقلانية, يتولد عنه مشاكل عويصة في المستقبل, وخاصة في المناطق الشبه جافة أين ندرة المياه قد أدت لنسيان جودتها. هذا البحث قد تم انجازه في منطقة شبه جافة وتخص الحوض المائي لوسط الشلف الشرقي(شمال الجزائر) حيث يعتبر المنبع الرئيسي للمياه الصالحة لشرب لحوالي 446658 نسمة. وفي الوقت الحالي هي مهددة بظاهرة الملوحة وبعده مصادر لتلوث, خاصة مصبات المياه القذرة مباشرة في الطبيعة بدون معالجة خارج إطار الحماية البيئية للموارد المائية. في الحوض المائي لوسط الشلف الشرقي, الصخور الرملية تشكل الضفة الشمالية, والصخور الكلسية تظهر في الضفة الجنوبية, بينما الطبقات الرسوبية الغارينية تشكل وسط الحوض موزعة بشكل منتظم. هذه الطبقات الجيولوجية تشكل خزان مائي ذو طبقات مائية متراكمة. الهدف من هذا البحث تحسين المعارف حول هذا الحوض المائي وهذا بتسليط الضوء على الوضعية الهيدروجيولوجية و الهيدروكيميائية للحوض المائي. على المستوى الهيدروجيولوجي أثبتت الدراسة البيزومترية أن جريان المياه الجوفية يتم من الشرق باتجاه الغرب. نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية أثبتت هيمنة السحنة الكيميائية المتمثلة في سحنة كالوريد الكالسيوم منطقة الدراسة تزخر بمخزون مائي سطحي وجوفي معتبر يشارف 132.158 هك³, هذه الموارد المتوفرة تكفي لتغطية الطلب الحالي. لكن الطلب يصل إلى حجم الموارد المتوفرة في غضون سنة 2020, ميزان الطلب/الموارد يصبح سلبي مشكلا خطر ندرة المياه خاصة في حالة استمرار ندرة الأمطار. **الكلمات المفتاحية:** المنطقة الشبه جافة, الوسط الشلف الشرقي, بيضومترية, السحنة الكيميائية, الموارد المتوفرة, طلب المياه.

Remerciement

REMERCIEMENTS

En guise d'avant-propos, il convient de remercier ici tous ceux et celles qui ont contribué à ce que ce travail aboutisse.

Je tiens en premier lieu à exprimer toute ma gratitude pour mon encadreur, **Dr. SAFA Aissa** qui a accepté de diriger mon travail et m'a accordé tout son attention et sa patience pour l'accomplir.

Mes remerciements s'adressent Au professeur **MAHBOUBI Mohamed**, pour avoir accepté de présider mon jury.

Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués vont aux Professeur **M. MANSOUR Hamidi** et **M. HASSANI Moulay Idriss**, pour avoir accepté d'examiner mon travail et faire partie du Jury.

Mes remerciements vont également aux Dr. **ABADA. A** et **MEHAIGUENE.M** de l'université Khemis Miliana, pour la documentation qu'ils m'ont fournie.

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants de la filière géologie de la Faculté des Sciences de la terre et de l'univers, auxquels je dois beaucoup pour ma formation en géologie.

Merci à 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.

Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont je suis redevable se voient ici vivement remerciés. Je suis redevable à mes parents, mes frères et sœurs, mes amis, que chacun se sente ici vivement remercié pour son amour et son soutien.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A ma famille (mes parents, mes frères et sœurs)

A tous les neveux et nièces.

A tous ceux-là dont les noms n'ont pas été cités ici mais qui ont eu un rôle déterminant tant par leurs encouragements, leur soutien moral et matériel surtout dans les moments difficiles. Je leur exprime ma profonde gratitude.

A tous mes amis.

A mes collègues de la promotion.

A mes collègues de travail.

A tous ceux qui me sont cher(e)s.

A tous les universitaires.

AHMED RAHMANI Rachid

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Chapitre I Milieu physique

1. CADRE GEOGRAPHIQUE:.....	2
1.1. Le bassin de Chélif dans son contexte régional:.....	2
1.2. Situation géographique du secteur d'étude.....	3
1.2.1. Bassin de Arib-Ebda (0118):.....	4
1.2.2. Bassin de Rouina (0119):.....	4
1.2.3. Bassin de Tikezal (0120):.....	4
1.2.4. Bassin de Oued Fodda (0121) :.....	4
2. LES GRANDES UNITES MORPHOLOGIQUES:.....	5
2.1. Tell septentrional:.....	5
2.2. La plaine du Chélif:.....	5
2.3. Le Tell méridional:.....	6
3. APERÇU HYDROLOGIQUE:.....	6
4. CARACTERISTIQUES DE FORME.....	7
4.1. Superficie (A):.....	7
4.2. Périmètre (P):.....	7
4.3. Indice de compacité (Kc):.....	7
5. ETUDE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	9
5.1. Densité de drainage:.....	9
5.2. Rapport de confluence:.....	9
5.3. Rapport des longueurs:.....	10
5.4. Coefficient de torrentialité :.....	10
6. ETUDE DU RELIEF.....	11
6.1. Hypsométrie:.....	11
6.2. Altitudes caractéristiques des sous bassins:.....	16
6.3. Indices de pente:.....	16
7. La Végétation:.....	18
8. Pédologie :.....	18

Chapitre II Hydro climatologie

1. INTRODUCTION:.....	24
2. ETUDE DES PRECIPITATIONS :.....	25
2.1. Variations spatio-temporelles des précipitations annuelles:.....	26
2.2. Evaluation de la lame d'eau moyenne précipitée sur les bassins:.....	29
2.3. Précipitations moyennes mensuelles:.....	31
3. ETUDE DES TEMPERATURES :.....	32
4. PRESSIONS ET VENTS:.....	33
5. EVAPORATION, EVAPOTRANSPIRATION ET DEFICIT D'ALIMENTATION:.....	34
5.1. Evapotranspiration réelle et déficit d'écoulement:.....	35
6. REGIME CLIMATIQUE ET IDENTIFICATION DU CLIMAT:.....	41
6.1. Courbes pluviométriques de " GAUSSEN ET BAGNOULS":.....	41
6.2. Indice d'aridité de De-Martonne (1926):.....	42
6.3. Indice d'aridité mensuelle:.....	43
6.4. Quotient pluviothermique d'Emberger (1932):.....	43
6.5. Indice pluviométrique annuel de Moral (1954):.....	45

7.	ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE:	46
7.1.	Estimation du ruissellement:	47
7.2.	Méthodologie de détermination de la lame d'eau infiltrée.....	47
8.	ETUDE DE COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE DU BASSIN	48
8.1.	Etude des apports annuels	48
8.2.	Répartition fréquentielle des Apports.....	50
8.2.1.	Ajustement à une loi de Gumbel:.....	50
8.2.2.	Ajustement à une loi Log-normale	51
8.3.	Variations interannuelles des apports mensuels	52
9.	ETUDE DES CRUES :.....	53
9.1.	Données disponibles:.....	53
9.2.	Echantillonnage des valeurs maximales:.....	53
9.3.	Choix du type de la loi d'ajustement:.....	55
9.5.	L'irrégularité inter annuelle des modules et leur répartition statistique:	56
9.5.1.	l'hydraulicité:.....	56
9.5.2.	Coefficient d'immodération.....	56
9.5.3.	Coefficient de variation	57
10.	ETUDE STATISTIQUE DES MODULES:	57
10.2.	Débits maximums journaliers:	59
11.	CONCLUSION.....	60

Chapitre III Géologie

1.	INTRODUCTION:.....	61
2.	CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL :	62
3.	CADRE STRUCTURALE DES GRANDES UNITES:.....	64
3.1.	L'Atlas tellien méridional :	64
3.2.	L'atlas tellien septentrional :	65
3.3.	La lanière du Chéelif:	66
4.	CADRE GEOLOGIQUE LOCAL:.....	67
5.	LITHOSTRATIGRAPHIE DU MOYEN CHELIF:.....	69
5.1.	Les terrains autochtones:	69
5.1.1.	Primaire:	69
5.1.2.	Secondaire :	72
5.1.3.	Tertiaire :	78
5.1.4.	Quaternaire:	79
5.2.	Les terrains allochtones :	79
5.2.1.	La nappe « A » :	79
5.2.2.	La nappe « B »:	79
5.2.3.	La nappe « C »:	79
6.	SISMICITE DE LA REGION:	81
6.1.	Le séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980:.....	81
7.	CONCLUSION :	83

Chapitre IV Identification des Aquifères

1.	ETUDE GEOPHISIQUE:	83
1.1.	Principe de la prospection par sondage électrique :	83
1.2.	La compagnie générale de géophysique (CGG 1969):.....	84
1.2.1.	Travaux réalisés :	84
1.2.2.	Echelle des résistivités :	84

1.2.3.	Interprétations des cartes de résistivités:.....	85
1.2.4.	Coupes géoélectriques :.....	89
1.3.	La compagnie IFS 2006.....	94
1.3.1.	Objectifs de l'étude :.....	94
1.3.2.	Travaux réalisés :	94
1.3.3.	Secteur I:	95
1.3.4.	Le Secteur "II"	104
1.4.	Prospection magnétique:.....	113
1.4.1.	Carte du champ total:	113
2.	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE:	115
2.1.	Les principaux unités aquifères:	115
2.1.1.	La nappe alluviale :.....	115
2.1.2.	La nappe du pliocène supérieure (grés d'Astien) :	115
2.1.3.	La nappe du Miocène supérieure (grés du Tortonien) :	115
2.1.4.	La nappe du Jurassique (calcaires de Lias):	115
2.2.	Venues d'eaux salées autour du Temoulga:.....	116
2.3.	Comparaison des résultats de l'étude géophysique avec les données des forages: .	116
2.4.	Aperçu hydrodynamique :	119
2.4.1.	Etude piézométrique :.....	119
2.4.2.	Etude des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe :	122
3.	CONCLUSION:.....	144

Chapitre V Etude qualitative et quantitative

1.	ETUDE QUALITATIVE :	145
1.1.	Etude des paramètres physiques	145
1.1.1.	Potentiel Hydrogène (pH) :	145
1.1.2.	Conductivité :	146
1.1.1.	Balance ionique :.....	146
1.2.	Etude des paramètres chimiques majeurs :.....	149
1.2.1.	Principaux cations et anions :.....	149
1.2.2.	Rapports caractéristiques et indice d'échange de base :.....	154
1.2.3.	Représentation et interprétation graphique :	156
1.2.4.	Indices de saturation :.....	159
1.2.5.	Aptitude des eaux de la région de Moyen Chélif à l'irrigation:.....	163
1.3.	Traitement statistique des données hydrochimique :.....	165
1.3.1.	Paramètres caractéristiques représentatifs :.....	165
1.3.2.	Matrice de corrélation :	166
1.3.3.	Analyse en composantes principales :.....	166
1.4.	Evolution temporelle de la chimie des eaux:.....	168
2.	ETUDE QUANTITATIVE:.....	170
2.1.	Contexte socio - économique du Moyen Chélif Oriental:	170
2.2.	La populations:	171
2.2.1.	Estimation de l'évolution de populations:	173
2.3.	L'agriculture :.....	174
2.4.	Les potentialités industrielles :	175
2.5.	Les potentialités hydraulique :.....	175
2.5.1.	Les ressources en eaux de surface.....	176
2.5.2.	Les ressources en eaux souterraine	176
2.5.3.	Mobilisation des Ressources en Eau:	176

2.6.	Estimation de l'évolution de la demande en eau:.....	177
2.6.1.	Evolution de la demande en eau potable:.....	177
2.6.2.	Evolution de la demande en eau Agricoles :	178
2.6.3.	Evolution de la demande en eau industrielle:.....	180
2.7.	Bilan ressource / besoins:	181
3.	CONCLUSION:.....	182
	CONCLUSION GENERAL.....	183

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est la ressource la plus précieuse, sans parler de l'air et de la terre. Elle joue un rôle déterminant dans la vie des hommes, des animaux et des plantes. Sans eau, la terre ne serait qu'un astre mort et aucune vie humaine, biologique, ou animale n'existerait.

Il est évident que dans les temps modernes la gestion des ressources en eau est d'une grande importance pour leur utilisation profitable dans tous les secteurs de la vie : urbain, industriel, agricole, commercial, etc. Cette importance est reflétée par la création d'organismes officiels de gestion de ressources en eau à tous les niveaux : international, national, régional et local; qui sont chargés d'une distribution équitable pour tous les consommateurs, en veillant également à la préservation de la qualité de ces ressources et à l'impact de leur exploitation sur l'environnement.

Le taux de ressources en eau naturelle par habitant, exprime la richesse ou la rareté relative de l'eau d'un pays. En Algérie le potentiel est de $500\text{m}^3/\text{hab./An}$. Il est bien en dessous du seuil ($1000\text{ m}^3/\text{hab. /an}$) communément admis comme seuil critique indiquant l'apparition de pénuries et de crise latente d'eau.

En milieu aride à semi-aride, particulièrement dans la région méditerranéenne, les eaux souterraines sont fortement sollicitées. On observe une baisse de la pluviométrie et une augmentation des débits pompés pour satisfaire les besoins croissants de l'alimentation en eau potable, l'agriculture et l'industrie. Cette situation se traduit par une diminution des réserves des aquifères exacerbée par les problèmes liés à la pollution de cette ressource.

La nappe du moyen Chéelif orientale, est fortement sollicitée et alimente actuellement plusieurs centres urbains d'une population d'environ de 446658 habitants, a cette massive population s'ajoute une intensive activité agricole et une activité industrielle croissante, impliquant une exploitation intensive, d'autant plus intensive en période sèche. Actuellement, cette nappe se trouve très menacée par la salinité, cette salinité risque de compromettre toutes les eaux souterraines de la région sous l'influence des pompages dans les forages.

L'objectif visé dans ce travail est d'évaluer la qualité et la quantité des eaux de cette région, représenter sa variabilité temporelle et spatiale. Ce travail suivra la chronologie ci-dessous:

Le premier chapitre englobe des généralités de la région d'étude, il s'agit d'apporter toutes les informations de base concernant la situation géographique et hydrographique, les caractéristiques morphométrique et pédologique permet d'évaluer l'aptitude à l'écoulement et à l'infiltration.

Le deuxième chapitre sera consacré pour l'étude hydroclimatologique pour caractériser le régime climatique et le fonctionnement hydrologique du bassin versant. Cette étude permet d'évaluer les apports d'eau alimentant les réserves souterraines.

Le troisième chapitre englobe une synthèse bibliographique sur la géologie de la région dans le but de schématiser la géométrie des aquifère et leurs extension.

Le quatrième chapitre sera consacré pour l'étude de la géométrie, du fonctionnement hydrogéologique et hydrodynamique du système aquifère.

Le dernier chapitre met le point sur la qualité et une estimation pour la gestion quantitative des eaux de la nappe du moyen Cheliff oriental.

CHAPITRE I

Milieu physique

1. CADRE GEOGRAPHIQUE

1.1. Le bassin de Chélif dans son contexte régional

Le Bassin Hydrographique Chélif-Zahrez s'étend entre les méridiens 0° et 3°30' Est et entre les latitudes 34° et 36° Nord. Ce bassin couvre une superficie d'environ 56 227 km² (soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord).

C'est Une région hydrographique limitée naturellement au Nord par la Mer Méditerranéenne, à l'Ouest par la région Oranie – Chott Chergui, à l'Est par la région Algéroise – Hodna – Soummam et au sud par le Sahara. Elle est découpée en trois grands sous bassins versants.

Le bassin du Chélif est le plus grand du point de vue superficie en Algérie, il représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Chélif-Zahrez. Ce même bassin, limité au Nord par les monts du Dahra et au Sud par l'Atlas saharien, comprend au Nord la vallée du Chélif, au Sud les hauts plateaux, allant de Saida à Tiaret, les plaines de Nahr Ouassel et Ain Ouassera et au centre le massif de l'Ouarsenis.

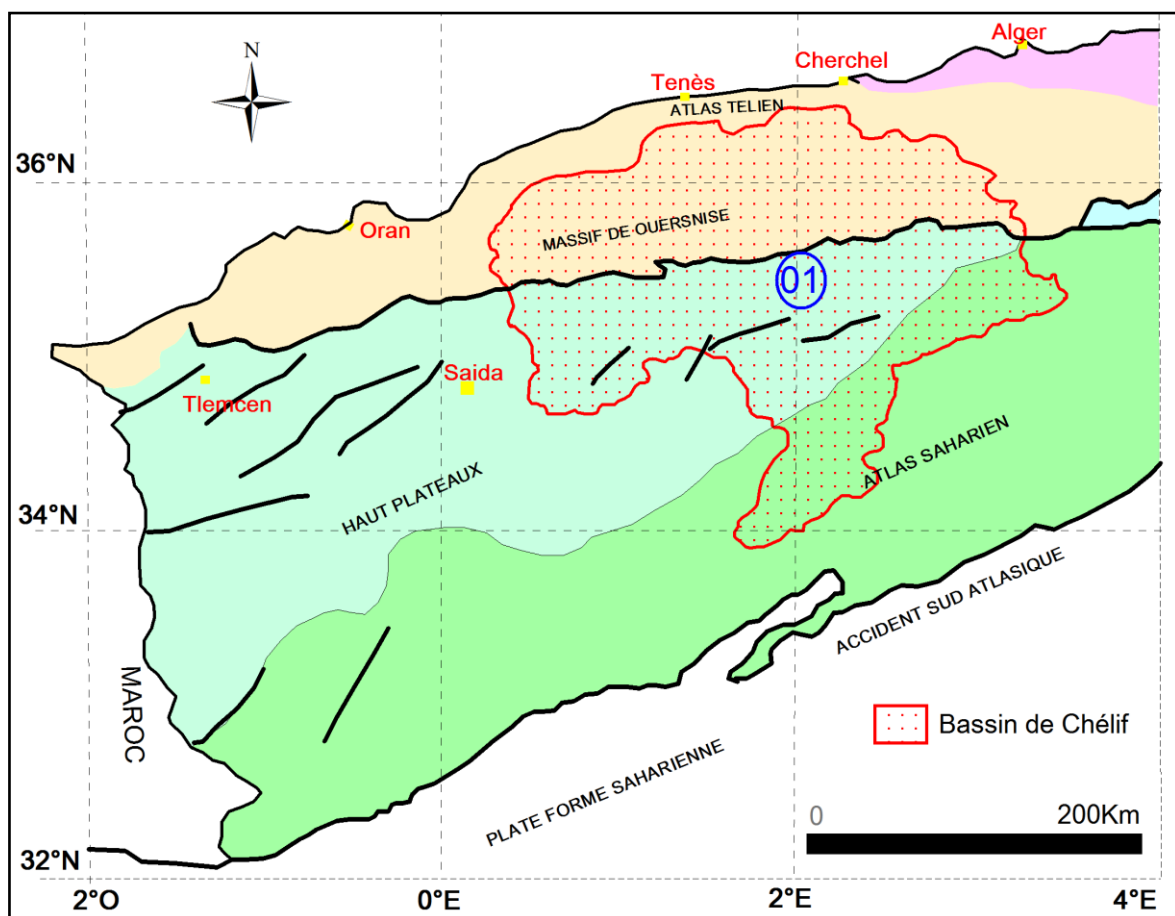


Figure 01: Localisation du bassin de Chélif dans l'ensemble du Nord de l'Algérie.

1.2. Situation géographique du secteur d'étude

Le secteur objet de cette étude fait partie du grand bassin versant de Chélif. Il se situe à 150 km au Sud- Ouest d'Alger à la jonction entre la Wilaya d' Ain Defla à l'Est et la Wilaya de Chlef à l'Ouest. Le moyen Chélif oriental couvre les sous bassins versants suivants:

Bassin d'Arib-Ebda 0118, Rouina 0119, Tikezal 0120 et bassin de l'Oued Fodda 0121), Il est limité:

- Au Nord par les monts de Dahra (Tell septentrional).
- Au Sud par les massifs Chélifiens (Tell méridional).
- A l'Ouest par la cluse de Ponteba.
- A l'Est par le seuil de Djebel Doui.

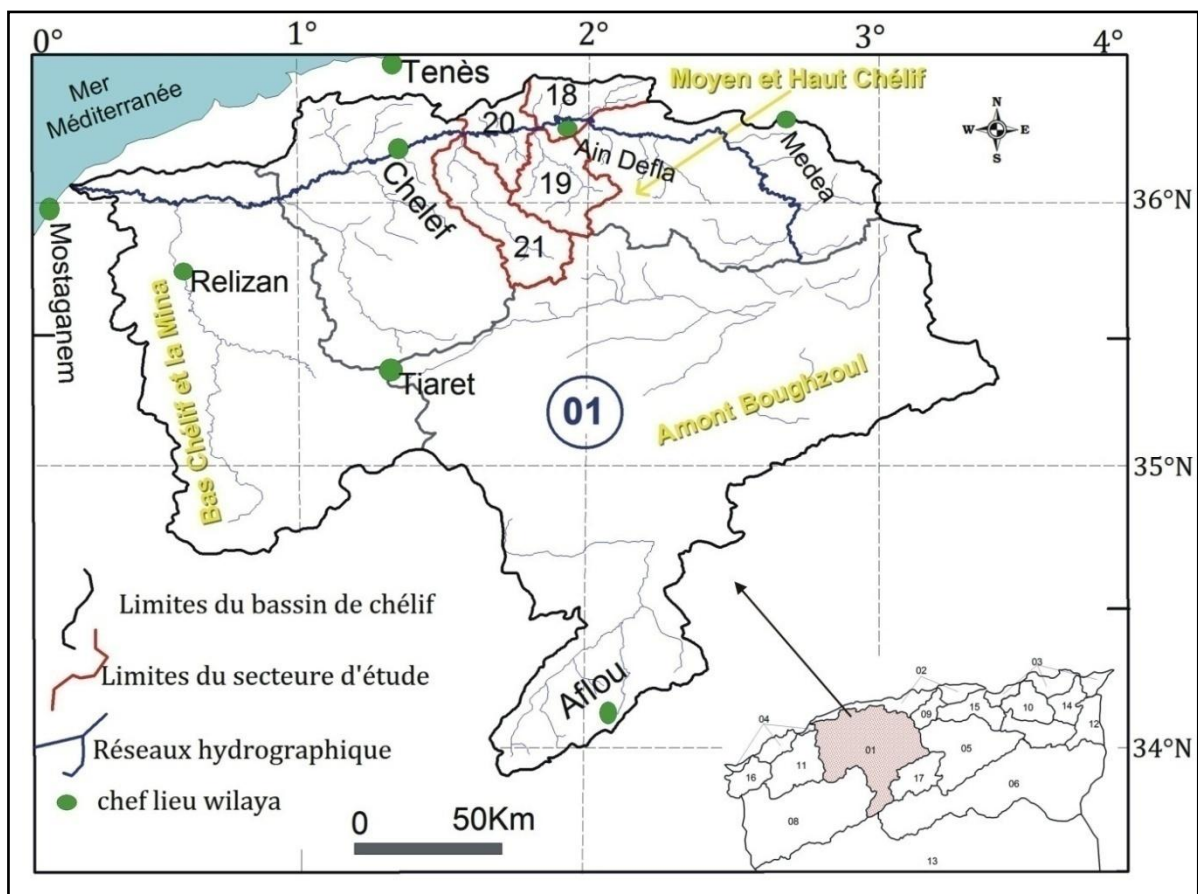


Figure 02: Carte de localisation du secteur d'étude (extrait de la carte du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux ANRH).

1.2.1. Bassin d'Arib-Ebda (0118)

C'est un bassin qui s'étend sur une superficie de l'ordre de 680,55 km² au Sud de la ville de Cherchell et au Nord de la ville d'Ain-Defla. Ce bassin présente un ensemble montagneux qui forme une unité géographique relativement homogène de l'Atlas Tellien septentrional. Il est constitué de relief Pliocène d'altitude modérée atteignant rarement 1500 m. De part sa position géographique il est soumis à un climat semi-aride tempéré.

1.2.2. Bassin de Rouina (0119)

Le bassin de Rouina s'étend sur 898,54 km² au Sud du village de Rouina et au Nord de la ville de Theniet el Had. Ce bassin appartient à l'ensemble des bassins qui sont situés dans la zone de dépression du relief relativement très large entre la chaîne de l'Atlas Tellien septentrional et l'Atlas Tellien méridional. Il présente une succession de dépressions comblées de formations Quaternaires et de reliefs Miocène du Chéelif (Miocène inférieur et Miocène supérieur.), l'Altitude maximum est de 1700m.

1.2.3. Bassin de Tikezal (0120)

S'étend sur 570,52 km² au Sud de la ville d'El Attaf, il appartient à l'ensemble des bassins de la plaine du grand Chéelif relativement très large au sein de l'Atlas tellien méridional, les principaux reliefs sont constitués par une succession de massif pliocènes d'altitude dépassent rarement 1000m, le climat est semi-aride et tempère.

1.2.4. Bassin d'Oued Fodda (0121)

S'étend sur 1161,32 km² la plus grande surface de tous les bassins du moyen Chéelif orientale. Le bassin de l'Oued Fodda appartient à l'ensemble des bassins de la plaine du grand Chéelif relativement très larges au sein de l'atlas Tellien méridional et qui s'étend jusqu'au massif de l'Ouarsenis dont il constitue un important chaînon montagneux, les principaux reliefs sont constitués par une succession de massifs pliocène d'altitude dépassent rarement 1700m, le climat est semi-aride et tempéré.

Sur le plan administratif (Bassin d' Arib-Ebda 0118, Bassin de Rouina 0119, Bassin de Tikezal 0120) en totalité inclus dans le territoire d'Ain Defla, le bassin d'Oued Fodda 0121) se situé dans la jonction entre la Wilaya de Ain Defla à l'Est et la Wilaya de Chlef à l'Ouest.

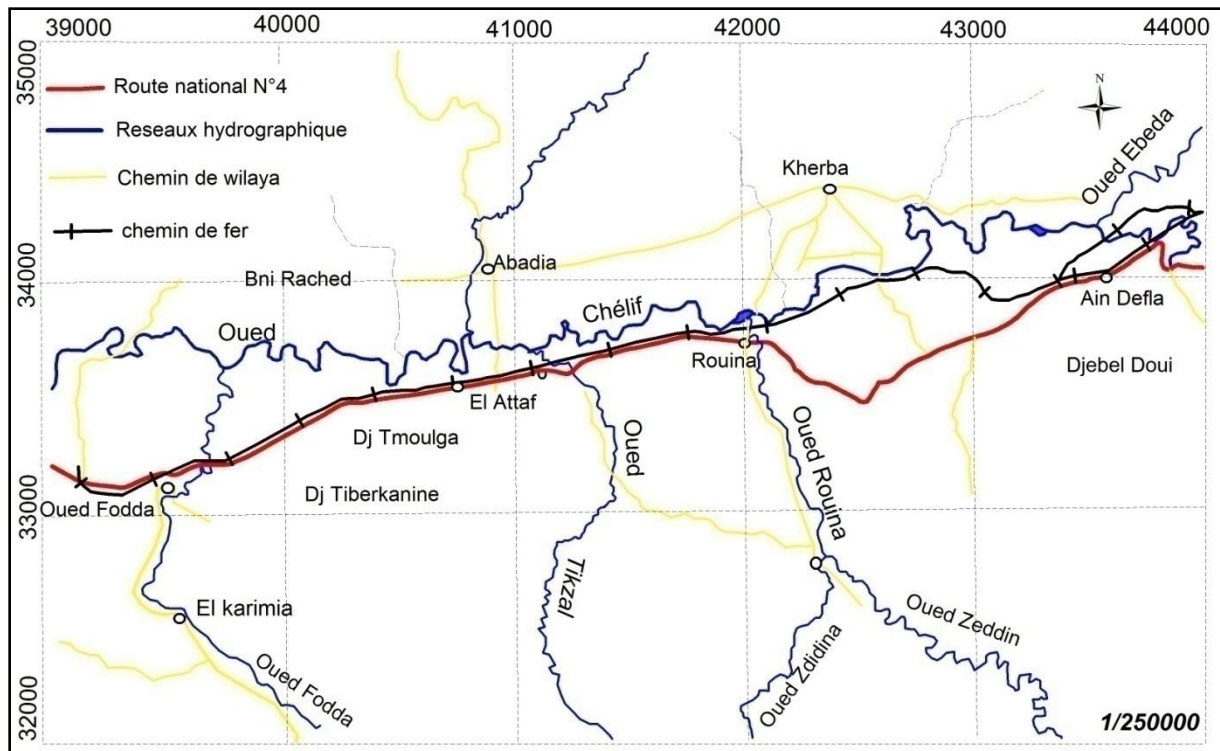


Figure 03: Domaine d'étude.

2. LES GRANDES UNITES MORPHOLOGIQUES

On y distingue du Nord au Sud:

2.1. Tell septentrional

Se détache du massif de Miliana et se poursuit dans l'Ouest entre la large dépression de la plaine du Chélif au Sud et la mer méditerranéenne au Nord. Le Dahra comprend :

- Une région montagneuse et forestière dont les crêtes dépassent souvent 1000 mètres d'altitude qui constitue les massifs de Miliana, de Ténès et des Baàch.
- Une zone moyenne en bordure de la précédente peu accidentée, atteignant à peine 700 mètres d'altitude, formant une suite de plateaux horizontaux plus ou moins inclinés vers la plaine du Chélif.

2.2. La plaine du Chélif

C'est une longue dépression allongée d'Est en Ouest, correspond à un vaste synclinorium de Miocène inférieur et supérieur tronqué par des surfaces d'érosion Plio-quaternaires faiblement déformées, la partie basse correspond à une plaine alluviale qui est plusieurs fois interrompue par des seuils transversaux; très riche et intensément cultivée, elle

passé progressivement vers le Sud à des reliefs faibles et émoussés qui s'accroissent peu à peu pour se raccorder sans discontinuité aux reliefs importants du Tell méridional.

Au milieu de la "Plaine du Chélib" émergent des massifs avec des altitudes variant entre 500 mètres au Temoulga et 1000m à Doui. Ces reliefs sont allongés grossièrement E-W sur un territoire de près de 100km de long et 20km de large, depuis l'Oued El Fodda à l'Ouest jusqu'au Zaccar et Khémis Miliana à l'Est.

2.3. Le Tell méridional

Le massif de l'Ouarsenis correspond à la partie du Tell méridional culmine au Grand Pic de l'Ouarsenis, ou Kef Sidi Amar, à 1983 m. C'est le sommet le plus élevé de l'Algérie occidentale comme il apparaît au milieu du massif, il peut être pris comme limite entre un Ouarsenis occidental et un Ouarsenis oriental.

3. APERÇU HYDROLOGIQUE

Les formes des réseaux hydrographiques constituent un caractère fondamental en géologie. Elles sont liées à la fois au caractère lithologique de leur substratum et à la structure géologique (forme, Altitude, pente et relief).

Dans notre secteur d'étude, le Chélib traverse successivement les plaines d'El kherba, d'El Abadia et d'El Attafs suivant un axe ENE-OSO, d'amont en aval. Il est influencé par une série de seuils naturels (seuil de Doui et d'Oum Drou)

En rive gauche, le Chélib est alimenté par une série des bassins de taille relativement plus importantes. La partie haute de ces bassins est formée de reliefs montagneux accusés dont les monts de Ouarsenis constituent le point culminant. L'altitude moyenne de ces reliefs est de l'ordre de 1100m. Il s'agit de: bassin de l'Oued Rouina , bassin de l'Oued Tikzale et bassin de l'Oued Fodda.

Sur la rive droite, à l'exception de l'Oued Ebda dont le bassin est entaillé dans le massif de Bou Maad, vient se jeter dans le Chélib, en face de Duperré (Ain Defla). C'est l'affluent le plus important de la rive droite.

Les Oueds El-Arch, Kramis, Boukalli, Taria bien moins importants, prennent leur source dans le massif de Tachta, coulent sensiblement du Nord au Sud, et se jettent dans le Chélib dans la partie comprise dans la plaine des Attafs.

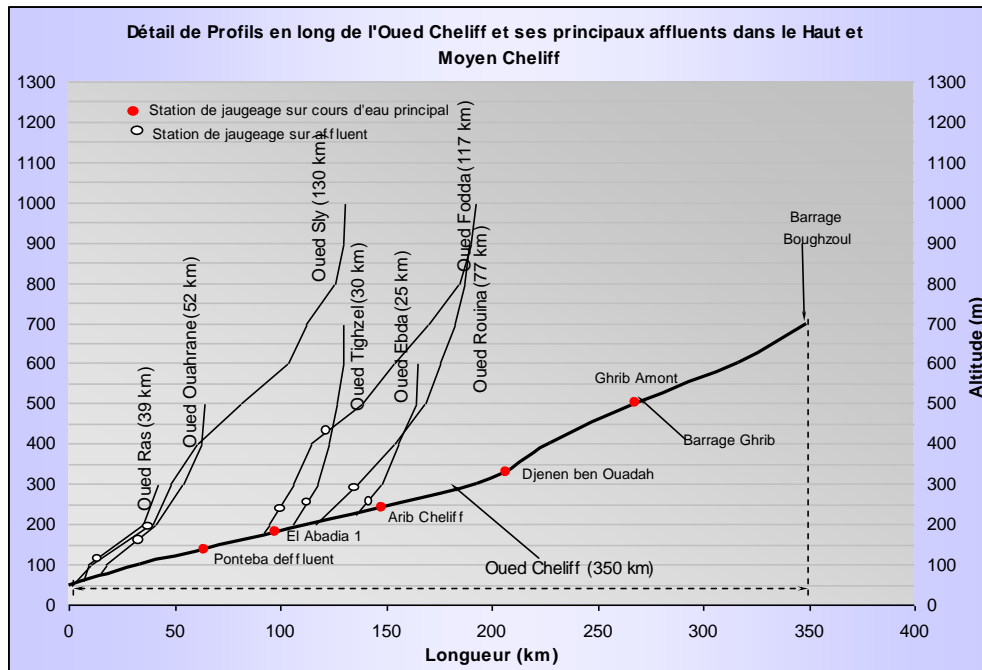


Figure 04: Profils en long de l'Oued Chélif et de ses affluents dans le Haut et Moyen Cheliff.

4. CARACTERISTIQUES DE FORME

4.1. Superficie (A)

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques, elle est obtenue par planimétrie sur une carte topographique à l'échelle: 1/50000.

4.2. Périmètre (P)

Il a été estimé sur une carte au 1/50000.

4.3. Indice de compacité (Kc)

Cette forme qui peut être traduite par l'indice de compacité de « Graveluis » Kc , a également une influence sur l'écoulement ; elle détermine dans une certaine mesure l'allure de l'hydrogramme de crue. Un bassin très allongé ne réagira pas, toutes choses égales d'ailleurs, de la même manière qu'un bassin de forme ramassée (M. Roche, 1963).

L'indice de compacité (Kc) s'établit en comparant le périmètre du bassin (P) à celui d'un cercle qui aurait la même surface (A) :

$$\text{Soit : } Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec : $Kc = 1$ Bassin (circulaire), le modèle choisi étant un cercle.

$1 < Kc < 1.4$ Bassin compact.

$Kc > 1.4$ Bassin allongé.

D'après B. Mazenc, cet indice est tributaire de l'opérateur qui mesure le périmètre et les différentes irrégularités du contour du bassin. Cet auteur démontra que deux bassins de formes semblables peuvent avoir des indices (Kc) différents. Il proposa l'usage d'un indice moins sensible aux erreurs humaines mais surtout qui présente une influence importante sur les écoulements. Cet indice est égal au rapport du carré de la plus longue droite mesurable sur le bassin (L_{\max}) à la superficie de ce bassin (in M. Remaoun 2005).

$$I_{al} = L^2_{\max} / A$$

Le rectangle équivalent est défini pour pouvoir comparer les bassins entre eux. Les valeurs de la longueur et de la largeur du bassin sont définies d'après les formules suivantes: Soit L_r et l , respectivement la longueur et la largeur du rectangle, de superficie (A) et de périmètre (P).

$$L_r = KC \sqrt{A/1,12(1 + \sqrt{1 - (1,12/Kc)^2}}$$

$$l = KC \sqrt{A/1,12(1 - \sqrt{1 - (1,12/Kc)^2}}$$

Pour que cette représentation soit possible, il faut que l'indice de compacité de « Graveluis » $Kc \geq 1.12$, ce qui est le cas pour les sous bassins versants étudiés.

Tableau 01 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du moyen Chélif oriental.

Bassins	S (Km ²)	P (Km)	Longueur max (Km)	Kc de Gravellius	Ic de B.Mazenc	Rectangle équivalent	
						Lr(Km)	L(Km)
<i>O.AribEbda</i>	680,55	141,10	39,64	1,51	2.31	59,02	11,53
<i>O. Rouina</i>	898,54	173,69	79,13	1,62	6.79	74,84	12,01
<i>O.Tikezal</i>	570,52	142,58	86,02	1,67	6.97	62,10	9,19
<i>O. Fodda</i>	1161,32	212,75	134,68	1,75	15.62	94,02	12,35

Les valeurs de l'indice de compacité (tableau 01) montrent que tous les bassins sont allongés dont l'indice de forme reste élevée (varie entre 1,51 à 1,75).

5. ETUDE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques.

Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations géologiques du Jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique.

Les paramètres importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont : la densité de drainage (**Dd**), le rapport de confluence (**Rc**), le rapport des longueurs (**Rl**) et le Coefficient de torrentialité (**Cr**). **L** : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

Tableau 02 : Synthèse des caractéristiques morphologiques des principales unités hydrologiques étudiées.

<i>Bassins</i>	<i>L (Km)</i>	<i>A (Km²)</i>	<i>Dd (Km⁻¹)</i>	<i>Rc</i>	<i>Rl</i>	<i>Ct</i>
<i>Oued Arib-Ebda</i>	467,43	680,55	0,69	3,85	3,16	0,48
<i>O. Rouina-Zeddine</i>	752,90	898,54	0,84	3,77	2,63	0,31
<i>OuedTikezal</i>	400,64	570,52	0,70	3,63	2,38	0,30
<i>OuedFodda</i>	1075,70	1161,32	0,93	4,25	2,53	0,41

5.1. Densité de drainage

La densité de drainage est définie par : $Dd = \Sigma L / A$ Avec,

Dd : densité de drainage en km/km²

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

A : aire du bassin en km².

Il faut signaler que la reproduction du chevelu hydrographique est d'autant plus fidèle que l'échelle de la carte est grande.

Les valeurs de densité de drainage obtenues sont comprises entre 0,69 et 0,93(Km⁻¹) Les plus grande valeurs correspondent aux plus grands sous bassins.

5.2. Rapport de confluence

Il est défini par : $Rc = Nn / N(n+1)$ Avec

Rc : Rapport de confluence.

Nn : Nombre de cours d'eau d'ordre "n".

Si l'on admet que, pour un bassin parfaitement organisé **Rc** = 2; les sous bassins étudié sont mal hiérarchisés.

5.3. Rapport des longueurs

Il est défini par la formule : $RL = L(N+1) / LN$ Avec LN : longueur de cours d'eau d'ordre n.

5.4. Coefficient de torrentialité

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage. $Ct = Dt \cdot F_1$ avec Dt : densité de drainage.

F_1 : fréquence des thalwegs élémentaires $F_1 = N_1/A$.

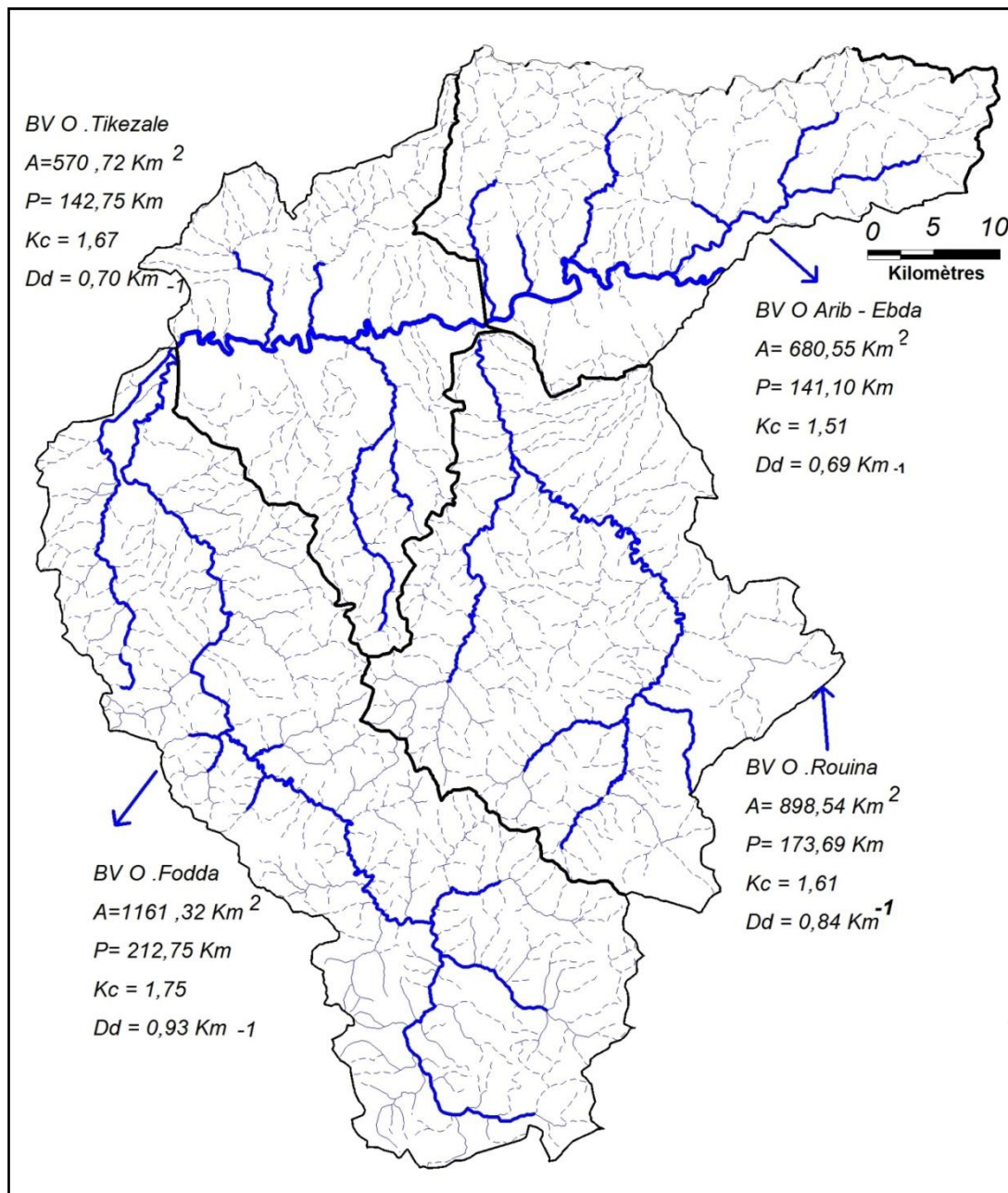


Figure 05: Carte du chevelu hydrographique secteur d'étude.

6. ETUDE DU RELIEF

6.1. Hypsométrie

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin. Il se détermine au moyen de différents indices et généralement apprécié par l'établissement de la courbe hypsométrique.

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition des altitudes en fonction des pourcentages cumulés des superficies ; elle permet de calculer l'altitude moyenne et l'indice de pente globale.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin.

Partant de la répartition par tranches d'altitudes des bassins, nous avons établi les courbes hypsométriques et les diagrammes des fréquences altimétriques.

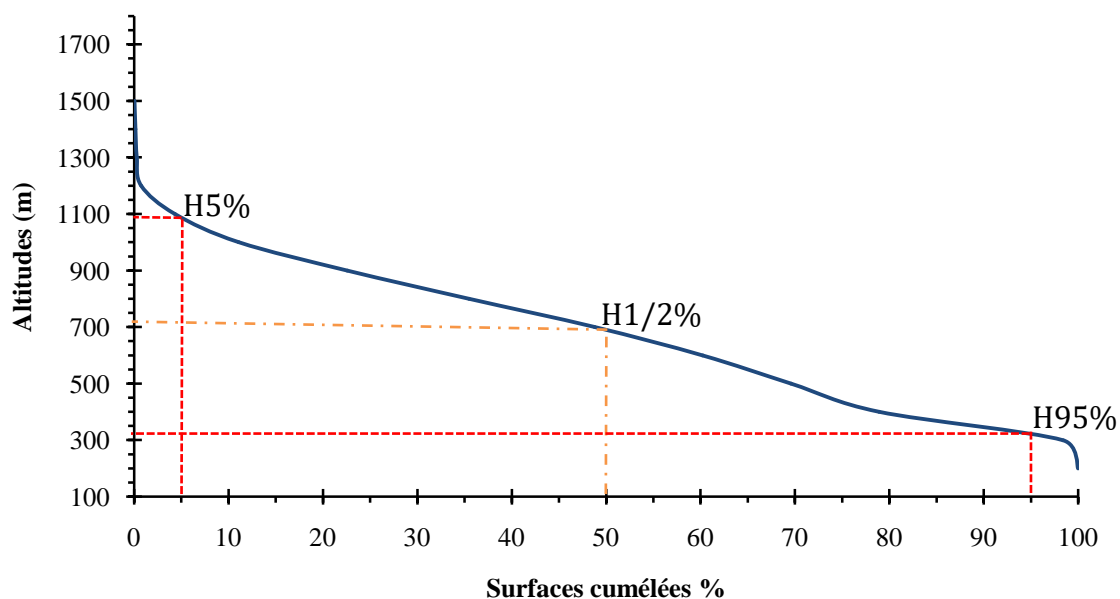
a) Oued Ebda:

Le bassin d'Oued Ebda, d'une superficie de 680,55 km² est caractérisé par des pentes assez abruptes.

Tableau 03 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Ebda.

Tranches d'altitudes (m)	Ai(Km ²)	Ai cumulée (Km ²)	Ai Cumulée %
100-200	10,76	680,55	100,00
200-300	132,79	669,79	98,42
300-400	63,33	537	78,91
400-500	63,79	473,67	69,60
500-600	77,99	409,88	60,23
600-700	90,52	331,89	48,77
700-800	87,52	241,37	35,47
800-900	78,53	153,85	22,61
900-1000	45,98	75,32	11,07
1000-1100	24,25	29,34	4,31
1100-1200	3,17	5,09	0,75
1200-1300	0,93	1,92	0,28
1300-1400	0,62	0,99	0,15
1400-1500	0,37	0,37	0,05

Courbe hypsométrique BV 0118

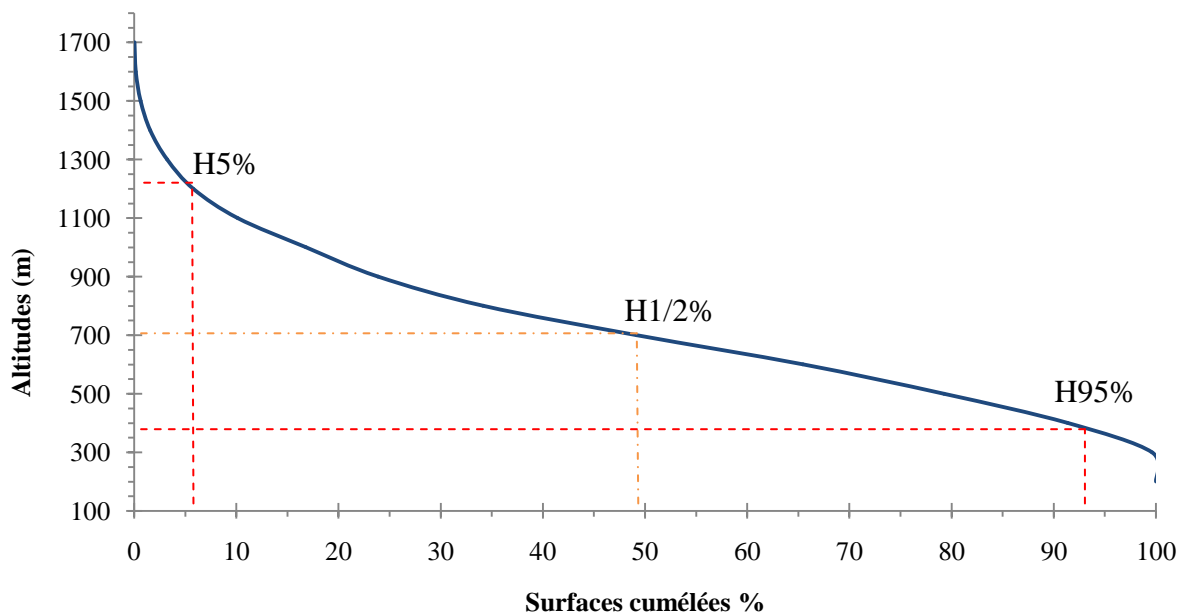
**Figure 06:** Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Ebda.**b) Oued Rouina-Zeddine:**

Le bassin versant occupe une superficie de 898,54Km², et un périmètre de 752,90 km.

Tableau 04: Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Rouina-Zeddine.

Tranche d'altitude	Ai (Km ²)	Ai cumulée (Km ²)	Ai cumulée %
100-200	3,46	898,53	100,00
200-300	74,25	895,07	99,61
300-400	108,77	820,82	91,35
400-500	124,18	712,05	79,25
500-600	145,88	587,87	65,43
600-700	135,03	441,99	49,19
700-800	92,33	306,96	34,16
800-900	63,62	214,63	23,89
900-1000	60,03	151,01	16,81
1000-1100	38,98	90,98	10,13
1100-1200	23,06	52	5,79
1200-1300	14,77	28,94	3,22
1300-1400	8,41	14,17	1,58
1400-1500	4,22	5,76	0,64
1500-1600	1,2	1,54	0,17
1600-1700	0,34	0,34	0,04

Courbe hypsométrique BV 0119

**Figure 07:** Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Rouina-Zeddine.**c) - Oued Tikazel:**

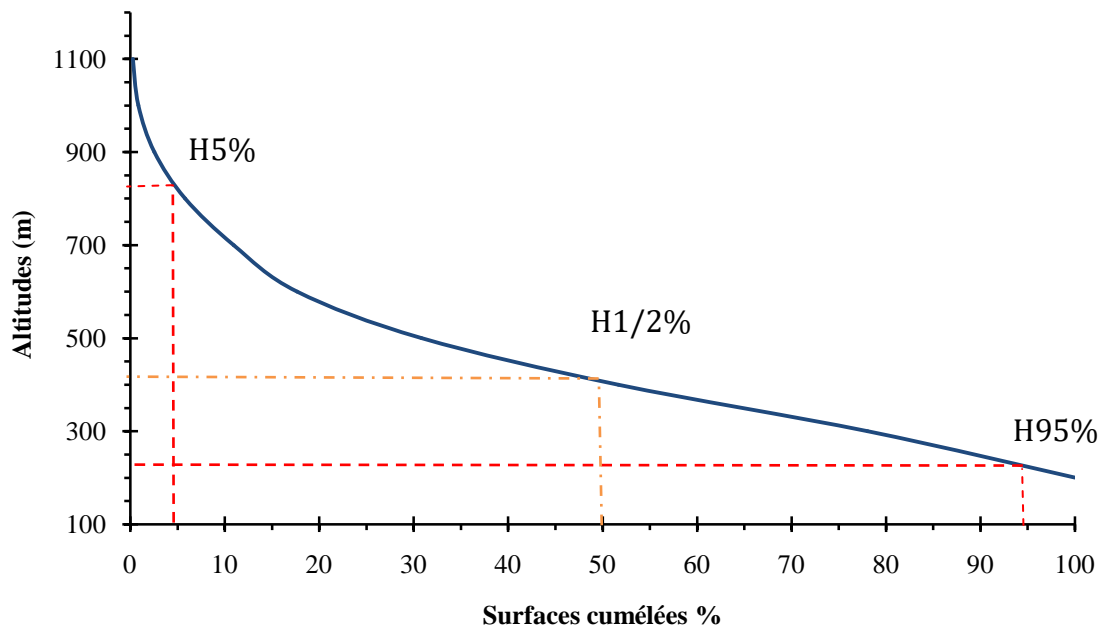
S'étale sur une superficie totale de $570,53 \text{ km}^2$. La région est caractérisée par deux ensembles :

- Au Nord, relief peu accusé et au réseau hydrographique lâche dans les monts de Thahra.
- Au Sud, des affleurements jurassiques fortement entaillés et affectés de quelques grandes fractures.

Tableau 05: Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Tikzal.

Tranches d'altitudes (m)	$A_i \text{ (km}^2\text{)}$	$A_i \text{ cumulée (Km}^2\text{)}$	$A_i \text{ cumulée \%}$
100-200	125,27	570,53	100,00
200-300	150,31	445,26	78,04
300-400	119,08	294,95	51,70
400-500	75,12	175,87	30,83
500-600	38,22	100,75	17,66
600-700	29,33	62,53	10,96
700-800	18,61	33,2	5,82
800-900	9,69	14,59	2,56
900-1000	3,22	4,9	0,86
1000-1100	1,68	1,68	0,29

Courbe hypsométrique BV 0120

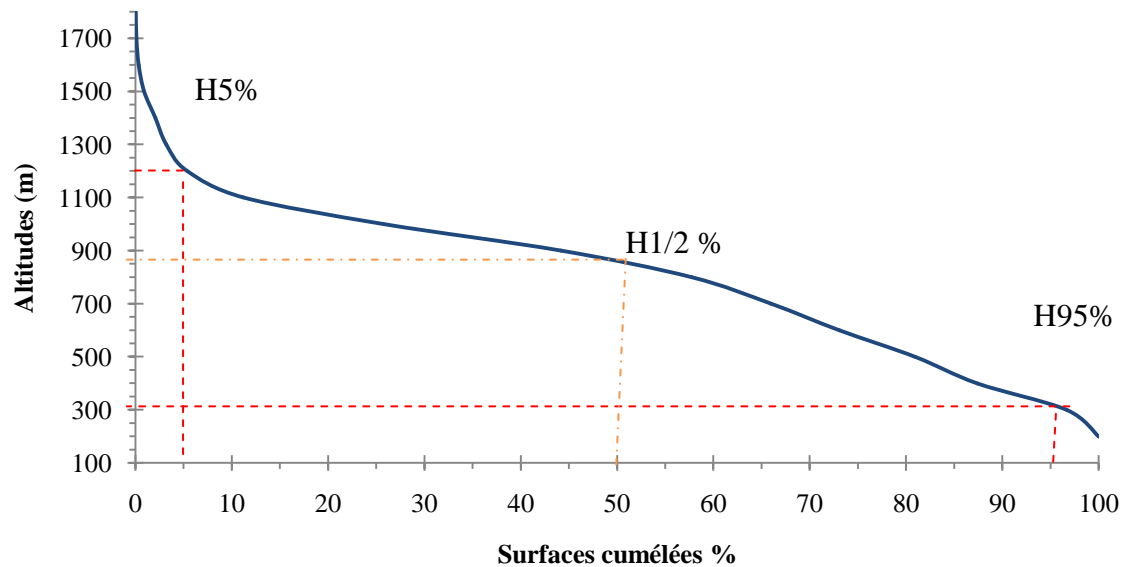
**Figure 08:** Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Tikzale.**d) - Oued Fodda:**

Le bassin d'Oued Fodda, d'une superficie de 1161,32 km²

Tableau 06: Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Fodda.

Tranche d'altitude (m)	Ai(Km ²)	Ai cumulée (Km ²)	Ai cumulée %
100-200	38,39	1161,32	100,00
200-300	107,73	1122,93	96,69
300-400	75,08	1015,2	87,42
400-500	91,27	940,12	80,95
500-600	82,34	848,85	73,09
600-700	96,14	766,51	66,00
700-800	157,42	670,37	57,72
800-900	214,45	512,95	44,17
900-1000	168,33	298,5	25,70
1000-1100	68,17	130,17	11,21
1100-1200	24,9	62	5,34
1200-1300	13,17	37,1	3,19
1300-1400	13,45	23,93	2,06
1400-1500	6,62	10,48	0,90
1500-1600	2,76	3,86	0,33
1600-1700	0,76	1,1	0,09
1700-1800	0,34	0,34	0,03

Courbe hypsométrique BV 0121

**Figure 09:** Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Fodda.

La représentation de la courbe hypsométrique fait apparaître directement l'influence du relief et permet de déterminer en particulier les paramètres suivants :

a- L'altitude moyenne (H_{moye}) : C'est le rapport entre la somme des produits des surfaces élémentaires par l'altitude moyenne correspondante et la surface totale du bassin (A).

$$H_{moye} = \sum \frac{a_i \cdot h_i}{A} \quad \text{Avec :}$$

h_i : l'altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m).

a_i : surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveau en (Km^2).

A : surface totale du bassin étudié en (Km^2).

b- L'altitude maximale (H_{\max}) : désignée par le point le plus haut du bassin.

c- L'altitude médiane ($H_{\text{méd.}}$) : correspond à 50% de la surface du bassin.

d- L'altitude minimale (H_{\min}) : correspond au point le plus bas du bassin.

Les résultats des calculs sont mentionnés dans le tableau N° 07.

6.2. Altitudes caractéristiques des sous bassins

Tableau 07 : *Altitudes caractéristiques des sous bassins étudié.*

<i>Bassins</i>	<i>H. min (m)</i>	<i>H. moye (m)</i>	<i>H. méd. (m)</i>	<i>H. max (m)</i>
<i>Oued Ebda</i>	200	610	710	1500
<i>O. Rouina-Zeddine</i>	215	640	690	1700
<i>OuedTikazel</i>	203	370	420	1100
<i>OuedFodda</i>	300	785	850	1800

6.3. Indices de pente

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global *Ig*. L'indice de pente globale est calculé d'après la formule suivante :

$$I_g = D / L$$

Ig : indice globale de Roche

D : dénivelée simple ou bien la distance verticale, exprimée en mètres, sépare les altitudes ayant 5% de la surface du bassin au-dessous d'elles ; elle peut être assimilée à la distance séparant les deux courbes de niveau maîtresses extrêmes qui délimitent le bassin.

L : longueur du rectangle équivalent telle que définit par M.Roche (km).

Cet indice, sert de base à une des classifications O.R.S.T.O.M. pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km²

L'indice *Ig* décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins.

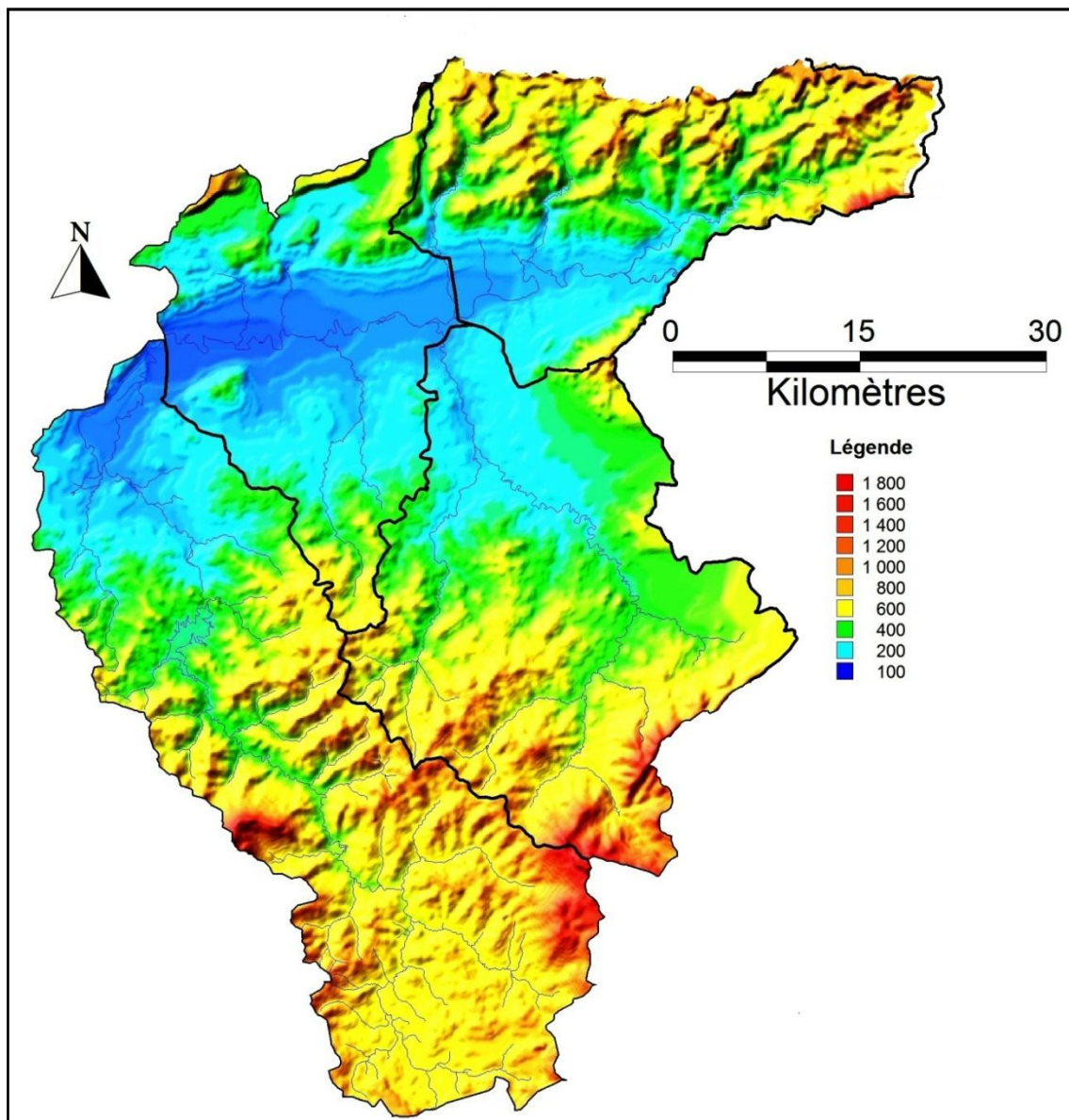
La dénivelée spécifique *Ds* ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale *Ig* en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{A} : La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$) et de la forme du bassin ($1/L$). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins :

$$D_s = I_g \sqrt{A}$$

(A) la superficie du bassin versant en Km²

Tableau 08 : Classification du relief selon La dénivelée spécifique.

R1	Relief très faible	$Ds < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < Ds < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 < Ds < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 < Ds < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 < Ds < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < Ds < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$500 \text{ m} < Ds$

**Figure 10:** Modèle numérique du terrain étudié (ABH).

Le modèle numérique du terrain montre que l'altitude varie de 100m au centre de la plaine pour atteindre les 1800m dans les régions montagneuses (fig. 10).

Tableau 09: *Indices de pentes et reliefs des sous bassins.*

<i>Bassins</i>	<i>Superficie (Km²)</i>	<i>Ig</i>	<i>Ds (m/km)</i>	<i>Classe de relief</i>
<i>Oued Ebda</i>	680,55	23,73	619,02	Relief très fort
<i>O. Rouina- Zeddine</i>	898,54	21,38	640,85	Relief très fort
<i>Oued Tikazel</i>	570,52	14,49	346,11	Relief fort
<i>Oued Fodda</i>	1161,32	18,08	616,17	Relief très fort

7. La Végétation

L'occupation végétale a une influence directe sur l'écoulement fluvial aussi bien que facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense. Cette influence de la forêt sur le régime des eaux en domaine méditerranéen a un rôle considérable. Le paysage végétal du bassin a été largement dégradé et défriché en montagne par les incendies, les déboisements et par l'agriculture extensive et un surpâturage endémique. Ce qui a entraîné une perte d'eau par évaporation et une accélération de l'érosion.

La forêt ne subsiste plus que sur les montagnes les mieux arrosées. Elle se compose parfois de cèdres, mais surtout de pins, de chênes-lièges et de chênes verts. Sur les sols imperméables, la forêt dégradée par l'activité humaine, a été remplacée par une formation végétale serrée d'arbustes et de buissons.

La plaine de moyen Chélif est à vocation essentiellement agricole. Un très grand périmètre irrigable se situe dans la plaine c'est le périmètre de La plaine d'El Amra- El Abadia soit 11300 Ha.

Une irrigation intensive est nécessaire pendant 6 mois de l'année (Mars à Août).

On note que le bassin manque d'un couvert végétal forestier dense, seuls subsistent les forêts au sud du bassin, mais souvent dégradées.

Cet absence d'une couverture végétale arbustive dense, favorise le phénomène de l'érosion et provoque des dégâts tels que, les pertes des terres cultivables et l'envasement des ouvrages hydrauliques existants au niveau de ce bassin.

8. Pédologie

La plaine d'El Abadia est la plus étroite des plaines du Chélif. A l'amont, l'Oued Chélif a creusé dans le seuil de Duperré une véritable vallée dont la largeur dépasse rarement un kilomètre. A l'hauteur d'El Kherba commence la plaine proprement dite mais des reliefs,

alignés suivant l'axe de la dépression, ont permis la formation au Nord de celle-ci d'un grand glaciaire d'accumulation dont les matériaux proviennent exclusivement des massifs de bordure; partout les alluvions de l'Oued n'ont qu'une extension très limitée. Enfin à l'aval, la plaine d'El Abadia s'infléchit pour former la basse vallée de l'Oued-Fodda. Le Chélif poursuit son cours par une cluse très étroite qu'il a creusée dans les grès miocènes immédiatement après son confluent avec l'Oued-Fodda.

Cette plaine est une zone de transition entre la plaine d'Affreville (Khmis) encore bien arrosée et entourée de hauts reliefs et la plaine d'Orléansville (Chlef) plus ouverte et où le climat semi-aride triomphe. Le sol est en contact permanent avec la bio atmosphère, donc la nature du sol conditionne la répartition du couvert végétal et le développement du réseau hydrographique.

Les sols des plaines du Chélif sont exclusivement des sols alluviaux. Les conditions de transport et corrélativement le triage des matériaux à partir desquels ils se sont formés sont déterminantes pour leur évolution future; celle-ci peut en gros se faire dans trois directions suivant que le sol a un drainage correct ou non et dans ce dernier cas suivant qu'il y a des sels solubles dans le profil ou non.

8.1. Les sols alluviaux

a) — Sols alluviaux non évolués (1-2) : des dépôts sableux du lit majeur des oueds. Sols très jeunes formés sur des alluvions profondes, perméables à texture légère où les sables fins dominent. Très faible structuration des horizons de surfaces dans les zones protégées des crues ; les apports de celles-ci sont toujours possibles; pas de lessivage même des éléments solubles. Début d'enrichissement en matières organiques.

b) — Sols alluviaux évolués complexes à horizons d'accumulations des sulfates (13 et 15) : sols alluviaux formés sur des apports successifs et hétérogènes des oueds dans les plaines d'épandage des crues. Ces apports sont rarement sableux presque toujours limoneux et argileux.

c) — Sols colluviaux et sols alluviaux latéraux (16 - 17 -18 -19 - 20.): Les sols d'apport alluvial-colluvial dans l'ensemble de la cuvette. Les sols d'apport colluvial se trouvent par contre en particulier sur les piémonts (fig11).

8.2. Les Sols hydromorphes

Il s'agit de sols dans lesquels la teneur en eau est élevée pendant toute une partie de l'année, dans tous les horizons du profil ou dans certains horizons seulement.

Il s'agit des sols désignés dans la classification des sols du Chélif sous le terme de sols engorgés par l'eau (3) - (5) - (7).

On distingue deux sortes de sols hydromorphes ceux dont l'hydromorphie est due a des conditions topographiques, et ceux dont l'engorgement est lié a un défaut de perméabilité de la roche-mère. Dans les plaines alluviales.

Ces deux causes convergent parfois puisque ce sont des sédiments très argileux qui se déposent dans les cuvettes et les bas-fonds (fig11).

8.3. Les sols halomorphes ou sols salés

Les sols halomorphes, comme leur nom indique, sont définis comme étant des sols dont la composition chimique est fortement influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage important du sodium échangeable. Ils sont répartis avec une faible extension sur la partie Ouest de la vallée (fig11).

8.4. Les Sols automorphes

Les sols automorphes sont les sols qui se forment dans de bonnes conditions de drainage. C'est à dire que cet ensemble de sols est très vaste, puisqu'il comprend tous les sols qui ont pu se former sans que l'engorgement par l'eau d'une partie de leur profil ait été réalisé. Il comprend donc les sols évolués (sauf les sols 32 - 33 -34 -), les sols dunaires et les sols alluviaux 11-12- et -14- et les sols calciques(8) (fig11).

Sols des plaines

- 

1. — Sols alluviaux non évolués des dépôts sableux du lit majeur des oueds. Sols très jeunes formés sur des alluvions profondes, perméables, à texture légère où les sables fins dominent.
- 

2. — Sols alluviaux non évolués des dépôts sableux du bourrelet de l'oued. Mêmes sols que les précédents. Seule la position topographique est différente ; ces sols sont situés sur la terrasse récente de l'oued, à l'abri des crues normales
- 

3. — Sols engorgés par l'eau, des réseaux d'écoulement des eaux superficielles des plaines - sols assez jeunes formés au dépens des formations argilo-limoneuses de la terrasse récente des Oueds.
- 

5. — Sols engorgés par l'eau et à nappe phréatique non salée. Ils sont humifères, argileux . Une certaine accumulation de sels solubles et de carbonates est possible dans les horizons sub-superficiels.
- 

7. — Sols engorgés par l'eau, à inondation temporaires hivernales. Sols situés au débouché dans la plaine des ravins qui drainent les bordures. Ils sont argileux à très argileux.
- 

8. — Sols calciques formés sur carapaces calcaires ,sols peu épais pauvre , légère à moyen limons à limons sableux recouvrant une carapace calcaire consolidée.
- 

10. — Sols alluviaux tirsifiés des dépressions latérales des plaines, limono-argileux, peu perméables, à structure grossière, riches, profonds, mais peuvent avoir des horizons d'accumulation relative de chlorures et de sulfates.
- 

11. — Sols alluviaux présentant un début de décalcification et une accumulation progressive des calcaires (sols à limons et limons argileux, 11' sols plus argileux à structure grossière.
- 

12. — Sols alluviaux en voie de décalcification sols moyen limons à limons argileux avec des nodules de calcaire en profondeur
- 

14. — Sols alluviaux présentant un début de décalcification et une accumulation brusque des calcaires , sols moyen limons et limons argileux en surface avec un horizon plus calcaire et généralement plus sableux en profondeur .
- 

15. — Sols alluviaux complexes ordinaires — sols formé d'horizon de texture divers toujours plus argileux
- 

18. — Sols colluviaux provenant des massifs calcaires, sols jeune caillouteux des cones de déjection des massifs jurassique
- 

19. - - Sols colluviaux dont les matériaux proviennent des massifs gréseux et des formations quaternaires anciennes. sols jeunes à texture moyenne à légère, perméables, caillouteux, à caractères évolutifs sont très peu marqués mais tendent vers le lessivage.
- 


28. — Sols partiellement décalcifiés avec accumulation progressive des calcaires , sols moyens limons à limons argileux profonds ,riches , filtrants
- 


32. — Sols décalcifiés rubéfiés et lissivés, à accumulation progressive du calcaire :sols moyens à lourds (limons à limons argileux en surface) 32' sur matériaux siliceux, 32'' sur matériaux siliceux et érodés ; ces deux sols limités à l'Est de l' Oued Fodda
- 


33. — Sols décalcifiés rubéfiés et lissivés à accumulation brusque des calcaires ,33' sur carapace calcaire sols lourds (limons et limons argileux possédant un horizon très argileux à 50 cm de profondeur; sols peu profond assez perméable
- 

34. — colluvions des sols rouges lissivés : sols argileux

Sols des bordures des plaines

- 

A- Association des sols à carapace calcaire : sols décalcifiés lissivés; sols calcique et sols rendziniiformes.
- 

B - Association des sols décalcifiés et des sols jeunes formés sur les roches perméables et calcaires du Miocène et du pliocène .
- 

I - Association des sols formés sur les calcaires massifs - roches mères, terra-rossa

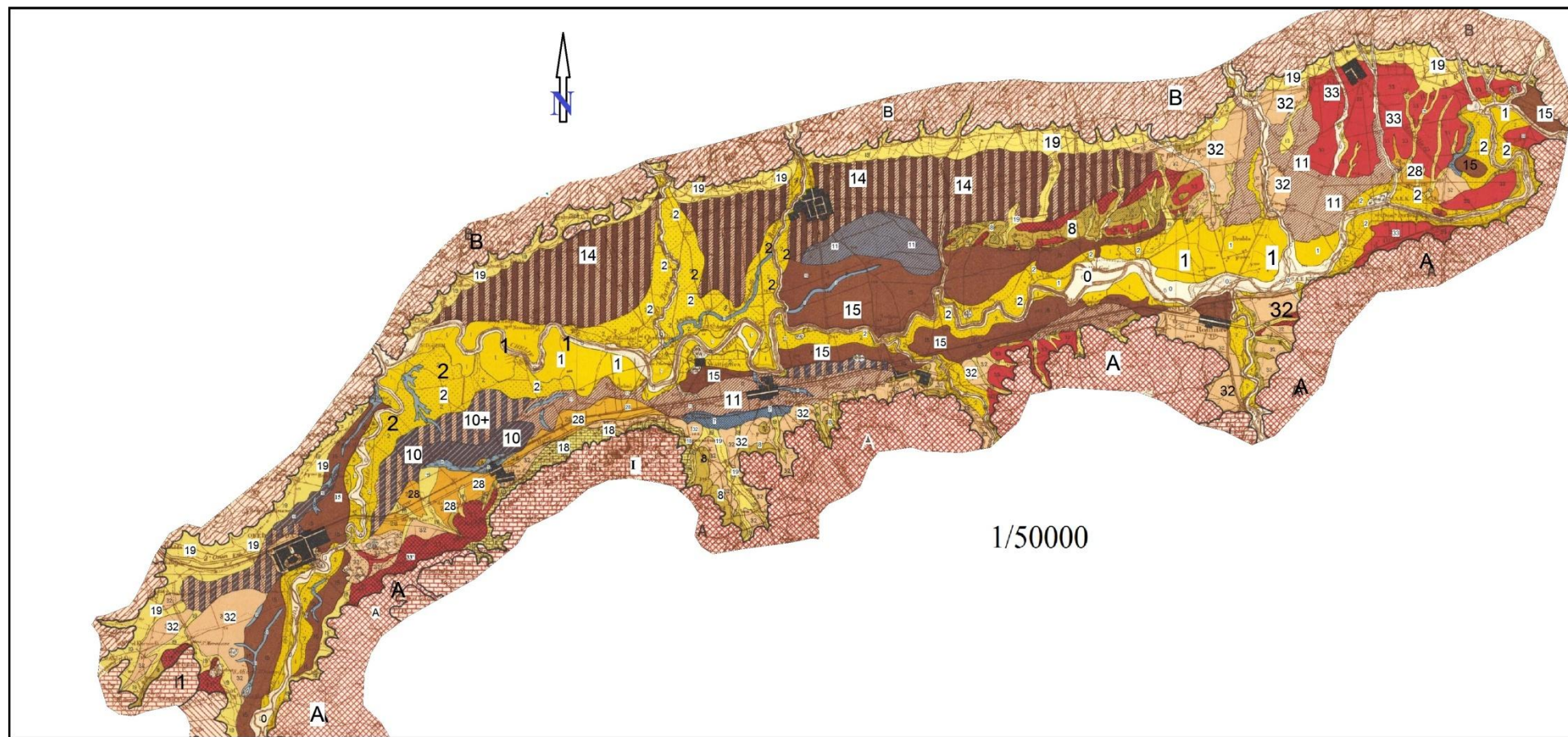


Figure 11: Carte des sols de la plaine de moyen Chélif orientale (d'après J. BOULAINÉ 1955).

9. Conclusion:

Les principaux résultats apparaissent dans le tableau ci-dessous, ils permettent une comparaison globale des sous bassins.

Basins versants	symbole	Arib-abda	Rouina	Tikezal	Fodda
Superficies(Km ²)	A	680,55	898,54	570,52	1161,32
Périmètre (Km)	P	141,1	173,69	142,58	212,75
Indice de compacité	KcB.Mazenc	2.31	6.79	6.97	15.62
	KcGravellius	1,51	1,62	1,67	1,75
Alt max. (m)	H max	1500	1700	1100	1800
Alt moy (m)	H moy	610	640	370	785
Alt min(m)	H min	200	215	203	300
Alt médiane	H médi	710	690	420	850
Dénivelé spécifique	Ds	619,02	640,85	346,11	616,17
Indice de pente globale	Ig	23,73	21,38	14,49	18,08
Dte drainage tle	Ddt	0,69	0,84	0,7	0,93
Long rect. equiv	Lr	59,02	74,84	62,1	94,02
Coef de torrentialité	Cr	0.48	0.31	0.30	0.41
Rapport de confluence	Rc	3,85	3,77	3,63	4,25
Rapport de longueurs	RI	3,16	2,63	2,38	2,53
Classe de relief	R	Très fort	très fort	fort	très fort

Les valeurs de l'indice de compacité montrent que le bassin d'Arib-Ebda est le plus compacte, celui de l'Oued Fodda, le plus allongé. Les Bassins étudiés présentent dans l'ensemble des formes plus ou moins allongées ce qui influence sur le temps de concentration et les écoulements. Ces valeurs apportent des informations sur la concentration de l'écoulement et déterminent dans une certaine mesure l'allure de l'hydrogramme de crue.

Selon l'indice de pente globale (Ig); les reliefs sont très forts, sauf pour le bassin de Tikezal qui présentent un relief fort. Les valeurs des altitudes maximales, de la Dénivelé et compte tenu de leurs superficies montrent l'importance du volume montagneux et la plus forte incision du relief.

L'étude de la répartition des altitudes dans tous les bassins montre une altitude moyenne inférieure à l'altitude médiane, ce qui entraîne une dissymétrie du bassin vers les hautes altitudes avec une pente globale forte favorisant le ruissellement au profit de l'infiltration.

CHAPITRE II

Hydroclimatologie

1. INTRODUCTION

Du fait de sa situation géographique l'Algérie se caractérise par trois types de climat distinct répartie de la manière suivante: climat méditerranéen au Nord, semi-aride au centre (haut plateaux) et aride au Sud (le grand Sahara).

La zone d'étude fait partie du grand système hydraulique Cheliff-Zahrez situé au Centre Ouest de l'Algérie du Nord. Le climat du Chélif se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides et peut être appelé méditerranéen semi-aride (Gomer, 1994). Les conditions climatiques jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique et hydrogéologique du bassin.

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH de Blida, fig. 12).

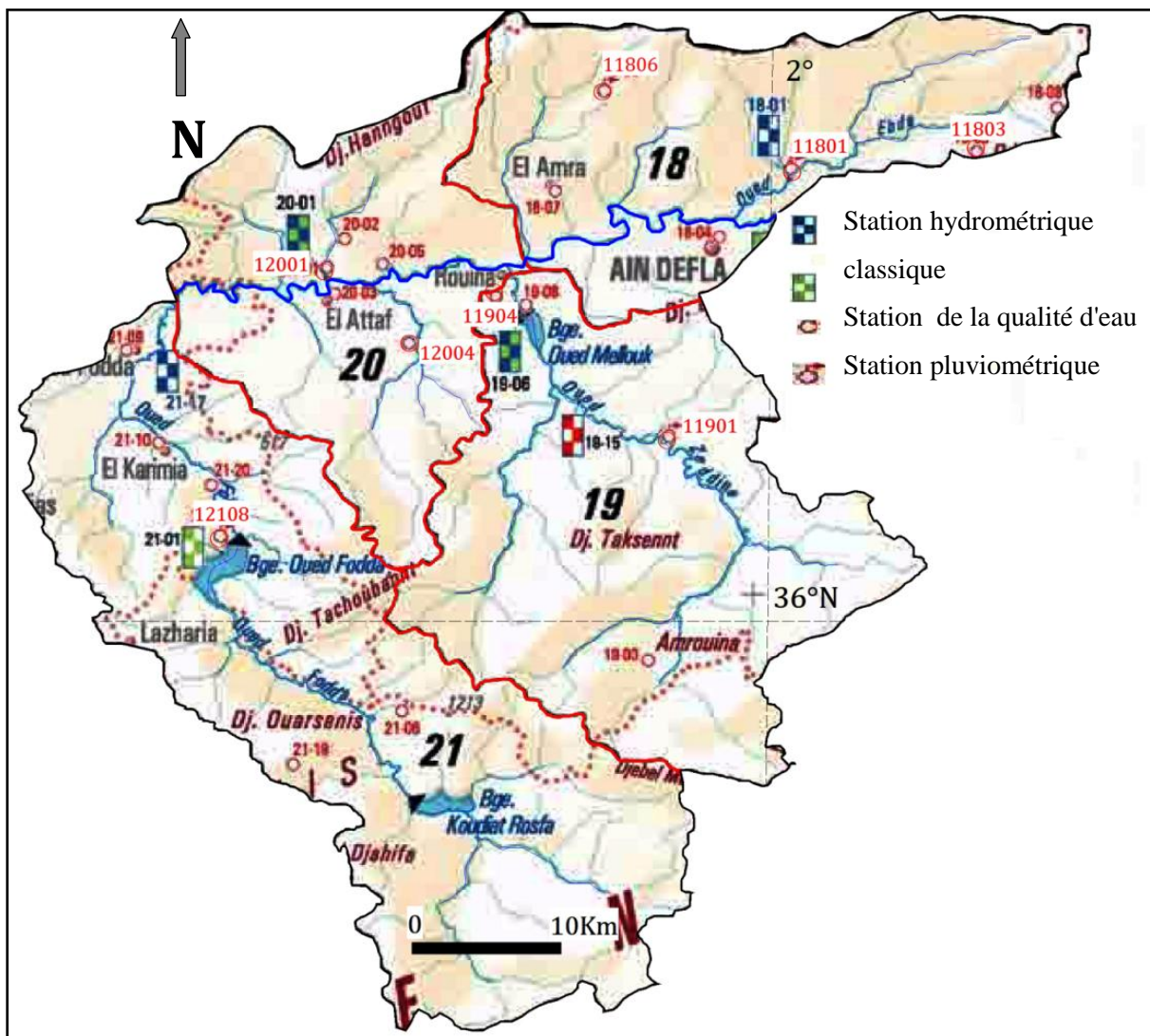


Figure 12: Position des postes pluviométriques de la zone d'étude, (extrait de la carte du réseau hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux ANRH).

L'équipement climatologique du bassin est cependant loin d'être satisfaisant. Le manque de documentation est flagrant, les longues séries d'observation sont rares. Les séries pluviométriques présentent des lacunes et des irrégularités temporelles.

2. ETUDE DES PRECIPITATIONS

Pour une bonne représentation de notre région d'étude, le réseau de mesures comporte plusieurs stations qui couvrent presque tout le secteur d'étude.

Nous avons retenus 09 stations, dont 08 sont situés à l'intérieur de la zone d'étude (Tableau 01 Annexes).

Tableau 10 : *Caractéristiques des stations pluviométriques (Source ; ANRH).*

<i>STATION</i>	<i>Code</i>	<i>X (Km)</i>	<i>Y (Km)</i>	<i>Z (m)</i>	<i>P (mm)</i>	<i>Période d'observation</i>
Arib Ebda	11801	439.65	335.55	280	521	1968 - 2013
Sidi Medjahed	11803	452.15	337.05	850	669,75	1968 - 2013
El Anneb	11806	427.2	342.95	1078	579,54	1973 -2010
Touaibia	11901	430.85	313.35	350	314,42	1970 - 2013
Rouina Mairie	11904	419.8	327.3	190	419	1968 - 2013
El-Abadia	12001	407.85	327.3	162	360,43	1973 - 2013
Tikzal	12004	414.35	321.7	320	423	1973 - 2013
O. Fodda Barrage	12108	402	305.6	430	423,45	1973 - 2013
Ponteba Barrage	12203	393,9	327,4	140	412,6	1970 - 2011

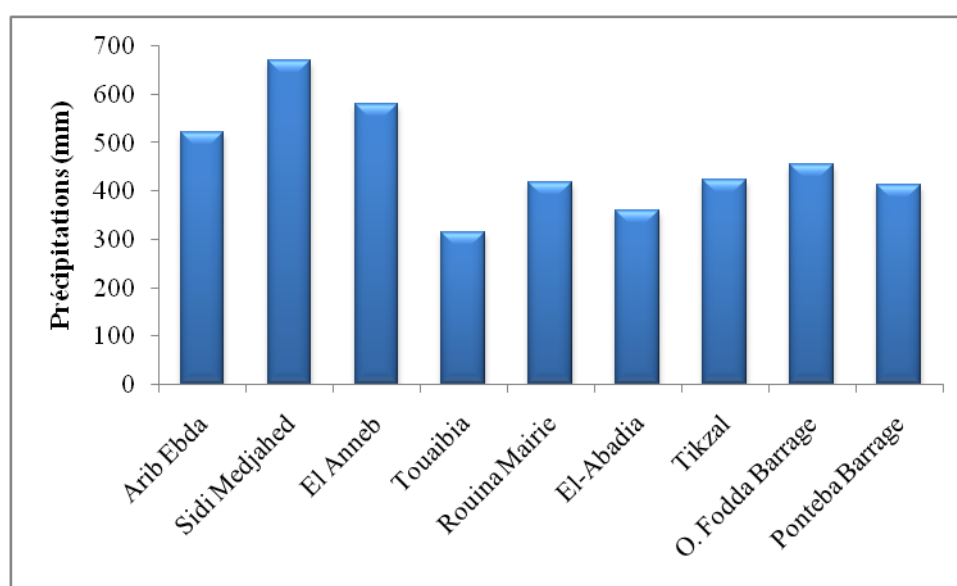


Figure 13: Précipitations moyennes annuelles des stations de la région.

La distribution des pluies est très marquée spatialement, au Nord de la zone d'étude, les précipitations interannuelles sont très importantes (Sidi Medjahed; 669.75mm et El Annab; 559.54 mm). Elles diminuent graduellement vers le centre (Rouina Mairie; 419 mm). En effet, la pluie diminue à mesure qu'on s'éloigne du littoral à cause de l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau, lors du passage des courants aériens qui abandonnent leur pluie en franchissant les chaînes montagneuses, tel est le cas de la station de Arib Ebda située à une altitude de 280 m qui ne reçoit que 521 mm, alors qu'à une dizaine de km seulement au Nord Est, la station de Sidi Medjahed est plus arrosée et reçoit 669,75 mm (fig13).

2.1. Variations spatio-temporelles des précipitations annuelles

L'interprétation des graphiques représentant les chroniques de précipitations annuelles sur les stations pluviométriques fait ressortir que d'une manière générale, les précipitations se caractérisent par leur irrégularité interannuelle. En outre, elles marquent une nette variation entre ces stations. Ceci est dû, d'une part, à l'influence de la mer et d'autre part, à l'effet du contraste orographique et l'orientation des versants (Fig.14, 15 et 16).

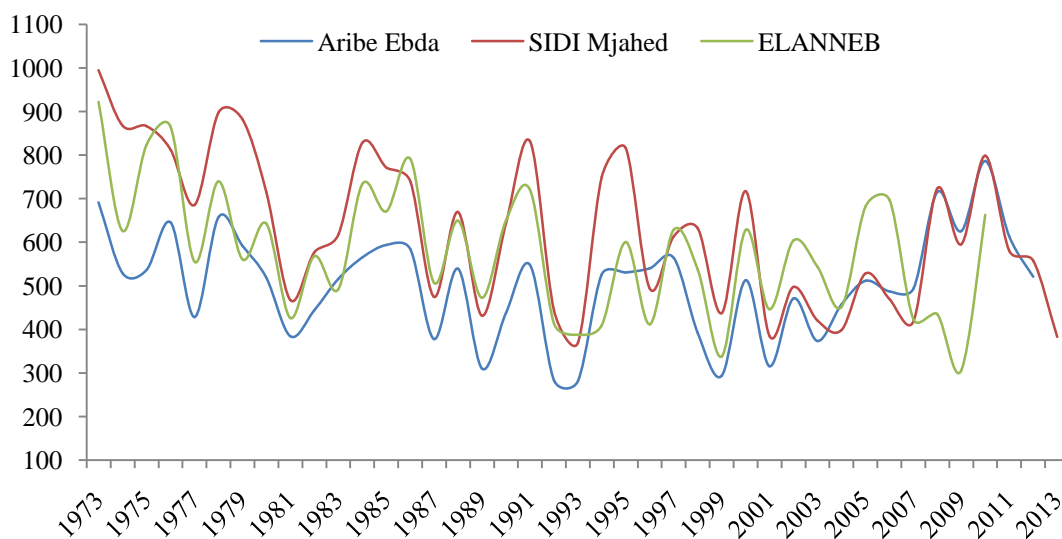


Figure14 : Chroniques pluviométriques des stations d'Aribes, Sidi Mjahed et El Anneb.

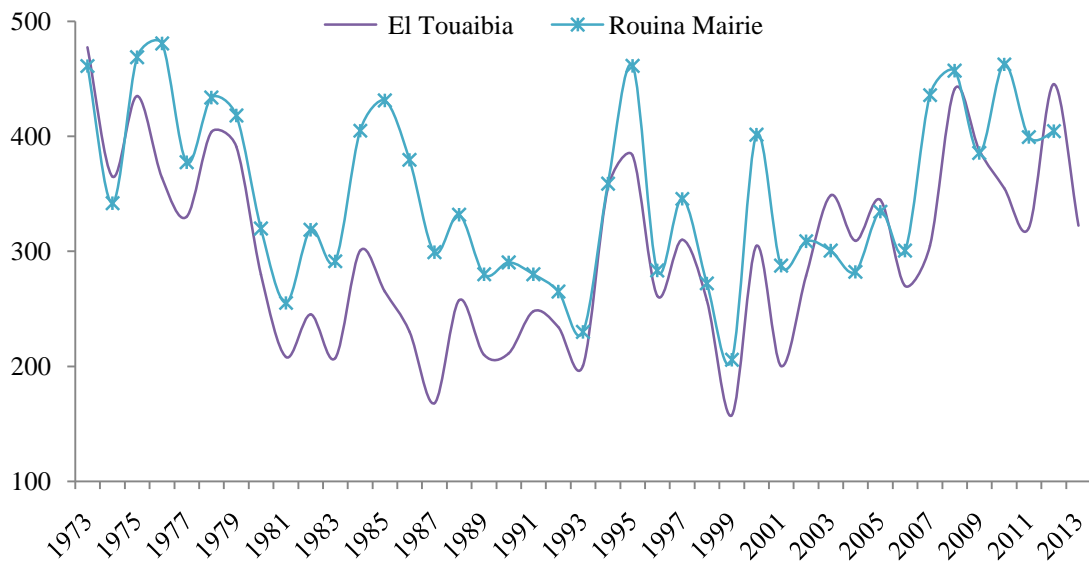


Figure 15: Chroniques pluviométriques des stations d'El Touaibia et Rouina Mairie.

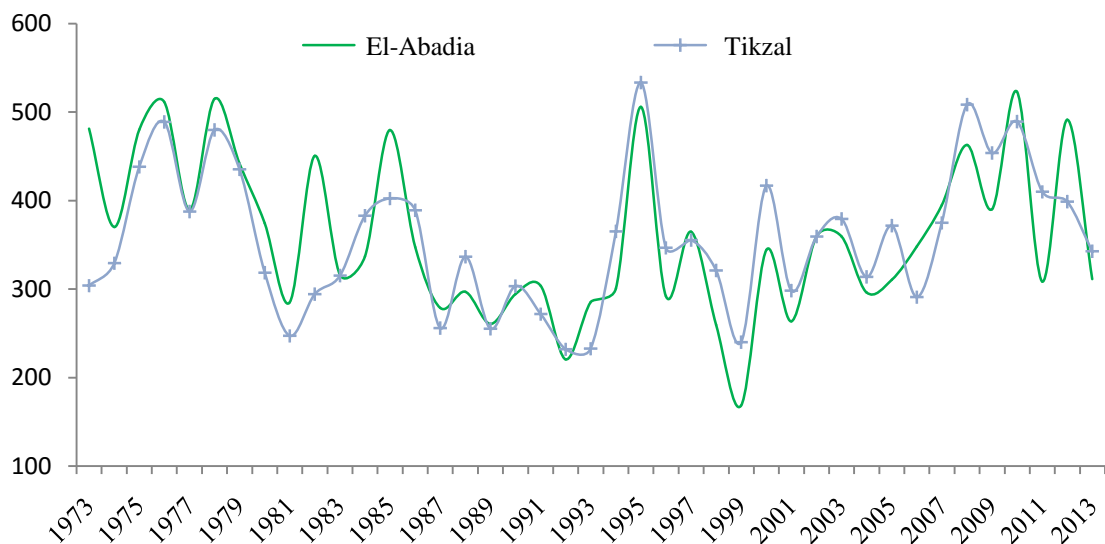


Figure 16: Chroniques pluviométriques des stations d'El Abadia ; et Tikezal.

Tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie montrent que la répartition de la pluie subit trois influences, celle de l'altitude, les conditions topographiques, de la longitude et enfin celle de l'éloignement à la mer.

Ainsi, P. Seltzer (1946) a montré que la répartition des pluies en Algérie obéit aux trois lois suivantes :

- La hauteur de pluie augmente avec l'altitude, elle est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides que sur les versants sous le vent.
- Elle augmente de l'Ouest à l'Est.

- Elle diminue à mesure que l'on s'éloigne du littoral.

La carte des pluies interannuelles (A.N.R.H période 68-01) dans le bassin de Chélif met en évidence la répartition des hauteurs de pluies. En effet, la pluie diminue à mesure que l'on s'éloigne de la mer à cause de l'appauvrissement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau, lors du passage des courants aériens qui abandonnent leur pluie en franchissant les chaînes montagneuses.

Dans le Moyen Chélif, une concentration des précipitations sur les versants Sud des monts du Dahra et du Zaccar, avec une moyenne interannuelle de plus de 600 mm (stations Sidi Medjahed et El Anneb). Les précipitations se réduisent dans la plaine du Haut et Moyen Cheliff où elles varient entre 300 et 400 mm, et dans le Sud du bassin où elles atteindraient plus de 500 mm.

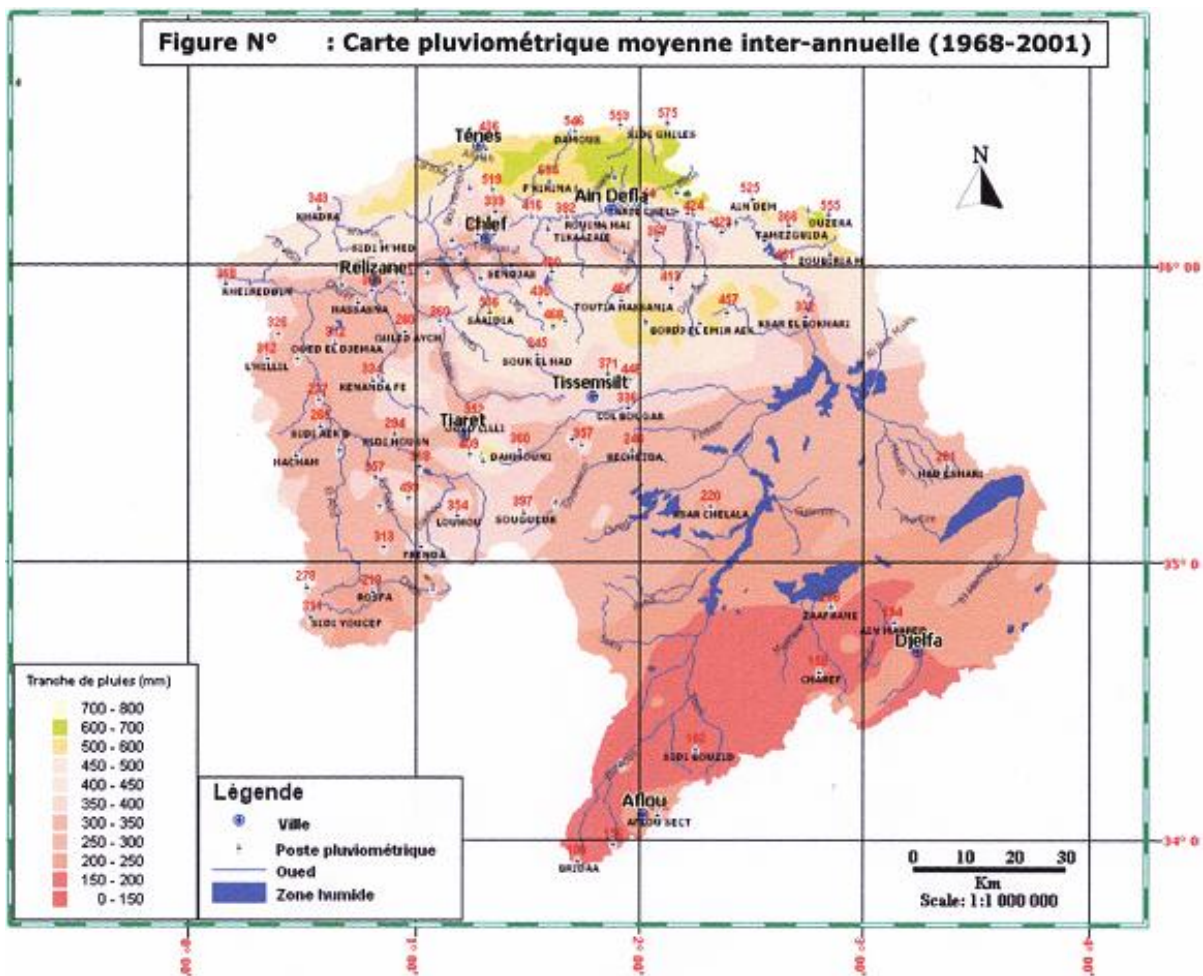


Figure 17: Carte des pluies interannuelles (A.N.R.H 2001).

2.2. Evaluation de la lame d'eau moyenne précipitée sur les bassins

Pour évaluer la lame d'eau moyenne précipitée dans un bassin, il existe plusieurs méthodes (Méthode de profil, des isohyètes, et de Thiessen).

Pour notre étude il y a un manque flagrant de stations pluviométriques à l'intérieur et à l'extérieur des bassins sauf le bassin de Rouina pour lequel nous pourrions utiliser la méthode de Thiessen.

a. Méthode de Thiessen

C'est une méthode géométrique qui consiste à diviser la surface du bassin en polygones, on attribue à chaque poste un poids proportionnel à une zone qui soit plus près en distance horizontale du pluviomètre correspondant que tout autre pluviomètre.

- Si P1, P2, et, Pn sont les pluies moyennes tombées sur des polygones de surface A1, A2, A3 et An ; la pluie moyenne tombée sur l'ensemble du bassin versant sera égal à :

$$P_{\text{moy}} = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{A}$$

Avec :

- P moy : précipitation moyenne sur le bassin ;
- A : aire totale du bassin (= à Ai) ;
- Pi : précipitation enregistrée à la station i ;
- Ai : superficie du polygone associée à la station.

Tableau 11 : Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin de "Rouina" par la Méthode de Thiessen

N° du polygone	Stations	Surface (Ai) des polygones Km ²	Précipitations Annuelles (mm)	Ai/An coef.de pondération
A1	Touabia	396	314,42	0.46
A2	Rouina-Mairie	101,5	419	0.12
A3	Ain-defla	11	503	0.01
A4	Oued fodda	86	423,45	0.10
A5	Tarek ibn ziad	57	574	0.06
A6	Theniad el had	221	573	0.25

$$An = \sum_{i=1}^6 Ai = 872,5 \text{ Km}^2$$

$$P_{\text{moye}} = 422,16 \text{ mm}$$

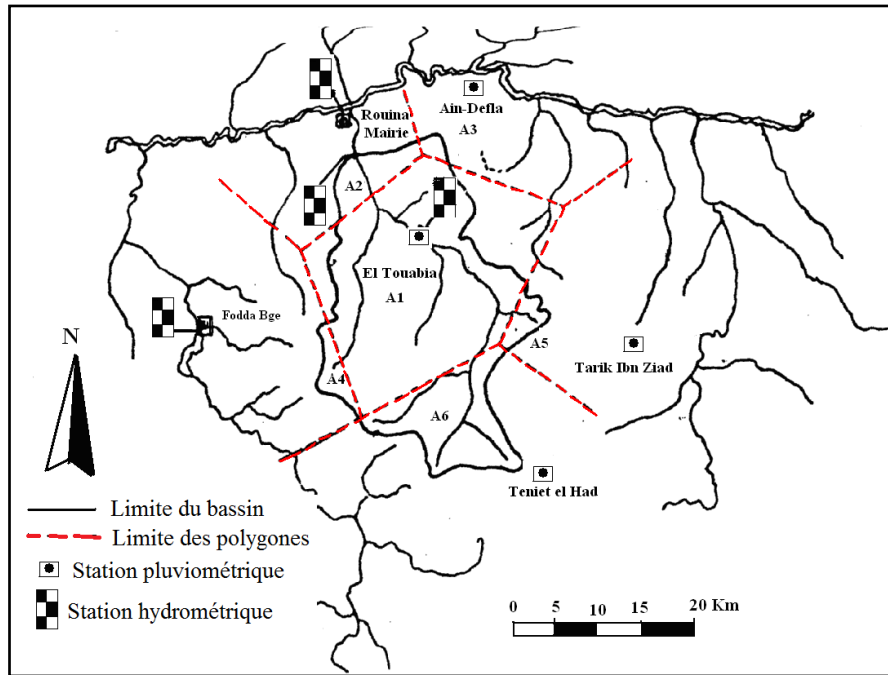


Figure 18: Méthodes des polygones de THIESSEN du Bassin de Rouina (M, Ramoun 2005).

b. La méthode des isohyètes

La représentation spatiale de la pluie, à partir des représentations ponctuelles peut se faire par les méthodes d’interpolations en utilisant l’outil informatique. La représentation des précipitations moyennes interannuelles est figurée ci-dessous.

La mesure des fractions de surfaces élémentaires entre les courbes isohyètes a été faite sur le logiciel AUTO CAD.

La pluie moyenne peut être calculée de la manière suivante :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^K A_i \cdot P_i}{A}, \quad \text{avec} \quad P_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

Avec : **P moy** : précipitation moyenne sur le bassin ;

A : surface totale du bassin ;

Ai : surface entre deux isohyètes i et i+1 ;

K : nombre total d'isohyètes ;

Pi : moyenne des hauteurs h de précipitations entre deux isohyètes i et i+1.

Bassin	O. Tikezal	O. Rouina	O. Arib-Ebda	O. Fodda
Lame d’eau précipitée estimée	494 mm	433 mm	520 mm	403 mm

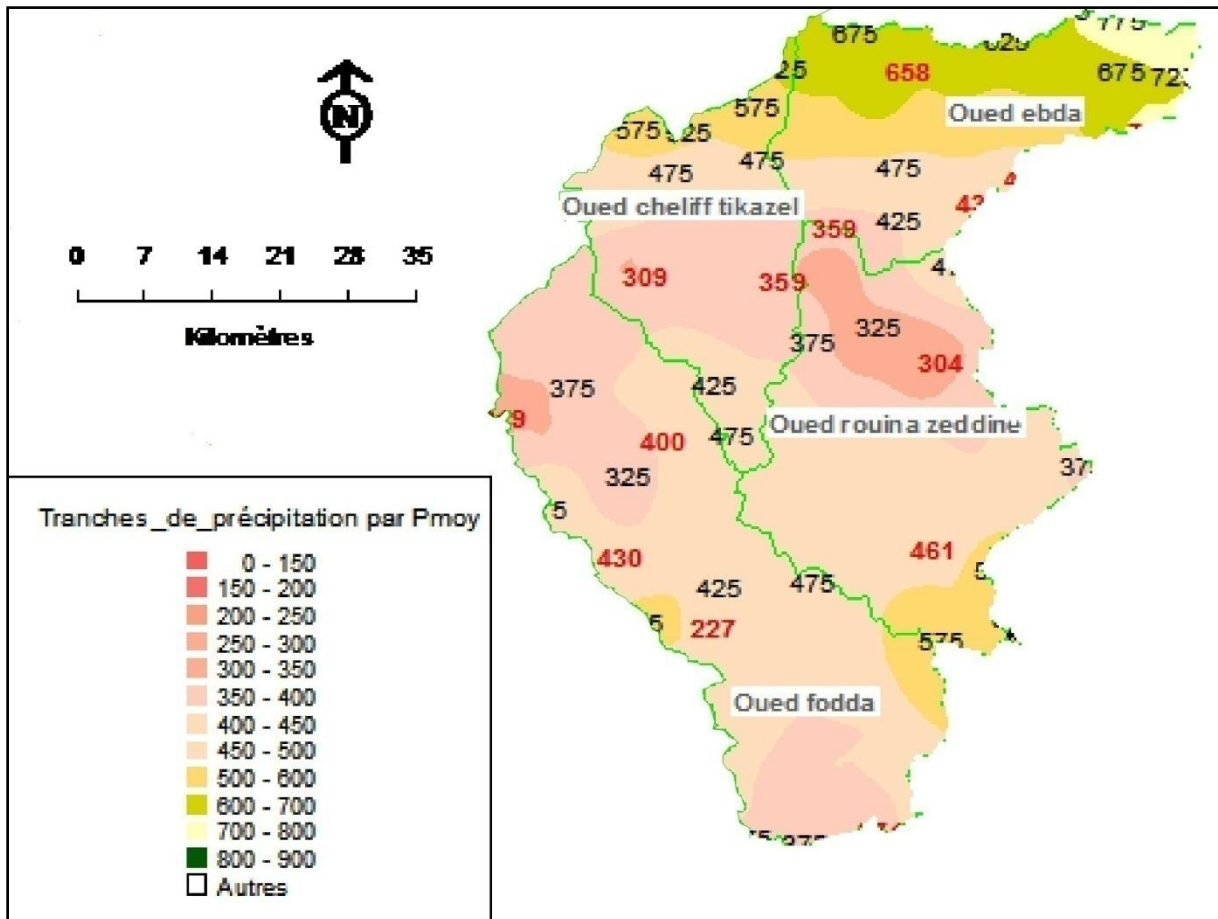


Figure 19: Carte en courbes isohyètes (A.N.R.H).

2.3. Précipitations moyennes mensuelles:

Tableau 12 : Précipitations mensuelles dans les bassins étudié (ANRH 1973-2013).

Mois	Arib -Ebda	Rouina	Tikzal	Oued-Fodda
Septembre	18	13	17	27
Octobre	60	41	47	50
Novembre	70	42	34	45
Décembre	76	64	46	57
Janvier	76	60	47	52
Février	82	58	70	71
Mars	51	62	58	50
Avril	41	34	49	52
Mai	36	30	38	35
Juin	8	12	13	11
Juillet	1	2	3	3
Aout	2	1	1	3

Les valeurs moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période (1973 - 2013) traduisent clairement les variations mensuelles et saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle. Ainsi, on peut distinguer deux périodes distinctes (Fig.20):

- Une période sèche qui correspond à la saison d'été (juin, juillet et août), caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué.
- Une période humide qui correspond au reste de l'année; cependant, il faut souligner que cette période pluvieuse est elle aussi marquée par une succession de mois humides et de mois relativement secs.

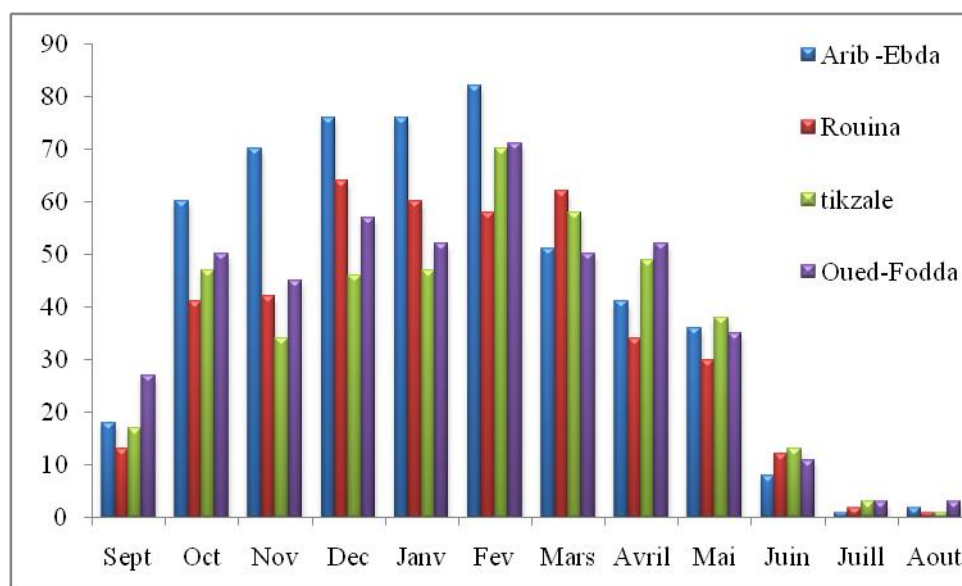


Figure 20: Précipitations moyennes mensuelles (Période 1973-2013).

3. ETUDE DES TEMPERATURES

L'étude de la température est directement liée à l'étude d'autres paramètres tels que la vitesse du vent, insolation Etc.

Tableau 13 : Répartition géographique des températures moyennes (1973-2013 ANRH).

	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	Oct	nov	dec	moy
Arib-Ebda	5	6	9	11	15	20	24	25	20	15	9	6	13,75
Rouina	7	6	9	13	17	21	25	26	22	17	18	8	15,75
Tikezal	11	10	12	13	15,6	18,9	24,6	29	27	24,6	20	14	18,31
Oued Fodda	9,1	10,3	12,6	15,3	19	24	28,5	28,9	25,4	19,1	13,9	9,7	17,98

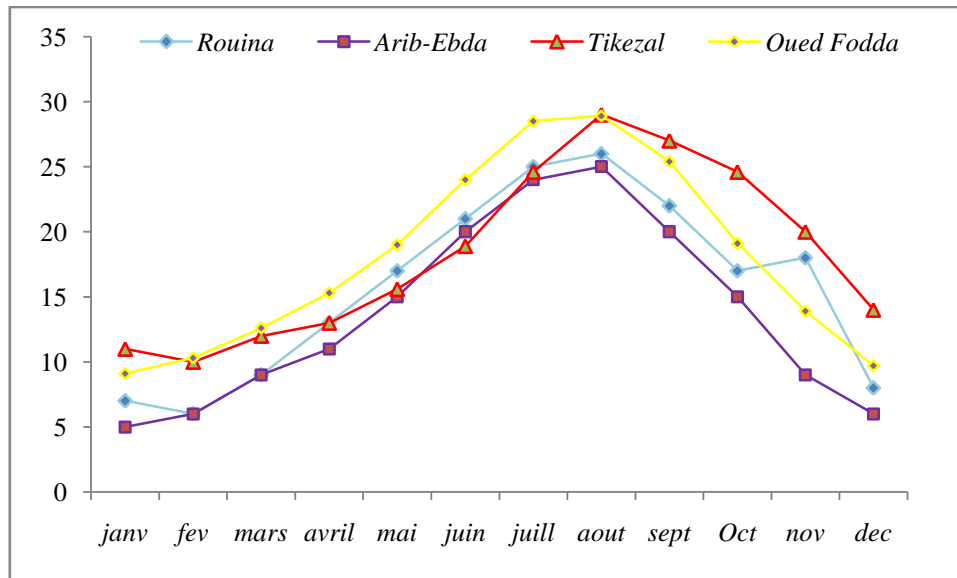


Figure 21: Variation mensuelles des températures (1972/2001).

L'examen de ces données montre que les températures moyennes interannuelles diffèrent légèrement d'un bassin à l'autre. Celles-ci diminuent au fur à mesure que l'on s'éloigne du centre de la zone d'étude (Tikezal 18,31°C) vers le Nord (Arib- Ebda 13,75°C) et augmente vers l'Ouest (Oued Fodda 17,98°C). Les températures moyennes varient entre 6° et 12° pour janvier et 24° à 30° pour les mois d'août (Fig. 21).

4. PRESSIONS ET VENTS

Selon M .YACONO le régime des pressions dans la vallée du Chélif, est marqué par un sillon de basses pressions diurnes et par la prédominance du calme atmosphérique. Dans la vallée du Cheliff, les pressions atmosphériques, sont plus élevées le matin (à 7 h), que sur le littoral. La situation s'inverse à 13 heures car l'abaissement absolu est très important dans le Cheliff et assez faible sur le littoral (mai et juin). Ce phénomène explique l'importance de certains vents locaux (vent du Nord à la ville de Chlef, vent d'Est à Ain Defla, vent du Nord – Ouest à Relizane et du Nord-Est à Khemis – Miliana) qui n'apparaissent que l'après - midi et expliquent en partie l'aridité du pays, les courants ascendants chauds existant dans l'axe de la vallée empêchant la condensation des nuages.

Le siroco se fait sentir assez souvent en période d'été. Nous pouvons nous référer aux données de P.Seltzer effectuées en 1938 à la station de Chlef. Ces résultats donnent la moyenne mensuelle de la vitesse des vents en trois heures différentes de la journée (Km/heure).

Tableau 14: Tableau récapitulatif de la vitesse des vents d'après P. Seltzer (1913-1938).

Vents Km/h	janv	Fev	Mars	avril	mai	Juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec	moy
7h	41	29	31	34	30	38	35	26	23	28	36	10	33.3
13h	37	35	35	38	32	31	34	30	28	36	32	37	34
18h	30	29	26	31	25	22	18	18	20	27	27	29	25

5. EVAPORATION, EVAPOTRANSPIRATION ET DEFICIT D'ALIMENTATION

L'évaporation désigne les pertes en eaux par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

La carte d'évapotranspiration, établie par l'ANRH (2002), montre que la tranche d'eau évaporée annuellement est presque toujours supérieure à la quantité totale de pluie tombée et cet excès croît avec l'aridité du climat.

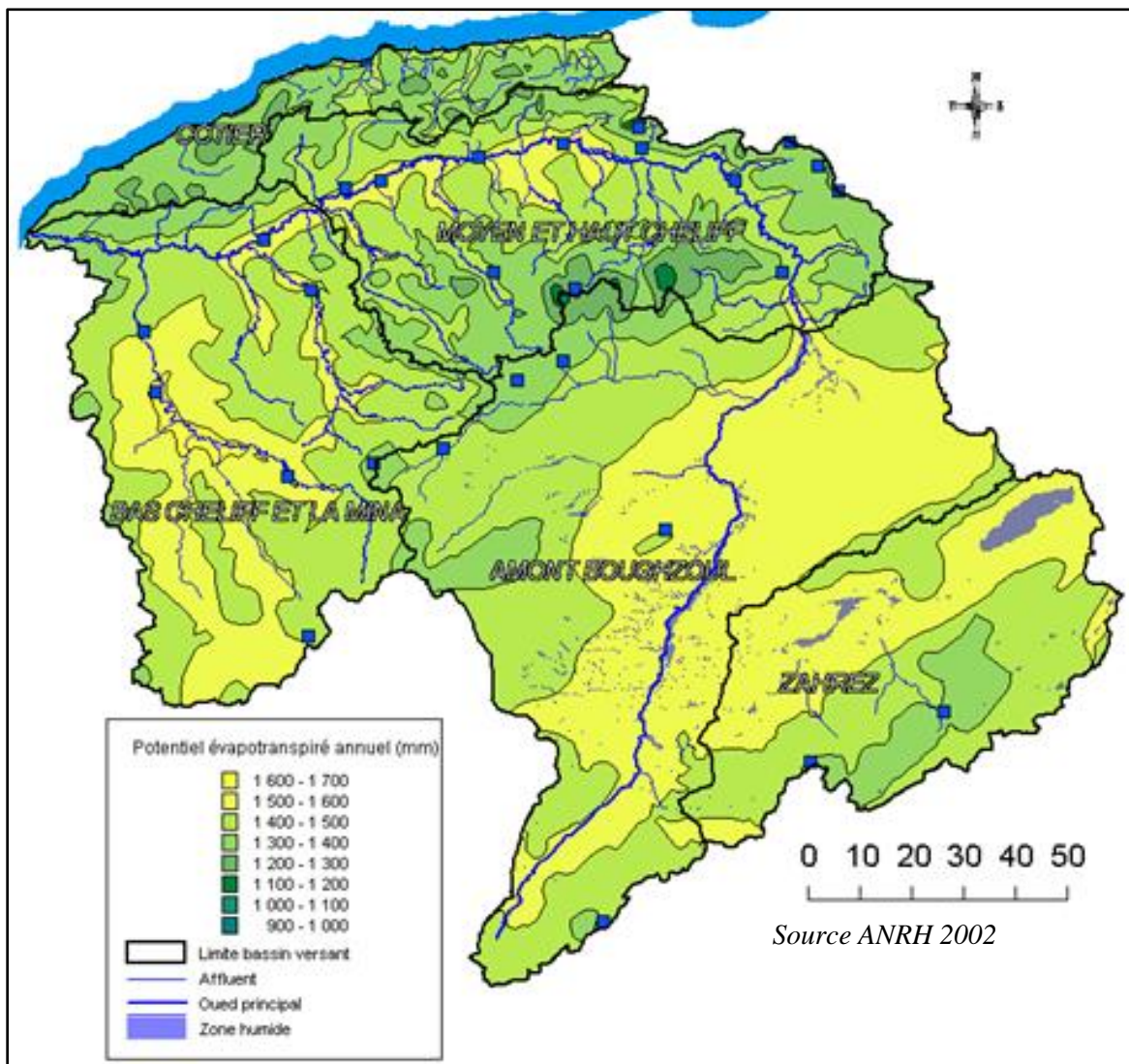


Figure 22: Variation du potentiel évapotranspiré annuel dans le bassin de Chéelif - Zahrez(ANRH).

5.1. Evapotranspiration réelle et déficit d'écoulement

Le déficit d'écoulement ou évaporatoire total ou encore évapotranspiration réelle est la différence exprimée en hauteur de lame d'eau entre les précipitations, hauteur moyenne annuelle des précipitations sur le bassin (P) et la hauteur moyenne annuelle de la lame d'eau uniformément répartie sur le bassin, il représente le volume total débité par le cours d'eau à l'exutoire (Q) et englobe les deux paramètres de l'évapotranspiration et de l'infiltration :

$$D = P - Q$$

a). Méthode de COUTAGNE

Cette méthode consiste à déterminer le déficit d'écoulement en fonction du paramètre (λ) qui est calculé à partir de la température moyenne annuelle, la formule de M.COUTAGNE, est la suivante :

$$D = \bar{P} - \lambda P^2 \quad \text{Avec} \quad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} \quad \text{et} \quad 1/8\lambda < P < 2\lambda$$

Tableau15: Déficit d'écoulement d'après la formule de M.COUTAGNE.

Bassins	p	T (°C)	λ	D (m)	D (mm)
Arib-Ebda	0.521	13.75	0.369	0.420	420.0
Rouina	0.419	15.3	0.99	0.245	245.0
Tikezal	0.423	18.30	0.2974	0.369	369.0
O. Fodda	0.456	17.9	0.295	0.395	394.7

b). Méthode de TURC

Cet auteur définit le déficit d'écoulement en fonction d'un paramètre (L) et de la précipitation moyenne annuelle.

$$D = \frac{\bar{P}}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Tableau 16: Déficit d'écoulement d'après la formule de "M. TURC".

Bassins	P (mm)	T (°C)	L	D (mm)
Arib-Ebda	521	13,75	760,6	445
Rouina	419	15,3	861,6	393
Tikezal	423	18,30	1063,92	411
Oued Fodda	456	17,9	1034,26	436

c). Méthode de WUNDT

Cet auteur définit le déficit d'écoulement en fonction de 02 paramètres la précipitation moyenne annuelle et la température moyenne annuelle. Les résultats sont obtenus à l'aide de l'abaque de WUNDT modifié par M COUTAGNE, le déficit obtenu évolue entre 300 < D < 600 mm.

Tableau 17: Déficit d'écoulement par la méthode de WUNDT.

	Arib- Ebda	Rouina	Tikezal	Oued-Fodda
T°C	13,75	15,3	18,3	17.9
Précipitation (mm)	512	419	421	456
Déficit d'écoulement (mm)	580	420	492	450

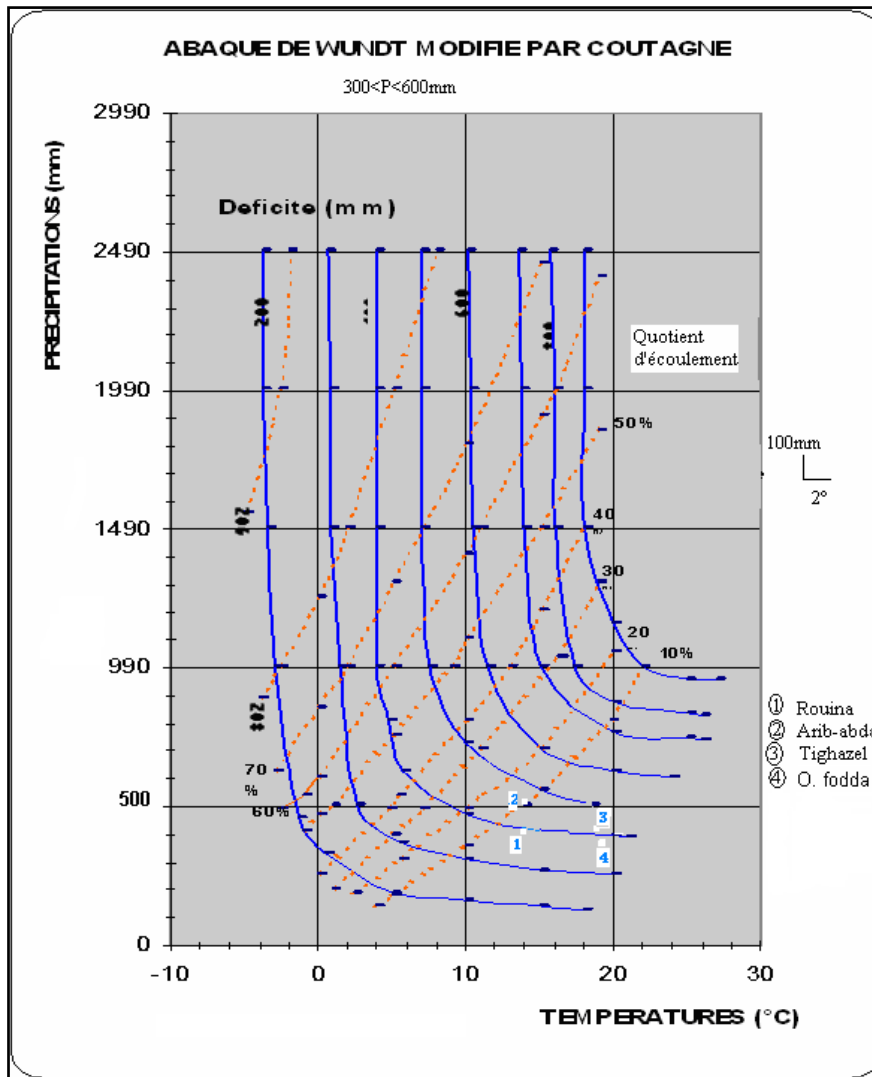


Figure 23: Abaque de WUNDT modifiée par COUTAGNE.

d). Méthode de THORNTHWAITE

La méthode de THORNTHWAITE permet de calculer ponctuellement le bilan d'eau mensuel et annuel à partir des valeurs mensuelles des précipitations et des valeurs moyennes mensuelles des températures.

d.1). Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

De nombreuses formules empiriques permettent l'évaluation de ce paramètre, on peut citer : la méthode de Turc, Coutagne, Primault et la méthode de Thornthwaite.

Dans notre étude, la méthode mise au point pour l'estimation de l'ETP est celle de C.W. Thornthwaite (Tableau 18), dont la formule est:

$$ETP = 16 \left[\frac{10t}{I} \right]^a$$

Avec :

- ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (en cm) ;
- T : température moyenne mensuelle (en °C) ;
- I : indice thermique annuel: $I = \sum_{i=1}^{12} i$
- i : indice thermique mensuel: $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$
- a : coefficient fonction de I: $a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49$
- K = coefficient de correction dépendant de la latitude et il est donné par une table.

d.2). Calcul de évapotranspiration réelle mensuelle et annuelle

Partant de l'évapotranspiration potentielle (ETP), on peut passer au calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR). On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie P du mois, de l'ETP et de la réserve facilement utilisable RFU. On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette dernière peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée

par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0mm à 200mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100mm).

* Plusieurs cas peuvent se présenter :

• Si $P > ETP$ alors : $ETR = ETP$. Il en reste un excédent ($P - ETP$) qui est affecté en premier lieu à la RFU et si la RFU est complet, à l'écoulement Q .

• Si $P < ETP$: On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

$$ETR = P + \min(RFU, ETP - P), \quad RFU = 0 \text{ ou } RFU + P - ETP$$

• Si $RFU = 0$, la quantité $Da = ETP - ETR$ représente le déficit agricole, c'est-à-dire la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour quelles ne souffrent pas de la sécheresse.

Basins versants	Arib-Ebda	Rouina	Tikezal	Oued Fodda
Reserve utile (ANRH)	90	66	66	84

d.3). Estimation bilan hydrologique selon THORNTHWAITE

Arib- Ebda

Mois	Sept	Oct	nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	annuel
K	1,03	0,97		0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
T(°C)	20	15	9	6	5	6	9	11	15	20	24	25	13,75
P(mm)	18	60	70	76	76	82	51	41	36	8	1	2	521
Etp(mm)	95,6	59	24,9	13,5	10,7	13,6	29,8	42,7	73,9	113,	150,2	149,1	777
RFU(mm)	0	0,7	45,8	90	90	90	90	88,2	50,3	0	0	0	
Etr(mm)	18	59	24,9	13,5	10,7	13,6	29,8	42,7	74	58,3	1	2	347,98
DA(mm)	77,67	0	0	0	0	0	0	0	0	54,99	149,22	147,14	429,02
Ect(mm)	0	0	0	18,29	65,28	68,3	21,1	0	0	0	0	0	173,02

Rouina

Mois	Sept	Oct	nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	annuel
K	1,03	0,97		0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
T(°C)	22	17	18	8	7	6	9	13	17	21	25	26	15,75
P(mm)	13	41	42	64	60	58	62	34	30	12	2	1	419
Etp(mm)	104	64,2	62,	16,	13,3	10,	23,9	46,8	80,1	114	155,1	155,1	846,45
RFU(mm)	0	0	0	47,	66	66	66	53,1	3,04	0	0	0	
Etr(mm)	13	41	42	16,0	13,33	10,1	23,9	46,81	80,15	15,04	2	1	304,38
DA(mm)	91,39	23,25	20,6	0	0	0	0	0	0	99,4	153,1	153,87	541,76
Ect(mm)	0	0	0	0	28,6	47,	38,1	0	0	0	0	0	114,62

<i>Tikezal</i>													
Mois	Sept	Oct	nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	annuel
K	1,03	0,97		0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
T(°C)	27	24,6	20	14	11	10	12	13	15,	18,9	24,6	29	18,31
P(mm)	17	47	34	46	47	70	58	49	38	13	3	1	423
Etp(mm)	139,9	110	65,9	32,6	21,3	17,3	29,8	37,1	57	84,0	141,1	180,6	918,3
RFU(mm)	0	0	0	13	39	66	66	66	46	0	0	0	
Etr(mm)	17	47	34	32	21,3	17,3	29,8	37,1	57	59,2	3	1	357,35
DA(mm)	122,9	63	31,9	0	0	0	0	0	0	24,81	138,13	179,67	560,97
Ect(mm)	0	0	0	0	0	25,61	28,16	11,88	0	0	0	0	65,65

<i>Oued Fodda</i>													
Mois	Sept	Oct	nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	annuel
K	1,03	0,97		0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,2	1,22	1,24	1,16	
T(°C)	25,4	19,1	13,9	9,7	9,1	10,3	12,6	15,3	19	24	28,5	28,9	17,98
P(mm)	27	50	45	57	52	71	50	52	35	11	3	3	456
Etp(mm)	125	69,0	33,6	16,7	15,3	18,9	33,5	51,5	85	133	187,5	180,1	950,7
RFU(mm)	0	0	11,3	51	84	84	84	84	33,	0	0	0	
Etr(mm)	27	50	33	16,	15,3	18,92	33,5	51,57	85,3	44,7	3	3	382,67
DA(mm)	98,44	19,06	0	0	0	0	0	0	0	88,83	184,58	177,15	568,06
Ect(mm)	0	0	0	0	4,32	52,08	16,5	0,43	0	0	0	0	73,33

Tableau 18: Récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique Selon THORNTHWAITE.

Basins versants	p (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	D.A (mm)	Écoulement (mm)
Arib-Ebda	521	776,99	90	347,98	429,01	173,02
Rouina	419	846,14	66	304,38	541,76	114,62
Tikezal	423	918,31	66	357,34	560,97	65,66
Oued Fodda	456	950,74	84	382,68	568,66	114,62

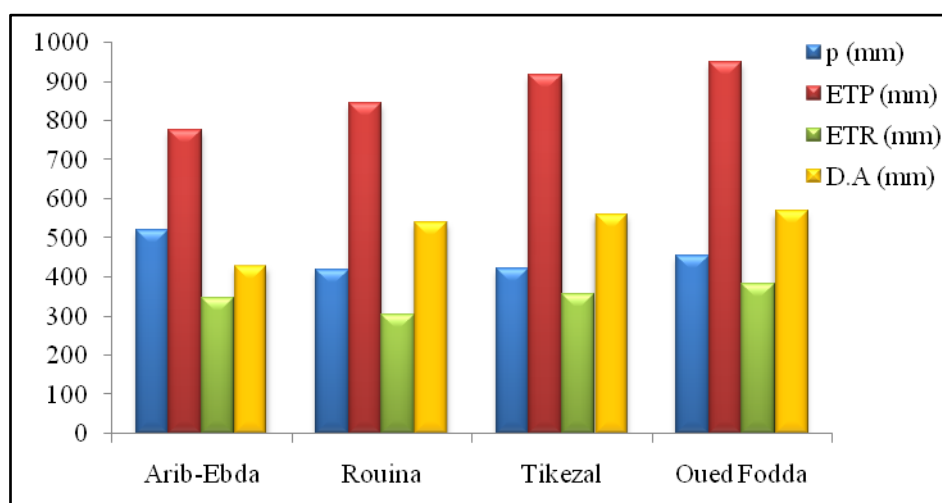


Figure 24: Différents termes du bilan hydrique selon THORNTHWAITE.

e). Méthode de P.VERDEIL

Cet auteur constate que l'étude des écoulements sur les cours d'eau maghrébins montre une relation quasi fonctionnelle entre le déficit d'écoulement et les précipitations, sous réserve que les pluies soient inférieures à 600mm. Il obtient un rapport de corrélation de 0,985.

S'intéressant aux oueds algériens, il prend en compte l'ensemble des données disponibles et a construit sur papier fonctionnel bi logarithmique un abaque donnant le déficit d'écoulement en fonction des précipitations avec une précision de plus ou moins 5%.

Tableau 19 : *Tableau récapitulatif des résultats du Déficit d'écoulement. « P. Verdeil »*

BASSINS	Précipitation (mm)	Déficit d'écoulement (mm)
Arib-Ebda	521	500
Rouina	419	380
Tikezal	423	410
O. Fodda	456	370

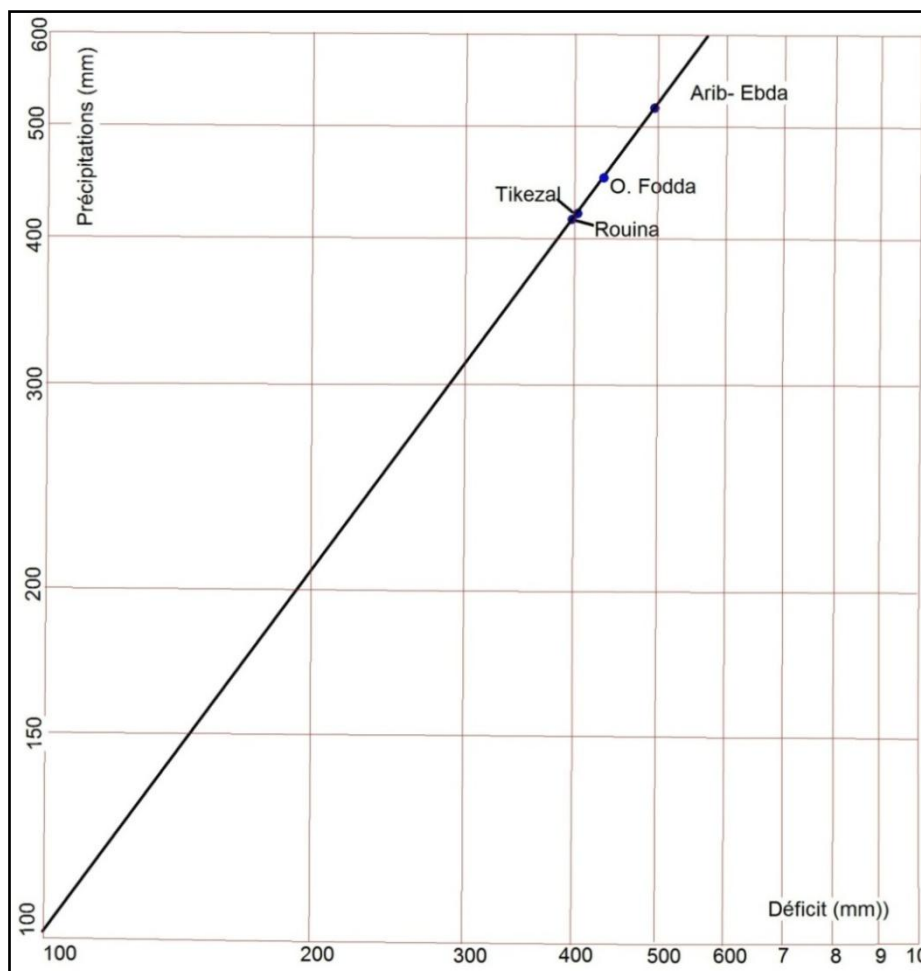


Figure 25: Abaque de Verdeil.

Tableau 20 : *Tableau récapitulatif des résultats du déficit d'écoulement des 05 méthodes.*

BASSINS	COUTAGNE	TURC	WUNDT	VERDEIL	Thorntwaite	Moyenne
Arib-Ebda	420	445	580	500	429.01	486,25
Rouina	245	393	420	380	541.76	359,5
Tikezal	369	411	492	410	560.97	420,5
O. Fodda	394,7	436	450	370	568.66	412,675

Les résultats obtenus avec les méthodes de Turc, Verdeil, Wundt et Thorntwaite sont très proches les uns des autres; la méthode de Coutagne donne en revanche des valeurs beaucoup plus faibles. Pour la suite des calculs, nous retiendrons donc la moyenne arithmétique des trois premières méthodes citées en premier.

6. REGIME CLIMATIQUE ET IDENTIFICATION DU CLIMAT

6.1. Courbes pluviométriques de " GAUSSEN ET BAGNOULS"

Il a été mis au point par (F. Bagnouls et Gausсен.) Pour eux la période sèche est celle où le total moyen des précipitations du mois est inférieur ou égal au double de la température moyenne ($P < 2 \cdot T$) et vis versa, sur ce principe le diagramme est établis en portant les précipitations et les températures en fonction des mois de l'année, tout en prenant en considération que sur l'échelle des ordonnées $P = 2 \cdot T$.

Tableau 21 : *Moyenne mensuelle des précipitations et températures période 1973/2013.*

Bassin		janv	fev	Mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec
Aribe-Ebda	T°C	5	6	9	11	15	20	24	25	20	15	9	6
	P (mm)	76	82	51	41	36	8	1	2	18	60	70	76
Rouina	T°C	7	6	9	13	17	21	25	26	22	17	18	8
	P (mm)	60	58	62	34	30	12	2	1	13	41	42	64
Tikezal	T°C	11	10	12	13	15,6	18,9	24,6	29	27	24,6	20	14
	P (mm)	47	70	58	49	38	13	3	1	17	47	34	46
O. Fodda	T°C	9,1	10,3	12,6	15,3	19	24	28,5	28,9	25,4	19,1	13,9	9,7
	P (mm)	52	71	50	52	35	11	3	3	27	50	45	57

L'examen des diagrammes ombrothermiques de Gausсен (Fig.26), mettent clairement en évidence l'existence de deux périodes, l'une sèche qui s'étale de Mai ou Juin jusqu'au Septembre ou Octobre, pendant lesquels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, la saison excédentaire correspond à Octobre - Avril où Mai selon chaque bassin.

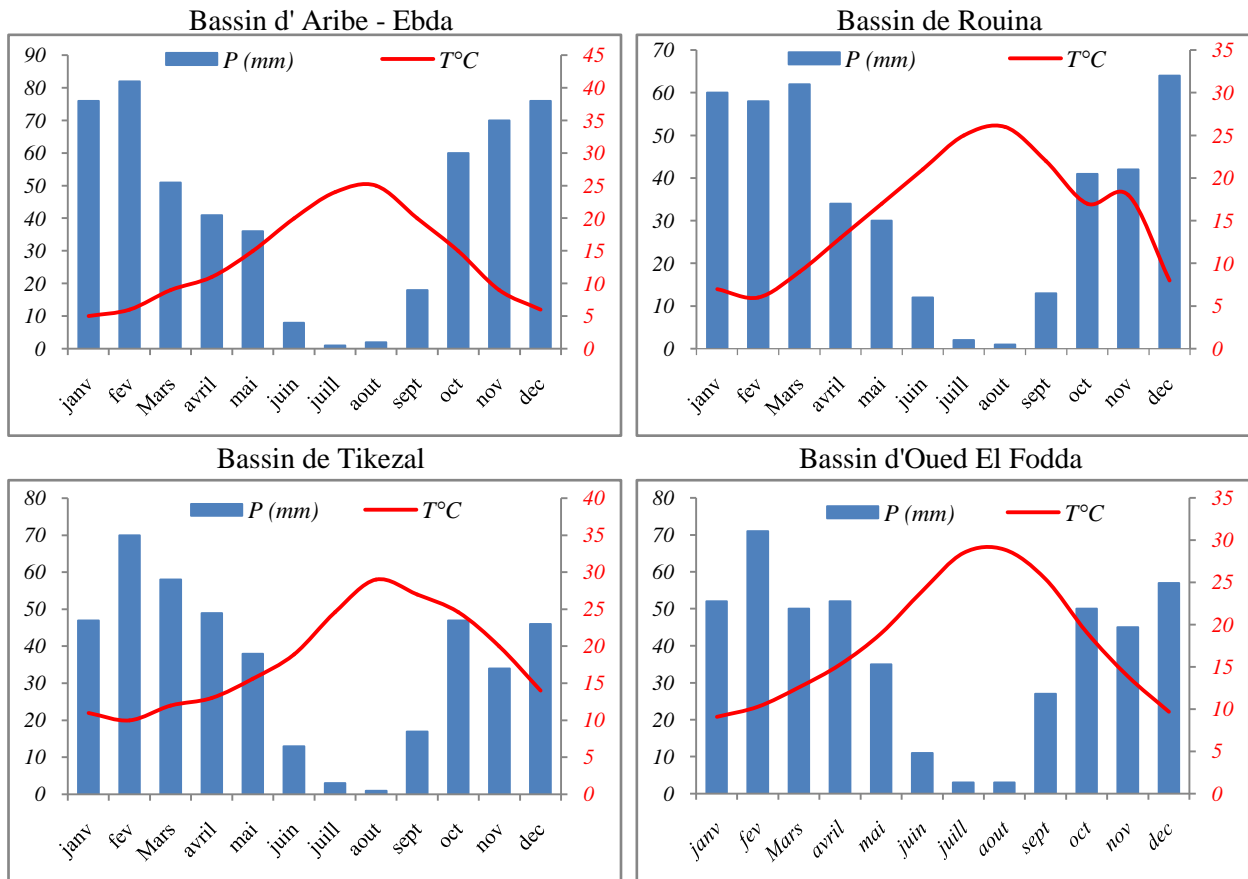


Figure 26 : Diagramme ombrothermique de "GAUSSEN et BAGNOULS".

6.2. Indice d'aridité de De-Martonne (1926)

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne, a défini comme fonction climatologique nouvelle ; l'indice d'aridité du climat par le quotient:

$$IDM = P/(T+10)$$

P = Précipitation annuelle (mm).

T = Température annuel °C.

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Une faible aridité correspondant à des pluies abondantes et/ou des températures basses. De Martonne a proposé des types de climats selon les valeurs de l'indice annuel.

- I < 10 Climat aride, écoulement temporaire ;
- 10 à 20 Climat semi-aride, écoulement temporaire ;
- 20 à 30 Zone tempérée drainage extérieure ;
- 30 à 40 Ecoulements exoréiques.

Tableau 22 : *Indice d'aridité annuel dans la région étudiée d'après " DE MARTONNE ".*

I/Bassins	Arib-Ebda	Rouina	Tikezal	O. Fodda
5 à 10				
10 à 20		16,27	14,94	16,29
20 à 30	21,93			
30 à 40				

D'après ces résultats nous remarquons que 03 bassins, Rouina, Tikezal et Oued Fodda peuvent être classés en zone semi-aride à écoulement temporaire. Le bassin d'Arib-Ebda fait exception, la méthode de "DE MARTONNE" la classe en zone tempéré.

6.3. Indice d'aridité mensuelle

Pour un mois donné caractérisé par une précipitation et une température moyenne P et T, l'indice d'aridité est donné dans la formule ci-dessous. La pluviométrie est multipliée par 12 de façon à obtenir une valeur de l'indice comparable à celle de l'indice annuel.

$$I = \frac{12p \text{ (mm)}}{T(\text{°C}) + 10}$$

P : Précipitation mensuelle en (mm).

T : Température moyenne mensuelle en °C.

Tableau 23 : *Indice d'aridité mensuel.*

Bassin	janv	fev	Mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec
Arib-Ebda	60,80	61,50	32,21	23,43	17,28	3,20	0,35	0,69	7,20	28,80	44,21	57,00
Rouina	42,35	43,50	39,16	17,74	13,33	4,65	0,69	0,33	4,88	18,22	18,00	42,67
Tikezal	26,86	42,00	31,64	25,57	17,81	5,40	1,04	0,31	5,51	16,30	13,60	23,00
Fodda	32,67	41,97	26,55	24,66	14,48	3,88	0,94	0,93	9,15	20,62	22,59	34,72

Le résultat du calcul de l'indice d'aridité, est conforme aux valeurs attendues pour la zone de climat.

6.4. Quotient pluviothermique d'Emberger (1932)

L'indice d'Emberger définit le degré d'humidité du climat. Il prend en compte les précipitations annuelles (P), la moyenne des maxima de température du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima de température du mois le plus froid (m)

Un climat méditerranéen est d'autant moins sec que le quotient est grand.

$$Q_2 = \frac{P}{\frac{M+m}{2}(M-m)} \times 1000$$

P : moyenne annuelle en (mm) ;

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré absolu (°K) ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré absolu (°K).

Tableau 24 : Indice d'EMBERGER.

I/Bassins	Arib-Ebda	Rouina	Tikezal	O. Fodda
Q ₂	134.13	78.65	67.08	101
T° C	5	6	10	9

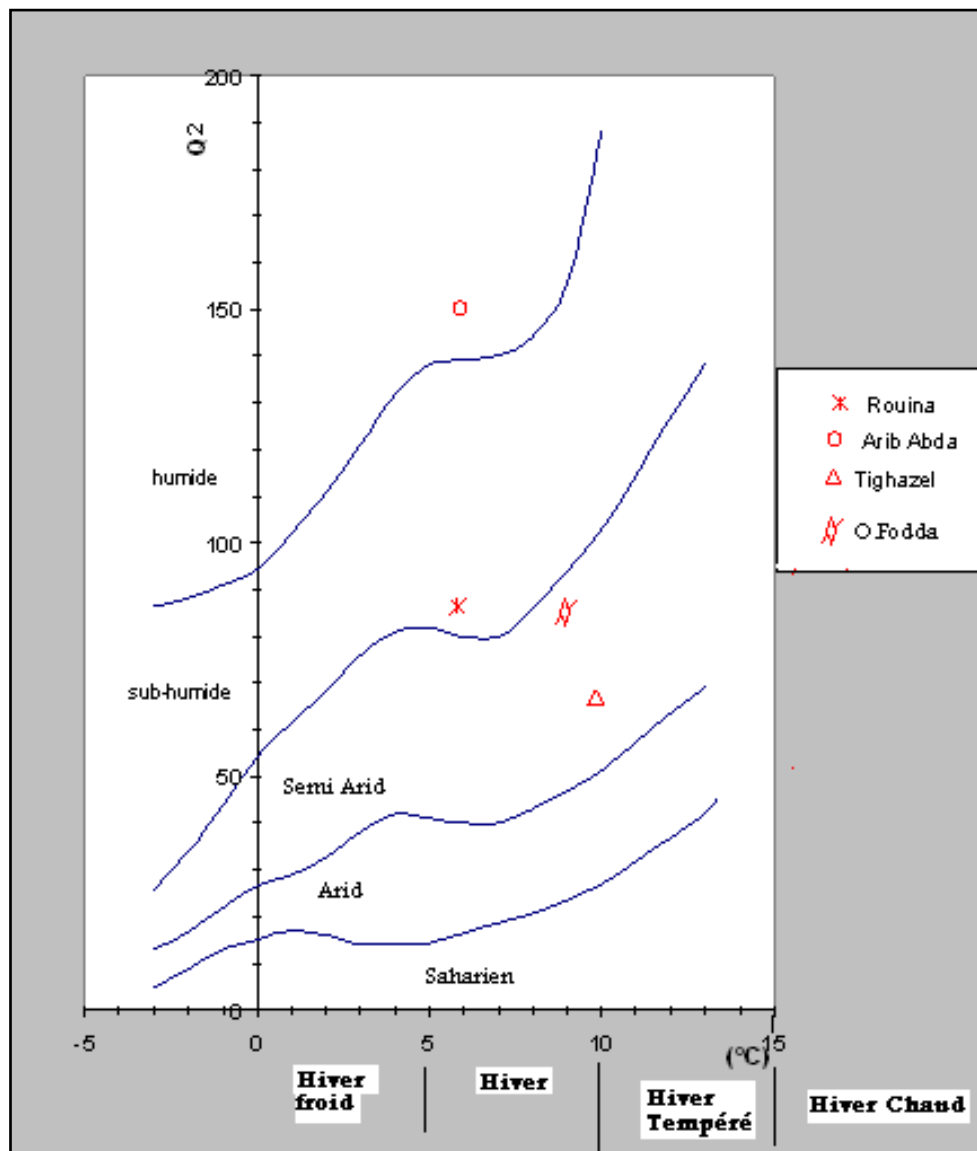


Figure 27: Climmagramme d'EMBERGER.

D'après les résultats obtenus on remarque que tous les bassins sont classés en zone « hiver ». Les bassins de Rouina, Tikezal et Oued Fodda sont caractérisés par un climat semi aride. Le bassin d'Arib-Ebda est classé en climat humide.

6.5. Indice pluviométrique annuel de Moral (1954)

Cet indice est surtout adapté pour la classification des climats dans la zone intertropicale. Pour Moral, la limite entre l'humidité et la sécheresse est donnée par la hauteur des pluies en (mm). (I_M) est inférieur à 1 pour un climat sec et supérieur à l'unité pour un climat humide.

$$I_M = P / T^2 - 10T + 200$$

$I_M < 1$ Climat sec.

$I_M > 1$... Climat humide.

P = hauteur moyenne annuelle des précipitations (mm).

T = température (°C).

Tableau 25 : Résultats de calcul de (I_m) de MORAL.

I/Bassins	Rouina	Tikezal	Arib-Ebda	Oued Fodda
P moy.annuelle	419	423	521	456
T° C	15°75	18°30	13°75	17°9
Indice pluvio Annuelle I_m	1.44	1.202	2.071	1.335

Les résultats obtenus sont tous supérieurs à > 0 caractéristiques d'une année moyenne humide. Le bassin d'Arib-Ebda présente la valeur la plus élevées en raison de sa proximité avec le littoral côtier.

La transposition aux totaux pluviométriques mensuels permet à Moral de distinguer les climats suivants :

$P < 0,05t^2 - t + 10$: mois aride

$0,05t^2 - t + 10 \leq P < 0,10 t^2 - t + 20$: mois sec

$0,10 t^2 - t + 20 \leq P < 0,10 t^2 + t + 30$: mois humide

$0,10 t^2 + t + 30 \leq P$: mois pluvieux

Sur le plan mensuel, on constate que les bassins d'Arib-Ebda et de Rouina présentent les mois les plus pluvieux, ce qui confirme les résultats trouvés par les autres méthodes.

Tableau 26: Résultats de calcul de l'indice pluviométrique mensuel (I_m) de MORAL.

		janv	fev	Mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec
Aribe-Ebda	T°C	5	6	9	11	15	20	24	25	20	15	9	6
	$0,05t^2 - t + 10$	6,25	5,8	5,05	5,05	6,25	10	14,8	16,25	10	6,25	5,05	5,8
	$0,10 t^2 - t + 20$	17,5	17,6	19,1	21,1	27,5	40	53,6	57,5	40	27,5	19,1	17,6
	$0,10 t^2 + t + 30$	37,5	39,6	47,1	53,1	67,5	90	111,6	117,5	90	67,5	47,1	39,6
	P (mm)	76	82	51	41	36	8	1	2	18	60	70	76
	Climat	pluv	pluv	pluv	hum	hum	sec	Aride	Aride	sec	hum	pluv	pluv
Rouina	T°C	7	6	9	13	17	21	25	26	22	17	18	8
	$0,05t^2 - t + 10$	5,45	5,8	5,05	5,45	7,45	11,05	16,25	17,8	12,2	7,45	8,2	5,2
	$0,10 t^2 - t + 20$	17,9	17,6	19,1	23,9	31,9	43,1	57,5	61,6	46,4	31,9	34,4	18,4
	$0,10 t^2 + t + 30$	41,9	39,6	47,1	59,9	75,9	95,1	117,5	123,6	100,4	75,9	80,4	44,4
	P (mm)	60	58	62	34	30	12	2	1	13	41	42	64
	Climat	plu	plu	plu	plu	hum	sec	Aride	Aride	sec	hum	hum	pluv
Tikezal	T°C	11	10	12	13	15,6	18,9	24,6	29	27	24,6	20	14
	$0,05t^2 - t + 10$	5,05	5	5,2	5,45	6,568	8,96	15,65	23,05	19,45	15,65	10	5,8
	$0,10 t^2 - t + 20$	21,1	20	22,4	23,9	28,73	36,82	55,91	75,1	65,9	55,916	40	25,6
	$0,10 t^2 + t + 30$	53,1	50	56,4	59,9	69,9	84,6	115,11	143,1	129,9	115,1	90	63,6
	P (mm)	47	70	58	49	38	13	3	1	17	47	34	46
	Climat	pluv	pluv	hum	hum	hum	sec	Aride	Aride	sec	sec	sec	pluv
O. Fodda	T°C	9,1	10,3	12,6	15,3	19	24	28,5	28,9	25,4	19,1	13,9	9,7
	$0,05t^2 - t + 10$	5,04	5,00	5,33	6,40	9,05	14,8	22,11	22,86	16,85	9,14	5,76	5,00
	$0,10 t^2 - t + 20$	19,181	20,309	23,276	28,109	37,1	53,6	72,725	74,621	59,116	37,381	25,421	19,709
	$0,10 t^2 + t + 30$	47,38	50,90	58,47	68,70	85,1	111,	139,72	142,42	119,9	85,58	63,22	49,10
	P (mm)	52	71	50	52	35	11	3	3	27	50	45	57
	Climat	pluv	pluv	hum	hum	sec	Aride	Aride	Aride	sec	hum	hum	pluv

7. ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE

Le bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations, il comporte trois principaux termes (les entrée, les sorties et les stocks).

L'équation du bilan d'un bassin versant peut s'écrire :

$$P = ETR + R + I$$

- P : précipitations (mm).
- ETR : évapotranspiration réelle (mm).
- R : ruissellement (mm).
- I : infiltration (mm).

7.1. Estimation du ruissellement

Sur les sols peu perméables ou déjà gorgés d'eau par les précipitations précédentes dans lesquels l'eau ne peut s'infiltrer, l'eau de pluie forme une fine pellicule d'eau qui s'écoule le long des pentes et va gonfler les cours d'eau au fond.

❖ *Calcul du ruissellement par la méthode de Tixeront – Berkaloﬀ*

La relation de Tixeront-Berkaloﬀ (1961) permet le calcul approché de cette grandeur. Cette formule a été établie pour les zones semi-arides, les résultats donnent une erreur de 10% pour des précipitations inférieures à 600mm. Elle s'exprime ainsi :

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

- *R* : ruissellement (mm).
- *P* : précipitation moyenne annuelle (mm).
- *ETP* : évapotranspiration potentielle moyenne annuelle calculée par la méthode de Thornthwaite en (mm).

Les résultats obtenus apparaissent dans le tableau ci-dessous :

7.2. Méthodologie de détermination de la lame d'eau infiltrée

La méthode du bilan hydrologique est la méthode la plus utilisée pour la détermination de la lame d'eau infiltrée.

$$I = P - (ETR + R)$$

I: lame d'eau infiltrée (mm) ; *P*: pluviométrie (mm) ;

ETR: évapotranspiration réelle (mm) ; *R*: lame d'eau ruisselée (mm).

Tableau 27 : Résultats du ruissellement et d'infiltration.

Basins versants	p (mm)	Ruissèlement (mm)	ETR (mm)	Infiltration (mm)
Arib-Ebda	521,00	78,08	347,98	94,94
Rouina	419,00	34,25	304,38	80,37
Tikezal	423,00	29,92	357,34	35,74
Oued Fodda	456,00	34,97	382,68	38,35

L'analyse du tableau ci dessus montre que la région d'étude de moyen Chélib oriental reçoit en moyenne entre (419 à 521 mm) de pluie chaque année et l'évapotranspiration réelle (ETR) interannuelle varie de (347 à 304mm). La quantité d'eau ruisselée varie d'un bassin à l'autre (78 à 29 mm). La lame d'eau infiltrée varie de (94 à 35mm).

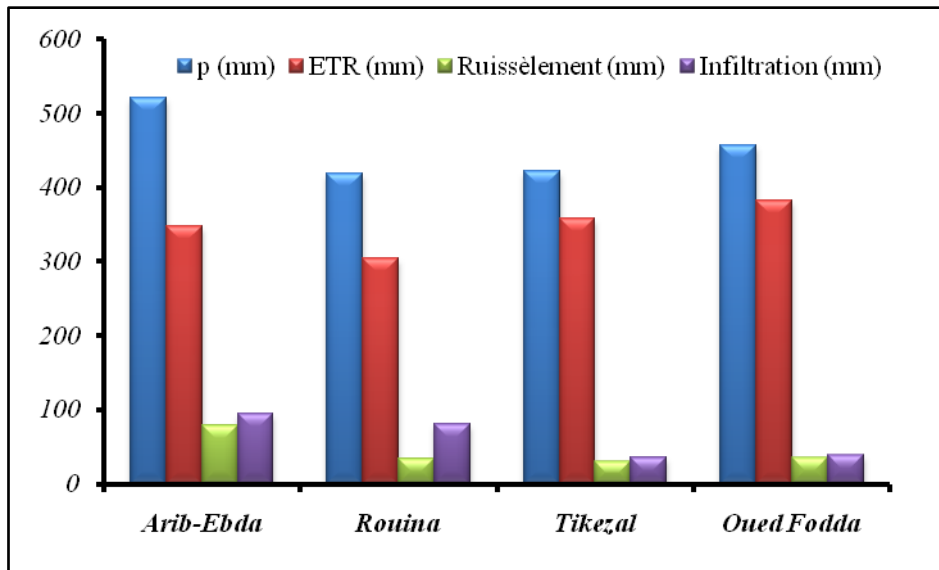


Figure 28: Différents termes du bilan hydrologique, moyen Chélif orientale (1970 - 2013).

8. ETUDE DE COMPORTEMENT HYDROLOGIQUE DU BASSIN

L'écoulement d'un cours d'eau représente la réponse du bassin versant sollicitations externes (précipitation, température, humidité etc...). L'analyse de cette réponse à différentes échelles temporelles représente une étude complète de son régime d'écoulement.

En ce qui concerne l'étude des débits, nous nous sommes basés sur les données de deux stations (une se trouvant à l'aval la station Ponteba défluent et celle d'Arife à l'amont).

8.1. Etude des apports annuels

L'apport annuel au droit d'une station est le volume total écoulé pendant l'année hydrologique, il représente la somme des écoulements superficiels, hypodermiques et souterrains. Ce volume est une variable naturelle qui varie d'une année à l'autre.

Il est nécessaire de faire une analyse statistique des apports annuels afin d'en déduire les caractéristiques qui seront nécessaires à l'élaboration des plans d'aménagements et de faire les prévisions des ressources.

Notre objectif est de quantifier la ressource annuelle en eau de surface de la région sur l'Oued Cheliff.

Tableau 28: Apports annuels en Hm^3/an .

Année	Arib Chélif	Ponteba	Année	Arib Chélif	Ponteba
1969 - 1970	460,72	-	1990 - 1991	49,96	136,33
1970 - 1971	96,22	-	1991 - 1992	232,82	294,34
1971 - 1972	507,57	-	1992 - 1993	18,80	18,46
1972 - 1973	408,77	-	1993 - 1994	7,12	25,89
1973 - 1974	339,53	-	1994 - 1995	176,80	180,5
1974 - 1975	147,64	-	1995 - 1996	115,85	225,04
1975 - 1976	232,71	-	1996 - 1997	24,55	39,18
1976 - 1977	145,81	-	1997 - 1998	24,28	137,87
1977 - 1978	118,44	-	1998 - 1999	79,89	226,30
1978 - 1979	180,22	-	1999 - 2000	28,57	60,54
1979 - 1980	217,67	-	2000 - 2001	63,70	164,39
1980 - 1981	171,43	-	2001 - 2002	20,75	43,74
1981 - 1982	128,39	-	2002 - 2003	73,91	154,23
1982 - 1983	136,35	-	2003 - 2004	71,91	88,88
1983 - 1984	58,79	147,05	2004 - 2005	39,14	103,17
1984 - 1985	142,11	264,70	2005 - 2006	40,84	68,49
1985 - 1986	142,11	377,45	2006 - 2007	36,99	106,74
1986 - 1987	262,64	468,98	2007 - 2008	36,00	120,67
1987 - 1988	54,36	58,7	2008 - 2009	47,81	242,23
1988 - 1989	47,84	511,15	2009 - 2010	73,43	314,16
1989 - 1990	27,03	37,38	2010 - 2011	50,66	359,11
1990 - 1991	49,96	136,33	2011 - 2012	124,08	-

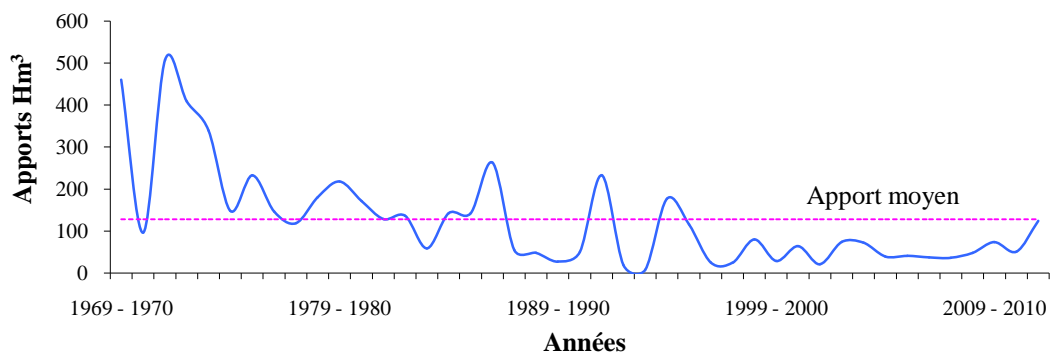


Figure 29: Variations annuelles des Apports à la station d'Arib (1968 à 2012).

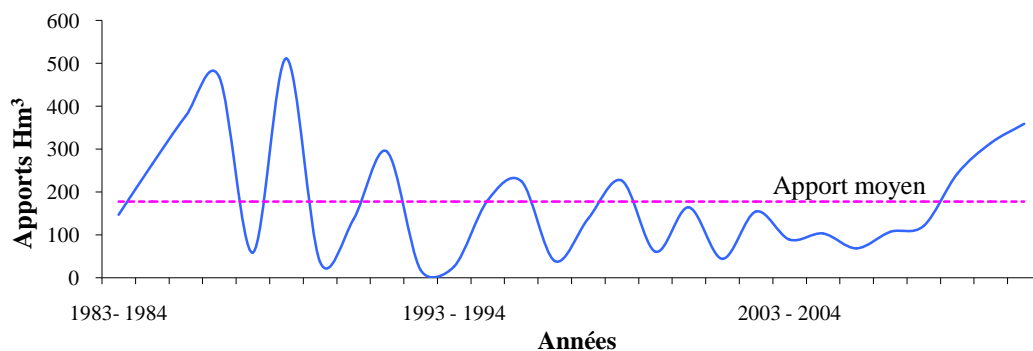


Figure 30: Variations annuelles des Apports à la station de Ponteba (1983 à 2011).

Les graphiques correspondant (Fig. 29 et 30) montrent de fortes fluctuations de débits d'une année à une autre.

8.2. Répartition fréquentielle des Apports

L'étude fréquentielle des modules présente un intérêt indéniable dans le cadre des projets d'aménagements hydrauliques et permet de compléter la connaissance du phénomène d'irrégularité de l'écoulement annuel. Le choix de la période de retour du débit de projet dépend de considérations économiques déterminant l'aménagement mais la précision de l'estimation reste liée à la taille de l'échantillon hydrométrique.

Pour ce faire, nous avons utilisé une période de 28 ans (83/84 à 2010/2011) pour la station de Ponteba défluent, et une période de 43 ans (1969/1970 à 2010/2011) pour la station d'Arib, les séries étant comblées et homogénéisées.

8.2.1. Ajustement à une loi de Gumbel:

L'ajustement de nos séries à une loi de Gumbel, (fig. 31), donne les résultats du tableau suivant :

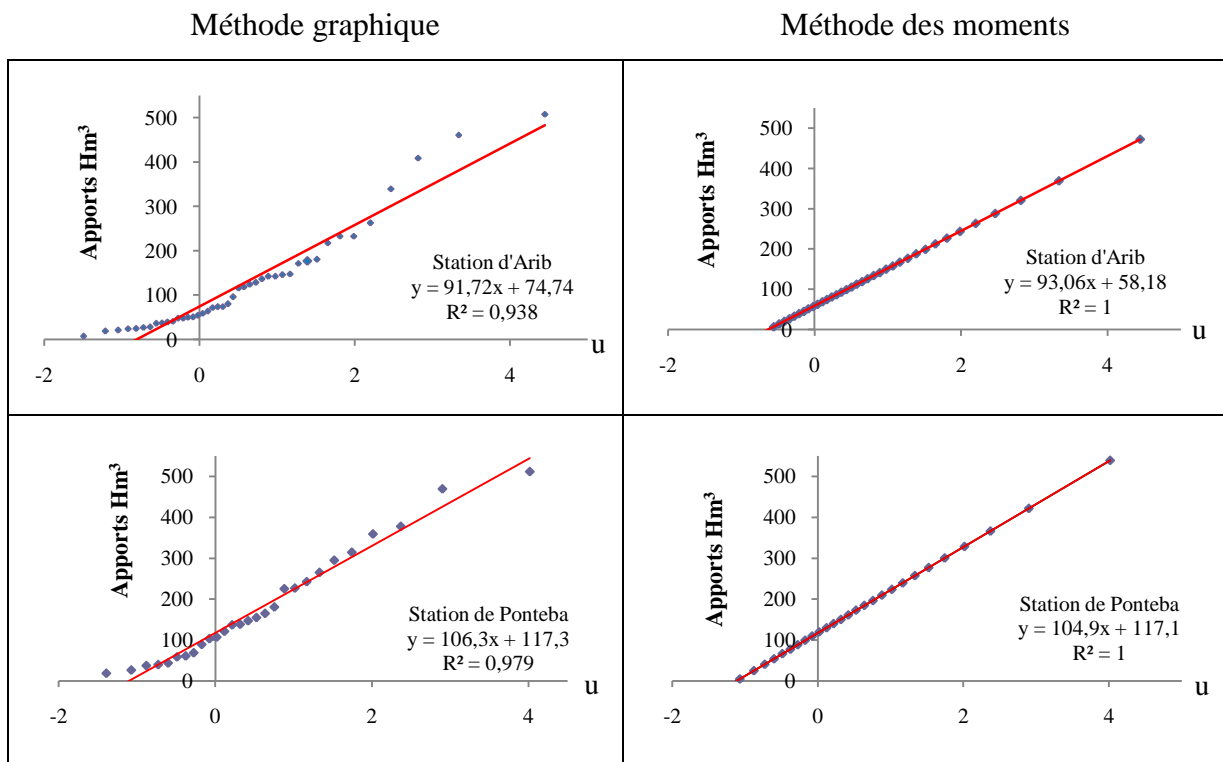


Figure 31: Analyse fréquentielle des Apports observés - Stations (d'Arib et Ponteba)
Ajustement à une loi de Gumbel.

Tableau 29 : Ajustement des Apports à la loi de Gumbel.

Fréquence	U.Gumbel	Apports estimés pour période de retour 'T'			
		Station d'Arib		Station de Ponteba	
		Méthode graphique	Méthode des moments	Méthode graphique	Méthode des moments
0,99	4,60	496,67	486,27	606,30	599,89
0,98	3,90	432,63	421,30	532,08	526,62
0,95	2,97	347,17	334,59	433,03	428,84
0,90	2,25	281,14	267,60	356,51	353,29
0,80	1,50	212,31	197,76	276,74	274,54
0,57	0,58	127,81	112,02	178,80	177,85

L'ajustement par les deux méthodes donne des résultats très proches, l'une de l'autre. La méthode des moments est nettement plus rapide à appliquer, elle présente cependant un désavantage par rapport à la méthode graphique. L'ajustement graphique permet en effet de repérer d'éventuels points qui ne sont pas bien alignés et de ne pas en tenir compte. On pourrait également voir si la série comportait une « rupture » c'est-à-dire un changement de pente et donc un changement des paramètres de la loi statistique. De manière générale, l'ajustement manuel donne souvent beaucoup d'informations sur la série étudiée.

8.2.2 Ajustement à une loi Log-normale

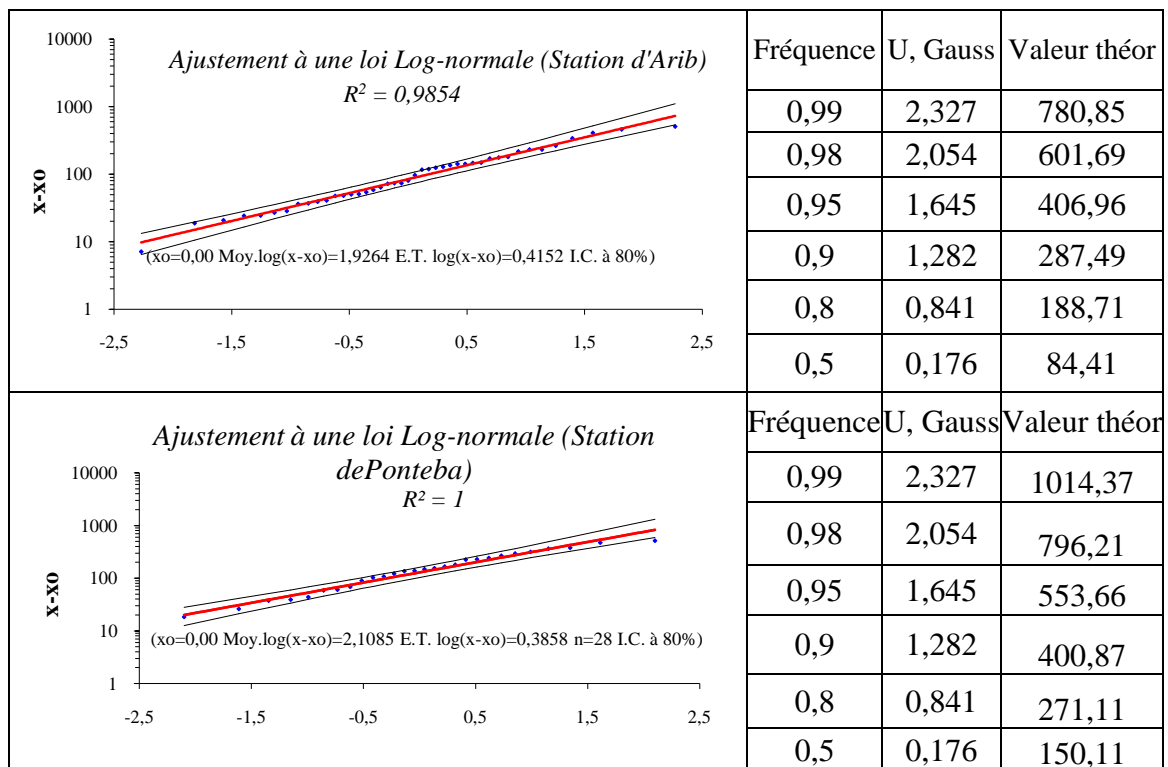


Figure 32: Analyse fréquentielle des Apports observés - Ajustement à une loi Log-normal.

8.3. Variations interannuelles des apports mensuels

L'étude des variations saisonnières des débits moyens interannuels pris au pas de temps mensuels, donne une information sur les variations lentes du débit qui correspondent à la réponse des bassins hydrogéologiques face au cycle des saisons.

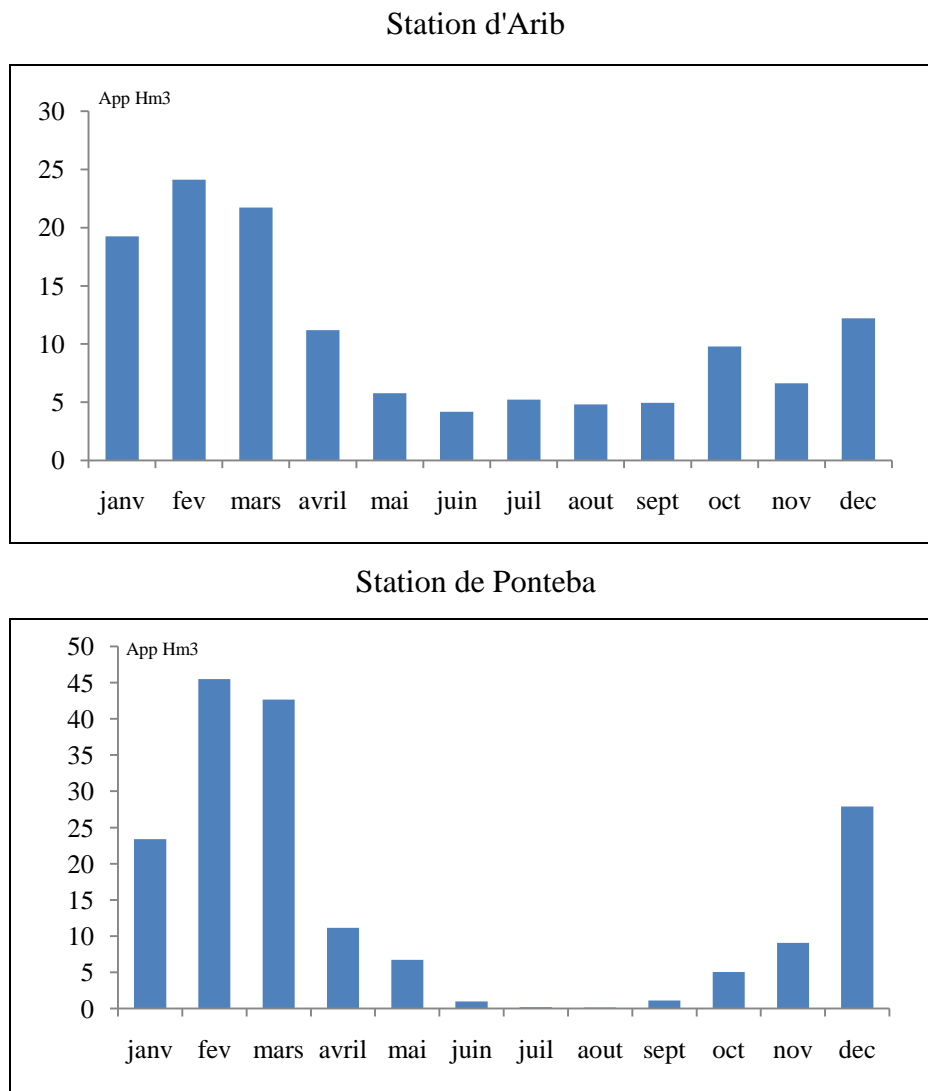


Figure 33: Variations interannuelles des apports mensuels.

Le régime d'écoulement à pas de temps mensuel est le même pour les deux stations, il est caractérisé par deux périodes bien distinctes : une période pour les hautes eaux qui commence en Octobre pour se terminer en Avril et une période pour les basses eaux d'Avril à Septembre.

Les deux stations sont le siège d'un régime simple d'une provenance pluviale, les apports sont répartis de la même manière que la pluviométrie mensuelle (Fig. 33).

9. ETUDE DES CRUES

L'analyse fréquentielle permet de décrire en terme de probabilité les événements observés et les événements plus rares que ceux observés, mais susceptibles de se produire un jour. C'est un outil bien adapté en ingénierie pour le dimensionnement des ouvrages ou en aménagement pour l'établissement des cartes d'aléa.

9.1. Données disponibles

Les données disponibles sont des chroniques de débits journaliers avec le débit maximum instantané de chaque mois où il est possible de sélectionner des débits de pointe moyens journaliers ou les débits maximums instantanés. La variable échantillonnée est la valeur maximale annuelle de ces débits de pointes. Les stations prises en compte sont :

- Station Ponteba sur l'Oued Chéelif. (1983/2011).
- Station Sidi d'Arib sur Oued Chéelif. (1969/2012).

9.2. Echantillonnage des valeurs maximales

Afin d'étudier le régime des crues en particulier, il faut extraire uniquement les événements qui nous intéressent. En analyse fréquentielle des crues, trois phases principales sont généralement distinguées :

- *Définition de la variable* : le débit de pointe, c'est à dire la plus forte valeur de débit atteint pendant la crue. Selon le type de chronique analysée il faut bien préciser de quel débit il s'agit : débit de pointe instantané, horaire, journalier.
- L'échantillonnage qui consiste à sélectionner le plus fort débit de pointe observé pendant l'année hydrologique ;

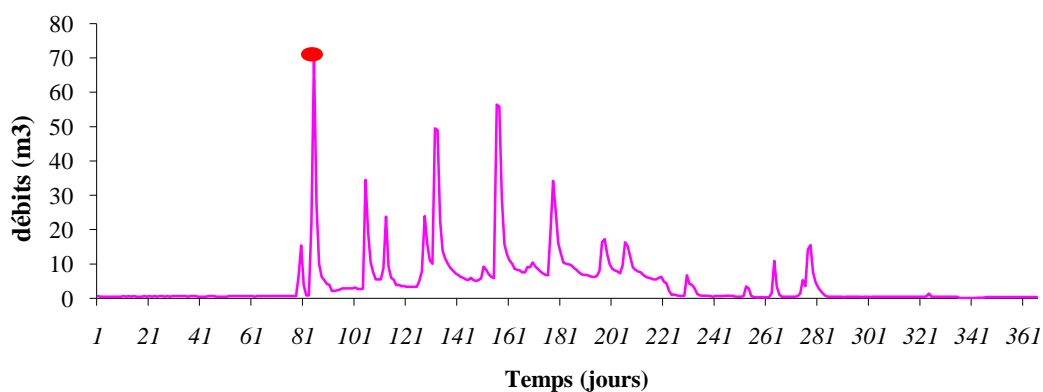


Figure 34: Echantillonnage de la valeur max du débit journalier station de Ponteba.

Tableau 30 : Echantillons de débits maximaux.

Année	debits Station Arib (m ³ /S)				debits Station Ponteba(m ³ /S)			
	Q max instantanés	Q max (J)	Q moy	Hydraulicité	Q max instantanés	Q max (J)	Q moy	Hydraulicité
69-70	295,4	155,27	15,99	3,86				
70-71	77,58	44,54	3,06	0,74				
71-72	390,7	309,49	17,11	4,13				
72-73	371	237	15,76	3,81				
73-74	562,2	481,35	10,78	2,60				
74-75	355	55,32	4,68	1,13				
75-76	232,71	55,32	7,51	1,81				
76-77	55,8	32,01	4,63	1,12				
77-78	121	64,14	3,77	0,91				
78-79	409,92	246,95	5,72	1,38				
79-80	537,2	300,32	6,85	1,65				
80-81	154	73,15	5,48	1,32				
81-82	59,25	47,4	4,1	0,99				
82-83	125,5	91,99	4,31	1,04				
83-84	131	25,9	1,87	0,45	75,6	69,69	4,69	0,84
84-85	98,66	96,99	3,11	0,75	134	129,67	8,38	1,50
85-86	132	88,61	4,54	1,10	167	160,38	12,33	2,21
86-87	268,8	180,29	8,61	2,08	200	193,13	15,46	2,78
87-88	18,86	9,92	1,71	0,41	48,5	35,54	1,85	0,33
88-89	130	81,53	1,51	0,36	320	1178,69	15,94	2,86
89-90	56,88	11,1	0,86	0,21	100	26,55	1,18	0,21
90-91	49,96	31,1	1,59	0,38	78	75,46	4,35	0,78
91-92	311,2	232,95	7,37	1,78	234,35	221,34	9,35	1,68
92-93	10,3	6,53	0,6	0,14	18,8	10,43	0,59	0,11
93-94	29,22	17,74	0,23	0,06	37,8	31,46	0,86	0,15
94-95	213	165,5	5,54	1,34	25,4	20,61	1,49	0,27
95-96	135	80,49	3,69	0,89	119,75	117,8	7,78	1,40
96-97	10,48	8,51	0,78	0,19	68,75	68,75	1,25	0,22
97-98	17,12	10,86	1,12	0,27	86,16	80,88	4,37	0,78
98-99	140	75,45	2,59	0,63	186,75	186,75	7,26	1,30
99-00	32,6	23,88	0,9	0,22	26,87	96,96	1,89	0,34
00-01	110,55	73,84	2,02	0,49	114	111,01	5,36	0,96
01-02	20,75	23,43	0,66	0,16	95	88,5	1,39	0,25
02-03	73,91	94,22	2,38	0,57	95,44	93,97	4,95	0,89
03-04	37,45	34,02	2,25	0,54	29,08	28,16	2,79	0,50
04-05	25,6	17,44	1,26	0,30	36,82	35,76	3,34	0,60
05-06	52,51	34,56	1,32	0,32	45	41	2,45	0,44
06-07	132	88,1	1,17	0,28	108,05	108,05	3,4	0,61
07-08	58,49	48,21	1,14	0,28	181,96	163,48	3,81	0,68
08-09	36,55	28,33	1,51	0,36	140,84	138,76	7,63	1,37
09-10	31,32	31,17	2,4	0,58	181,96	181,96	10,16	1,82
10-11	46,98	42,31	1,64	0,40	290,9	290,9	11,93	2,14
11-12	86,2	77,27	3,99	0,96				

9.3. Choix du type de la loi d'ajustement

Les études réalisées en Afrique du nord et en Algérie en particulier affirme que les lois qui décrivent la distribution des débits journaliers ou instantanés maximums sont les lois à dissymétrie positive (loi de Gumbel, loi de Galton, loi de Pearson III ...). « Le plus souvent, on procède par expérience en choisissant une loi à priori puis en vérifiant à posteriori que ce choix n'est pas absurde (alignement correct des points dans un graphique adéquat) » avec une bonne valeur du coefficient de détermination R^2 . (Laborde 2003)

- l'ajustement d'une loi de probabilité, permettant de définir la fréquence théorique de chaque événement, souvent exprimée en période de retour T.

Nous avons porté notre choix sur la loi de Gumbel et la loi normale ou de Gauss.

a). La loi de distribution de Gumbel

La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$f(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right) \quad \text{Avec la variable réduite suivante} \quad u = \frac{x-a}{b}$$

La distribution de Gumbel s'écrit alors de la manière suivante

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad \text{et} \quad u = -\ln(-\ln(f(x)))$$

b). La loi de distribution normale ou de Gauss

Elle s'écrit selon la formule $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$ Avec $u = \frac{x-x_0}{2}$

9.4. Variations des débits annuels moyens bruts (m³/s)

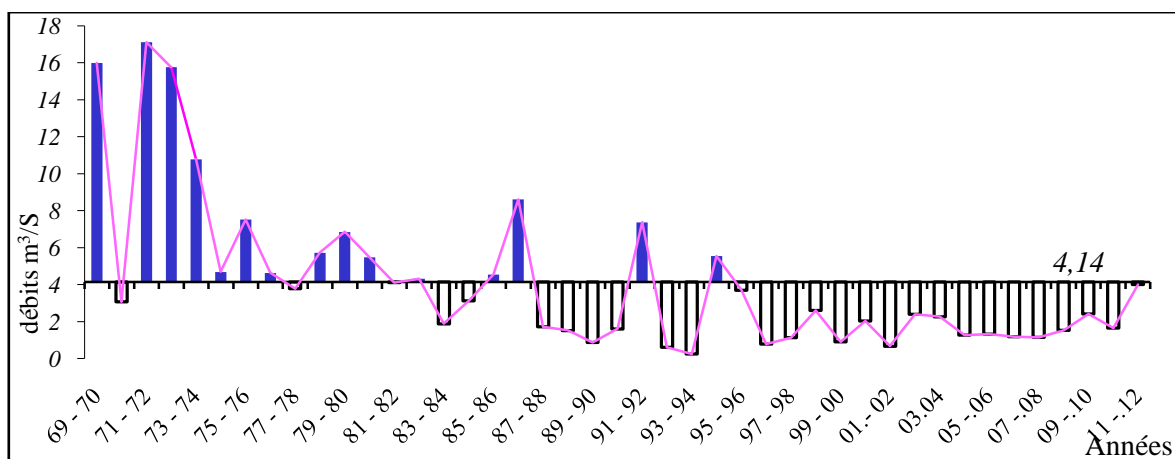


Figure 35: Variations interannuelles des modules d'Oued Chélif à la station d'Arib.

La variation annuelle des modules (Tableau 30) au niveau des stations est illustrée par les figures (35 et 36), montre des débits relativement faible a partir des années 1980 a 2012 au niveau de la station d'Arife, qui s'explique par la construction et la mise en eaux des barrages du (Harreza et Deurdeur) en amont.

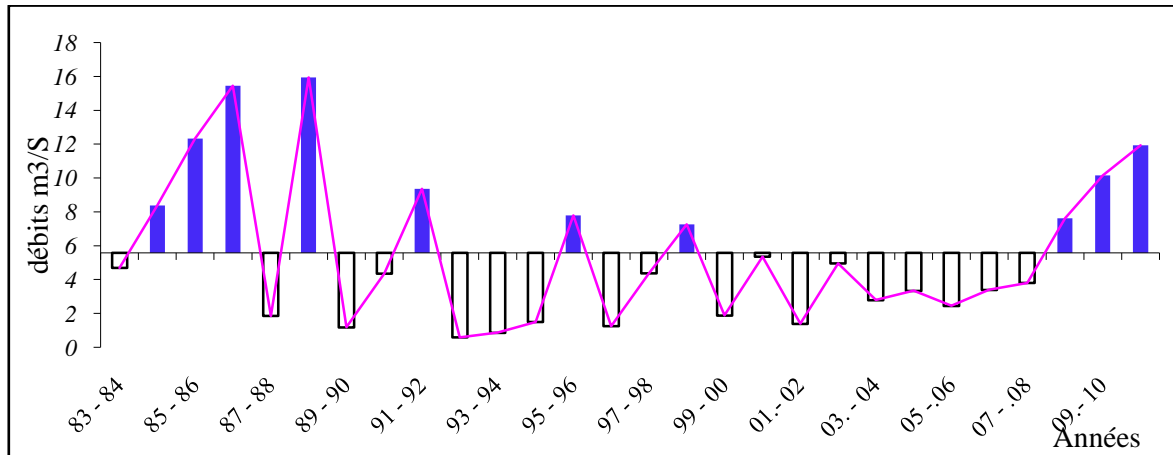


Figure 36: Variations interannuelles des modules d'Oued Chélif à la station de Ponteba.

La variation interannuelle des modules au niveau de la station de Ponteba, montre une irrégularité avec des débit relativement faible a partir des années 1992 à 2011 qui s'explique par la construction et la mise en eaux de barrages du (Ouled Malouk) en amont sur Oued Rouina.

9.5. L'irrégularité inter annuelle des modules et leur répartition statistique

9.5.1. l'hydraulicité

L'irrégularité inter annuelle de l'écoulement peut être mesurée par les variations de l'hydraulicité, c'est à dire le rapport du débit d'une année particulière (Q_i) au débit moyen d'une longue série d'observation (Q_{moy}).

Les valeurs de l'hydraulicité qui sont en majorité inférieures à la moyenne annuelle. (Tableau 30) En effet, plus de 50% des années hydrologiques sont déficitaires.

9.5.2. Coefficient d'immodération

L'étude de l'irrégularité interannuelle de l'écoulement peut être complétée par d'autres critères statistiques simples tels que le coefficient d'immodération (R) donné par le rapport des modules extrêmes ($R = Q_M/Q_m$).

Les coefficients d'immodération (Tableau 31) sont eux aussi élevés, il est de l'ordre de 27.01 à la station de Ponteba et 74.39 pour la station d'Arib, cette dernière valeur remarquable d'Arib montre l'irrégularité accentuée des débits inter annuels.

9.5.3. Coefficient de variation

La variation inter annuelle peut être aussi précisée par le coefficient de variation (Cv) (Tableau 31). Les valeurs du coefficient de variation sont élevées.

Tableau 31: Valeurs caractéristiques des modules interannuels.

Stations	Aribe	Ponteba
Q moyen (m ³ /S)	4,142	5,579
Ecart type	4,129	4,420
Coefficient de Variation (cv)	0,997	0,792
Q max (m ³ /S) (Année)	17,11 (1971- 1972)	15 (1988-1989)
Q min (m ³ /S) (Année)	0,23 (1993-1994)	0,59 (1992-1993)
Coefficient d'immodération $R = Q_M/Q_m$	74,39	27,01

10. ETUDE STATISTIQUE DES MODULES

L'application des tests d'ajustements est une notion fondamentale pour l'étude des données hydrométriques. Elle suppose au préalable une connaissance de la nature des données à étudier et une critique statistique de leur état.

La répartition statistique des débits annuels permet l'estimation de la fréquence d'apparition de certaines valeurs de débits dont la prédétermination permet de prévoir certains risques associés aux événements hydrologiques extrêmes.

10.1. Débits maximums instantanés

La visualisation des distributions et de leurs coefficients de déterminations montrent que la loi de Galton (log normal) s'adapte mieux aux débits instantanés maximums au droit de la station d'Arib, alors que la loi de Gumbel représente bien la distribution des débits maximums instantanés à la station de Ponteba.

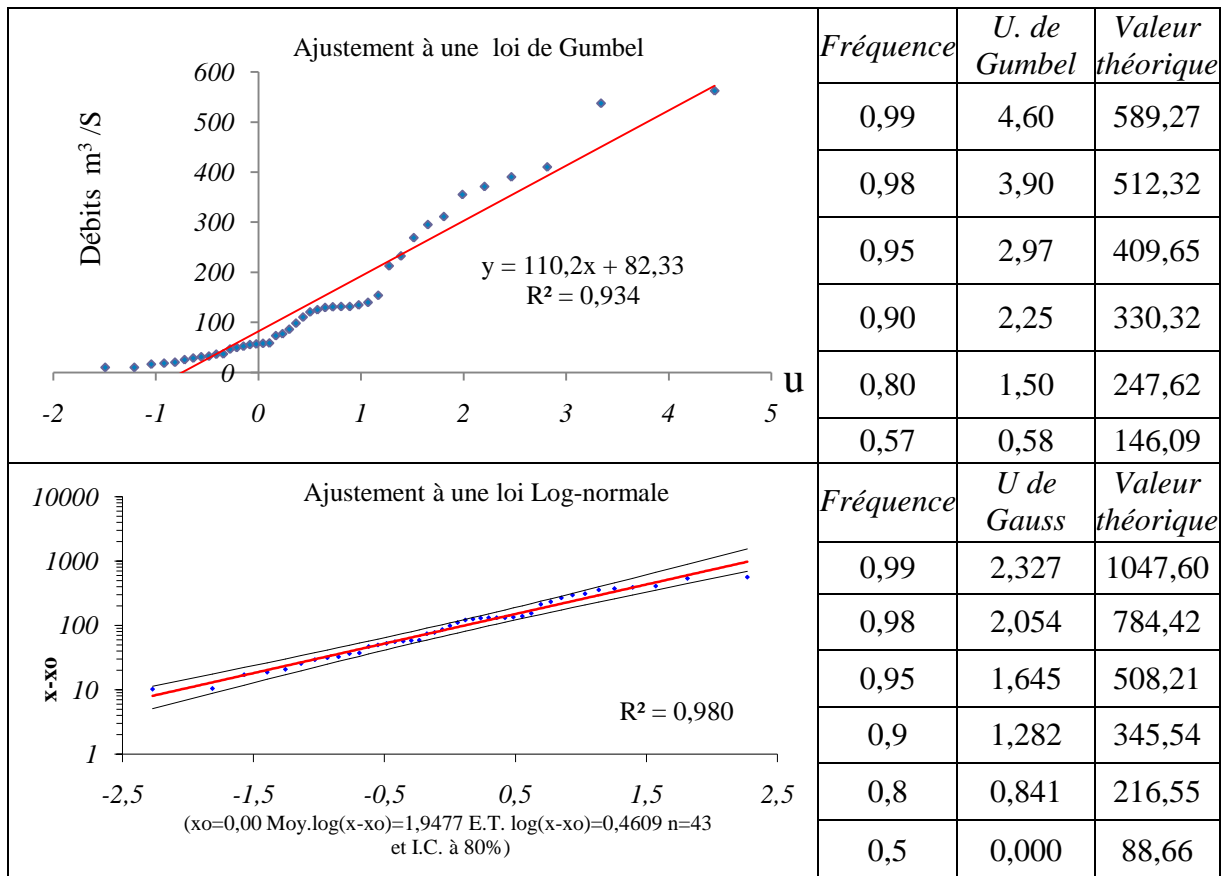


Figure 37: Ajustement des débits max. instantané de la station d'Arib.

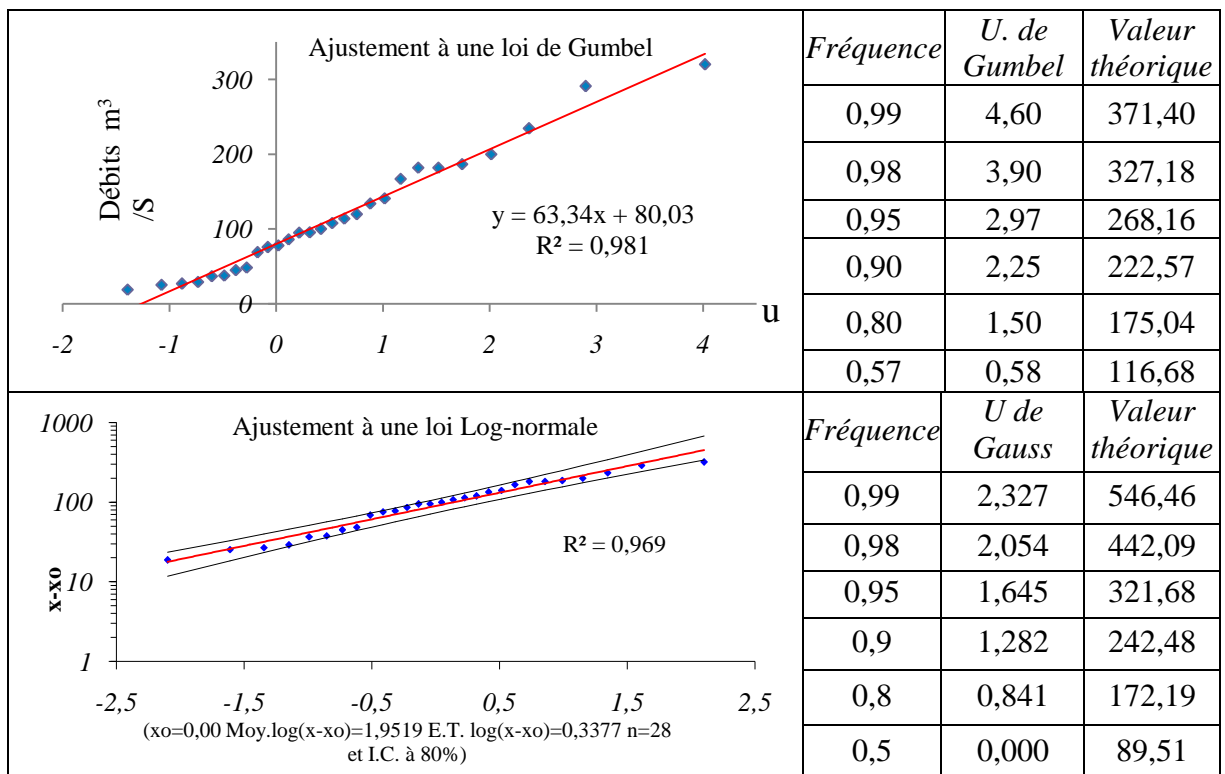


Figure 38: Ajustement des débits maximums instantané de la station de Ponteba.

10.2. Débits maximums journaliers

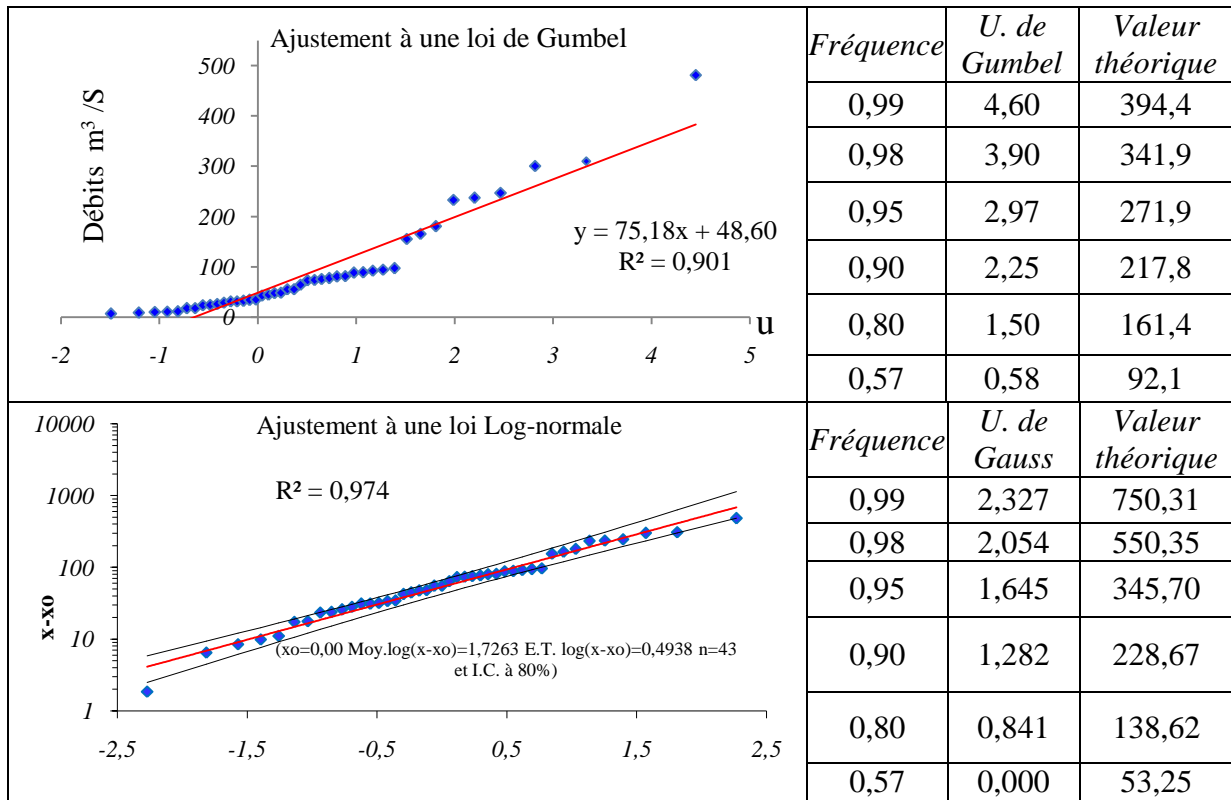


Figure 39: Ajustement des débits maximum journaliers de la station d'Arib.

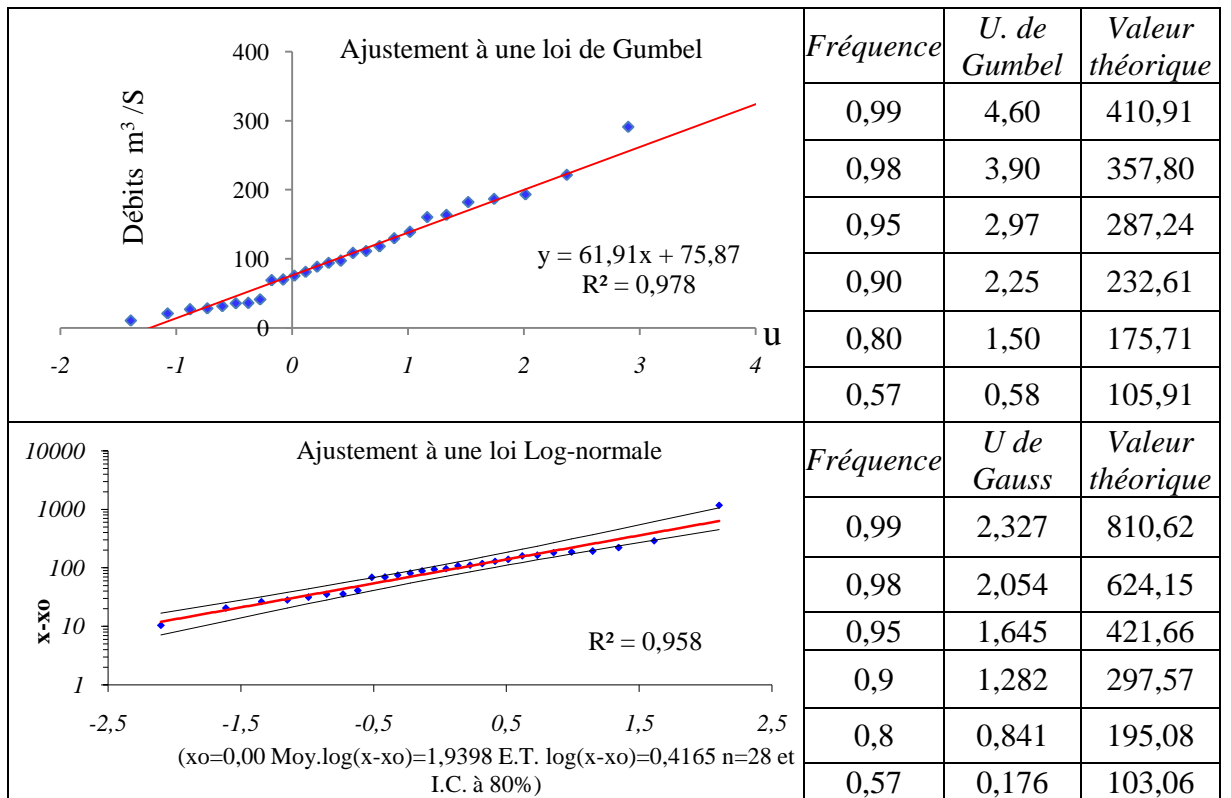


Figure 40: Ajustement des débits maximum journaliers de la station de Ponteba.

La distribution des débits journaliers maximums, montrent que, la loi de Galton s'adapte mieux à la station d'Arib tandis que la loi de Gumbel donne de meilleurs résultats à la station de Ponteba.

L'ajustement des débits des crues fait apparaître des valeurs très grandes pour la station d'Arib à cause de la longueur de la série de données, la différence s'observe pour la station de Ponteba.

L'analyse du phénomène de crue ne semble pas une tâche difficile lorsqu'on dispose d'une série de données de plusieurs années. Le problème le plus fréquent en pratique est celui des bassins non jaugés où il est nécessaire de faire des prévisions de débits de crues maximales dans le but d'un aménagement. Dans ce cas, les méthodes les plus appropriées restent les formules empiriques. Ces formules ont été élaborées sur la base de données disponible en utilisant différents outils d'analyses, parmi ces outils ; la méthode de l'hydrogramme unitaire est la plus utilisée.

11. CONCLUSION

Les résultats obtenus après l'application des différentes méthodes ont permis de caractériser les principales manifestations de la variabilité climatique. Il ressort de l'étude que les conditions climatiques dans le moyen Chélif oriental sont de type semi- aride avec des gradients de température relativement importants. Les indices d'aridité calculés par les différentes méthodes convergent tous pratiquement vers le même résultat c.à.d. que le climat de notre région est semi-aride sauf pour le bassin d'Arib-Ebda qui est tempéré, la pluviométrie moyenne de cette région est un bon indice (521 mm) ainsi que l'ETP (776.99mm) l'indice le plus faible de notre région d'étude.

La température atteint le maximum en Août, alors que le minimum en janvier.

La valeur de l'ETP évaluée par la moyenne des résultats des trois méthodes est variables (777 mm Arib-Ebda et 950 mm Oued Fodda) Quant à l'ETR, elle est aussi variable (304 mm à Rouina et 382 à Oued Fodda).

La lame d'eau ruisselée est variable entre les sous bassins, entre 78 mm (Arib Ebda), 34 mm (Rouina et Oued Fodda) et 29 mm (Tikezal). En fait ce ne sont que des valeurs moyennes car le ruissellement dépendra beaucoup plus de l'intensité des averses particulièrement dans ces régions semi arides et la nature lithologiques des formations.

L'infiltration au niveau des bassins est relativement supérieure au ruissellement, elle varie entre 94 et 34 mm. Ceci témoigne une recharge du réservoir.

CHAPITRE III

Géologie

1. INTRODUCTION

L'Algérie comprend quatre grands ensembles structuraux:

- L'atlas tellien, constitué de reliefs et de plaines littorales ;
- Les hauts plateaux et les hautes plaines ;
- L'atlas saharien formant une longue suite de reliefs orientés Nord- Est Sud- Ouest ;
- La plate-forme saharienne.

Ces domaines sont divisés en deux unités tectoniques majeures séparés par la faille Sud atlasique. Les trois premiers domaines portent l'empreinte de la tectonique alpine. C'est le domaine de la Berbérie (Busson, 1989) limité au Sud par la flexure sud atlasique. C'est le domaine des séries plissées et charriées. La plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée, appartient au craton africain. Elle est caractérisée, en général, par des régions plates.

L'Algérie septentrional appartenant au domaine alpin est constituée de reliefs jeunes modelés au cours du Tertiaire. Il est composé des ensembles structuro-sédimentaires suivants, du Nord au Sud:

- L'Atlas tellien est le domaine des nappes mises en place au Miocène inférieur, avec des bassins de type intramontagneux (bassin du Chélif), dont la série sédimentaire s'étend du Jurassique au Miocène.

- Les hauts plateaux, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation de bassins intramontagneux comme ceux de Telagh et de Tiaret.

- Au Sud, l'Atlas saharien est né d'un long sillon subsident compris entre les hauts plateaux et la plate-forme saharienne. Au Mésozoïque, ce sillon fut comblé par une puissante série sédimentaire (7000 à 9000m). Durant le Tertiaire, une tectonique compressive réactive les structures extensives antérieures en failles et structures inverses aboutissant à la formation de cette chaîne montagneuse.

- La plate-forme saharienne : Elle est située au Sud de l'Algérie alpine et appartient au craton Nord africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins sédimentaires. Ces derniers sont délimités par différents éléments tectoniques et dans lesquels la lithostratigraphie est plus ou moins complète.

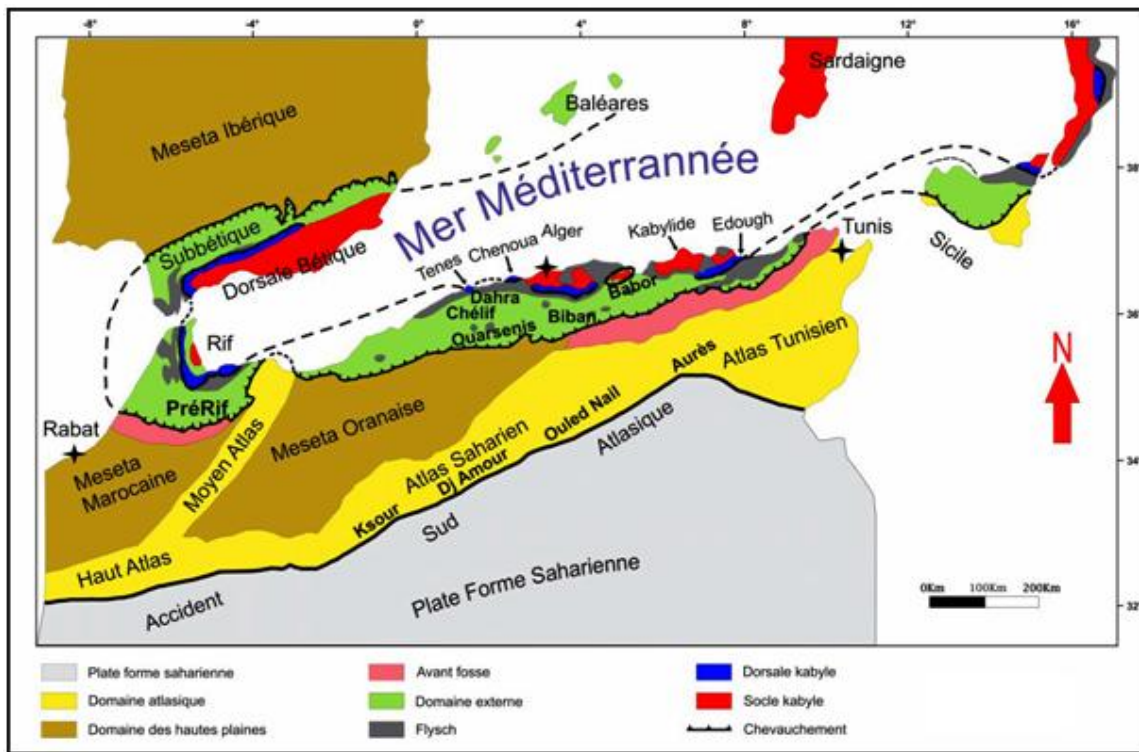


Figure 41 : Grandes subdivisions de l’Algérie septentrionale (Durant- Delga. 1969-1980).

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Les bassins sublittoraux de l’Algérie Centro-Occidentale s’alignent parallèlement a la côte méditerranéenne formant des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent (Perrodon, 1957 ; Lepvrier et al. 1970).

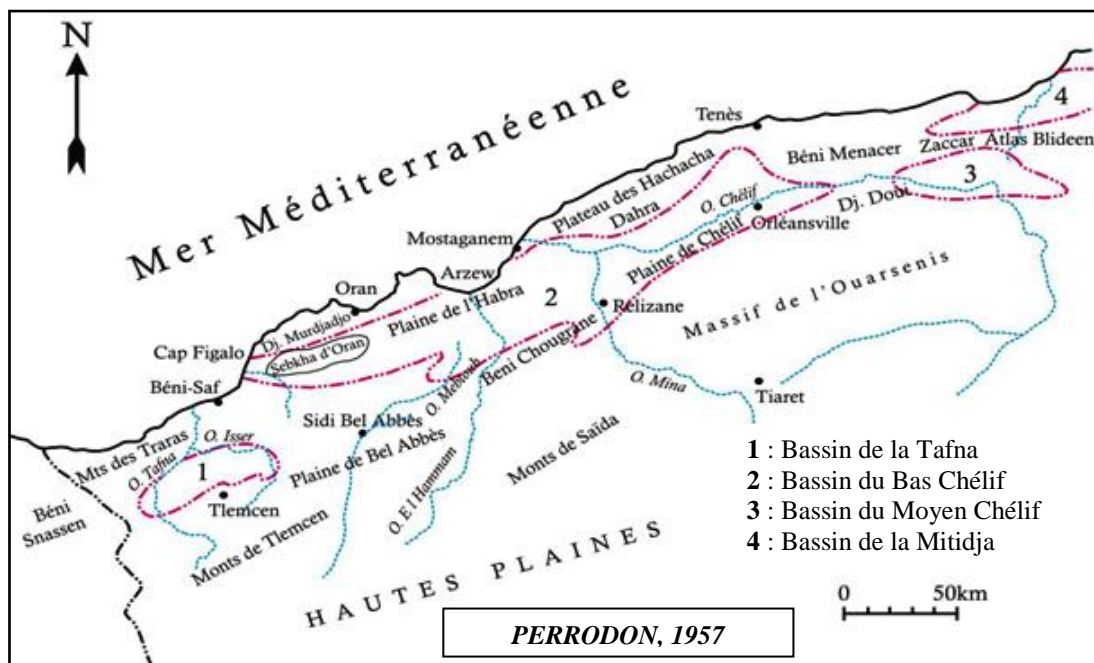


Figure 42: Esquisse géographique des bassins néogènes sublittoraux de l’Algérie occidentale.

Ce sont des bassins Néogènes dont l'histoire est étroitement liée aux phases ultimes et paroxysmales de l'orogénèse alpine. Du point de vue structural ces bassins forment des sillons complexes plus ou moins continus s'allongeant suivant une direction générale WSW-ENE, entre les massifs secondaires plissés qui peuvent être assimilés en première approximation à des aires anticlinales majeures.

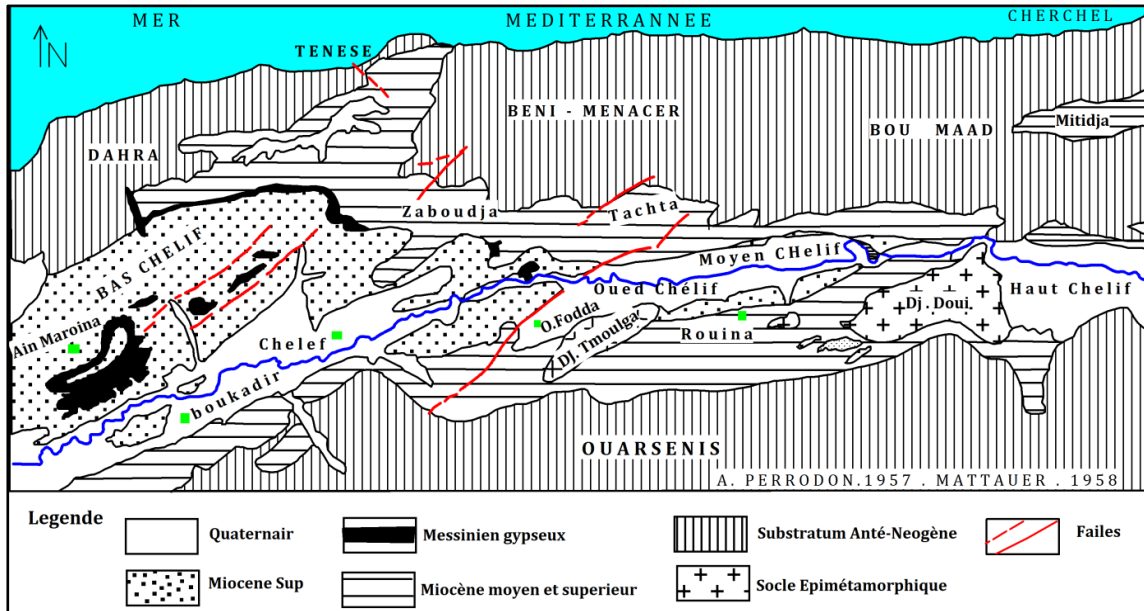


Figure 43: Cadre géographique et géologique de la plaine du Chélif.

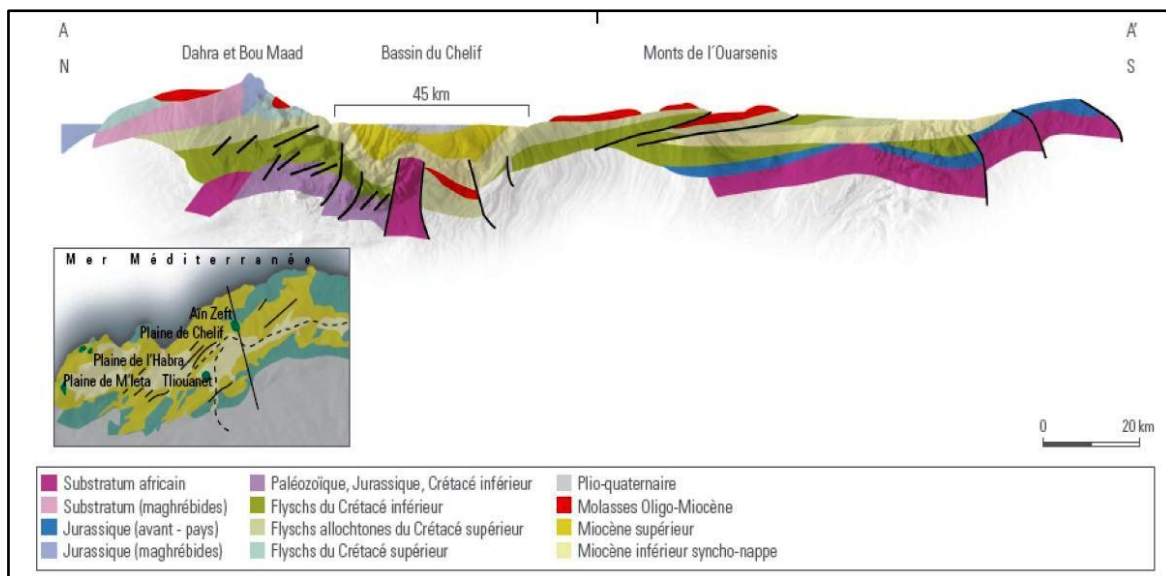


Figure 44 : Coupe structurale Nord-sud Dahra - Ouarsenis (M. Megartsi, 1996).

Le bassin du Chélif qui évolue dans ce milieu est un bassin subsident de type intramontagneux fonctionnant en graben le long des grandes flexures bordières. Les ensembles lithologiques rencontrés dans la plaine sont les terrains Néogènes et Mio-Plio-quaternaires (Fig.43); le substratum, essentiellement secondaire sur les bordures; les monts de

l'Ouarsenis au Sud, du Dahra au Nord, les massifs épimétamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et du Temoulga à l'Est (Fig. 43).

3. CADRE STRUCTURALE DES GRANDES UNITES

A l'échelle de la chaîne alpine on peut distinguer pour l'Algérie du Nord, de façon schématique deux grands ensembles.

Le domaine tellien au Nord représentant la chaîne alpine proprement dite et qui montre du Nord au Sud :

- Le tell septentrional ou zone interne, limité au Sud par la chaîne calcaire ;
- Le tell méridional ou zone externe constituées par les nappes telliennes.

L'autochtone présaharien assurant la jonction entre la chaîne alpine au Nord et la plate forme saharienne au Sud.

3.1. l'Atlas tellien méridional

Le tell méridional est constitué essentiellement par :

- ◆ Des horsts de calcaires liasique au niveau des monts de l'Ouarsenis où ils sont entaillés par les affluents de l'Oued Cheliff (Oued Rouina, Oued Fodda et Oued Rhiou)

- ◆ Un empilement de nappes représenté par :

- **La nappe A** : Formée de terrains essentiellement antécénomaniens situés entre l'autochtone et la nappe **B**, elle est constituée à la base par une importantes masses argileuses attribuées au Barrémo-Albo-Aptien, et au sommet par l'unité Albo-Cénomanienne (J-Polvêche 1958) constituée d'argiles, de grés, de calcaires, de marnes et de conglomérats recouvrant les écaïlles Triasiques. La série "A" est entièrement allochtone et sa partie méridionale se situe probablement au Nord des massifs chélifiens.

- **La nappe B de l'Ouarsenis**: Constitue une série allochtone recouvrant soit l'unité "A", soit l'autochtone, elle représente la plus grande partie des affleurements marneux et marno-calcaires attribués au Crétacé et au Miocène.

- **La nappe C** : Correspond à des formations à faciès flyschs du Crétacé, à faciès numidien (grés et argiles) de l'Oligocène et renferme des galets de la chaîne calcaire du Miocène, (M. Mattauer 1958), structurellement cette unité est la plus élevée dans l'Ouarsenis où elle surmonte la nappe "B" ou l'autochtone par un contact anormal subhorizontal, souligné par des semelles Triasiques.

Ces nappes **A**, **B** et **C**, décrites dont le déplacement a lieu du Nord vers le Sud ont été engendrées par une tectonique tangentielle.

3.2. L'atlas tellien septentrional

Le tell septentrional présentant une analogie de structure avec le Tell méridional est représenté par des affleurements des calcaires et de marnes attribués au Primaire, au Crétacé, et à l'Eocène, affecté de plis et de schistosité, (C. Lepvrier 1971).

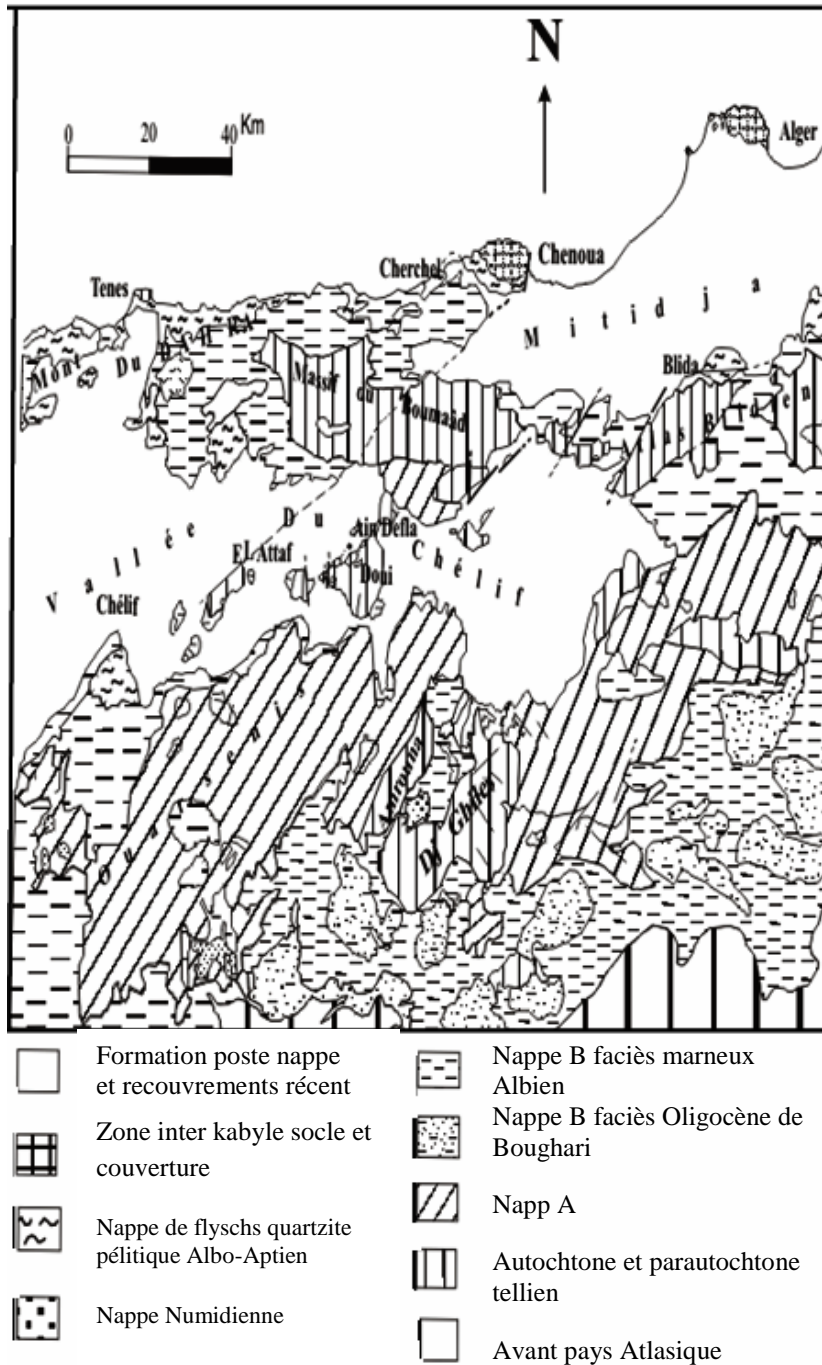


Figure 45 : Cadre structural du Tell Ouest – Algérois (O. Kirèche, 1993).

3.3. La lanière du Chélif

La lanière du Chélif, allongée grossièrement EW sur 100 km de long et 20 km de large (fig. 45 et 46). Les massifs Primaires et Jurassiques, de dimensions modestes, apparaissent en fenêtres, isolés les uns des autres au sein du Mio-Plio-Quaternaire de la vallée du Chélif. Cette vallée sépare bien les deux Tell (méridional et septentrional).

La lanière se compose d'Est en Ouest des massifs du Zaccar (Miliana), d'Arib (Litré), du Doui, du Rouina, du Témoulga (Attafs), d'El Karimia, de Sidi Djilali (NW d'El Karimia), de Koudiat Larouah (barrage d'Oued Fodda, au Sud d' El Karimia), et des chicots de Lala Ouda situés au Sud d'El Asnam.

Les massifs du Chélif ont depuis fort longtemps été considérés comme autochtone ou parautochtone (Glangeaud, 1932 ; Mattauer ,1958 ; Caire, 1957 ; Kieken, 1962 ; Lepvrier, 1971, 1978 ; Kirèche, 1971, 1977). Au point de vue tectonique, les massifs sont considérés comme de simples structures anticlinale. Plusieurs arguments sont avancés en faveur de cette situation (in Kirèche ,1993), citons :

- l'existence de terrains essentiellement Primaires, Jurassiques et Eocrétacés ;
- l'existence de marqueurs d'allochtonie (superpositions anormales, accidents plats à complexe triasique, découpage en lames) ;
- la structuration particulière des massifs, avec en particulier plis, schistosités et métamorphisme ;
- la situation structurale en infrastructure par rapport à la superstructure formée par l'allochtone tellien.

L'organisation de ces massifs en une lanière particulière (fig. 46) a attiré l'attention de Glangeaud (1932) qui voyait en eux les témoins d'un haut fond à sédimentation de plate forme individualisée en une "zone III " situé entre une "zone II " (sillon nord-tellien) et une "zone IV " (sillon sud-tellien).

Les leviers géologiques des pétroliers de la S.N. Repal (Bartiaux et Vataire, 1964) mettent en évidence un empilement de plis couchés plus ou moins bien conservés dans le Dj. Temoulga. L'étude structurale (Kirèche, 1977) a permis de mettre en évidence une tectonique polyphasée, accompagnée de métamorphisme, alors quatre phases ont été relevées dans le Chélif :

- les deux premières phases plus voisines, sont caractérisées par un style de tectonique souple et elles sont accompagnées de schistosité. Elle se situe dans le niveau structural inférieur. Leurs directions sont grossièrement orthogonales Est-Ouest et Nord-Sud ;

- la troisième phase, post-schisteuse présente des plis Est-Ouest à grand rayon de courbure. Le plissement affecte toute la série (substratum et couverture) ;

- la quatrième phase est cassante. Elle témoigne d'une compression suivie d'une distension générale de l'édifice au Miocène. Les décrochements, les failles et les diaclases sont les résultats de cette phase cassante post-plissement. Enfin la mise en place des minéralisations d'hématites à la faveur des cassures se localisent particulièrement dans les calcaires jurassiques favorables à la métasomatose. L'âge de la mise en place est antérieur au Miocène post-nappes (Andrieux, 1970 ; Calembert, 1952 et Kirèche, 1977).

Enfin, il faut mentionner aussi que la zone de Chélif est actuellement active et que la surrection des massifs est très récente comme en témoigne la déformation du Mio-Plio-Quaternaire

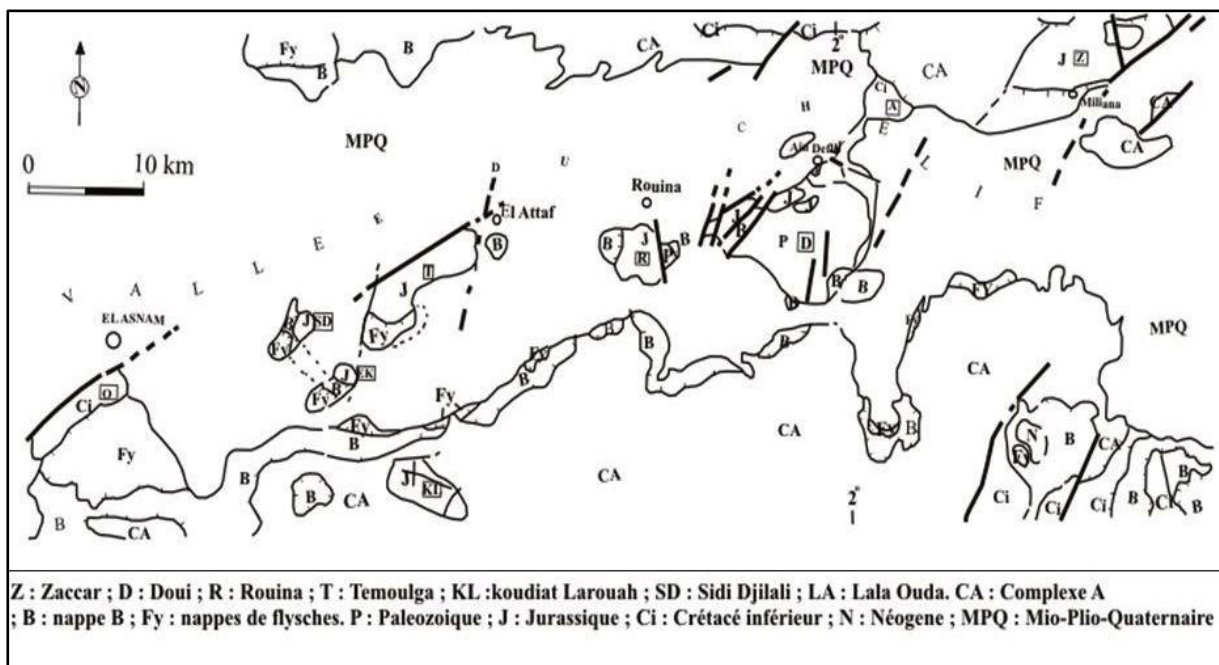


Figure 46 : La lanière des massifs de la vallée de Chélif (O. Kirèche 1993).

4. CADRE GEOLOGIQUE LOCAL

Le moyen chélif (plaine d'Oued Fodda, El Abadia, Kherba, Ain Defla) c'est un bassin traversé d'Est en Ouest par l'Oued Chélif qui pénètre par le seuil de Doui et en sort par la cluse de Ponteba.

Le seuil de Doui est constitué par une série de schistes quartziteux et calcaires, qui sont perméables mais recouverts par des sédiments argileux du côté du haut Chélif. Ces alluvions sont cependant totalement interrompues par l'affleurement de la série schisto-calcaire sur

laquelle l'Oued Chélif coule directement à la station de jaugeage des Aribes. Le seuil de Doui constitue donc un barrage relativement étanche entre le Moyen et le haut Chélif, le seuil de Ponteba est formé essentiellement par les marnes Miocène imperméable. (D. Pradines 1971).

Il s'agit d'un synclinorium Néogène reposant sur un substratum Crétacé essentiellement marneux. Les terrains formant le cœur du synclinorium sont du Miocène supérieur ; contiennent des couches gréseuses au sommet. Ces grès passent vers le bas à des terrains plus argileux (marnes). Ce passage peut se faire par des couches intermédiaire grés-argileuse. Les principaux affleurements de grès se situent à l'Est et au Sud d'El Amra (EX. Kherba). Sur le flanc Nord du bassin s'étend une étroite bande de grès pliocène. Sous ces grès affleurent les marnes Miocènes. La base du pliocène peut être prise comme limite Nord du moyen Chélif. A l'Ouest et à l'Est, les lignes de crête ferment le moyen Chélif.

Partout ailleurs les terrains Crétacé couvrent le bassin. En rive gauche du Chélif de large surface de terrains Miocène supérieur dont une grande partie présente une forte proportion d'argile, au sein de ces terrains Miocènes émergent des compartiments de terrains plus anciens; Primaire à Crétacé: Le DJ Doui entre le haut et le moyen Chélif, les massifs de Rouina et du Temoulga, dont ces deux derniers massifs sont essentiellement constitués de calcaires Jurassique.

Le centre du bassin est occupé par des alluvions, dont la partie supérieure est constituée par des limons très argileux sur une épaisseur d'une quinzaine de mètres, réduite à une demi-douzaine de mètres dans la vallée de l'Oued Fodda.

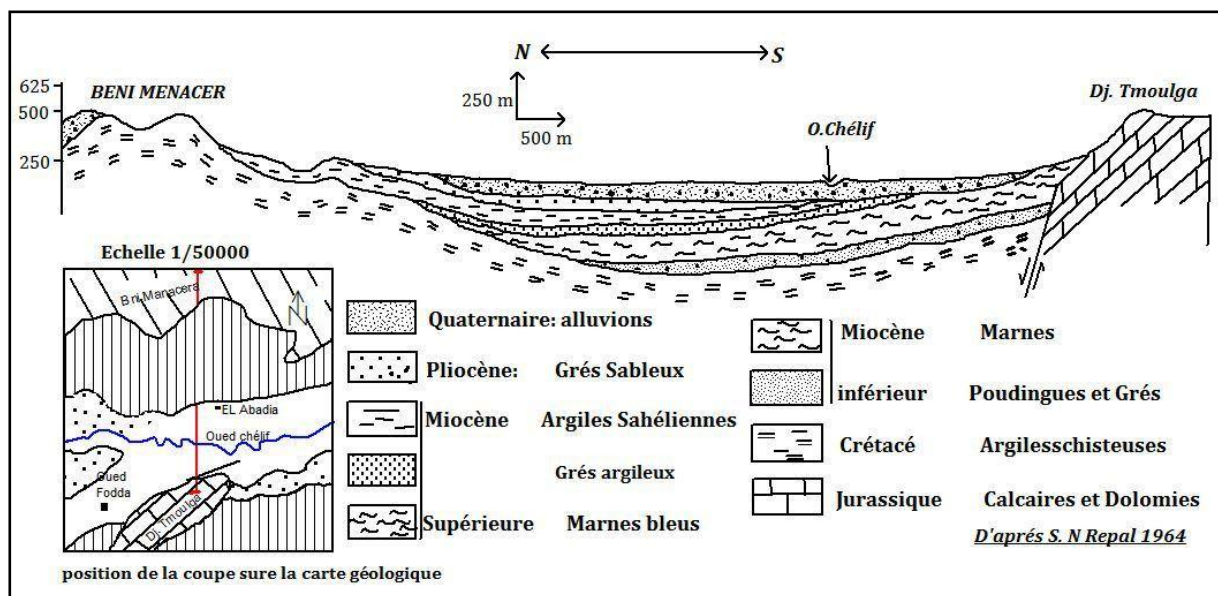


Figure 47 : Coupe Géologique N-S (D'après S.N.REPAL 1964).

5. LITHOSTRATIGRAPHIE DU MOYEN CHELIF

5.1. Les terrains autochtones

Les terrains autochtones du Chélif d'âge primaire et secondaire s'observent au niveau des bordures du bassin ou elles apparaissent souvent en fenêtre surmontées de terrains allochtones tant dans sa partie méridionale (Ouarsenis) que septentrionale (Dahra), dans la partie centrale de la dépression les formations suscitées affleurent dans les massifs du Doui, du Rouina et du Temoulga, ou elles sont isolées et noyées dans les sédiments Néogènes.

5.1.1. Primaire

La lanière du Chélif présente la particularité d'offrir à l'affleurement (massifs du Doui, du Rouina et du Zaccar), dans l'un des rares secteurs du domaine tellien externe, des terrains Paléozoïques et leur couverture mésozoïque. Des affleurements de dimensions réduites, emballés dans le « complexe triasique » associé à l'allochtone, trois formations d'âge primaire, se succèdent de bas en haut (fig. 48):

- Le socle cristallophyllien (Doui) ;
- Le complexe volcanique (Doui, Zaccar) ;
- La série schisto-greaseuse et conglomératique (Doui, Zaccar et Rouina).

5.1.1.1. Le socle cristallophyllien

L'affleurement de socle Paléozoïque, réduit (1 km², vallée de l'Oued Ouaguenay, au Sud du Doui), montre un complexe granodioritique grenu, légèrement orienté, écrasé et fortement altéré. Cet affleurement est très important puisqu'il représente le seul pointement de socle connu en place dans les régions telliennes autres que littorales (Mattauer, 1955); (fig.46et 48).

5.1.1.2. Complexe volcanique

Dans le massif du Doui au Nord à l'Est, au Sud et dans le Zaccar, affleure un complexe volcanique rhyo-dacitique (Carbonifère), composé de laves noires ou lie-de-vin associées à des tufs et microbrèches volcano-sédimentaires Stratiformes, les tufs et laves sont impliqués dans les plissements qui affectent les massifs.

5.1.1.3. La série schisto-gréso-conglomératique

Une puissante formation schistogréseuse et conglomératique (Stéphano-permien) appelé communément le "Verrucano", fait suite en discordance au complexe volcano-sédimentaire. Dans les massifs du Doui, du Zaccar et de Rouina, C'est dans le Doui qu'elle offre les plus grands affleurements (fig.48). Epaisse de 200 à 300 m, elle est plissée avec le Jurassique (fig.50).

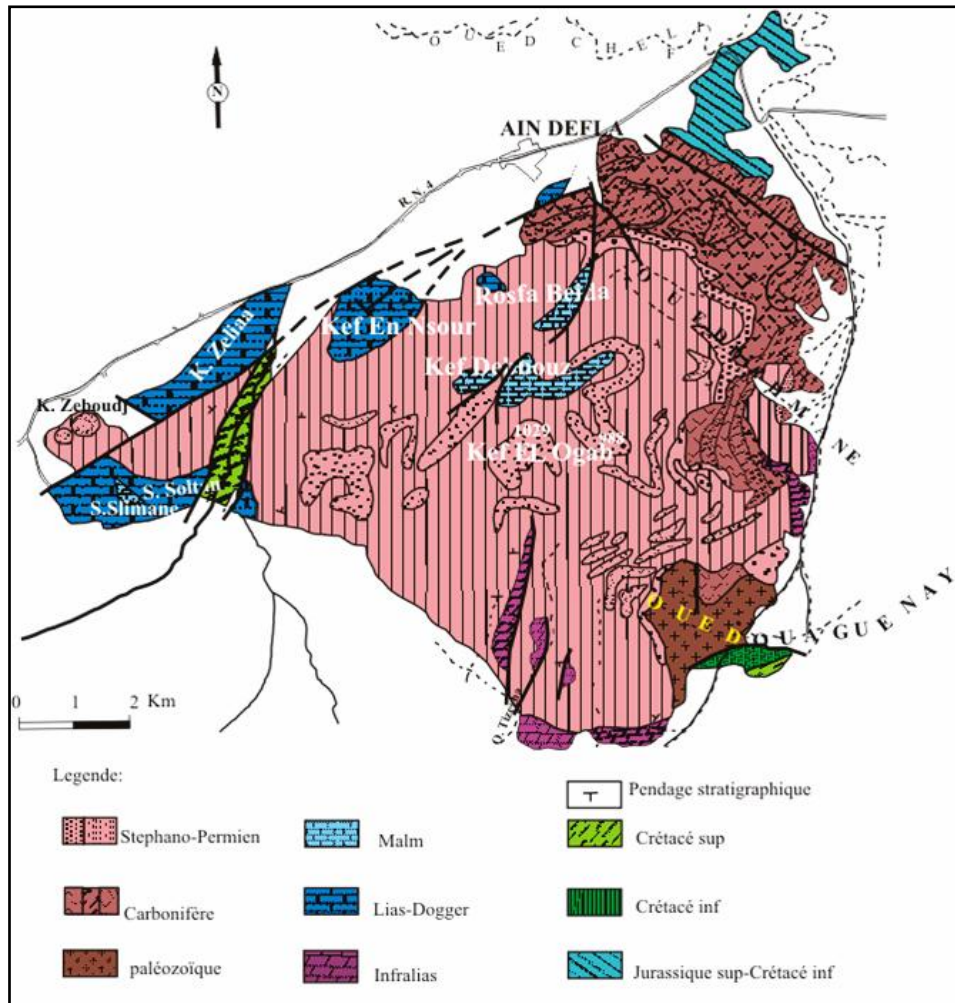


Figure 48: Carte géologique du Doui (Kirèche, 1977).

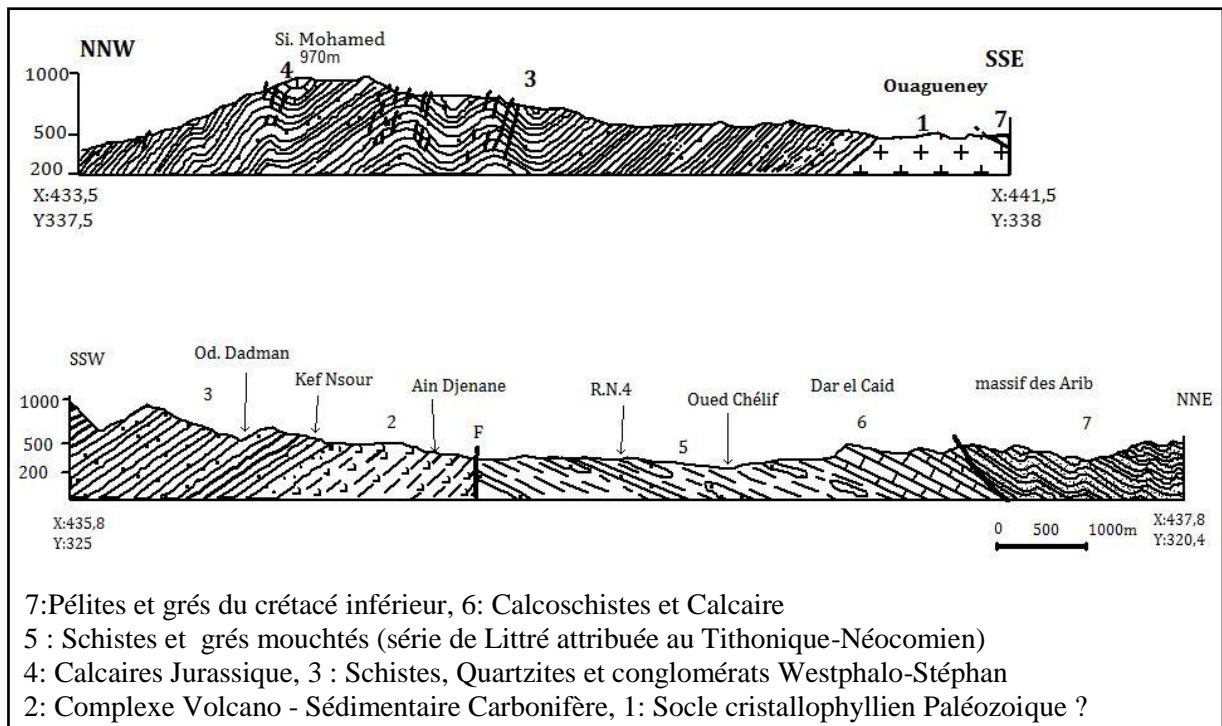


Figure 49 : Coupe montrant les formations du nord de Doui et des Aribes (Kirèche 1977).

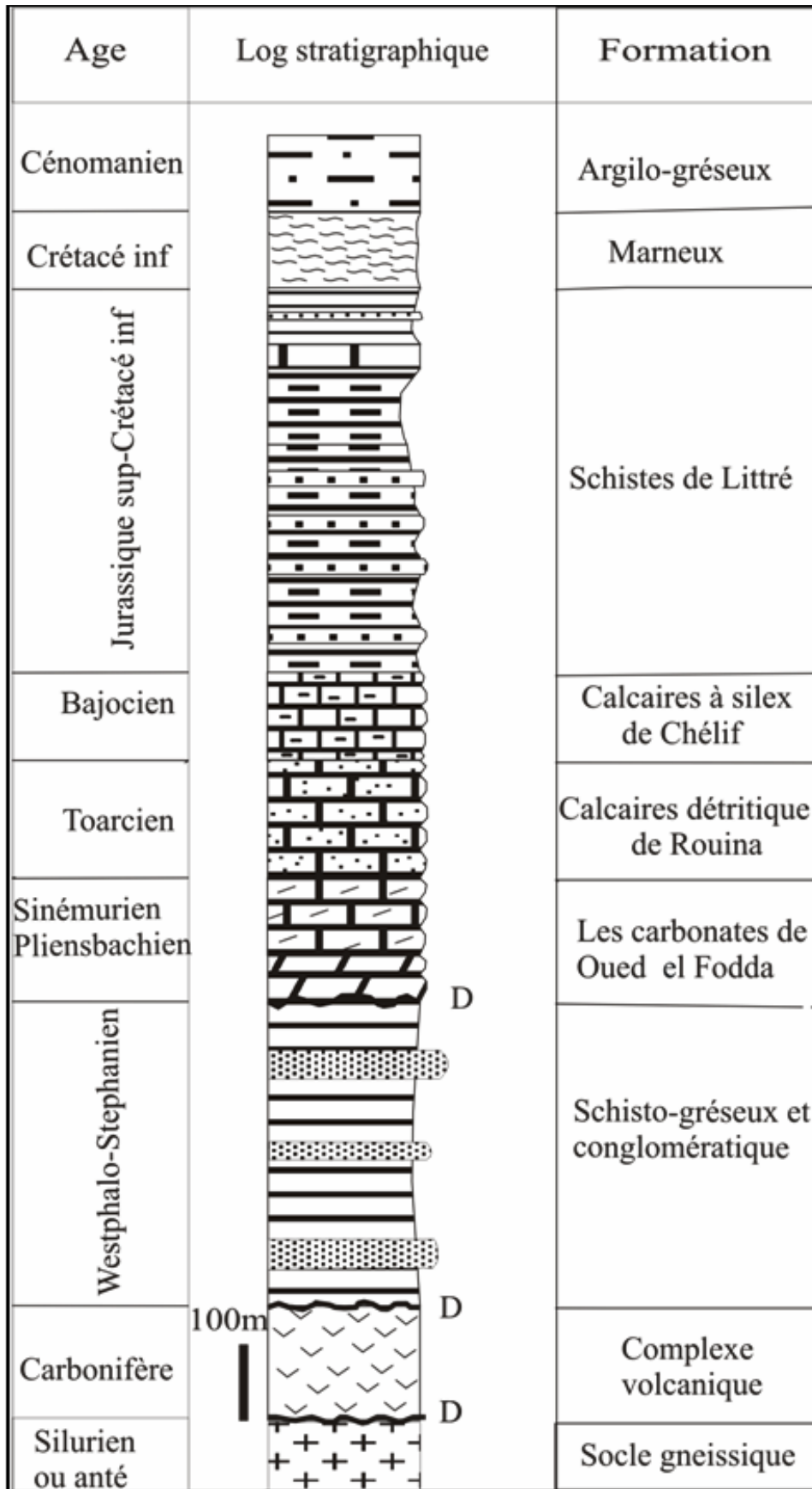


Figure 50 : La succession lithostratigraphique synthétique du Doui, (D'après Kirèche, 1977 modifié par Benhamou, 1996).

5.1.2. Secondaire

5.1.2.1. Le Trias

Le Trias à faciès dolomitiques constitue la base des formations carbonatées au Sud de Doui, à El Karimia (ex. Lamartine), au Rouina et à Temoulga. Il s'agit de Dolomies, cargneules brunes jaunâtres et de calcaires dolomitiques ferrugineux formant un ensemble d'épaisseur réduite occupant essentiellement du paléorelief primaire. Dans tous les cas, la formation dolomitique ferrugineuse se trouve sous les calcaires du Lias (Mattauer, 1955). Cet auteur le rapporte au Trias ou à l'Infralias (Rhétien).

5.1.2.2. Le Jurassique

Dans le Chélif, les calcaires Jurassiques forment les massifs montagneux du Rouina (fig.51) et du Témoulga (fig. 53) ainsi que certains affleurements au Doui, à El Karimia (fig. 54) et à Sidi Djilali. Ils sont transformés et recristallisés. Une dolomitisation secondaire affecte certains niveaux du Lias. Les fossiles sont rares ou difficilement déterminables.

Aux difficultés stratigraphiques s'ajoutent des complications tectoniques, qui à l'exception du massif de Rouina où la série est complète, les séries sont fortement indurées par le métamorphisme et raccourcies par les plissements.

Dans le Dj. Doui (fig.48), au-dessus du bâti paléozoïque, le Jurassique constitue des affleurements réduits, le plus souvent en compartiments effondrés sur les côtés Nord. La série Jurassique reconstituée, offre cinq termes lithologiques qui sont, de bas en haut :

- des dolomies et calcaires dolomitiques gris-noir ;
- des calcaires gris-bleu, beige-rosé, massifs, cristallins (100 m) ;
- des calcaires détritiques en bancs décimétriques (50 m) ;
- une alternance calcschisteuse varicolore, détritique (30 m) ;
- des calcaires blancs massifs (20 m).

Dans le massif du Rouina, anticlinal d'axe N-S, de faible altitude (fig. 52), le flanc oriental, effondré par une faille subméridienne est extrêmement réduit, le flanc Ouest, vaste monoclin, offre une série Jurassique complète allant du Lias ou Infralias au Tithonique-Berriasien.

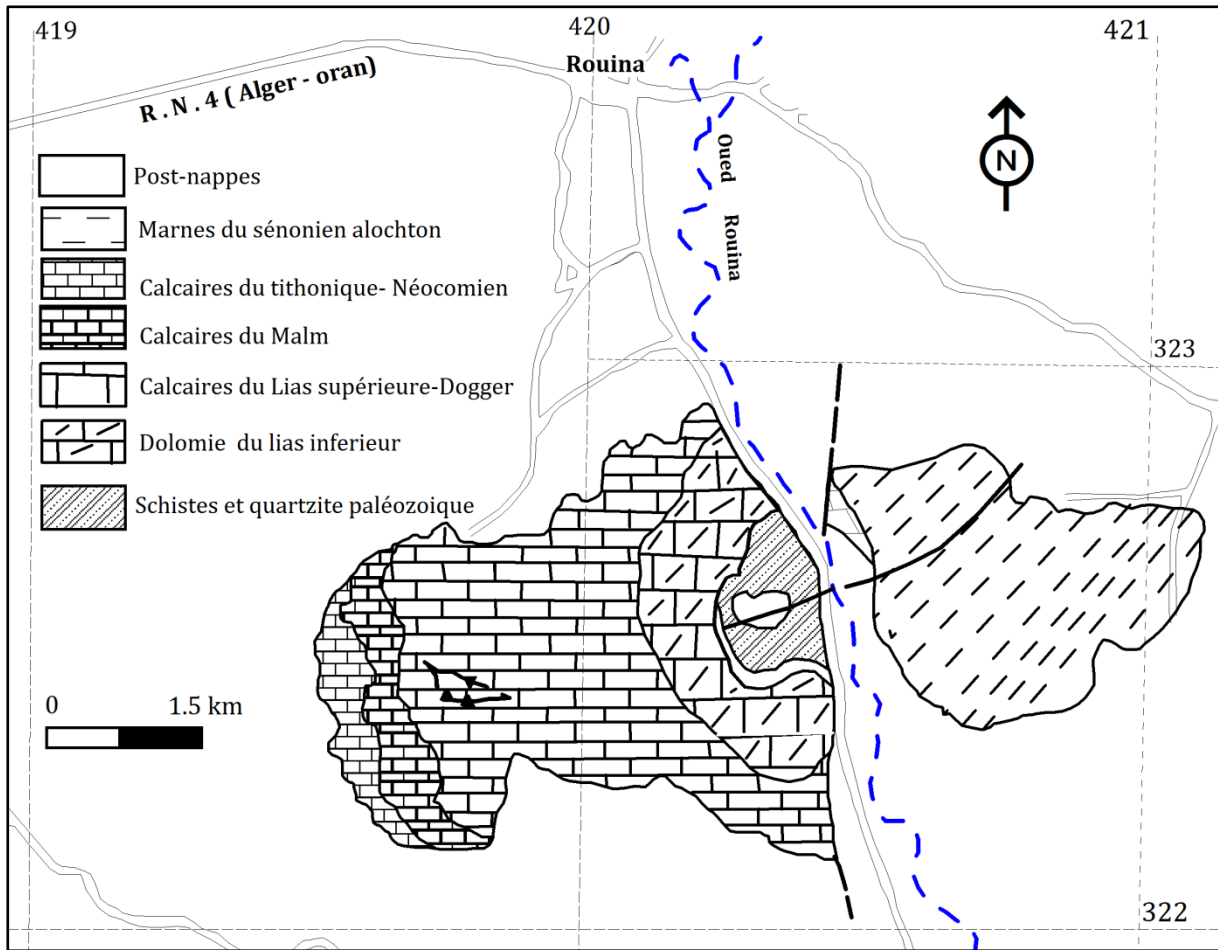


Figure 51 : Carte géologique de Djebel Rouina (KIRECH 1977).

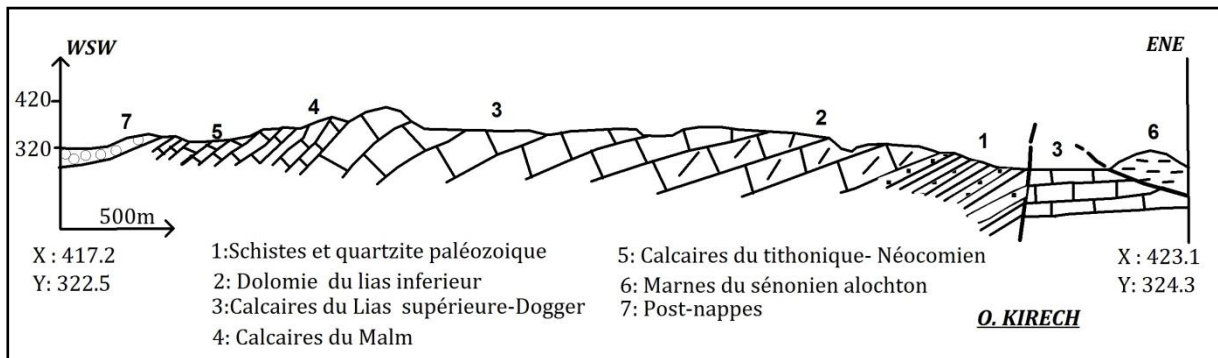


Figure 52 : Carte et Coupe géologique de Djebel Rouina (O. KIRECH 1977).

Au Dj. Témoulga (fig. 53), la série jurassique assez complète, est peu épaisse.

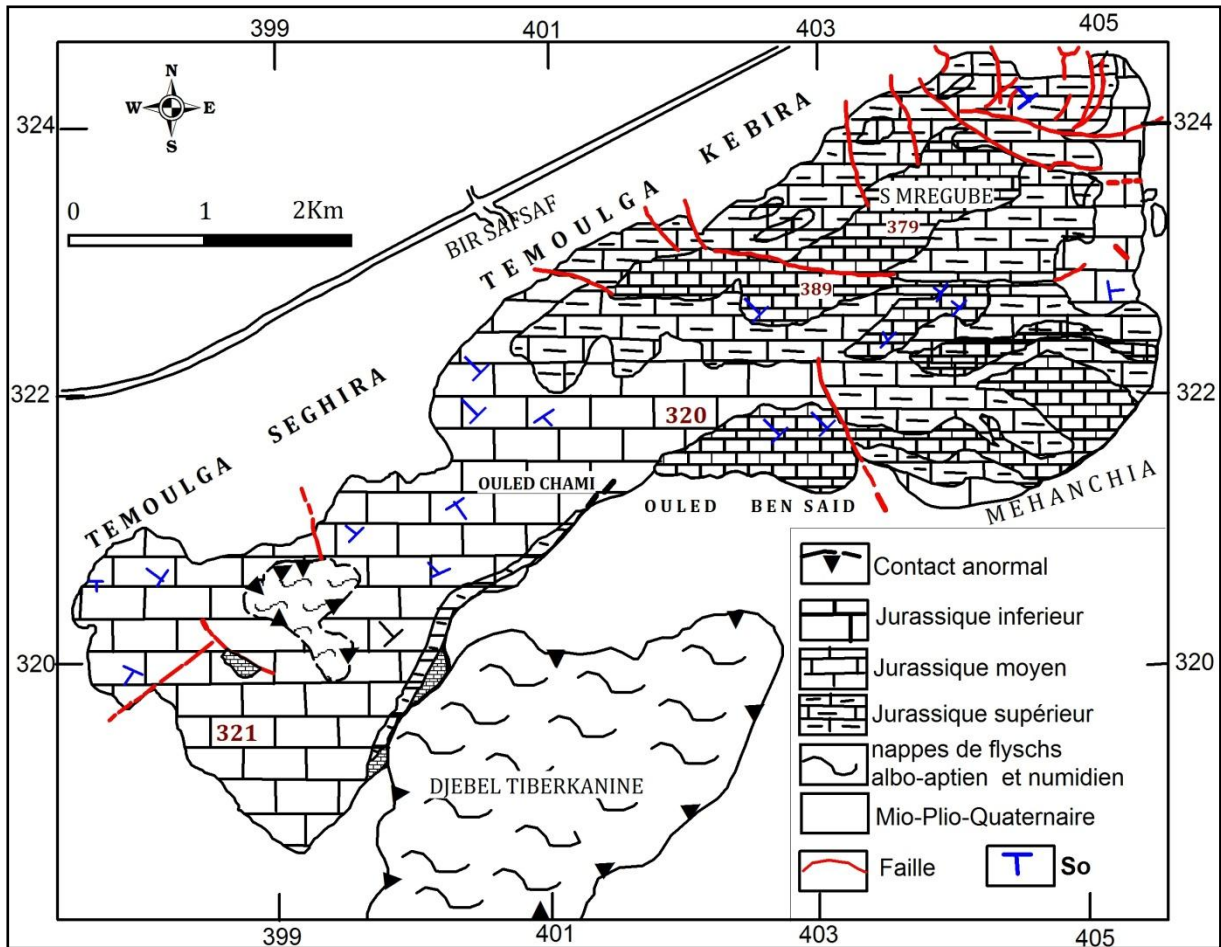


Figure 53 : Carte géologique de Djebel Temoulga (O. KIRECHE 1977).

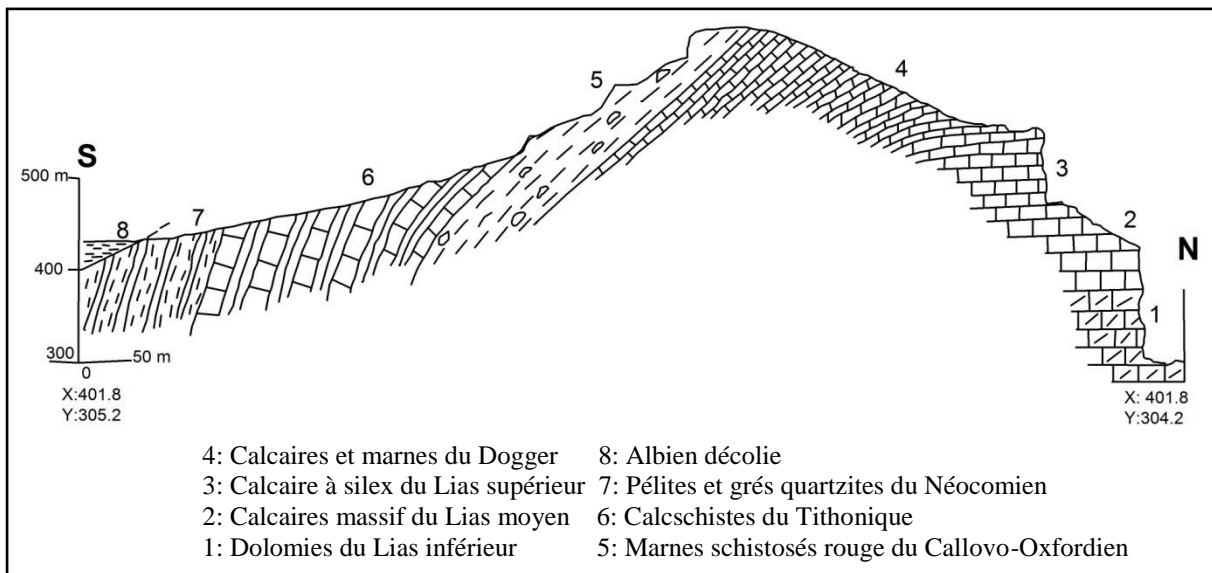


Figure 54 : Coupe du massif de Koudiat Larouah (Barrage de l'Oued Fodda, d'après Y. Gourinard, modifiée par O. Kirèche).

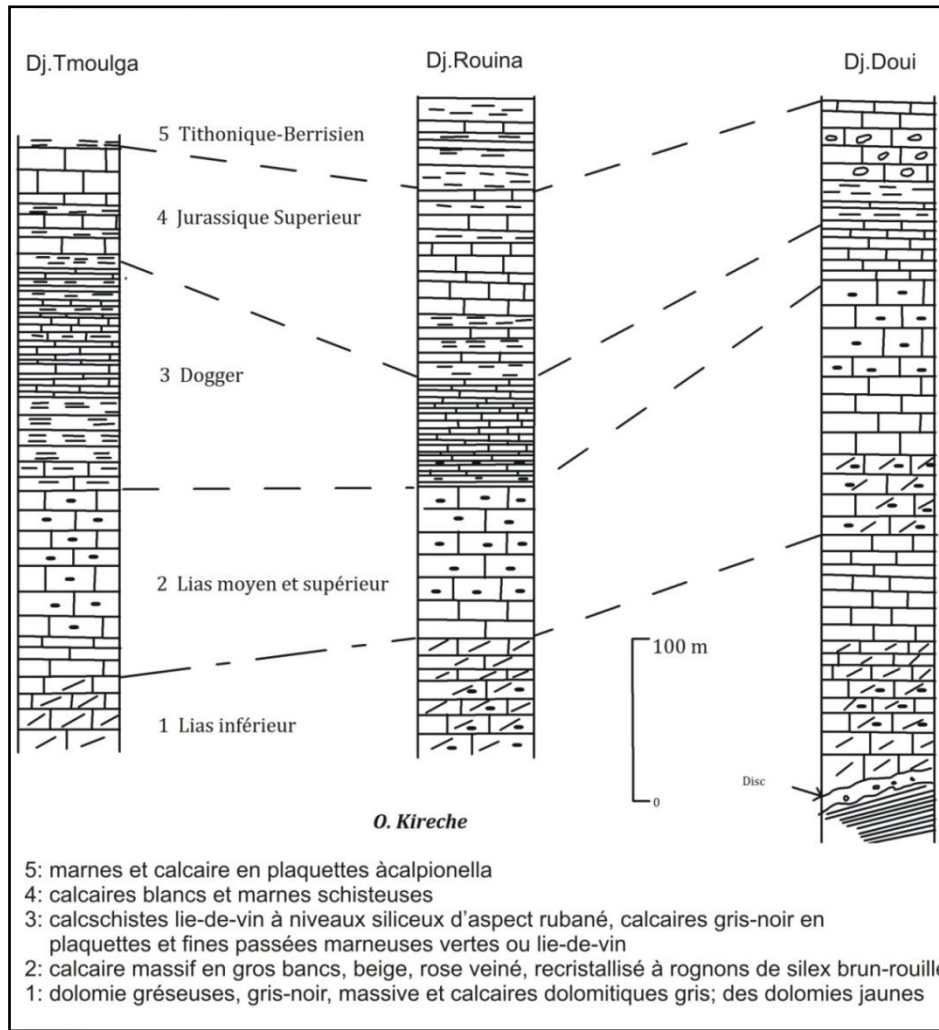


Figure 55 : Le Jurassique des massifs du Chélif (colonnes synthétique).

5.1.2.3. Le Crétacé

a). *Le Crétacé inférieur*: À l'opposé de l'Ouarsenis et du Dahra où il forme une série très épaisse (6000 m ou plus), le Crétacé est réduit dans les massifs du Chélif.

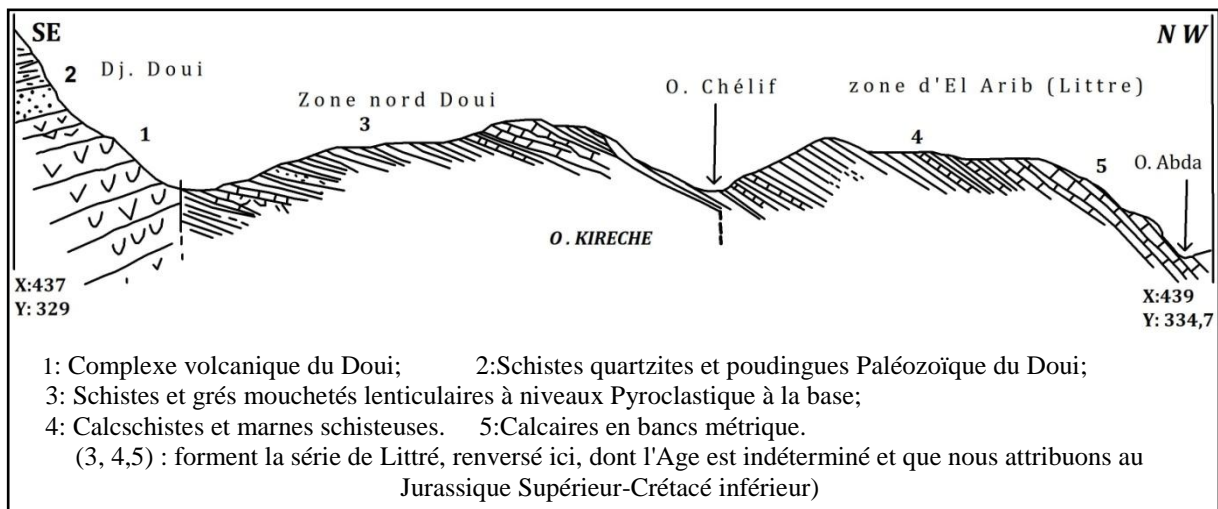


Figure 56: Coupe synthétique de la série de Littré, au Nord de Doui (O. KIRECHE).

A l'extrémité Ouest du massif du Rouina (fig.51), des marnes coiffent la série Jurassique et pourraient correspondre soit au Tithonique soit au Berriasien (Mattauer, 1958). Partout ailleurs dans les massifs du Chélif, ce sont des calcschistes, des schistes argileux et grès quartzites de la série de Littré (fig. 56) qui pourraient représenter le Crétacé inférieur (Mattauer, 1958).

Dans les collines du Nord d'El Karimia, il s'agit d'une formation particulièrement tectonisée, formée de schistes très fins argileux et de lentilles de grès-quartzites roses, mouchetés, à très nombreux filons de quartz.

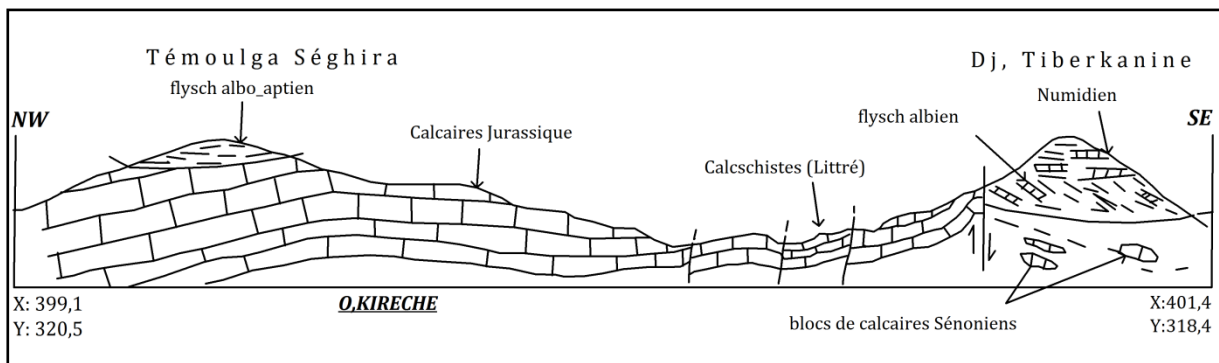


Figure 57 : Coupes du Témoulga Séghira-DJ. Tiberkanine (O, KIRECH 1977).

b). Le Crétacé supérieur: Les terrains, appartenant au Crétacé supérieur dans les massifs du Chélif, sont en lambeaux isolés. Ils sont constitués de marnes et calcaires marneux, leur structure simple s'oppose à celle plus complexe du Crétacé inférieur et du Jurassique.

A l'Est de l'Oued Rouina, on observe, en contact faillé avec les calcaires Jurassiques, des marnes, recouvertes par le conglomérat rouge du premier cycle du Miocène post nappes (Miocène du Chélif). L'affleurement restreint, d'âge Cénomaniens (Mattauer, 1958), correspondrait selon toute probabilité à un lambeau allochtone.

Dans le Doui, le Crétacé est représenté par deux affleurements, l'un à l'Ouest près de Sidi-Slimane, et l'autre à l'extrémité Sud, près du socle. Entre Sidi-Slimane et Sidi Soltane (Ouest du Doui), représenté par des marnes du Cénomaniens (Mattauer, 1958).

Sur la bordure méridionale du massif du Témoulga, des marnes avec des intercalations marno-calcaires Sénoniens (Mattauer, 1958), sont en contact, non visible partout, localement faillé, avec le Jurassique. A l'Est du massif, un affleurement de marnes beiges et brunes d'âge albien supérieur correspond probablement à un lambeau d'unité A, entièrement entourée de dépôts récents (Mattauer, 1958).

Au Dj. Tiberkanine, un lambeau de flysch Albo-aptien est en contact anormal sur du Sénonien marno-calcaire, lequel est en contact faillé avec le Jurassique du Témoulga Sghira. Des grès à faciès numidien et des argiles sous numidiennes à coiffent les flyschs qui, en toute probabilité, appartiennent à une nappe massylienne (Kirèche 1993).

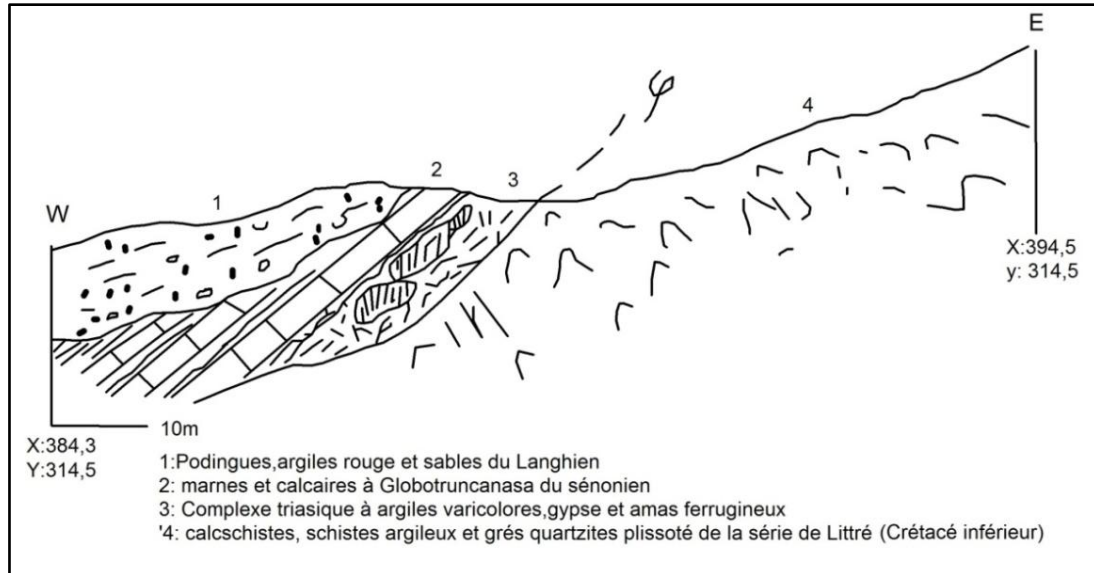


Figure 58 : Le Sénonien allochtone (Nappe B) d'EL Karimia (O. Kirèche 1993).

Les principales formations observées dans les massifs du Chélif sont schématisées sur la figure proposée par (Mattauer 1957) :

- 1- le socle cristallophyllien du Doui ;
- 2- la série schisto-calcaire ou « schistes de Littre », observée à El-Arib (Littre), au Doui, à Temoulga et à El Karimia (Ex. Lamartine) ;
- 3- la série schisto-quartziteuse du Zaccar ;
- 4- le complexe volcanique du Doui et du Zaccar ;
- 5- la série schisto- gréseuse et conglomératique du Doui, du Rouina et du Zaccar ;
- 6- les dolomies, cargneules et calcaires dolomitiques du Doui et du Rouina ;
- 7- les calcaires Jurassiques et les marno-calcaires du Crétacé.

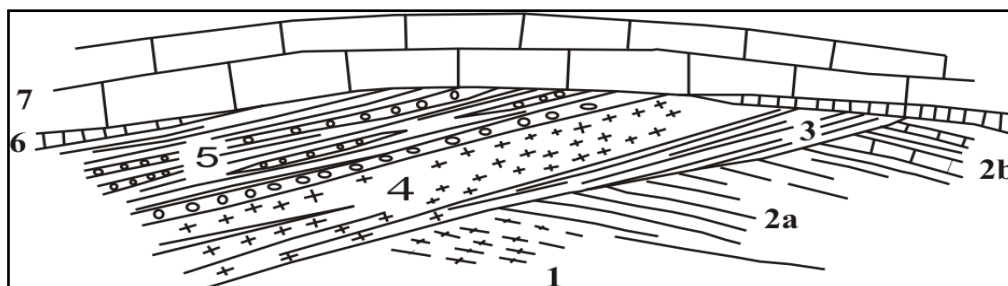


Figure 59 : Coupe synthétique montrant les relations entre les différentes séries du Primaire du Chélif et la discordance entre le Primaire et la transgression du Jurassique (Mattauer 1957).

5.1.3. Tertiaire

5.1.3.1. L'Eocène

Les formations Eocène affleurent au Sud du Dj Temoulga, c'est un ensemble de grès quartzeux et argileux, de marnes calcaires et des argiles schisteuses avec quelques intercalations de bancs de quartzites.

5.1.3.2. Le Miocène:

Représenté par une formation d'environ 300m d'épaisseur :

a). Le Miocène inférieur: Attribué au Burdigalien par A- Perrodon (1957), repose en discordance sur les terrains plus anciens (Eocène et Crétacés), débute par une formation conglomératique d'épaisseur variable, pouvant parfois atteindre 220m. Cette série continentale détritique grossière est constituée essentiellement de conglomérats hétérométriques et polygéniques, avec des niveaux sableux ou gréseux mal stratifiés parfois gypsifères, dans la partie supérieure les niveaux conglomératiques deviennent plus fins et passent progressivement à des marnes gréseuses rouges à brun verdâtres plus ou moins gypseuses, au sein desquelles s'intercalent des bancs gréseux ou conglomératiques lenticulaires.

Le Miocène inférieur affleure au Sud, en bordure de la plaine dans le bassin d'El Abbadia.

b). Le Miocène supérieur: Attribué au Vindobonien par A-Perrodon (1957), formé par une série marine débute par des niveaux conglomératiques épais de 1m à 2m à ciment sablo-marneux, surmonté par un niveau marneux de couleur bleue dont l'épaisseur atteint 50m à El-Abbadia. Cette formation est surmontée par des marnes blanches alternant avec quelques bancs siliceux, couronnées par un dépôt de grès et de sables dont l'épaisseur est de 100m appartenant au Tortonien inférieur. Une formation marneuse messénienne de couleur bleue présentant un faciès argileux parfois gypseux de 90m d'épaisseur termine la série.

5.1.3.3. Le Pliocène

Constitué de bas en haut par:

- Des grès sableux et des calcarénites d'une épaisseur de 100m.
- Des grès sableux à hélix du Pliocène inférieur qui montrent à leur toit des sables et des grès.
- Des conglomérats et des sables argileux rouges d'une épaisseur de 50m, inclinés vers l'axe de dépression. Cet horizon a été attribué au Pliocène supérieur.

Le Pliocène affleurent sur le flanc Nord du bassin sous forme d'une étroite bande de grés sableux.

5.1.4. Quaternaire

Représenté par des sédiments continentaux de natures variables. Il s'agit d'une série complexe de dépôts discontinus formés d'éléments hétérométriques et hétérogènes, ces formations Quaternaires couvrent de grandes étendues dans la vallée du Chéelif. On y rencontre les faciès suivants :

a). Alluvions anciennes (niveau inférieur): Représentées par des dépôts caillouteux et limoneux jaunâtres, disposés en plates-formes, qui se relèvent avec des pentes plus au moins accusées aux bords des premières lignes de relief au Sud d'El Attaf, le long des affluents de l'Oued Chéelif. Ce sont des terrasses de faibles importances.

b). Alluvions récentes: Formées par des dépôts limoneux de la plaine du Chéelif et des vallées latérales, avec des nappes caillouteuses au niveau des cônes de déjection.

c). Eboulis de pentes : Constitués par des amas de débris calcaires plus ou moins cimentés, sur les pentes inférieures et au pied des escarpements rocheux liasiques du Djebel Témoulga.

d). Alluvions actuelles: Formées par des limons sableux, des graviers occupant la partie axiale de la dépression du Chéelif.

5.2. Les terrains allochtones

Les terrains allochtones sont constitués d'un empilement de nappes. (A. Caire et M. Mattauer 1953) en distinguent trois grands ensembles correspondant aux nappes A, B et C.

5.2.1. La nappe « A »

Constituée d'une alternance marno-gréseuse épaisse, d'âge Crétacé inférieur, avec Trias gypseux.

5.2.2. La nappe « B »

A faciès essentiellement flychoïde à marneux avec des blocs de quartzites et des calcaires emballés, d'âge crétacé supérieur.

5.2.3. La nappe « C »

Constituée de terrains grés-micacés à dragées de quartz d'âge Oligo-Miocène et de calcaire argileux du crétacé supérieur.

6. SISMICITE DE LA REGION

La sismicité de l'Algérie est caractérisée par des séismes superficiels, elle est localisée dans les 20 premiers kilomètres. Cette sismicité est généralement marquée par des séismes faibles à modérés. Toutefois, Des séismes forts se sont produits dans l'Atlas Tellien, nous pouvons citer le séisme majeur d'El Asnam du 10 Octobre 1980 ($M_s = 7,3$). Les structures actives sont représentées généralement par des failles inverses et/ou de coulissement. Les failles qui engendrent ces séismes sont principalement orientées NE-SW (Ouyed et al., 1983; Meghraoui, 1988 & 1996 ; Bounif et al., 2004, Delouis et al., 2004 ; Yelles-Chaouche et al.) (In, BELDJOUDI.H. 2011).

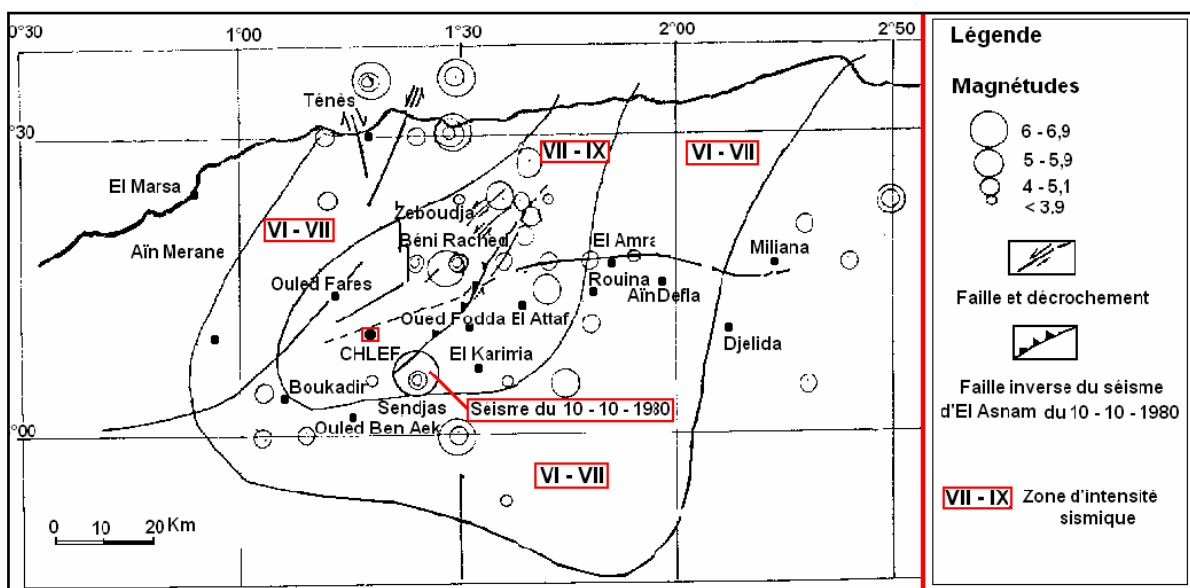


Figure 61 : Carte des intensités sismiques maximales et principaux épicentres enregistrés au cours de la période (1790 - 1978) Région de Chlef) CRAAG –Alger.

6.1. Le séisme d'El Asnam du 10 Octobre 1980

Ce séisme superficiel (36.16° N, 1.39° E, profondeur = 10 km) reste le plus violent survenu à l'Atlas Tellien occidental ($M_s = 7,3$) depuis l'ère instrumentale (Fig. 61). La faille (d'El Asnam ou d'Oued Fodda) est située sur le pli-faille du bassin de Cheliff. La source sismique est de type inverse orientée NE-SW et plonge vers le NW. Ce séisme a laissé des traces de surface visibles sur 40 km le long de la faille avec un rejet vertical maximum observé de 6 mètres (Fig. 63). Ce séisme a été ressenti sur un rayon de 250 Km.

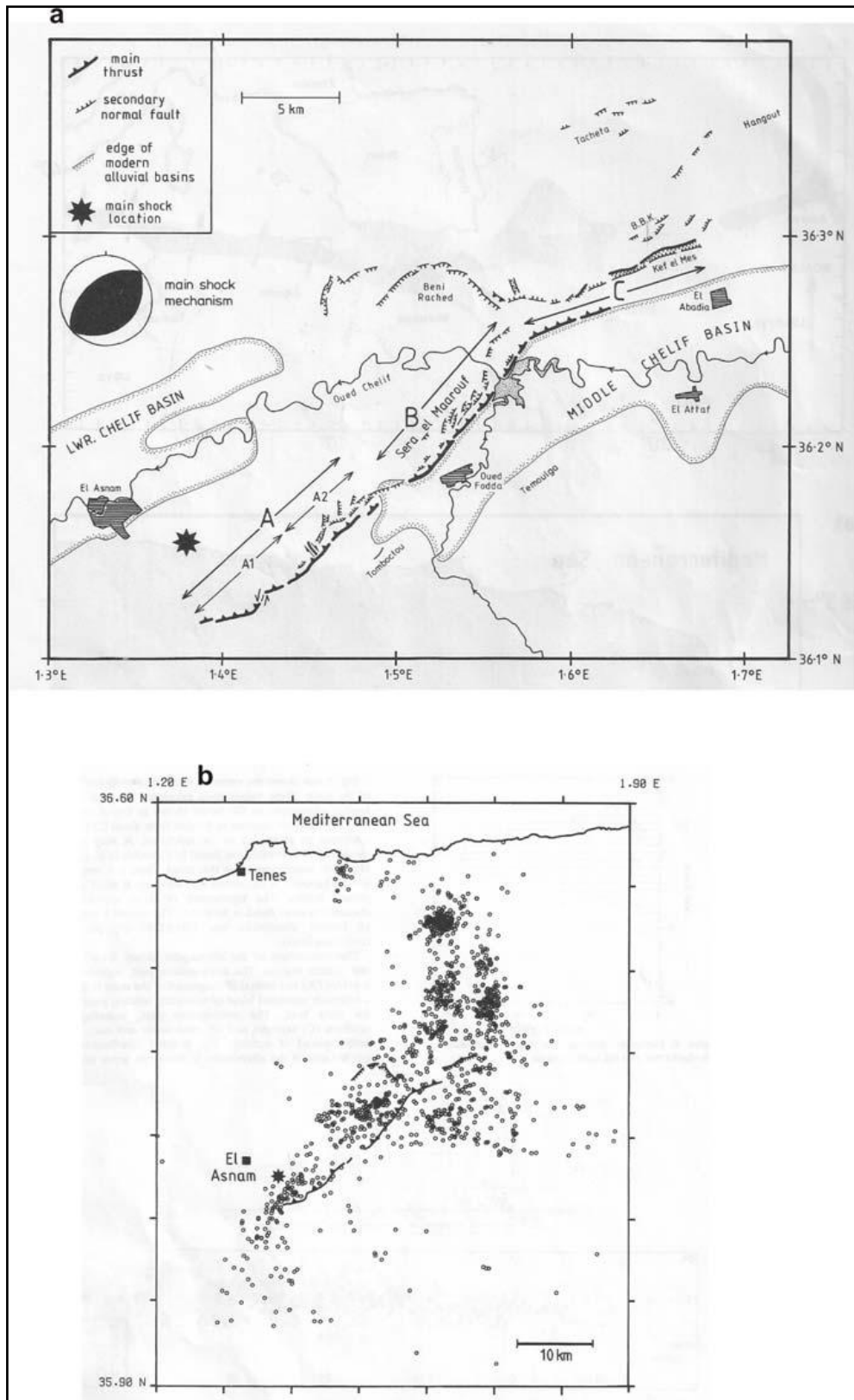


Figure 62 : a) Carte montrant le mécanisme au foyer du séisme d'El Asnam du 10/10/1980 ainsi que sa localisation (l'étoile).. A, B et C sont les segments de la faille

b) La répartition des 1279 répliques bien localisées. Les traces de surfaces sont mentionnées par des lignes (Yielding et al. 1989).



Figure 63: Traces de surface observées tout le long des 36 km de la faille .

7. CONCLUSION :

Résumé des datations proposées par des prédécesseurs aux divers formations

Formation Auteurs	Soile cristallo- phyllien	Schiste de Litré (schisto- calcaire)	Complexe volcanique	Schisto- gréseux	Calcaire inférieur	Calcaire moyen	Calcaire supérieur
Kirèche (1993)	Paléozo- ique	Jurassique sup- Crétacé inf	Carbonifère	Stephano- Permien	Infralias	Lias- Dogger	Malm
Mattauer (1957)	Silurien ou Anté	Dévonien	Carbono- permien	Permo- Trias	Trias	Jurassique inf moy sup	
Caire <i>et al.</i> (1950)	Primaire			Secondaire			
Bétier (1937)	Anté- silurien	Siluro- permien	Secondaire				
Geoffroy (1936)	Non étudié	Néocomien	Barrémien		Aptien		
Glangeaud (1926)	Anté Silurien	Siluro- permien	Secondaire				
Brives (1925)	Non observé	Silurien	Permien		Jurassique		Crétacé
Gentil (1904)	Non observé	Silurien	Permien		Jurassique		Crétacé
Pomel (1870)	Non observé	Crétacé inférieur					

CHAPITRE IV

Identification des Aquifères

1. ETUDE GEOPHYSIQUE

Afin d'étudier la structure des dépôts, de la plaine du moyen Chélif orientale, deux campagnes de prospection géophysique par la méthode électrique ont été menées sur l'ensemble de la plaine, l'une par la compagnie générale de géophysique (C.G.G) en 1969, complétées par une autre réalisée en 2002 par Bureau d'études IFES (Icosium Forages Engineering Services) en collaboration avec l'ANRH.

1.1. Principe de la prospection par sondage électrique

L'objectif des études par les méthodes électriques est la détermination des résistivités des roches de subsurface à partir des mesures effectuées sur la surface du sol et, par là même, l'estimation des résistivités vraies. Il est à rappeler qu'une roche joue le rôle d'une résistance au passage d'un courant électrique. La résistivité « r » d'un milieu est la propriété physique qui détermine la capacité de ce milieu à laisser passer le courant électrique. Elle est la résistance d'un cylindre de section et longueur unitaire.

$$\mathbf{R} = \rho \mathbf{L}/\mathbf{S} \quad \text{Avec} \quad \begin{array}{ll} \mathbf{R} : \text{résistance (ohm).} & \mathbf{r} : \text{résistivité (ohm m)} \\ \mathbf{L} : \text{longueur (mètre).} & \mathbf{S} : \text{section (m}^2\text{).} \end{array}$$

L'étude se base sur la lecture indirecte de la résistivité apparente des formations traversées par un courant électrique continu injecté à partir de la surface du sol à l'aide d'électrodes séparées par une distance AB.

$$\rho_a = k \mathbf{V}/\mathbf{I} ; \text{ Avec :} \quad \begin{array}{ll} \mathbf{V} : \text{tension.} & \mathbf{K} : \text{coefficient géométrique} \\ \mathbf{I} : \text{intensité du courant.} & \end{array}$$

On mesure la différence de potentiel entre les électrodes **M** et **N**. On utilise en général le principe du quadripôle **ABMN** du type Schlumberger. Ces sondages permettent d'établir la succession, en profondeur, des couches de résistivités différentes. Pour atteindre des profondeurs de plus en plus grandes, on éloigne progressivement les électrodes d'émission.

A et **B**. Les valeurs de la résistivité "**ra**" obtenues sont portées en ordonnées et AB/2 en abscisses, sur une échelle bi logarithmique. Ce ci suppose en général que les couches sont horizontales.

L'interprétation en résistivités réelles consiste à l'étude de la déformation progressive des courbes de résistivités apparentes établies de proche en proche. Il s'agit de restituer à partir de ces courbes une coupe géoélectrique du sous sol en précisant l'épaisseur et la résistivité vraie. Ces courbes vont être calées sur des abaques de sondages électriques

préétablies pour des terrains théoriques connaissant le nombre de couches, les résistivités et les épaisseurs. Les résultats exploités donnent en général :

- des résistivités apparentes qui sont exploitées sous forme de cartes de résistivités apparentes (courbes d'équirésistivités). Les cartes sont établies en fonction de différentes longueurs d'émission, donnant ainsi des aperçus sur différentes formations à différentes profondeurs. Ces cartes mettent en évidence les anomalies : changement de faciès latéral, failles, pour différentes profondeurs.

- la résistance transversale, produit de la résistivité par l'épaisseur de la couche, est exprimée en (ohm m²). Ces cartes de résistance transversales donnent une idée sur l'importance des aquifères. Plus la résistance est élevée, plus l'aquifère est constitué de matériaux grossiers et de fortes épaisseurs. Il faut, cependant, tenir compte de l'eau d'imbibition qui réduit la résistivité électrique de la formation perméable (eau très minéralisée).

- des résistivités vraies et des épaisseurs permettant d'établir des coupes géoélectriques.

1.2. La compagnie générale de géophysique (CGG 1969)

1.2.1. Travaux réalisés

La compagnie générale de géophysique (CGG) de 1969 : comprend au niveau de la zone d'étude 15 profils d'orientation N-S avec une ligne d'émission AB comprise entre 2000 et 8000m (fig.1 Annexe), dont on dispose des coupes de 7 profils (Fig. 01 Annexe).

1.2.2. Echelle des résistivités

L'ensemble des résultats obtenus par les sondages électriques verticaux réalisés dans le secteur d'étude, a permis d'établir l'échelle des résistivités suivante :

Tableau 32 : Echelle des résistivités dans le moyen Chélif.

Résistivité en ohm .m	Caractéristiques lithologiques	Age des formations
10 - 30	Alluvions récentes argilo-graveleuses	Quaternaire
70 - 120	Alluvions graveleuses	
80 - 100	Conglomérats et argiles rouges	Pliocène
15 - 20	Argiles et sables	
100 - 150	Grès et grès sableux	
10 - 15	Marnes bleues	
200 - 400	Grès secs	Miocène
100 - 150	Grès et poudingues	
30 - 70	Grès, sables et argiles	
8 - 15	Argiles grises	
15 - 100	Argiles, marno-calcaires et grès	Eocène
15 - 20	Marnes et schistes	Crétacé
200 - 500	Calcaires et calcaires dolomitiques	Jurassique
30 - 70	Schistes et quartzites	Primaire

1.2.3. Interprétations des cartes de résistivités

a). Carte des résistivités apparentes en AB = 300m

La carte des résistivités apparentes (AB = 300m) d'une profondeur d'investigation comprise entre 30 et 75m a met en évidence trois zones distinctes:

- La zone comprise entre El Attaf et El Abbadia, S'étend une plage de résistivité apparente variant de 30 à 50 ohms .m, correspond au remplissage alluvionnaire. Cette zone est bordée au Nord et au Sud par deux plages conductrices d'une résistivité inférieure à 30 ohms .m appartenant respectivement aux terrains argilo- sableux du Plio- Quaternaire.

On constate, aussi bien au versant Nord du Djebel Témoulga que les valeurs des résistivités diminuent du fait, de l'émergence de la source thermale de Hammam Boudjemane par le biais d'un accident tectonique d'orientation NE-SW.

- A l'Est du secteur d'étude On y observe une succession de plages résistantes allant de 30 à 70 ohms .m, à intercalations de plages plus conductrices, témoignant d'une éventuelle hétérogénéité du recouvrement alluvial. Dans la partie centrale de la plaine, et en bordure Sud de laquelle la résistivité est nettement plus élevées, les courbes d'iso-résistivités varient de 70 à 170 Ohm.m, cette anomalie est due probablement au calcaires Jurassique.

b). Carte des résistivités apparentes en AB = 3000m

La carte des résistivités apparentes en AB = 3000m, dont la profondeur d'investigation est beaucoup plus importante que celle en AB = 300m, cette carte montre l'existence de deux zones différentes :

- Une zone dans la partie septentrionale de la plaine caractérisée par des valeurs de résistivité faibles correspond aux formations alluvionnaires du Mio-Plio-Quaternaires et aux argiles du Villafranchien.

- Une zone résistante située au Sud de l'Oued Chélif avec des résistivités allant de 28 Ohm .m à 180 Ohm .m correspondant probablement aux calcaire Jurassique.

Les valeurs de la résistivité les plus élevées ont été enregistrées dans les périphéries des massifs chélifiens.

c) Carte du toit du substratum résistant

La carte du toit du substratum montre que le moyen Chélif orientale est affecté par des failles transversales sur l'axe du bassin, avec des failles inverses parallèles à l'axe du bassin affectant le massif du Témoulga qui représente une structure en horst subdivisée en deux compartiments, celui du Nord effondré, où les terrains Mio-Plio-Quaternaires sont assez épais et celui du Sud soulevé représenté généralement par les calcaires Jurassiques.

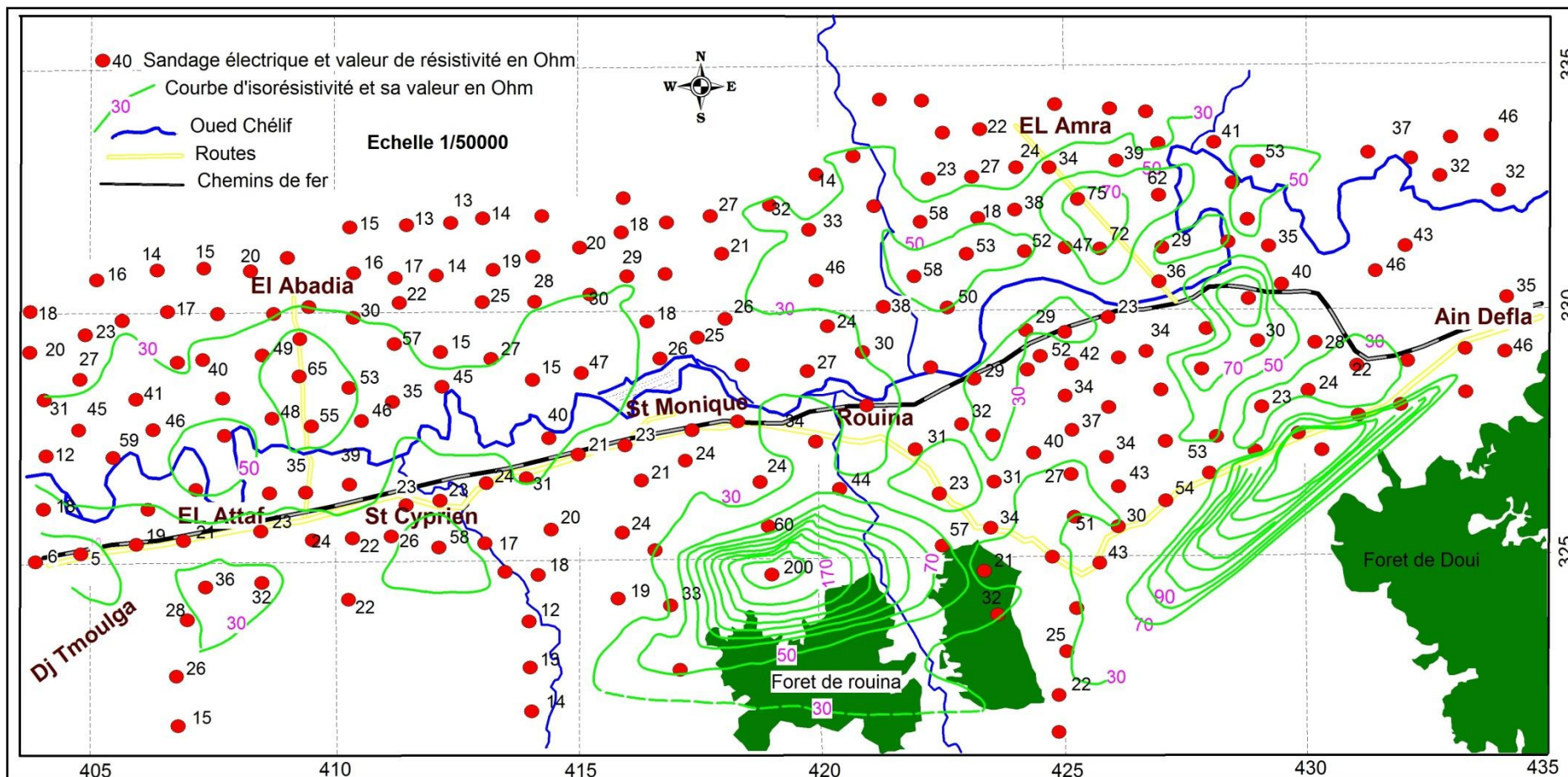


Figure 64 : Carte des résistivités apparentes en AB =300 m (CGG, 1969).

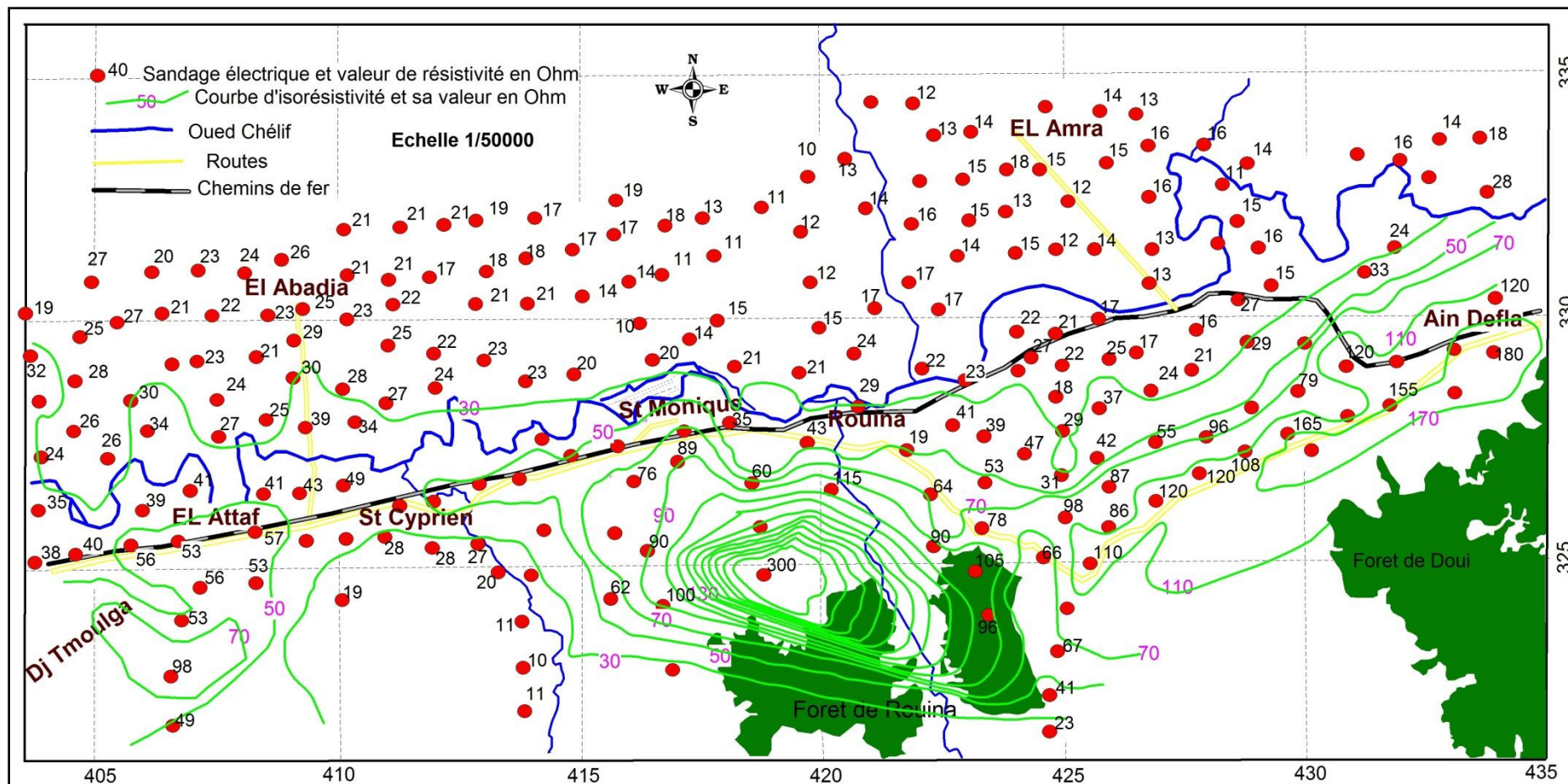


Figure 65 : Carte des résistivités apparentes en AB =3000 m (CGG, 1969).

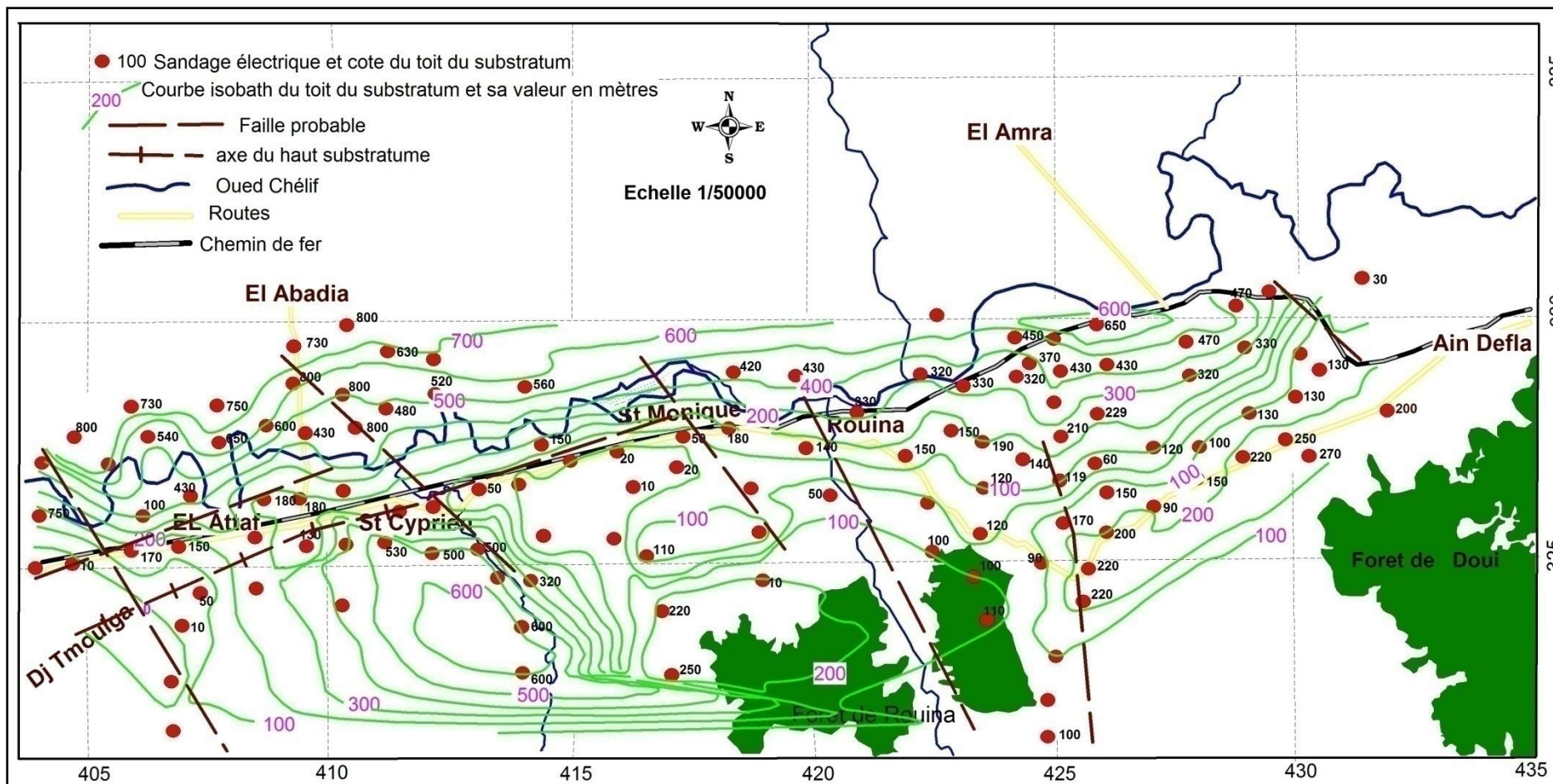


Figure 66 : Carte du toit du substratum résistant (d'après CGG, 1969).

1.2.4. Coupes géoélectriques

Les coupes géo-électriques transversales, réalisées par la CGG en 1969, montrent une allure synclinale du moyen Chélif orientale dont l'axe est localisé en rive droite de l'Oued Chélif. L'examen de ces coupes, orientées N-S a permis de mettre en évidence des niveaux de fortes résistivités apparentes ($\rho_{ap} = 50$ à 100 Ohm.m) et de profondeurs variables, ces niveaux sont intercalés par un niveau conducteur de ($\rho_{ap} = 10$ à 15 Ohm.m).

a). Coupes géoélectriques (MR, MQ et MPQ)

Se localisent au Nord de Djebel Témoulga, orientées N-S ; on peut observer la succession des niveaux suivants :

- ◆ Un substratum formé par les schistes et les calcaires Jurassique de Témoulga d'une résistivité de 100 Ohm.m, surmonté par une puissante couche d'argile d'une résistivité de 5 Ohm.m au sein de laquelle s'intercalent un passés marno-calcaires Eocène ($\rho_{ap} = 100$ Ohm.m) d'épaisseur variable latéralement.

Immédiatement au Nord du djebel Témoulga, ces calcaires sont affectés par une faille d'orientation NE-SW mettant en contact les argiles, les grès Eocène et les calcaires Liasique.

- ◆ Les grès Miocène et celle du l'Astien intercalé entre eux par un niveau alluvionnaire conducteur, ces deux formations gréseuse ont été recoupés par les sondages électriques au Nord et au centre de la dépression montrent une résistivité de 100 à 150 Ohm.m et une épaisseur de 80 à 100 m. On remarque qu'au niveau du versant Nord du djebel Témoulga, l'épaisseur de ces formations diminuent et se biseautent en rive gauche de l'Oued Chélif. Les terrains Astiens affleurent au niveau du flanc Nord de la dépression et plongent vers le Sud où ils sont recouverts par des galets et limons jaunâtres Quaternaires d'une résistivité de 40 à 70 Ohm .m

- ◆ Les alluvions et le recouvrement superficiel recoupé par les sondages électriques dans la partie centrale de la plaine, d'une résistivité comprise entre 10 et 15 Ohm .m .

On remarque d'après les coupes des variations d'épaisseur, aussi bien latéralement que verticalement.

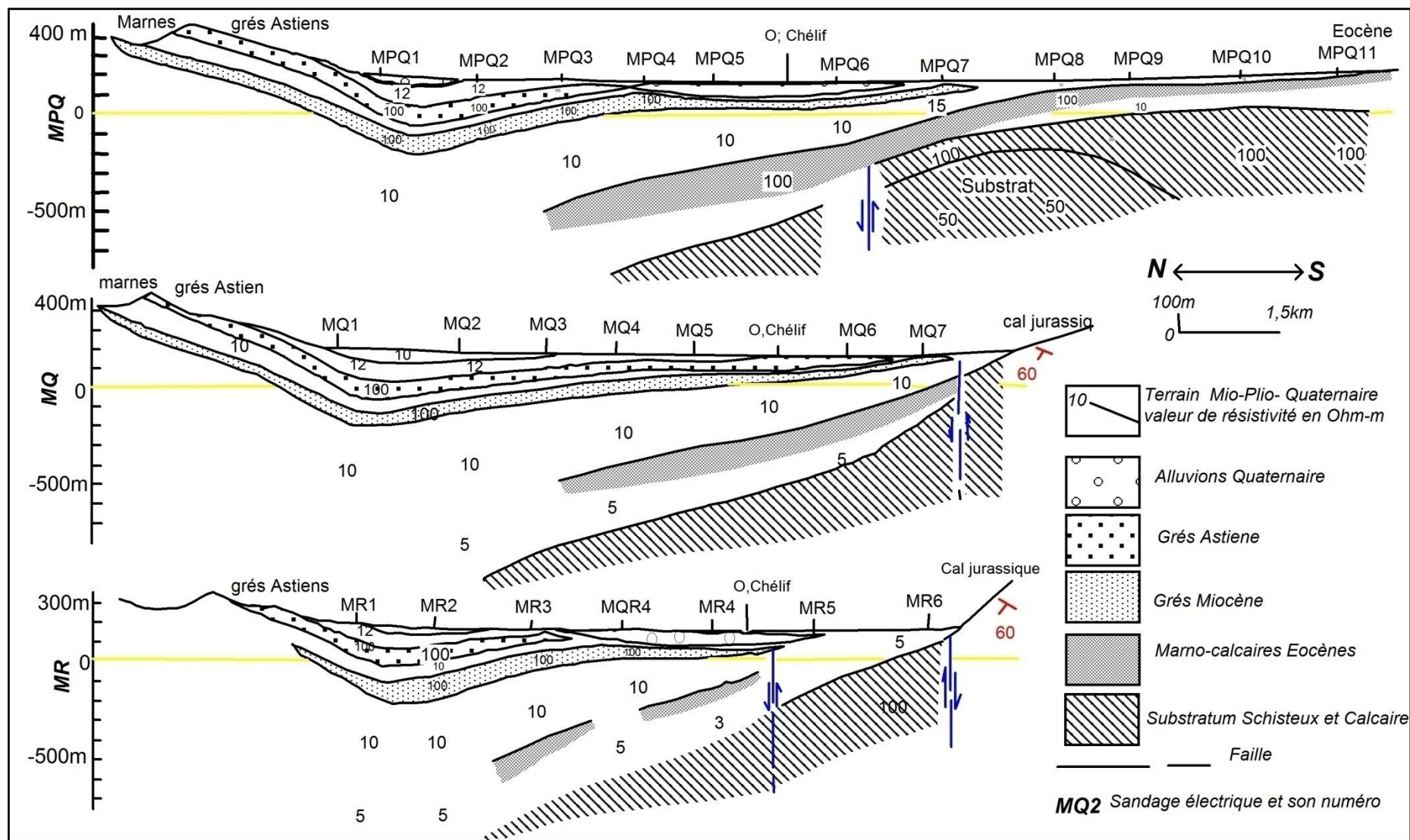


Figure 67 : Coupes géoélectriques (MR, MQ et MPQ d'après la CGG 1969).

b). Coupes géoélectriques (MOP, MO et MMN)

Ces profils sont exécutés immédiatement à l'Est des précédentes, les coupes de ces profils montrent la même succession des niveaux lithologiques avec les mêmes plages de résistivité, dans la coupe MNN on observe la disparition total des niveaux d'Eocène en outre il s'amincit et biseaute dans la coupe MOP et MO témoigne d'un changement latéral d'épaisseur.

Il est à noter l'existence de deux accidents tectoniques d'orientation NE-SW mettant en contact des calcaires du substratum avec les grés adjacentes.

c). Coupes géoélectriques (MFG)

D'orientation N-S limitée au Nord par la localité d'El Amra et au Sud, par la route RN4, révèle les terrains suivants:

◆ Un substratum résistant a la base ($\rho_{ap} > 100 \text{ Ohm.m}$), formé par les calcaire Jurassique d'épaisseur comprise entre 150 à 500 m, ce substratum est affecté dans l'extrémité Sud par deux accidents tectonique.

◆ Un horizon conducteur d'une résistivité de 10 à 15 Ohm.m , formé essentiellement par des Argiles Helvetiennes.

◆ Un niveau de grés Miocène d'une résistivité ($\rho_{ap} = 100 \text{ Ohm.m}$), séparé avec grés Astienne par un passage conducteur ($\rho_{ap} = 10 \text{ à } 15 \text{ Ohm.m}$). Les grés Astien ($\rho_{ap} = 100 \text{ Ohm.m}$) affleurent au Sandage MFG4 et disparaissent au Sandage MFG7.

d). Coupes géoélectriques (MCD)

Situées dans l'extrémité Est de la plaine, la coupe géoélectrique MCD montrent la succession des terrains suivants :

◆ Un substratum formé par des schistes de Doui d'une résistivité $> 200 \text{ Ohm.m}$ surmonté par les grés Miocène de ($\rho_{ap} = 100 \text{ Ohm.m}$), on note l'existence d'un niveau argileux conducteur ($\rho_{ap} = 10 \text{ Ohm.m}$).

◆ Un horizon formé par les grés Astien ($\rho_{ap} = 100 \text{ Ohm.m}$).

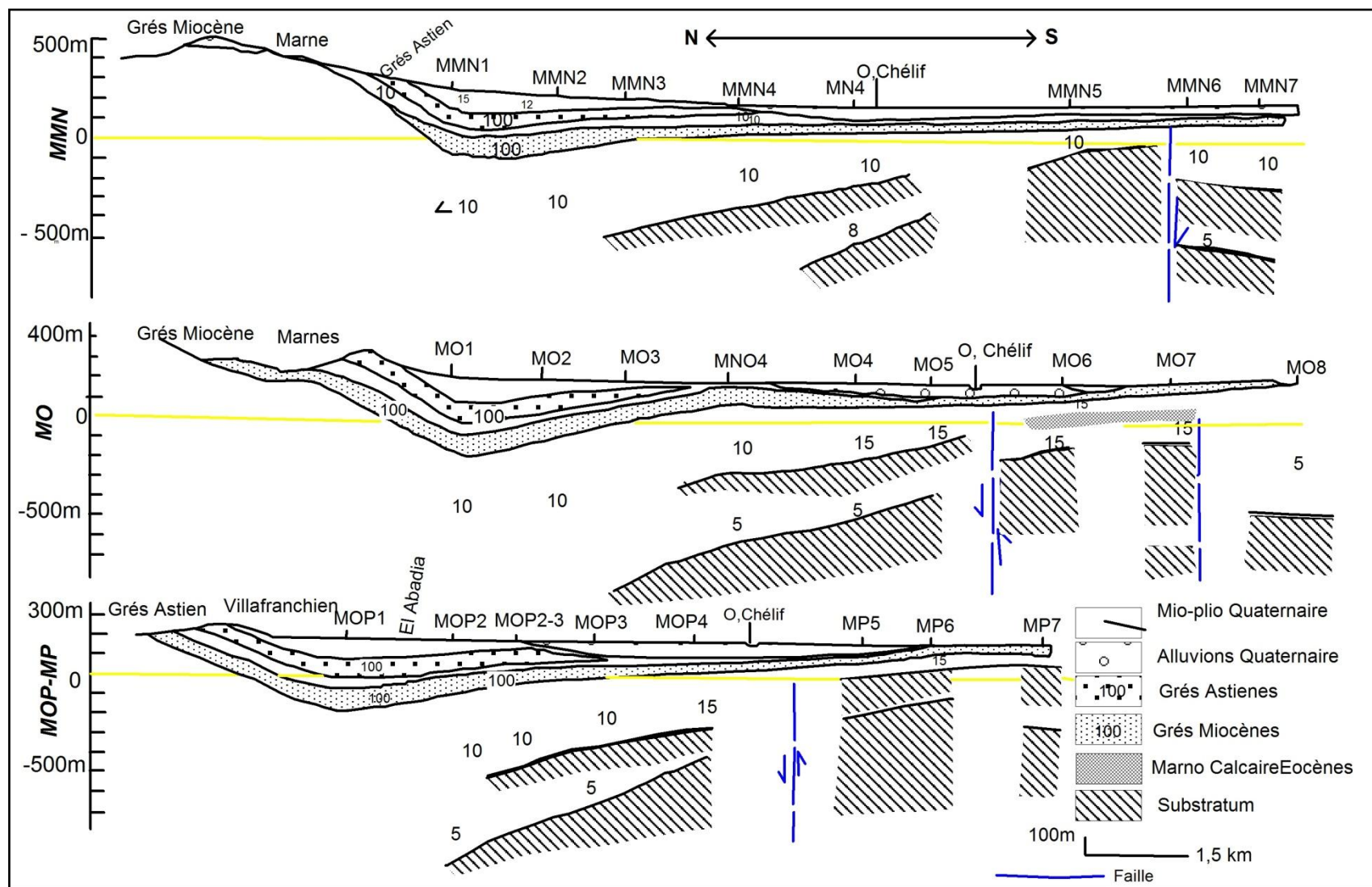


Figure 68 : Coupes géoélectriques (MOP, MO et MMN d'après la CGG 1969).

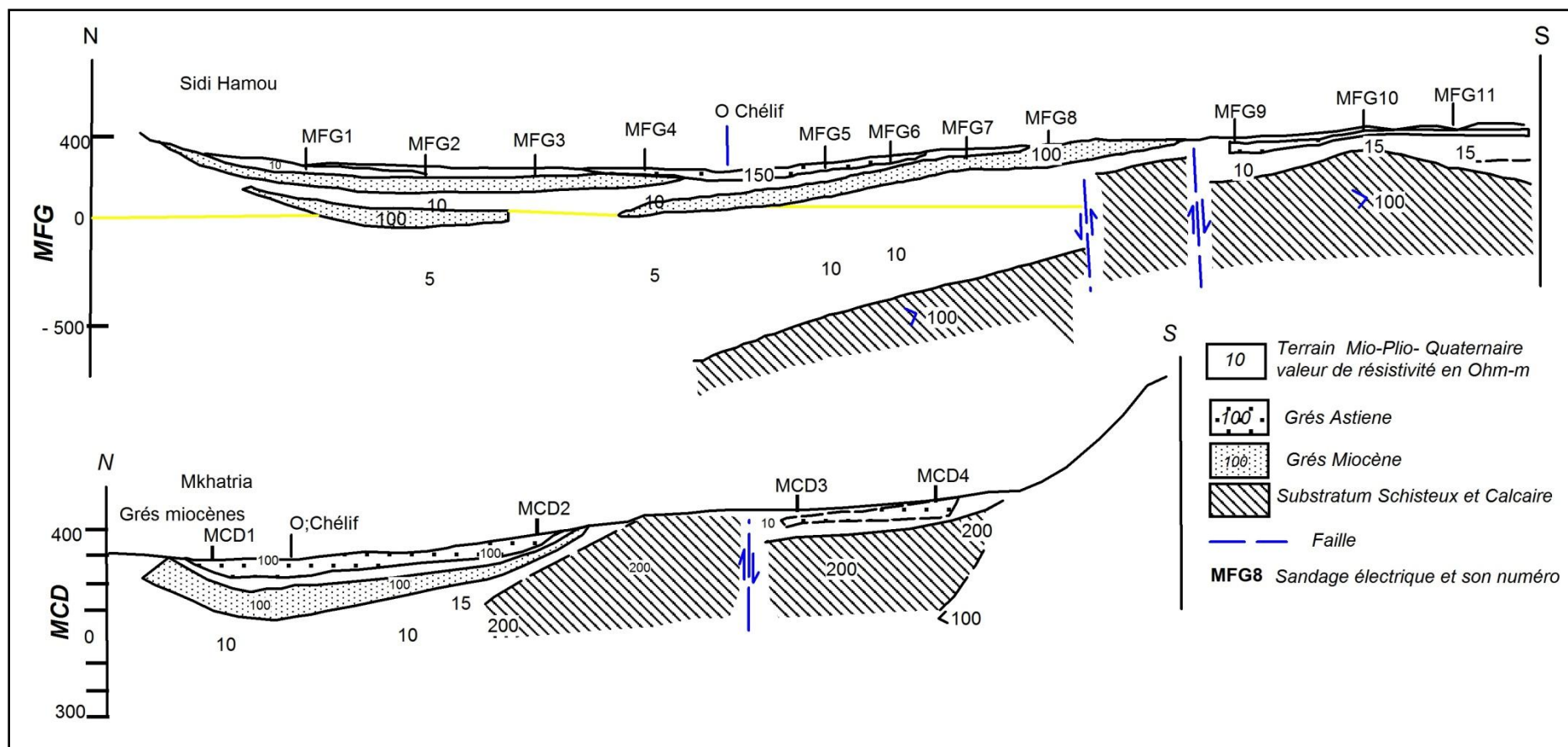


Figure 69 : Coupes géoélectriques (MFG et MCD d'après la CGG 1969).

1.3. La campagne IFS 2006

Une étude géophysique par prospection électrique a été réalisée à l'extrême Ouest de la plaine du moyen Chélif orientale par (A.N.R.H 2006), l'étude a été subdivisée en deux secteurs (I et II) situés respectivement à l'Est et à l'Ouest de la ville d'El Attaf (Wilaya d'Ain Defla) longeant la route nationale RN4 reliant Alger à Oran.(Fig02 Annexe).

1.3.1. Objectifs de l'étude

Les objectifs principaux de cette étude concernent essentiellement :

- *Pour le Secteur I :*
 - La détermination du contact eaux douces – eaux salées dans la partie Est de la nappe alluviale d'El Attaf pour éviter son extension vers l'Est où se trouve un champ de captage.
- *Pour le Secteur II :*
 - La détermination du contact eaux douces – eaux salées dans la partie Sud d'El Attaf.
 - La mise en évidence de nouvelles zones d'exploitation des eaux souterraines de bonne qualité chimique.
 - Limiter l'intercommunication entre les eaux minéralisées circulant au niveau des calcaires Jurassiques et du "Permo Trias" avec les eaux de la nappe alluviale.

1.3.2. Travaux réalisés :

L'étude a été réalisée sur un total de 106 sondages électriques verticaux (SEV), dont 50 SEV pour le secteur (I) sur 10 profils et 56 SEV pour le secteur (II) sur 14 profils.

Pour le secteur (II), en plus de la méthode électrique, il a été réalisé 112 points de magnétométrie sur 14 profils.

Tableau 33: Programme des prospections géophysiques.

Zones	<i>1 - Prospection électrique</i>			
	Longueur AB en m	Nombres de Sondages	Nombre de Profils	Maillage
Secteur I	1000 m	50	10	200 x 200
Secteur II	1000 m	56	14	200 x 400
<i>2 – Prospection magnétique</i>				
Secteur II	Nombre de profils		Nombre de points	Maille
	14		112	100 x 400

1.3.3. Secteur I:

Le secteur "I" a fait l'objet de travaux par la méthode du sondage électrique vertical sur dix (10) profils orientés NNW– SSE selon une maille de 200 x 200 mètres avec une ligne d'émission de courant AB=1000m (Fig. 03 Annexe).

1.3.3.1. Echelle des résistivités adoptées

Tableau 34 : *Echelles des résistivités adoptées.*

<i>Age</i>	<i>Formations</i>	<i>Résistivités adoptées (Ohm.m)</i>
Quaternaire	Limons argileux.	14 – 31
	Argiles.	6 – 12
	Graviers et galets moins salés	52 – 120
	Graviers et galets très salés	12 - 28
Messinien	Marnes.	12 – 38
Tortonien	Grés à intercalations argileuses.	52 – 220

1.3.3.2. Interprétations des cartes de résistivités

a). Carte des résistivités apparentes en AB = 200 m:

On observe une nette diminution des résistivités au Sud du secteur d'étude avec un fort gradient. La résistivité chute de 10 à 45 Ohm.m, sur 200 m entre la ligne A4 – J4 et la ligne A5 - J5. Cet abaissement est dû notamment à une faille, d'orientation Est - Ouest, qui se situe entre les points 4 et 5 de tous les profils du secteur.

A partir de là et vers le Nord, les résistivités sont étalées et dénotent une géologie calme sans discontinuités apparentes. Les résistivités se situent entre 45 et 65 Ohm.m et reflètent la composition graveleuse continue de la coupe à ce niveau.

b) Carte des résistivités apparentes en AB = 450 m:

La carte des résistivités en AB = 450m, montre les mêmes plages de résistivités que la carte précédente. A l'extrémité Sud, entre les points 4 et 5 de tous les profils à l'exception des points J4 et J5 dans le coin Sud - Est du secteur, où une anomalie apparaît dû probablement à une faille sous les alluvions a limite des formations Miocène d'orientation NE – SW.

c) Carte des résistivités apparentes en AB = 1000 m:

Cette carte montre un aspect différent des cartes précédentes. En effet, la faille visible auparavant n'apparaît ici que par intermittence. Ceci s'explique par la composition argileuse des horizons en contact de part et d'autre de la faille à ce niveau. Par contre, la faille mise en évidence au coin Sud Est du secteur dans la carte précédente (AB = 450m) se confirme par un gradient important. Le reste de la carte est uniforme, avec cependant de légères variations dans les résistivités qui sont dues certainement à un lent changement de faciès géologiques.

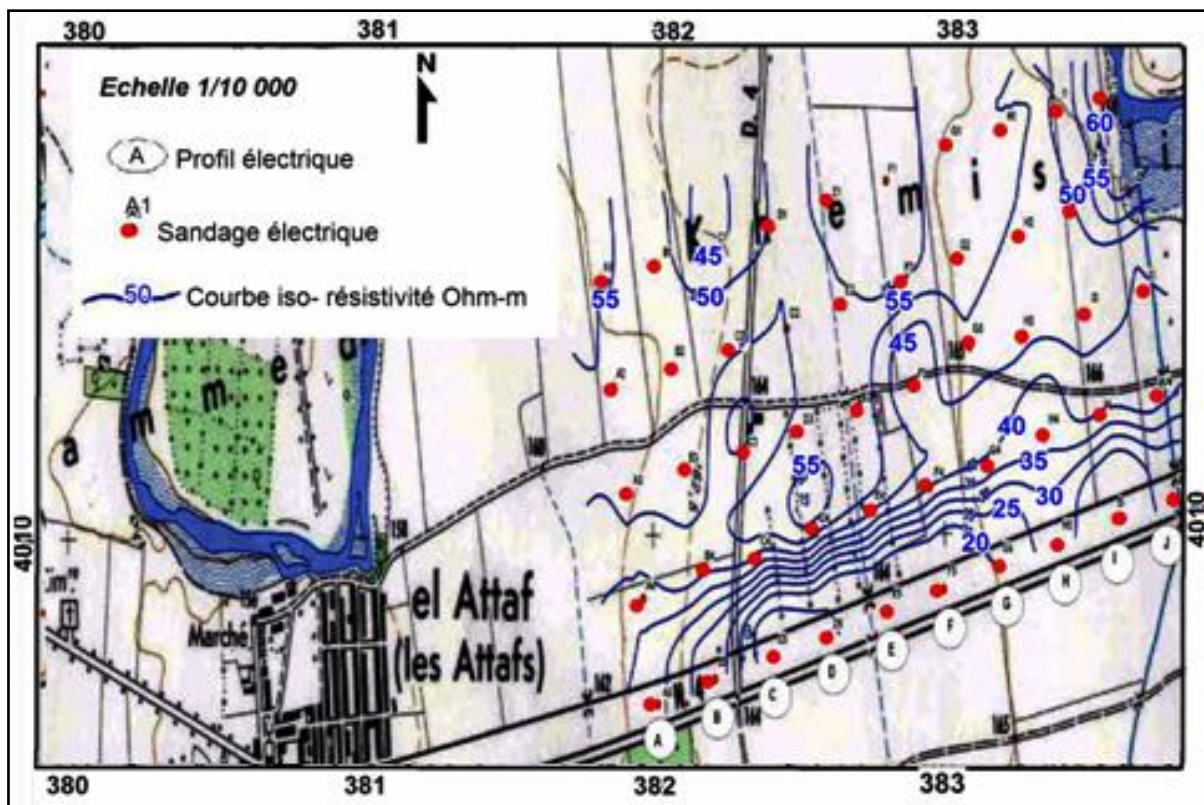


Figure 70 : Carte des résistivités apparentes en AB = 200 m (ANRH 2006).

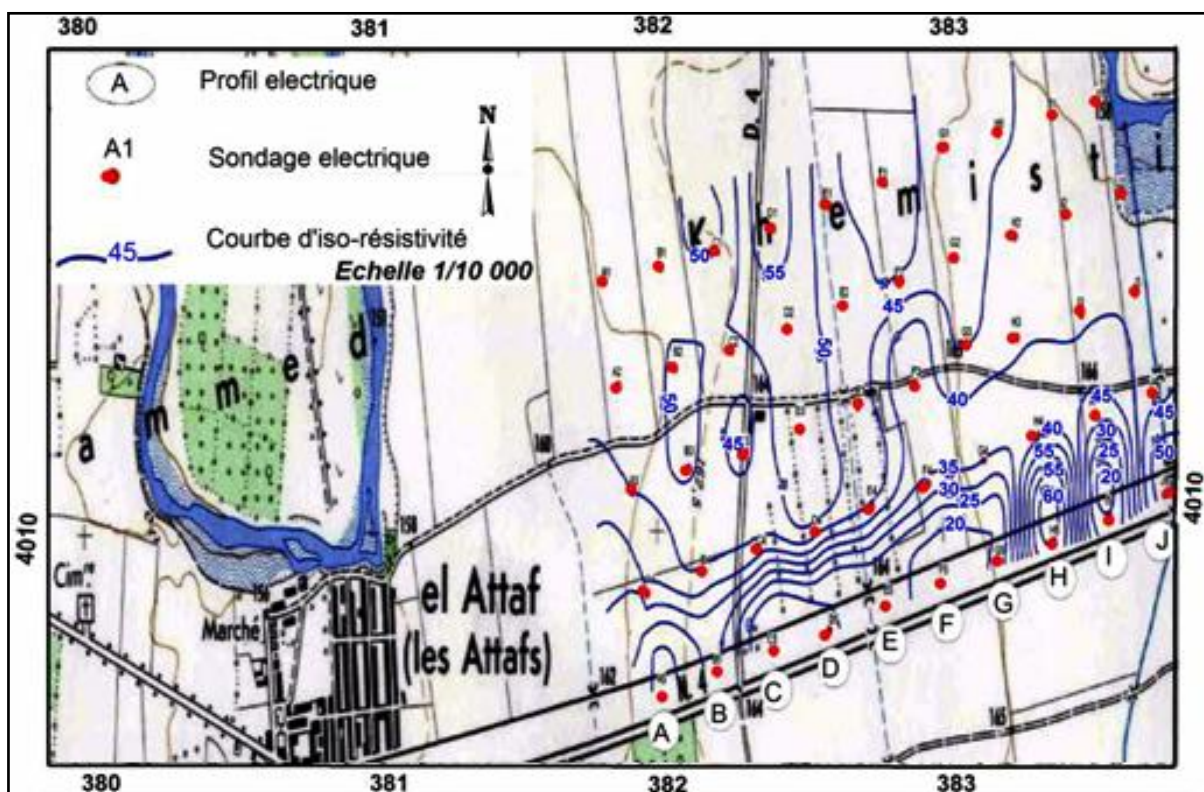


Figure 71 : Carte des résistivités apparentes en AB = 400 m (ANRH 2006).

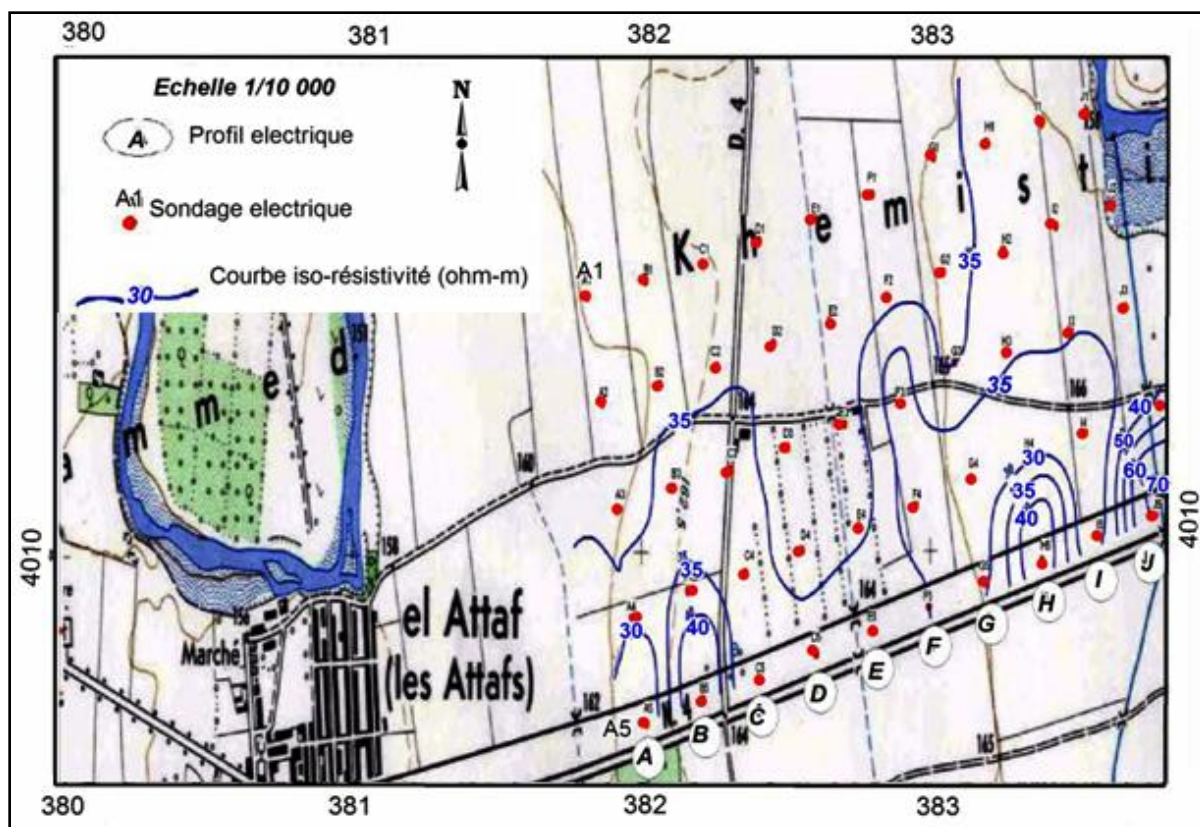


Figure 72 : Carte des résistivités apparentes en AB = 400 m (ANRH 2006).

1.3.3.3. Carte des résistances transversales:

La carte des résistances transversales concerne l'horizon des dépôts Quaternaires représentés par les graviers moyens à grossiers, les graviers argileux et galets.

Au Nord de la faille "F1" mise en évidence par l'interprétation géophysique, nous observons une augmentation importante des valeurs de la résistance transversale qui atteint 7656 Ohms m² (SEV B3). Ceci montre que la résistivité ou l'épaisseur de l'horizon en question augmente ou les deux à la fois. Par contre au Sud de la faille précitée, la résistance transversale diminue et atteint 234 Ohm m² (SEV J5).

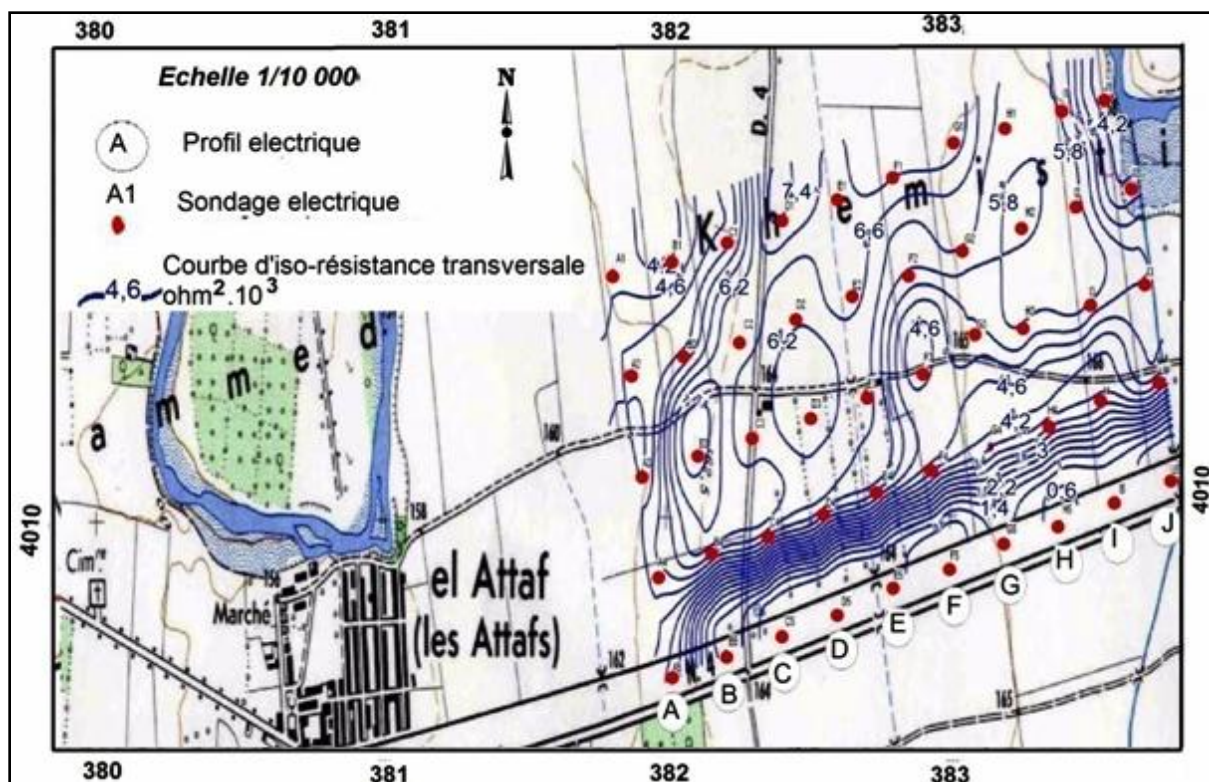


Figure 73 : Carte des résistances transversales (ANRH 2006).

1.3.3.4. Interprétations des coupes géoélectriques.

- *Coupes géoélectriques des profils A, B, C, D, E, F, G, H, I et J.*

Les coupes géoélectriques d'orientation Nord-Sud, sont perpendiculaires à la structure générale et montrent une succession d'horizons avec un pendage général vers le Nord. On notera dans ces coupes géoélectriques, que les dépôts du Quaternaire sont représentés par deux à trois niveaux, dont le plus important et le plus intéressant est le niveau inférieur. Ce dernier se trouve au dessus des argiles du Méssinien et se compose essentiellement de graviers hétérogènes. Les niveaux conducteurs en surface concernent les dépôts du Quaternaire récents représentés par les limons argileux et argiles. Les dépôts du Quaternaire sont présents dans toute la zone.

Ces coupes (fig. 74, 75, 76 et 77) se caractérisent par une concordance évidente dans la succession des niveaux géoélectriques. Les SEV 1 à 4 de tous les profils montrent des coupes similaires. Entre les points 4 et 5, il existe une faille de direction Est-Ouest séparant un compartiment Nord effondré et un compartiment Sud surélevé. Cet accident butte contre une deuxième faille de direction Nord Est - Sud Ouest et qui passe entre les points J4 et J5 ainsi qu'entre I5 et j5.

Au Nord de la première faille et de bas en haut, nous avons :

- Les marnes du Méssinien de 12 à 37 ohms m (SEV B₃ et SEV B₁);

Ensuite, nous avons la succession suivante de roches attribuées au Quaternaire

- Des graviers grossiers hétérogènes et argileux, de résistivité 12 Ohms m. (SEV C5) 120 Ohms m. (SEV J2) et dont l'épaisseur fluctue entre 13 m. (SEV E5) et 72 m. (SEV G1) ;

Les valeurs les plus basses correspondent aux zones dont les eaux sont le plus salée.

- Des argiles variant de 7 Ohms m à 21 Ohms m et une épaisseur de 2 et 13m. (SEV B3 et J3) ;

- Enfin, des limons argileux de 12 Ohms m. à 69 Ohms m. (SEV G4 et I3) et une épaisseur de 1 à 3 m.

Au Sud de la faille, le compartiment est surélevé par rapport au Nord et compose le premier gradin vers le Témoulga.

La coupe se présente comme suit de bas en haut :

- Le Tortonien gréseux à intercalations argileuses de 52 à 220 Ohms m. (SEV G5 et SEV A5).

Ce niveau n'a pas été atteint dans la partie du secteur décrite précédemment. Les variations dans les résistivités s'expliquent par la composition du Tortonien qui est gréseux avec des intercalations d'argiles.

- Le Méssinien de 10 Ohms m. à 29 Ohms m. (SEV D5 et J5)

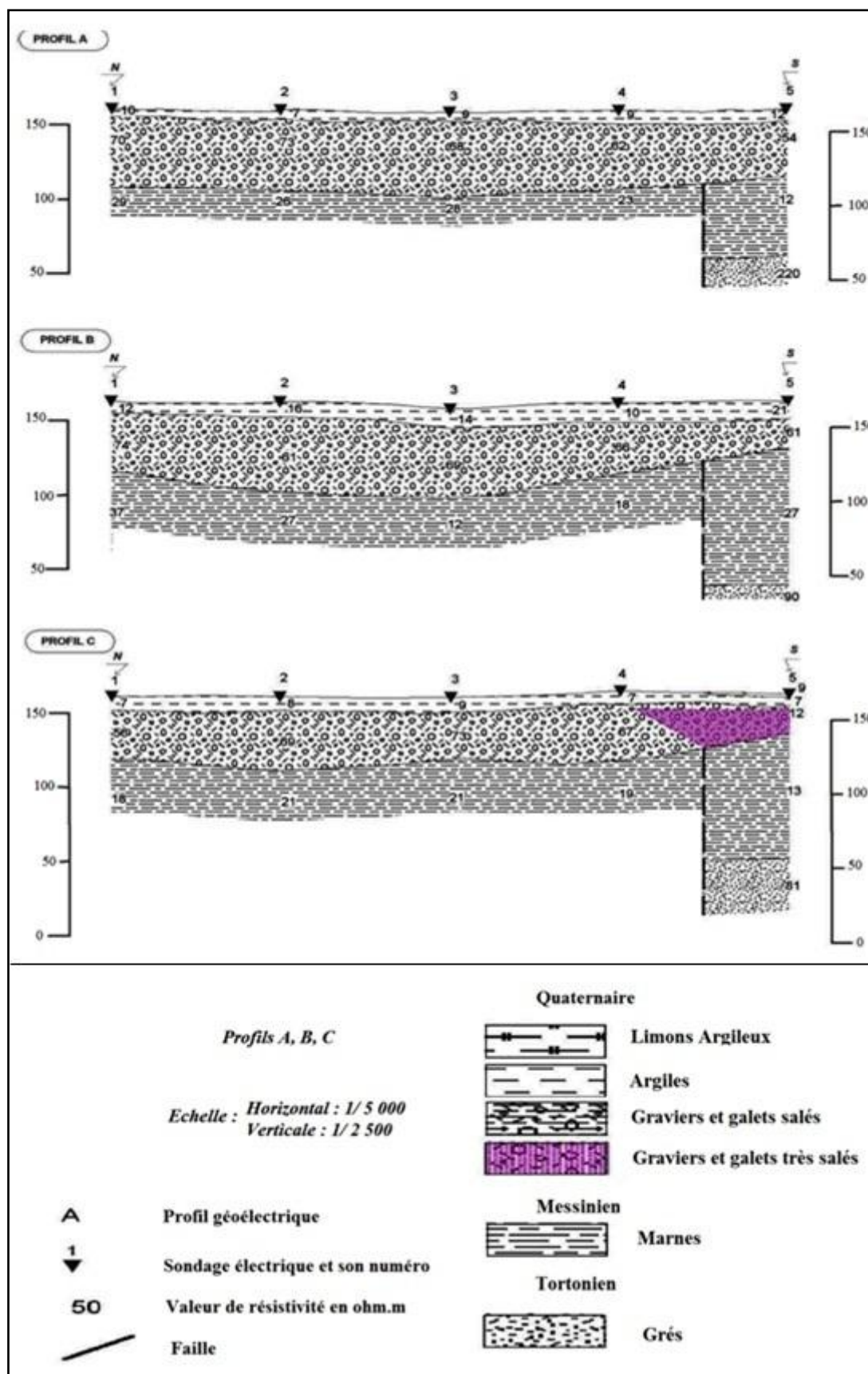


Figure 74 : Coupes géoélectriques A, B et C (d'après ANRH 2006).

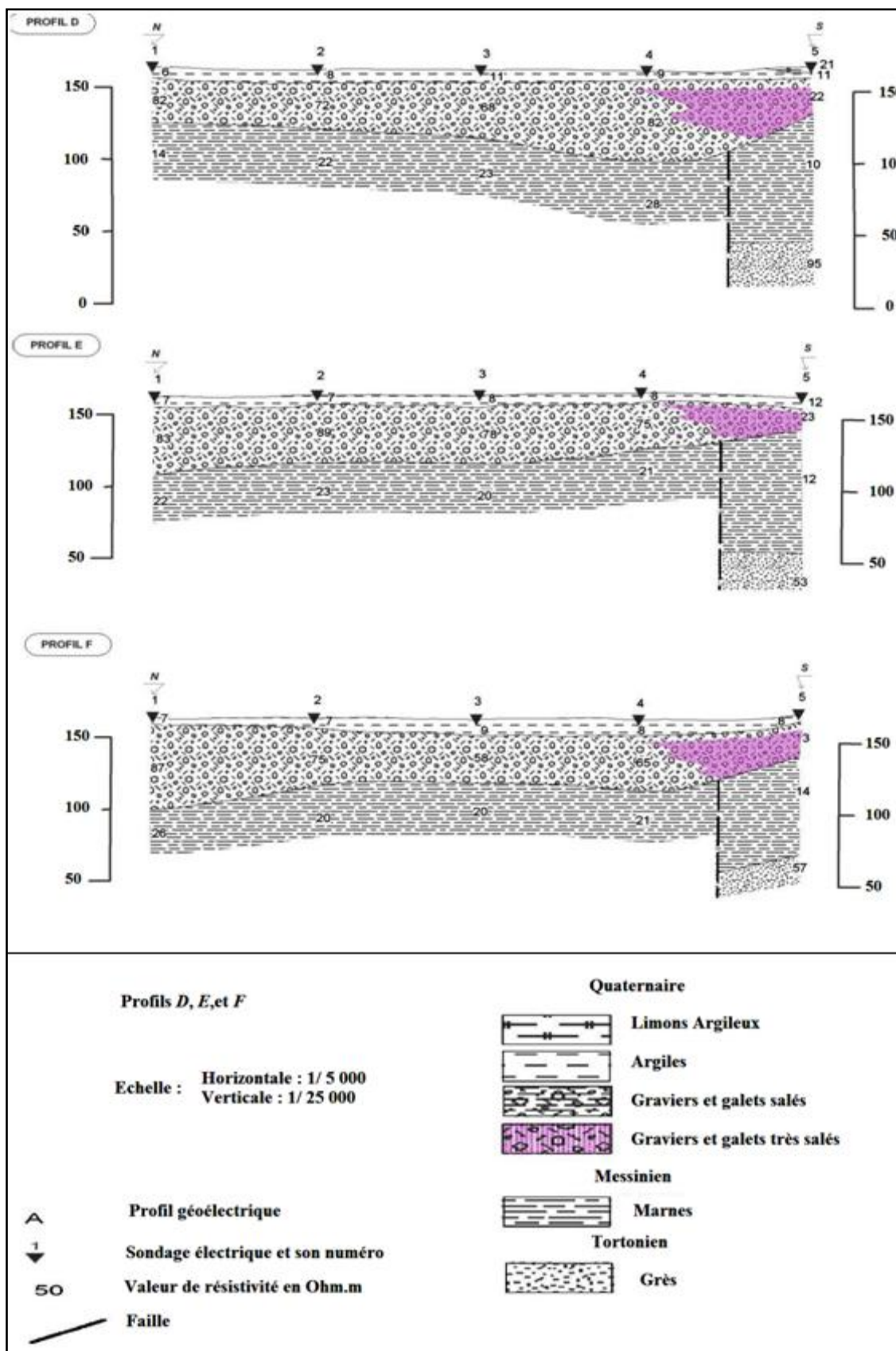


Figure 75 : Coupes géoélectriques D, E et F. (d'après ANRH 2006).

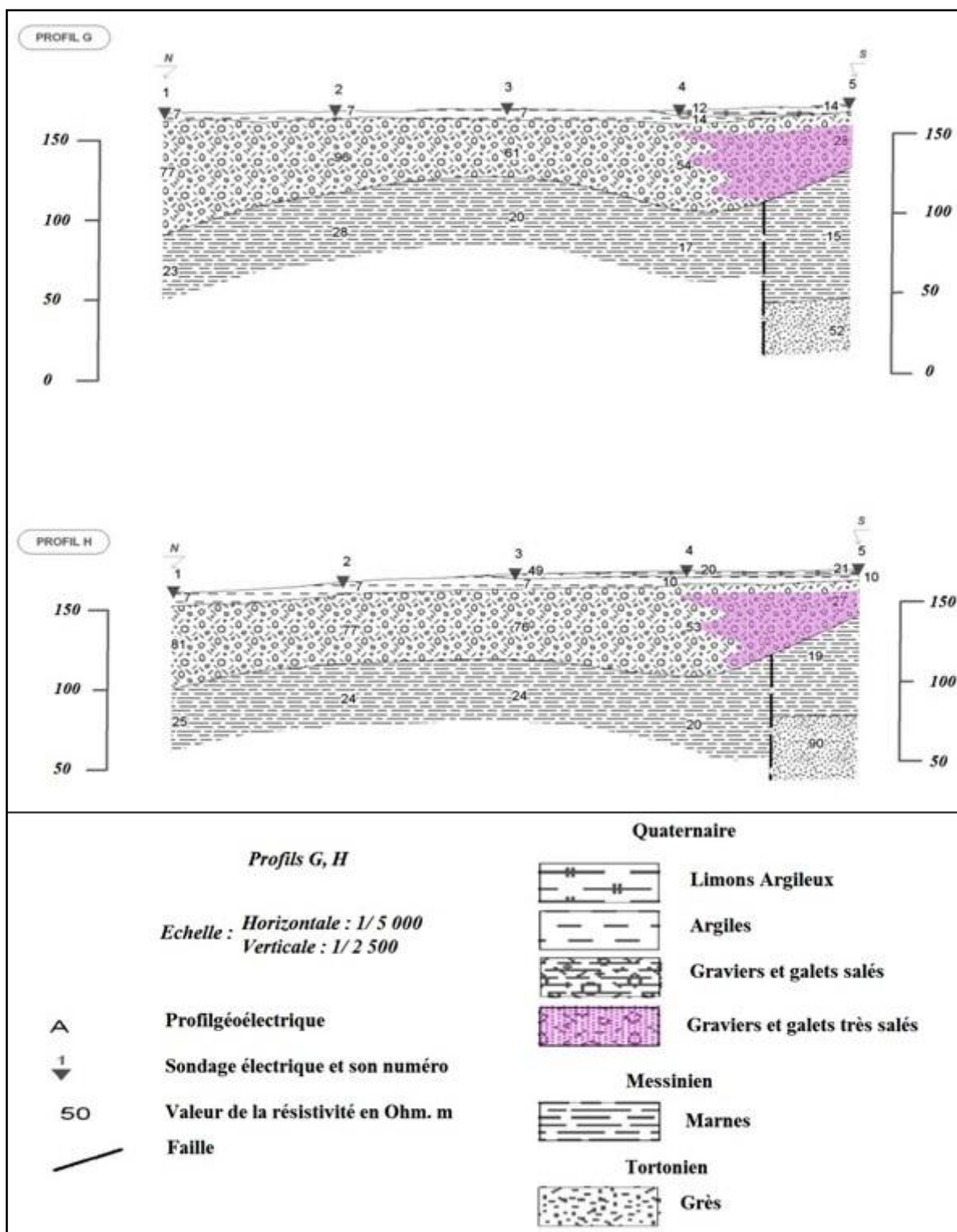


Figure 76 : Coupes géoélectriques G et F. (d'après ANRH 2006).

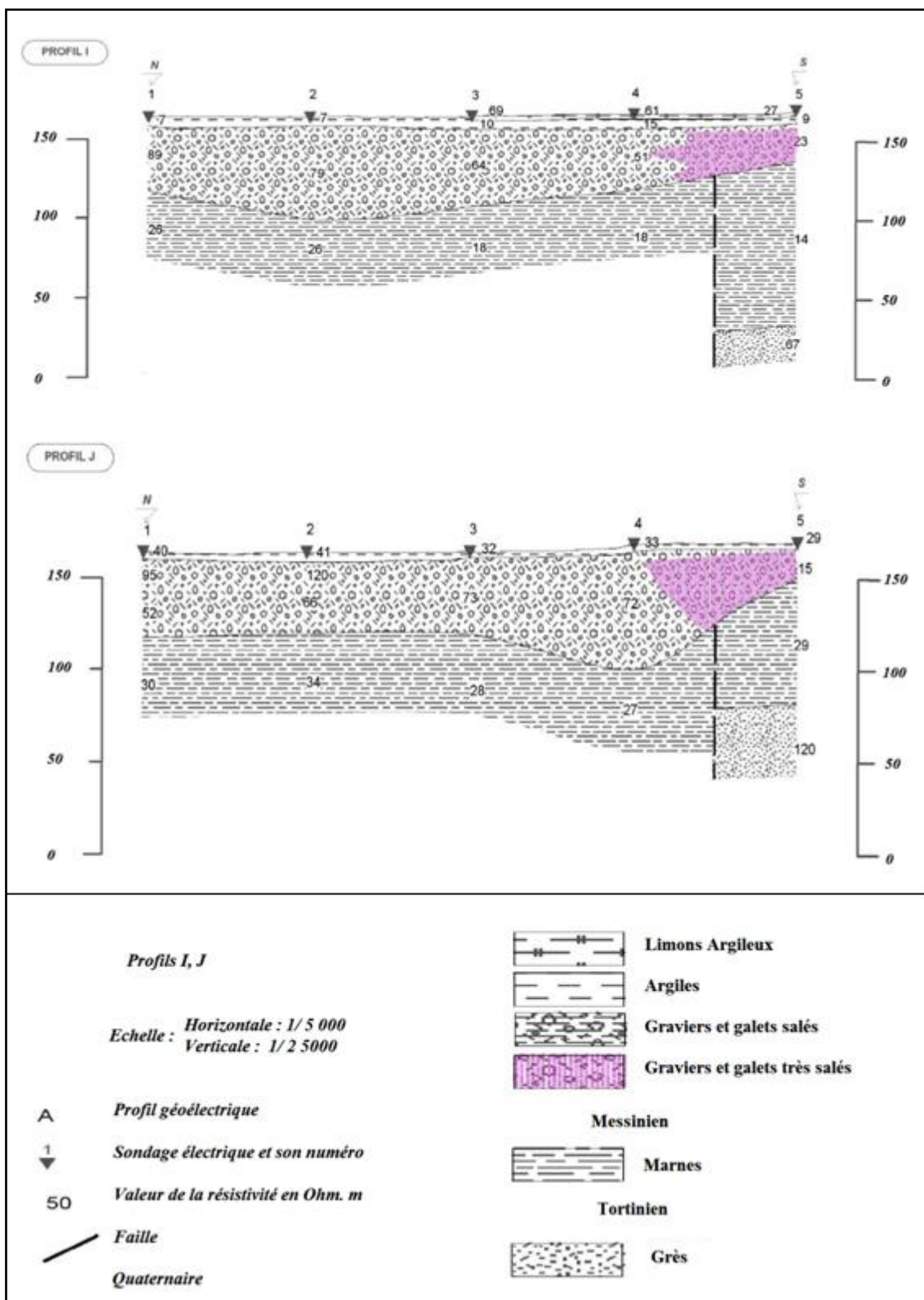


Figure 77 : Coupes géoélectriques I et J. (d'après ANRH 2006).

1.3.4. Le Secteur "II"

Le secteur (II) a fait l'objet de travaux par sondages électriques verticaux (SEV) et de magnétométrie dans les mêmes conditions que pour le secteur (I). Pour la méthode électrique, 56 SEV ont été réalisés sur 14 profils avec une maille de 200 x 400 mètres (Fig. 04 Annexe).

La magnétométrie a été réalisée sur les mêmes 14 profils, mais avec une maille réduite de 100 x 400 m, soit 112 points. (Fig. 5 Annexe).

1.3.4.1. Etalonnage des données géophysiques

Pour l'établissement d'une échelle des résistivités qui sera utilisée lors de l'interprétation des sondages électriques et en raison de la particularité géologique et hydrochimique (présence d'eau salée) dans les secteurs étudiés, l'étude a été basée sur les sondages étalons réalisés à proximité des forages et les données des études précédentes réalisées dans la région d'études (I.F.E.S 2002).

a). Résistivité des calcaires du djebel de Témoulga

Le bureau d'étude I.F.E.S a réalisé des sondages paramétriques directement sur les calcaires Liasiques; ces derniers ont donné des résistivités comprises entre 110 et 450 Ohm.m. Après la réalisation du forage de Hammam Boutrig, il a été effectué un sondage étalon dans le but de déterminer la nouvelle résistivité de ces calcaires en présence d'eau salée aux coordonnées Lambert X : 404,766 Km et Y : 324,924 Km.

Il faut noter que le sondage étalon a été effectué à 160 m environ au Nord du forage Hammam Boutrig (E6-958) à cause de la présence de clôture sur le site qui a empêché de déployer le dispositif.

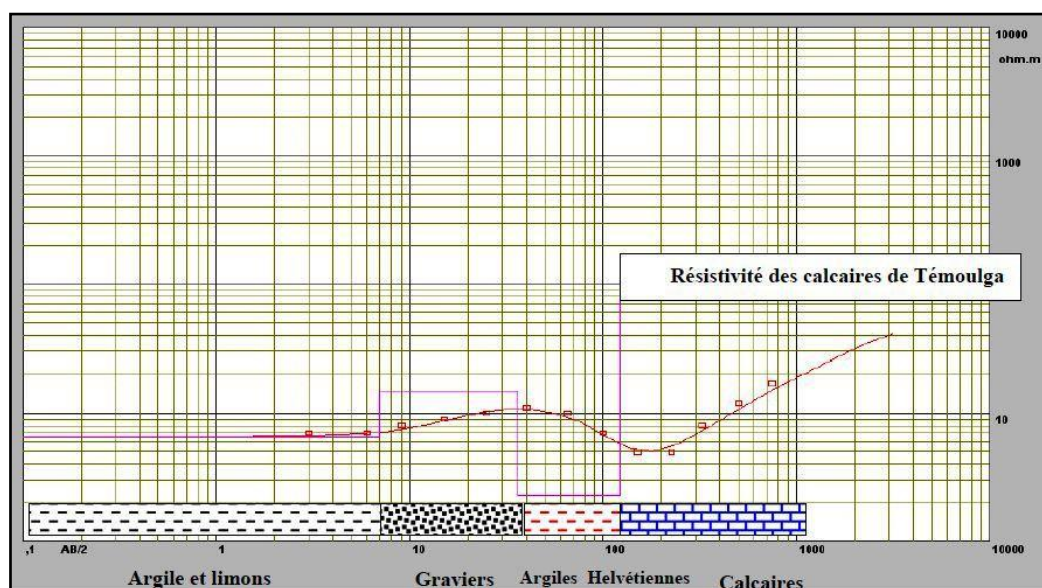


Figure 78 : Résistivité des calcaires de Témoulga (ANRH 2006).

Ce qui est intéressant de démontrer dans ce modèle (Fig. 78), du fait de la contamination des eaux souterraines par des eaux salées aux abords du djebel Témoulga et qui doivent provenir de l'accident Est-Ouest situé juste au pied de cette colline, c'est que les résistivités ont tendance à baisser dans les mêmes formations, d'où la résistivité de 75 Ohm.m pour les calcaires saturés, 2,3 Ohm.m pour les argiles Helvétiques et 15 Ohm.m pour les graviers Quaternaires.

1.3.4.2. Echelle des résistivités adoptées:

Tableau35 : Echelles des résistivités adoptées (Secteur II).

Age	Formations	Résistivités adoptées (Ohm-mètre)
Quaternaire	Alluvions argilo-limoneuses secs	5 – 37
	Alluvions Argileuse.	6 – 23
	Graviers et galets moins salés	28 – 63
	Graviers et galets très salés	8 - 23
Messinien	Marnes.	5 – 9
Tortonien	Grés à intercalations argileuses.	11 – 200

1.3.4.3. Interprétations des cartes de résistivités

a). Carte des résistivités apparentes en AB = 200 m:

Cette carte montre une augmentation progressive des résistivités vers le Nord passant de 5 à 35 Ohm.m. Ceci s'explique par les eaux qui sont de plus en plus salées en direction du Sud.

On remarque sur le profil W, (SEV W1 et W2) une nette augmentation des résistivités (supérieures à 40 Ohms. m). Cette anomalie est due probablement aux eaux moins salées en raison de la proximité de ces points des apports de l'Oued Chéelif.

b). Carte des résistivités apparentes en AB = 450 m:

La carte des résistivités apparentes en AB = 450 m (Fig. 80) montre une évolution des résistivités à une profondeur de 100 m. Sur la quasi-totalité du secteur, ces faibles résistivités sont attribuées aux marnes salées du Messinien. On observe de légères augmentations des résistivités à l'Est du secteur au niveau des points W1 et W2 qui sont dues probablement aux apports à la nappe par l'Oued Chéelif, qui ont tendance à diluer la salinité de la nappe.

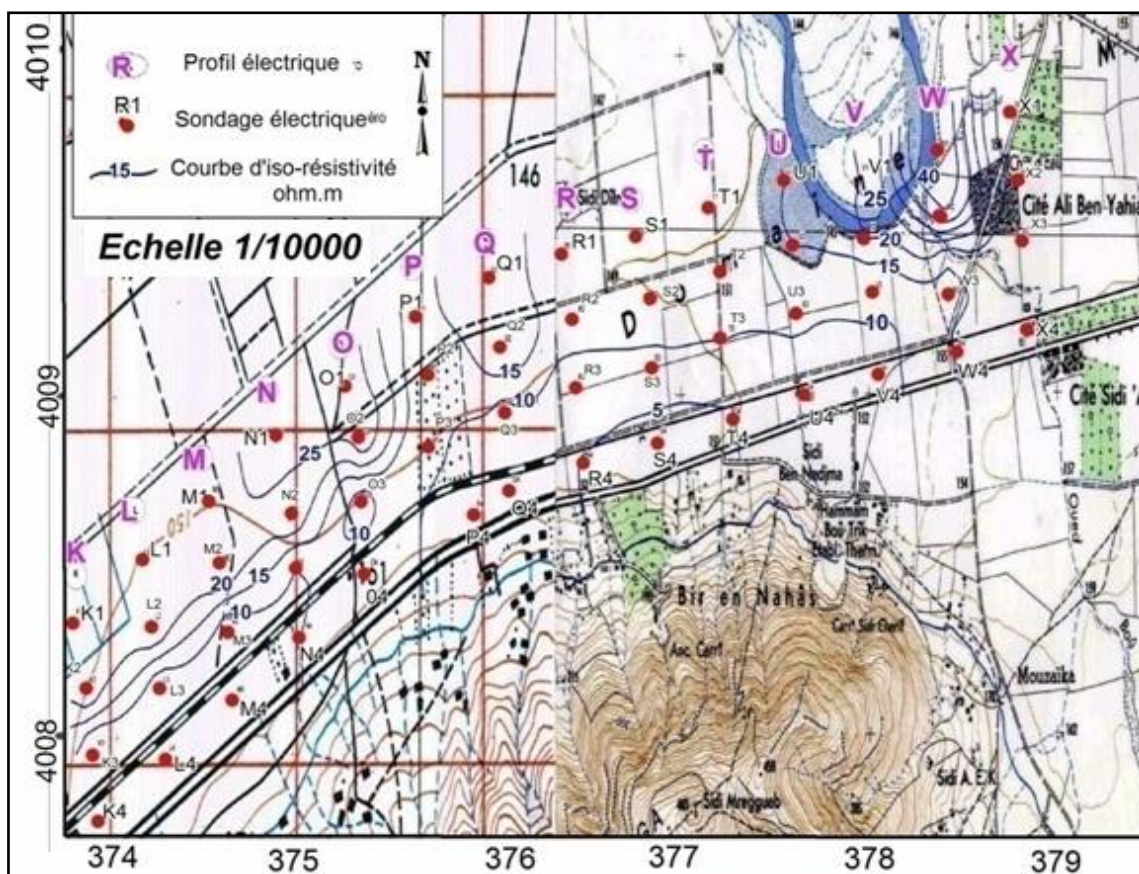


Figure 79: carte des résistivités apparentes en AB = 200 m. (ANRH 2006).

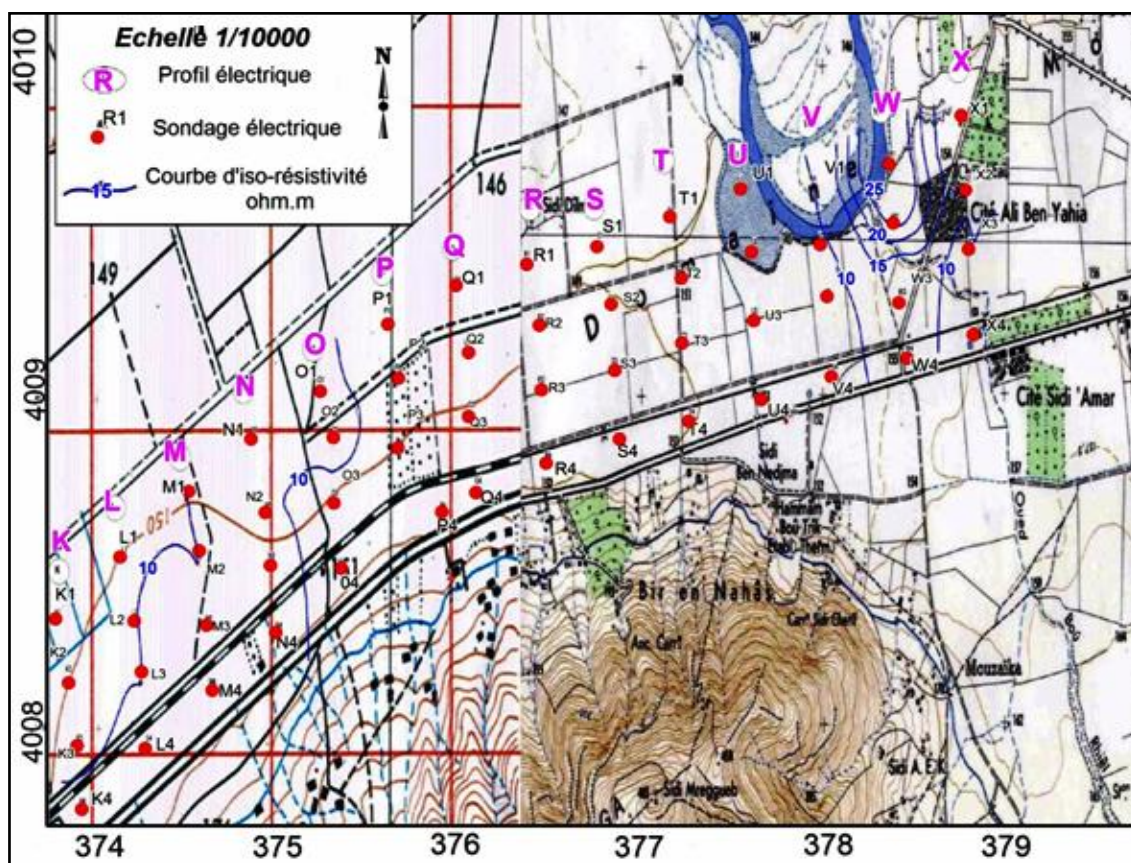


Figure 80 : Carte des résistivités apparentes en AB = 450 m (ANRH 2006).

Au dessus, il existe un horizon très conducteur représenté par les marnes du Messinien, avec des résistivités de 2 à 7 Ohms m et des épaisseurs qui peuvent atteindre 152 m. (K1).

Ces argiles sont elles mêmes recouvertes par des dépôts Quaternaires représentés par les graviers moyens à grossiers, des graviers argileux et galets avec des résistivités de 10 à 62 Ohm m. (O3 et L1) et des épaisseurs de 10 à 56 m. (SEV N4 et O1). Ensuite, viennent des argiles dont les résistivités varient de 4 à 54 Ohms m. (P2 et W1) et épais de 1 à 16 m. enfin des limons argileux de 12 à 41 Ohms m. et de 1 à 10 m. d'épaisseur.

Les points V4, W3, W4 et X4 ont été exécutés au Sud de la faille Nord de Temoulga mis en évidence par l'étude géophysique de CGG (1969). Au niveau de ces points, les alluvions reposent sur les argiles Helvétiques dont la résistivité varie de 4 à 10 Ohm.m, au dessous viennent les grès Helvétiques avec des résistivités allant de 39 à 100 Ohm.m.

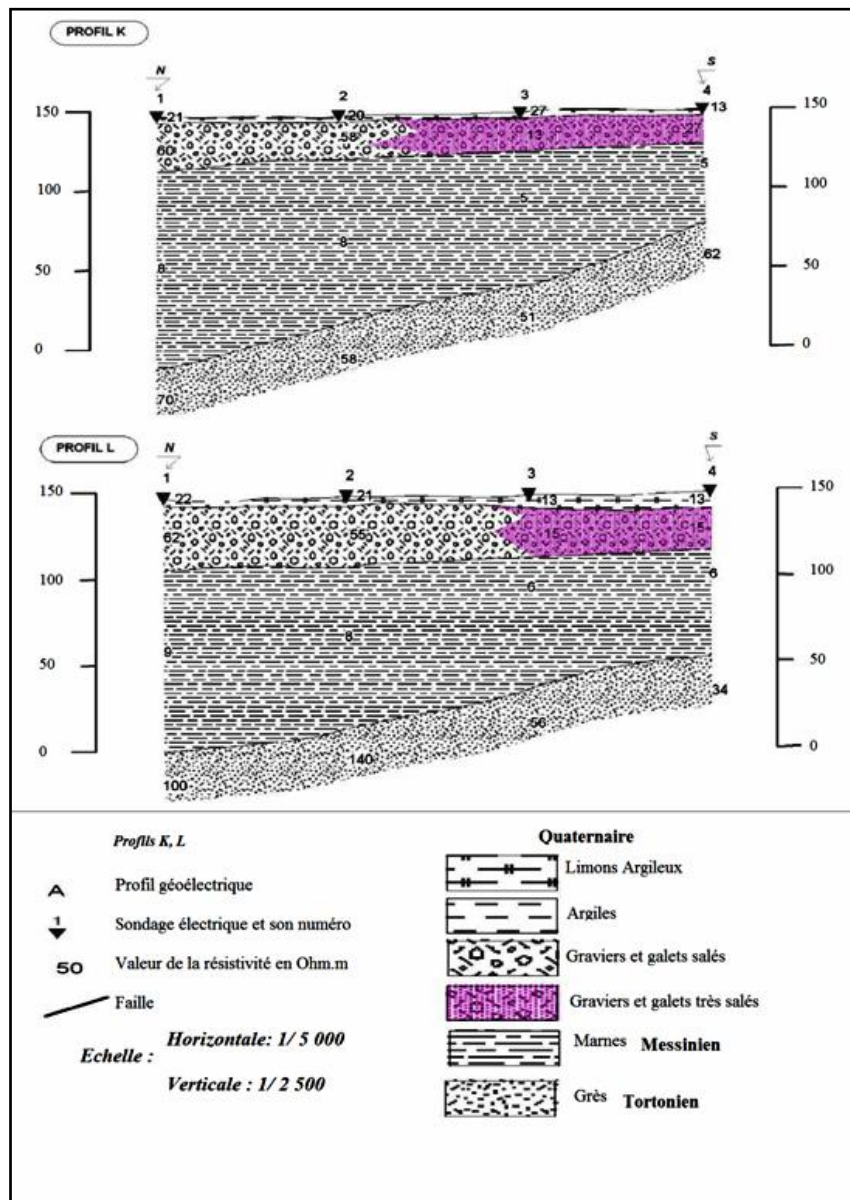


Figure 82 : Coupes géoélectriques K, L (ANRH 2006).

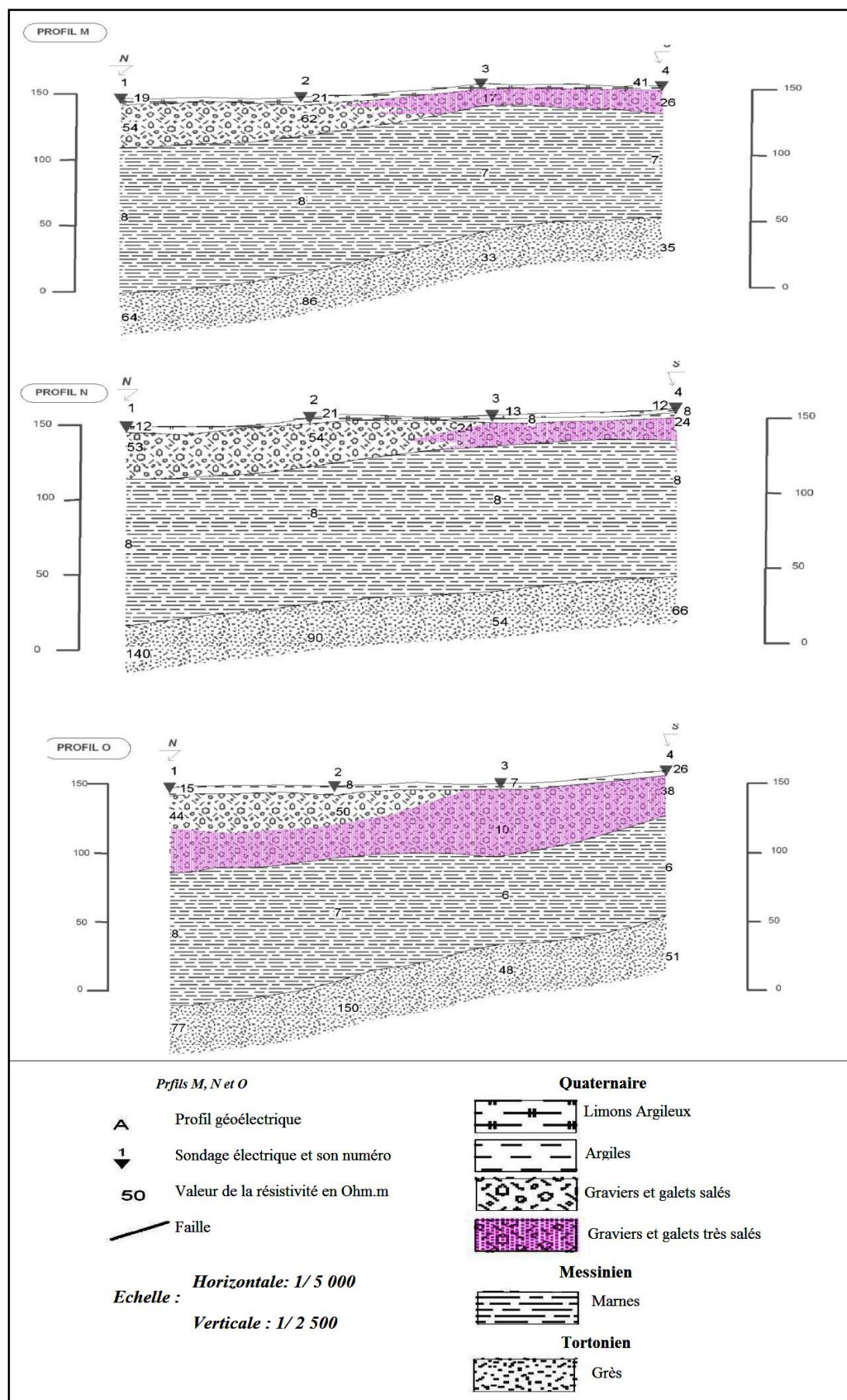


Figure 83 : Coupes géoélectriques M, N et O (ANRH 2006).

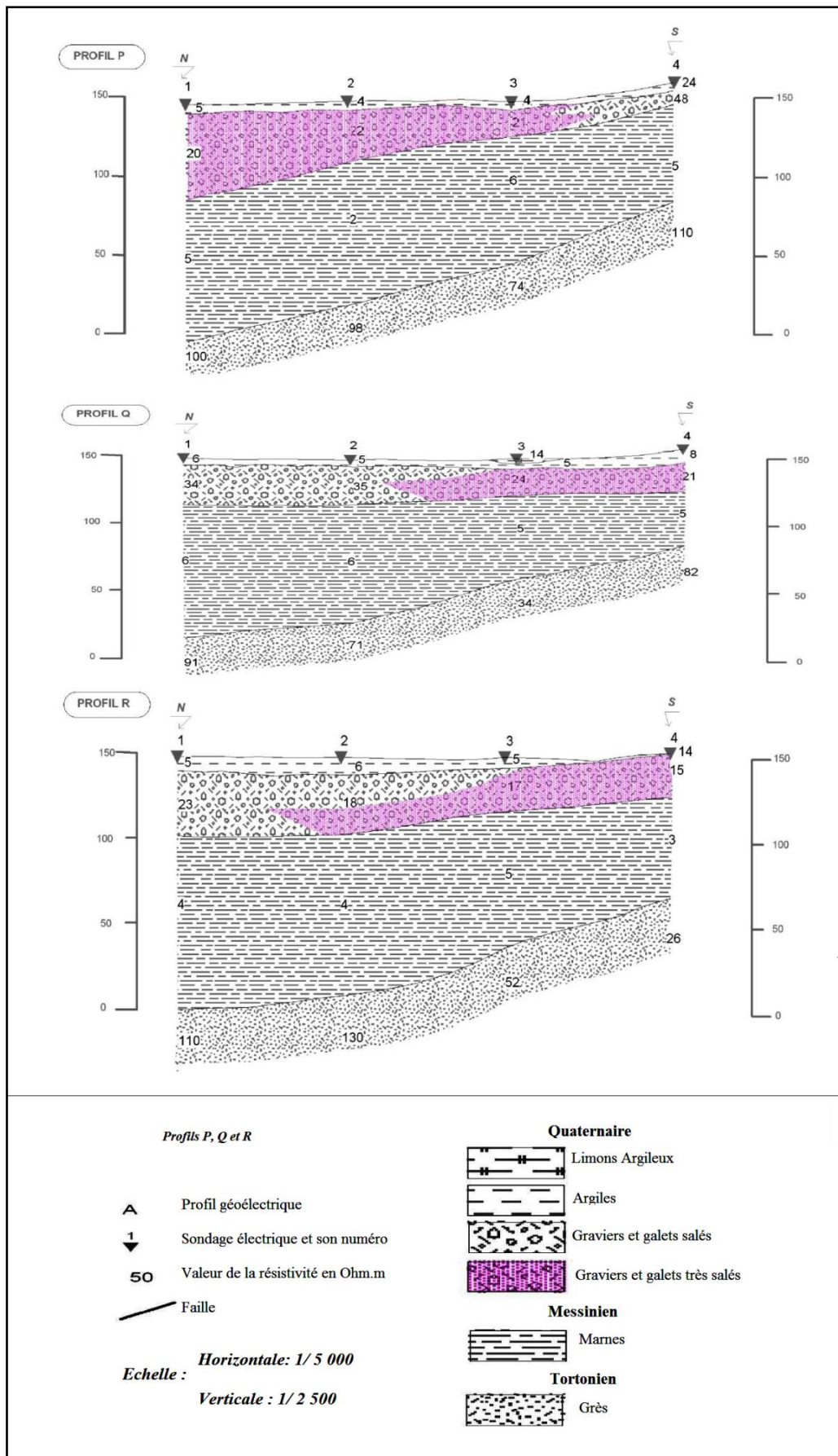


Figure 84 : Coupes géoélectriques P, Q et R (ANRH 2006).

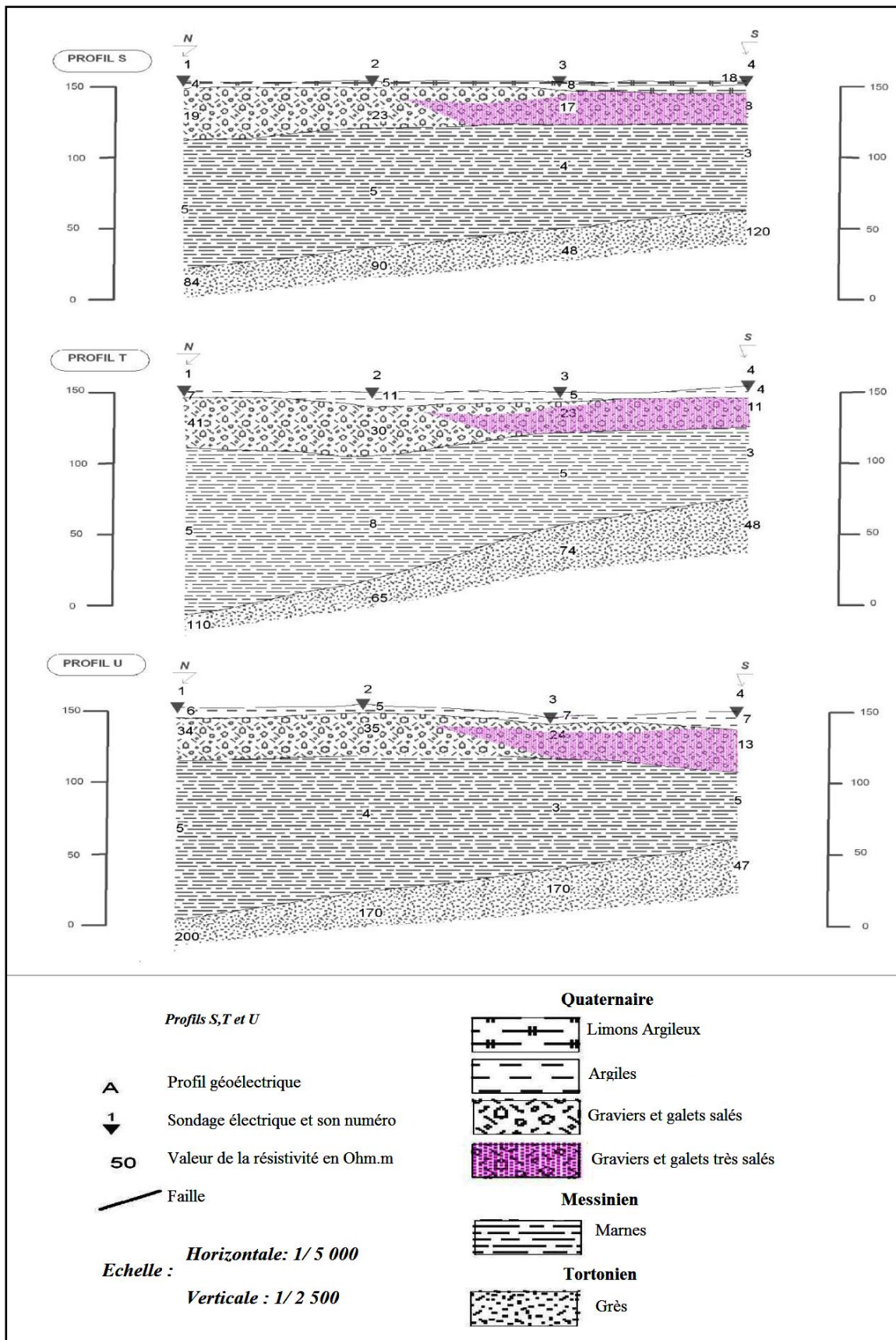


Figure 85 : Coupes géoélectriques S, T et U (ANRH 2006).

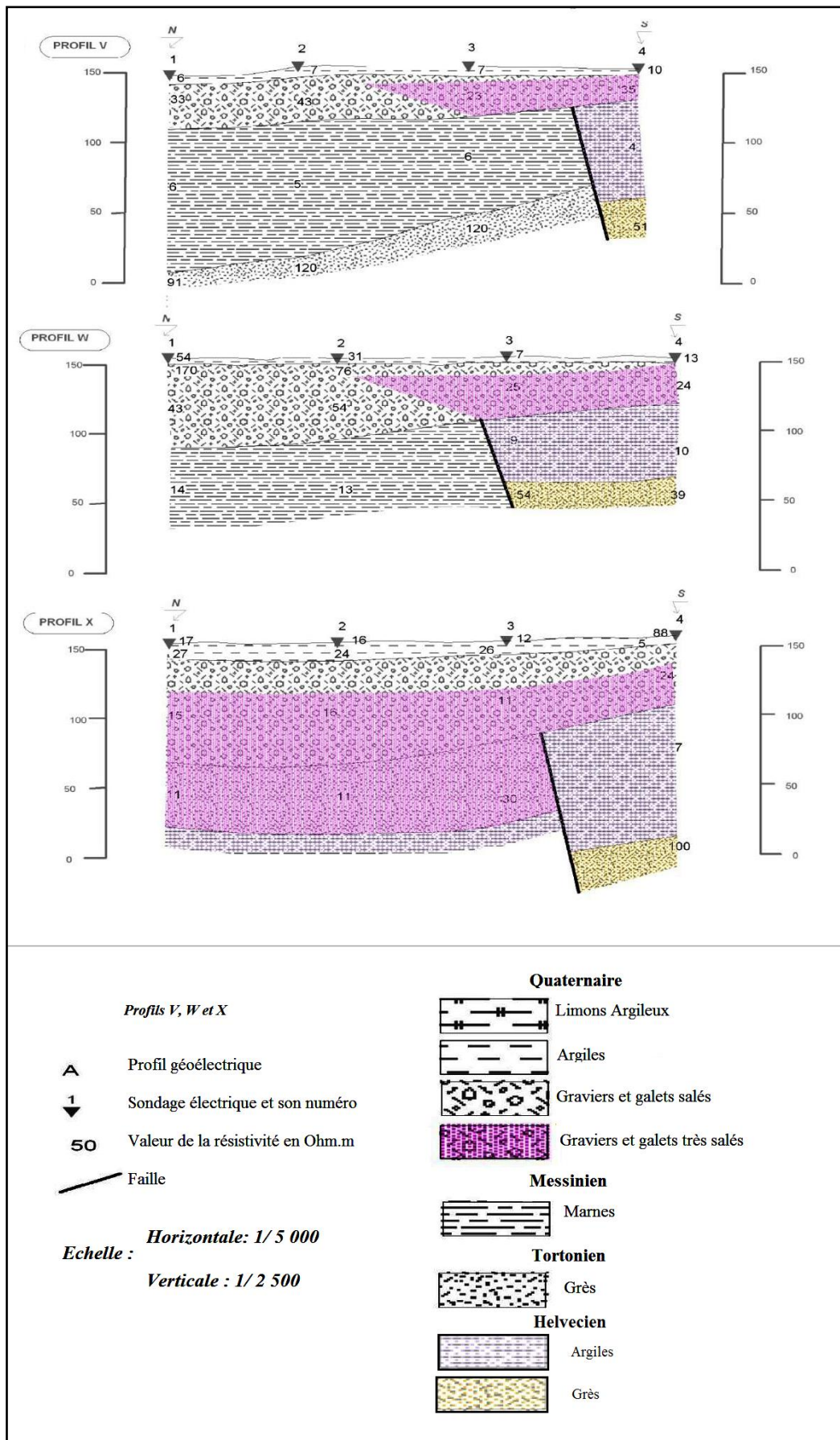


Figure 86: Coupes géoélectriques V,W et X (d'après ANRH 2006).

1.4. Prospection magnétique

Un Levée gravimétrique a été exécuté dans le secteur (II), dont les travaux réalisés sont mentionnés dans le tableau suivant (fig. 05 Annexe).

2 – Prospection magnétique			
Secteur II	Nombre de profils	Nombre de points	Maille
	14	112	100 x 400

1.4.1. Carte du champ total

La distribution du champ, montre une zone calme sans grandes anomalies magnétiques avec un gradient régional peu perturbé. La zone possède un champ dont l'intensité varie entre 41 926 et 43 400 gammas. Ces deux valeurs ne reflètent pas le champ réel car elles sont générées par des sources superficielles industrielles qui accentuent l'écart d'intensité. L'allure générale est typique d'un bassin sédimentaire.

Une légère perturbation traverse tout le secteur d'Est en Ouest. Elle est visible sur la majorité des profils aux environs des points 3 et 4 et coïncide avec la voie de chemin de fer. Elle est causée par cette dernière. A l'extrémité Est du secteur, des anomalies d'origine superficielle sont visibles sur le profil X. Ce qui laisse supposer qu'elles sont dues à une conduite métallique enterrée. Cette explication est confirmée par les observations sur le terrain.

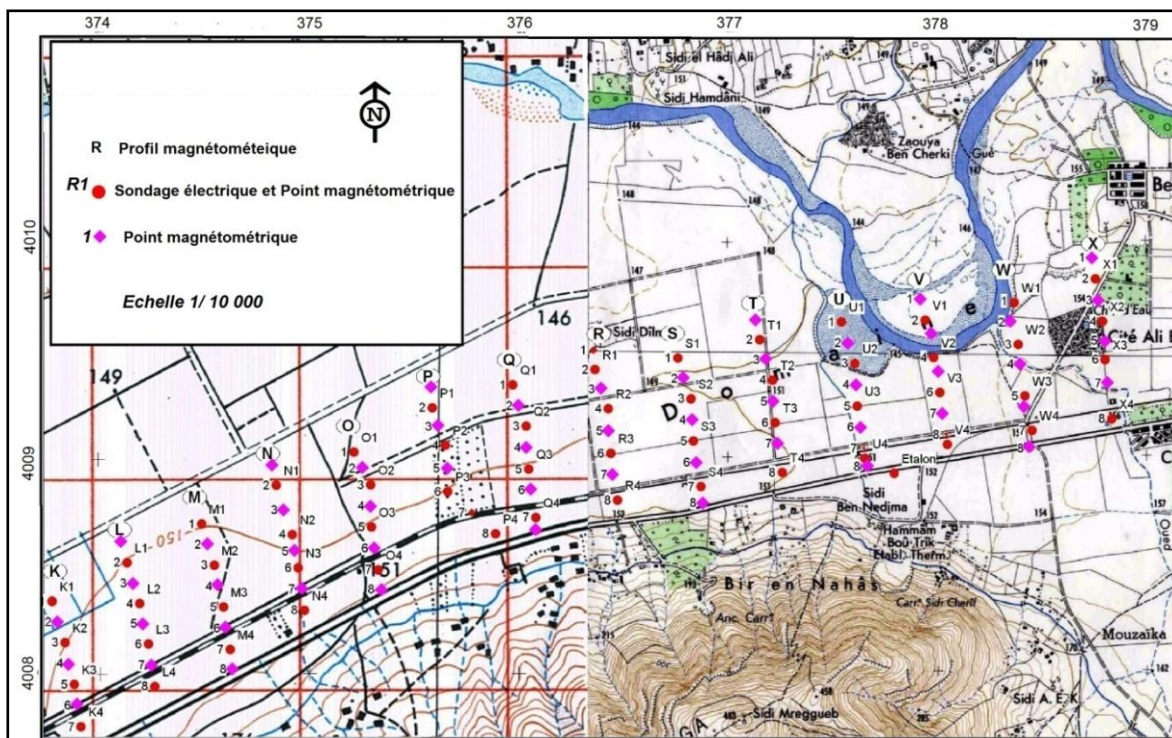


Figure 87 : Carte de situation des points magnétométriques (ANRH 2006).

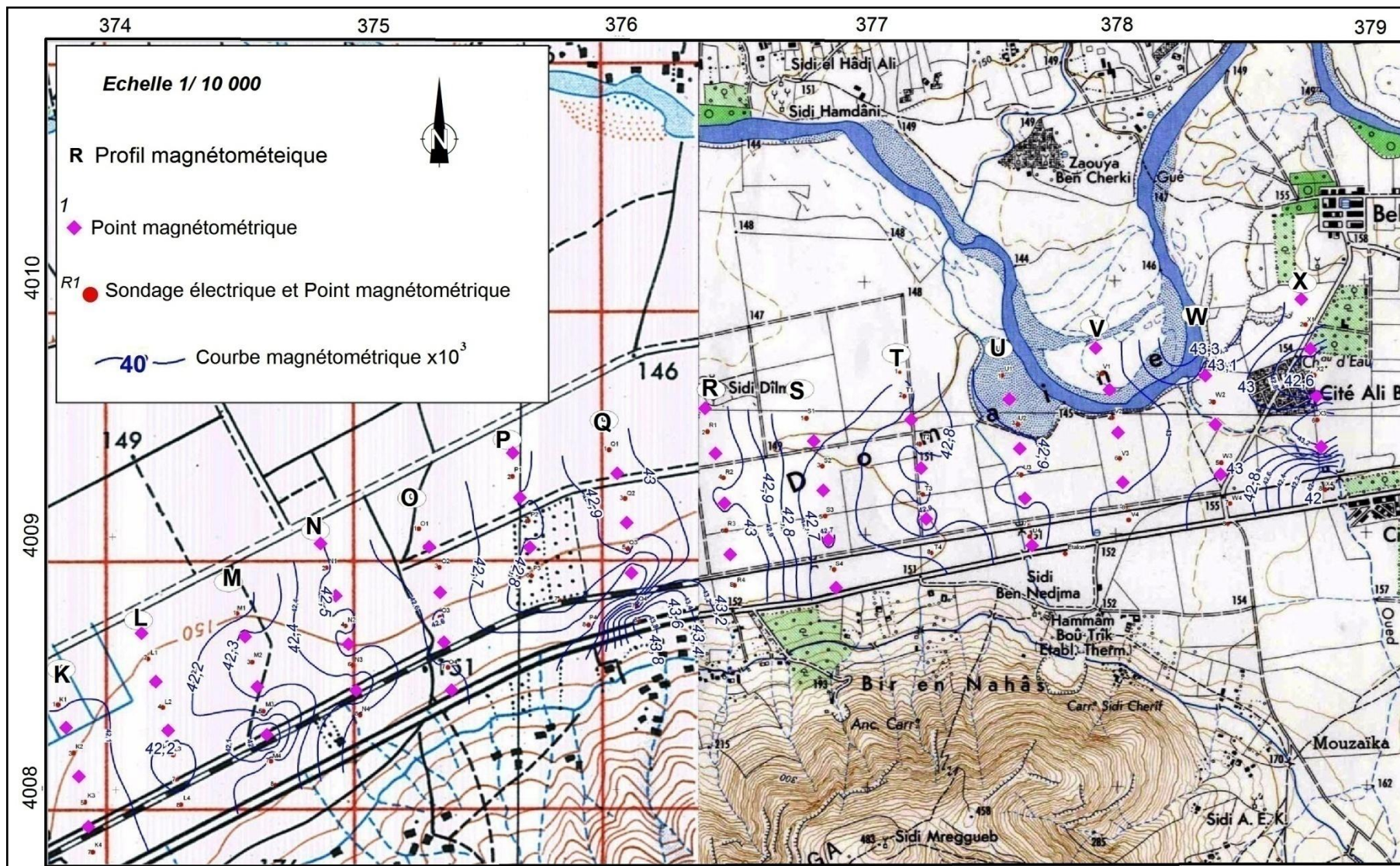


Figure 88: Carte du champ magnétique total (ANRH 2006)

2. ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Cette approche hydrogéologique a pour objectif la caractérisation des différents aquifères et la mise en valeur des potentialités hydriques.

La détermination des caractéristiques des différents aquifères nous permet d'avoir une meilleure idée sur le comportement hydrodynamique des eaux souterraines (perméabilité, transmissivité et le gradient hydraulique).

L'analyse lithostratigraphique et structurale du bassin, les données de forage et l'étude géophysique ont permis de définir à travers la région, les formations susceptibles de constituer des aquifères exploitables:

2.1. Les principales unités aquifères

2.1.1. La nappe alluviale

Une nappe libre par fois captive, constituée essentiellement de dépôts quaternaires (Limos, Sables, gravies et galets), reposant sur un substratum d'argile Quaternaire. La partie supérieure des alluvions est constituée de limons argileux grisâtres, sur la majeure surface de la plaine, vers le centre de celle-ci ; on distingue les terrasses récentes qui se caractérisent par l'absence des sables grossiers. D'extension importante sur toute la plaine (environ 214,86 km²) et une puissance de 05 à 30m. Cette nappe alluviale constitue la principale ressource en eau de la région.

2.1.2. La nappe du pliocène supérieure (grès d'Astien)

Présente un système aquifère à nappe captive séparées par 30m d'argiles sableuses avec la nappe du Quaternaire. Elle affleure en une étroite bande au Nord et à l'Est de la plaine, d'une faible extension et une puissance de 10 à 30m cette nappe constituée une réserve faible.

2.1.3. La nappe du Miocène supérieure (grès du Tortonien)

Le Miocène supérieure essentiellement gréseux constitué une nappe d'une puissance de 40 à 55m, rencontré sous la plaine à l'Est d'El kharba, le Miocène est un aquifère bien moins intéressant que les alluvions. Capté dans un forage sur une épaisseur de 50m il a donné 21l/s pour 14m de rabattement alors que les alluvions captées sur 10m d'épaisseur débitent 20 l/s pour 2,7m de rabattement et 40 l/s pour 8m.

2.1.4. La nappe du Jurassique (calcaires de Lias)

L'aquifère est formé essentiellement par des calcaires, affleurant dans les massifs de Temoulga et de Rouina. Ces calcaires fracturés et karstifiés représentent l'impluvium de la nappe Jurassique. En s'éloignant des massifs vers l'axe de la plaine les calcaires plongent

régulièrement pour dépasser des profondeurs de 1000 m sur la rive droite du Chélif, vue à la surface de l'impluvium réduite et leur grande profondeur sous la plaine (100 à 1000 m). Il ne constitue pas une ressource intéressante. Cependant dans la région de Rouina de fait de sa réalimentation par l'Oued Rouina pourrait donner des débits considérables.

Le massif de Temoulga ne peut fournir qu'un débit de l'ordre de 20 l/s.

2.2. Venues d'eaux salées autour du Temoulg

Le massif de Temoulga est limité sur sa bordure Nord par une faille le long de la quelle remontent des eaux profondes chaudes et salées qui alimentent le Hammam Bou Djemane. Et sont probablement l'origine de la salure élevée des eaux de piémont. Celles-ci chargées à plus de 2 grammes par litre avec un maximum à 7,35 g/l de même composition que l'eau du Hammam (7,5 g/l). A l'Est du massif une étroite bande d'eaux souterraines chargées à plus de (2 g/l à 3 g/l) s'étire suivant une direction N-S. remarquons que si l'on prolonge vers le Sud cette ligne elle passe à l'Est des massifs Jurassiques du barrage de l'Oued Fodda et de Sra Abd El Kader situés à 20 et 40 Km au Sud du Temoulga par le Hammam Sidi Slimane 2 km au Sud de Sra Abd Kader. Nous pourrions donc avoir la un grand accident du socle primaire et Jurassique. (D. PRADINES 1971).

D'après beaucoup d'autochtones de la région et des gestionnaires du secteur de l'hydraulique, ce phénomène de salinité s'est développé qu'après le séisme du 10 Octobre 1980. Ce ci est dû probablement au circulation des eaux salées de Hammam Bou Djemane au sous sole a travers un réseaux de fissures engendré par le séisme.

Les eaux de Hammam Bou Djemane disparues suite au séisme d'Asnam sont captées après par un forage au pied du Temoulga (fig. 05 Annexe).

2.3. Comparaison des résultats de l'étude géophysique avec les données des forages

Pour l'étalonnage des données relatives a l'étude géophysique, on s'est basé sur les logs des différents forages qui montrent de point de vue lithologique que les marno-calcaires Eocènes n'existent pas et la valeur de la résistivité obtenue (100 Ohm. m) correspond a des argiles et conglomérats Pliocène, ce qui n'a pas été démontré par la géophysique.

Du point du vue structural, nous avons pris en considération la faille d'orientation NE-SW affectant le versant Nord du djebel Temoulga. L'accident tectonique transverse d'orientation NE-SW est confirmé par le forage (E6-636) qui a recoupé les conglomérats et argiles pliocènes, les calcaires marneux du Crétacé, montre que le compartiment Est, est effondré et les calcaires Jurassique ont remonté.

On remarque aussi que l'Astien peut être remplissé alors que la géophysique ne le montre pas, et son toit a été recoupé au niveau du forage (E6-822) sur une profondeur de 70m, qui est en communication directe avec les alluvions Quaternaires.

Le toit de l'Astien, a une épaisseur de 100 m, et profondeur qui atteint les 160 m, alors que dans les coupes géologiques interprétatives il a une épaisseur de 140 m et une profondeur de 70 m au niveau du forage (E6-822) et a niveau du forage (E6-676), et se trouve a 200 m de profondeur.

Les coupes interprétatives montrent que le toit de l'Astien s'enfouille progressivement d'Est en Ouest.

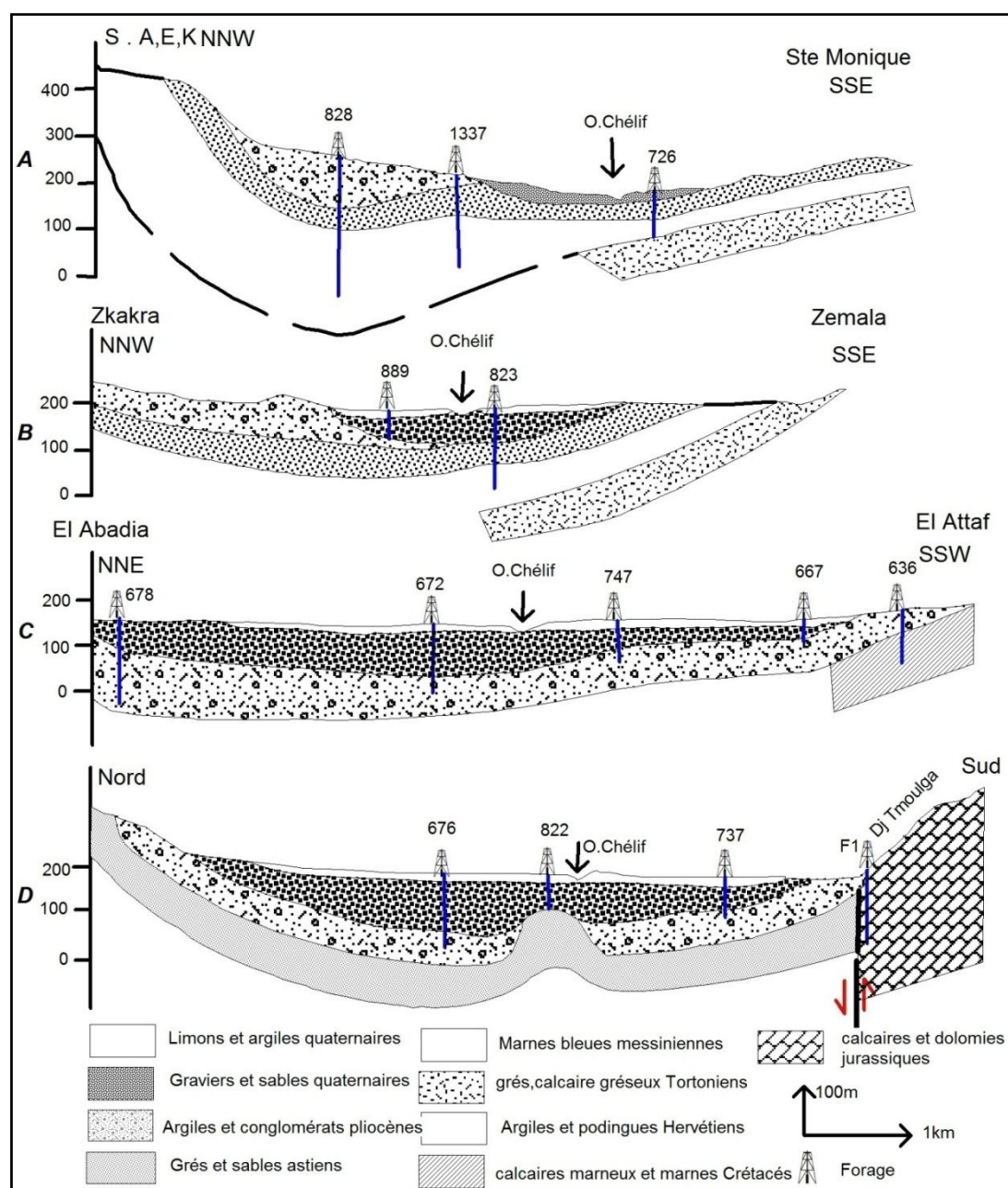


Figure 89 : Coupes hydrogéologiques transversales des nappes de moyen Chélif orientale.

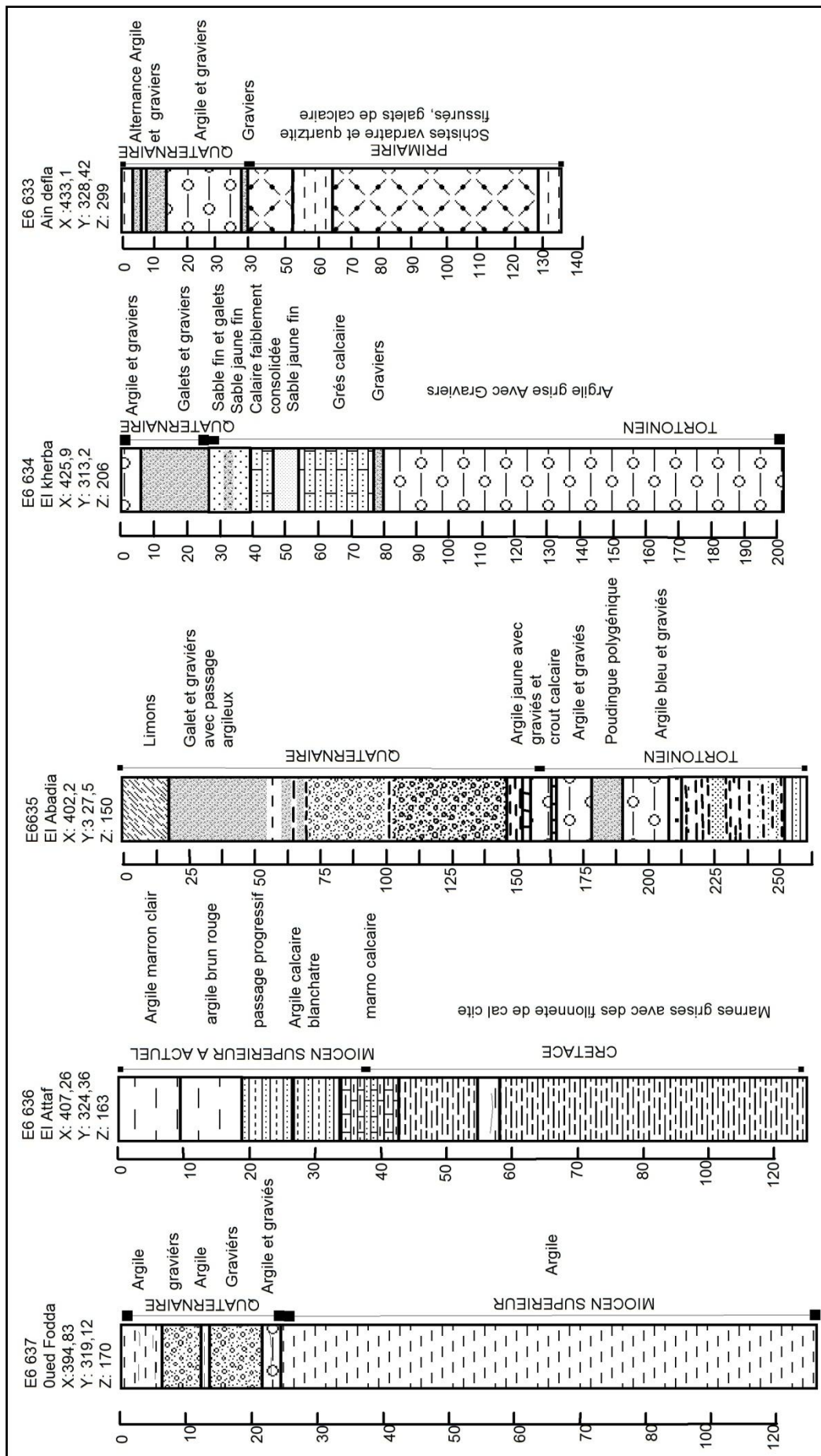


Figure 90 : Coupes technique des Forages dans la plain de moyen Chélif oriental.

2.4. Aperçu hydrodynamique

2.4.1. Etude piézométrique

Les cartes piézométriques sont les documents de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitive et conductrice du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante de l'étude hydrogéologique.

Les cartes piézométriques sont une représentation cartographique, à une date donnée, de la distribution spatiale des charges et des potentiels hydrauliques d'une nappe.

2.4.1.1. Interprétations des cartes piézométriques

Dans l'ensemble, toutes les cartes piézométriques ont une allure analogue et présentent quasiment les mêmes caractéristiques à savoir :

- ◆ les valeurs des charges hydrauliques augmentent dès que l'on s'éloigne de l'axe de l'oued.
- ◆ l'écoulement des eaux souterraines se fait de l'Est, vers l'Ouest.
- ◆ l'axe de drainage recoupe les méandres actuels de l'Oued Chélif et correspond à l'axe de l'ancienne vallée.

Les cartes piézométriques montrent un écoulement général des eaux souterraines suivant deux directions principales d'écoulement :

- ◆ Suivant la direction longitudinale au centre de la plaine, l'écoulement de la nappe se fait de l'Est vers l'Ouest conformément au sens de l'écoulement des eaux superficielles. Ce sens d'écoulement caractérise la circulation principale du bassin hydrogéologique.

- ◆ Suivant la direction transversale de l'axe de la vallée, l'écoulement de la nappe se fait des bordures vers le centre de la plaine suivant deux sens d'écoulement: Nord-Sud et Sud-Nord. Ces deux directions de circulation traduisent les apports latéraux à partir des différents affluents en particulier, l'Oued Tikzal et l'Oued Rouina et les versants qui bordent la nappe du remplissage alluvial et les calcaires jurassiques. (fig. 91 et 92).

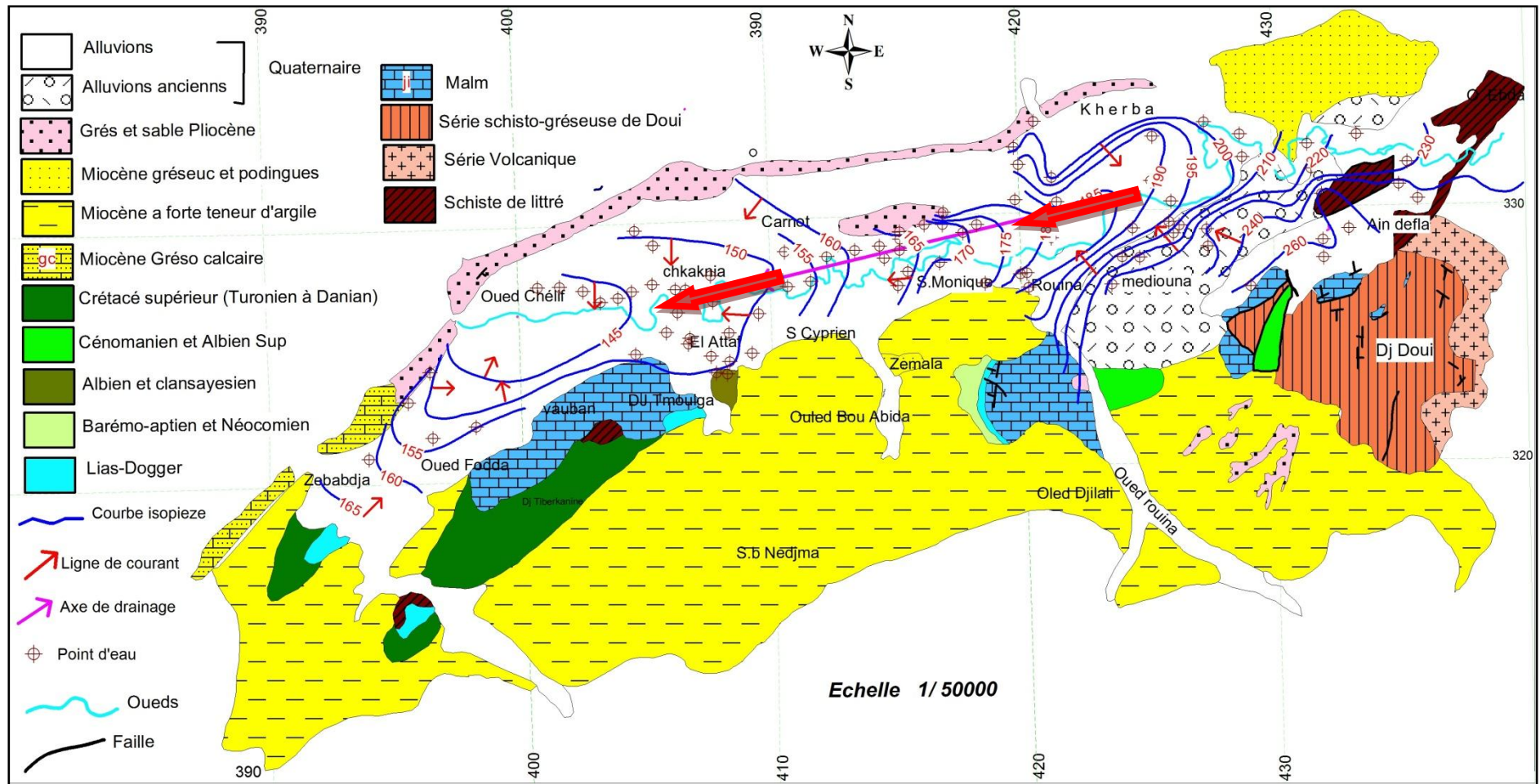


Figure 91: Carte hydrogéologique du moyen Chélif oriental Mai 1969 (PRADINES 1969).

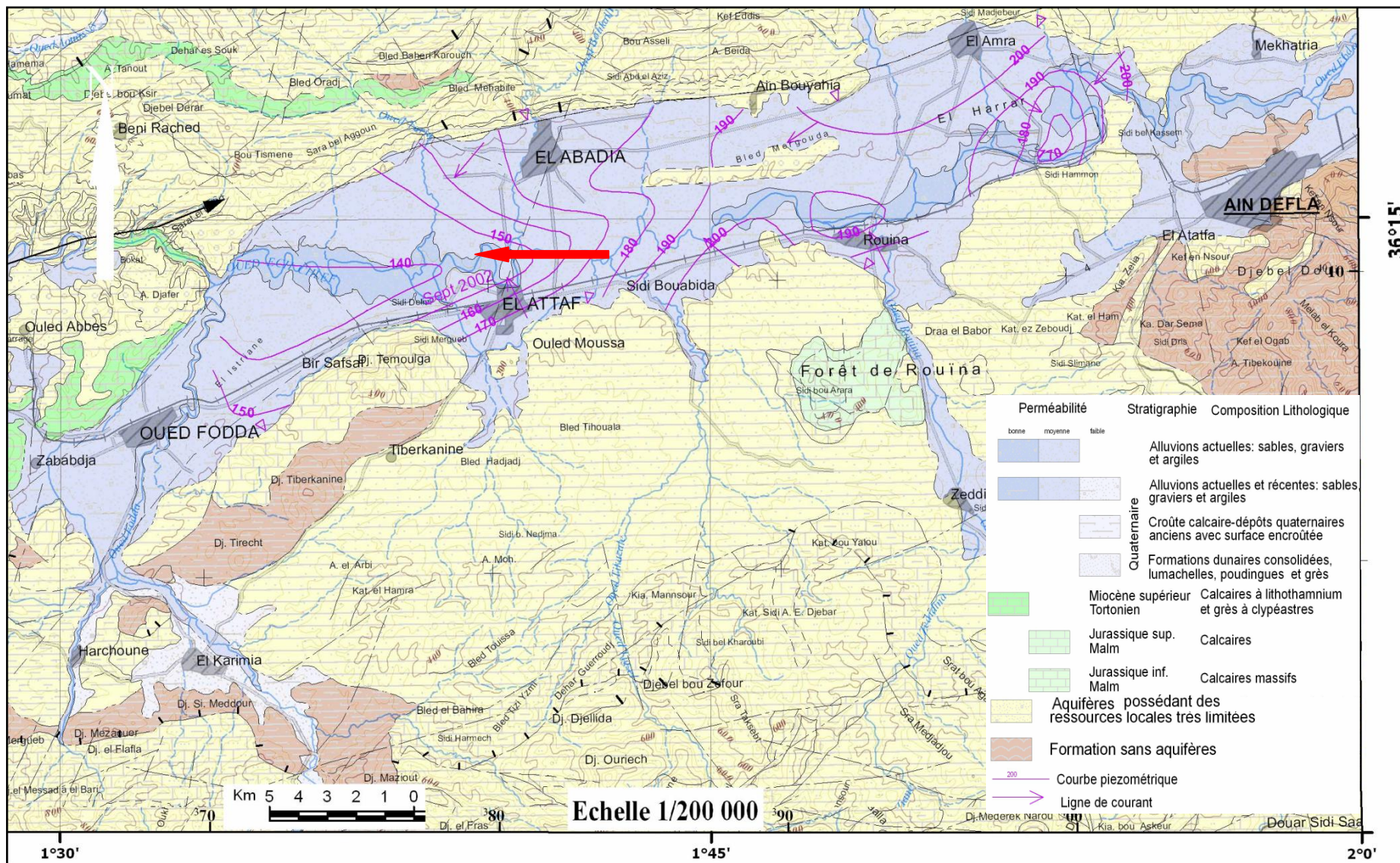


Figure 92: Carte hydrogéologique du moyen Chélif oriental (Extrait de la carte hydrogéologique interprétative de bassin Chélif ANRH 2008).

2.4.2. Etude des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe

Les caractéristiques hydrodynamiques d'un aquifère traduisent la capacité des terrains qui le composent à laisser s'écouler l'eau ou encore sa capacité de stockage.

Dans le but de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe du moyen Chélif orientale, plusieurs pompages d'essais ont été réalisés sur des ouvrages de production.

L'interprétation des courbes obtenues, à partir des mesures effectuées dans les forages, nous a permis d'estimer la transmissivité (**T**) des terrains traversés.

2.4.2.1. Détermination des paramètres hydrodynamiques

a). Transmissivité **T** (m^2/s) :

C'est un paramètre régissant le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur de la zone saturée d'un aquifère et par unité de gradient hydraulique. Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité (**K**) par l'épaisseur de l'aquifère (**e**). Elle s'exprime en mètre carré par seconde (m^2/s). $T (m^2/s) = K (m/s) \cdot e (m)$

a.1) Courbe de descente de Jacob :

La détermination de la transmissivité est basée sur la méthode d'approximation logarithmique donnée par J. C. Jacob. L'équation d'approximation de Jacob lie les rabattements en tout point de la nappe en fonction du temps et qui s'écrit :

$$\Delta = \frac{0,183}{T} Q \log \frac{2,25}{r^2 S} T \cdot t$$

- Δ : Rabattement (m).
- Q : Débit de pompage (m^3/s).
- T : Transmissivité (m^2/s).
- t : Temps de pompage (s).
- r : Distance du piézomètre (m).
- S : Coefficient d'emménagement.

Le calcul de la transmissivité consiste à porter les valeurs des rabattements (Δ) observés en fonction du logarithme du temps de pompage (t). La droite ainsi tracée doit passer par le maximum de points. On calcule par la suite la pente (**C**) de la droite $\Delta = f(t)$, sur un cycle logarithmique, et le temps t_0 correspondant à l'intersection de la droite avec l'axe des rabattements nuls. On obtient alors :

$$T = \frac{0,183}{C} Q \quad \& \quad S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

C : la pente est égale aussi à :
$$C = \frac{S_2 - S_1}{\log t_1 - \log t_2}$$

a.2) Courbe de remontée de Jacob :

La détermination de la transmissivité d'après la courbe de remontée est plus fiable que celle de la courbe de descente car pendant la remontée, l'écoulement des eaux souterraines est soumis à un régime naturel. La courbe de remontée reflète mieux le régime des eaux souterraines et les erreurs de mesures étant plus faibles.

$$\Delta r = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

- Δr : Rabattement résiduel (m).
- t : Temps écoulé depuis le début de pompage.
- t' : Temps écoulé depuis l'arrêt de pompage.

On représente (Δr) en fonction de $\log(t/t')$. Après un certain temps qui est fonction de l'importance des déformations dues au puits de pompage, les rabattements observés se placeront sur une droite dont la pente (C) permet le calcul de (T):

$$T = \frac{0,183 Q}{C}$$

B. Coefficient d'emmagasinement (S)

C'est le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface d'un aquifère, à la variation de la charge hydraulique correspondante. C'est un paramètre sans dimension, et se mesure sur le terrain, principalement, par des pompages d'essais.

Dans un aquifère captif, ce paramètre est lié à la compressibilité et à l'expansibilité de l'eau et du milieu aquifère, ainsi qu'à la puissance de la couche aquifère. Dans un aquifère libre où la compressibilité de la roche et de l'eau est négligeable, il équivaut en pratique à la porosité efficace.

Le coefficient d'emmagasinement est obtenu par le calcul numérique dans la formule de Jacob, citée précédemment ou plus simplement, par la méthode graphique.

2.4.2.2. Interprétation des essais de pompage

Les expérimentations, par pompage à débit constant sur les puits et sondages sont exécutées par des essais. Elles consistent à mesurer l'accroissement des rabattements du niveau piézométrique en relation avec le temps de pompage et leur remontée après arrêt de pompage.

A. FORAGE D'AIN DEFLA: (Fig. 06 annexe).

A-1- Essai de courte durée:

◆ Courbe caractéristique :

Les 3 premiers paliers se situent sur une courbe, à partir du troisième ils s'alignent tous sur une droite ce qui est caractéristique d'une nappe captive. Il est probable que la courbe du débit est due à l'influence de la nappe superficielle de 38 à 50 m. pour 7m de rabattement cette nappe aurait pratiquement atteint son débit maximum et seule la nappe captive au dessous de 64m participerait à l'augmentation de débit. La pompe n'a pas permis d'obtenir plus de 59 l/s pour 18,35 m de rabattement.

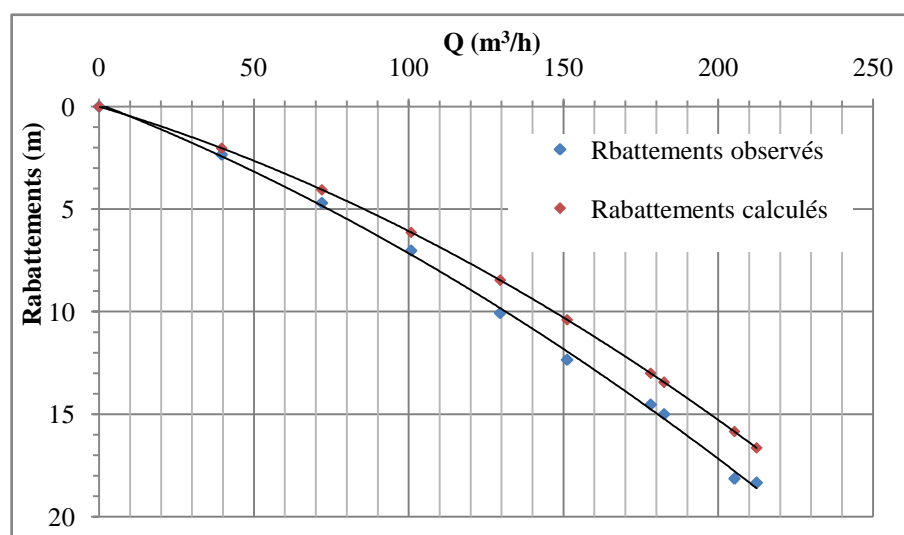


Figure 93: Courbe caractéristique $S=f(q)$.

Le débit critique de ce forage doit être de 76 l/s pour un rabattement de 25 m puisque au delà de ce rabattement la nappe inférieure cesserait d'être captive et qu'il y aurait donc diminution de la transmissivité par diminution de l'épaisseur.

◆ Droite débits spécifiques / Rabattement:

Cette droite inclinée, représentative de la fonction $S = f(q_s)$. Elle permet de calculer le débit spécifique relatif, qui correspond à un rabattement unitaire de (1 mètre). Débit spécifique relatif = $16,8 \text{ m}^3/\text{h.m}$

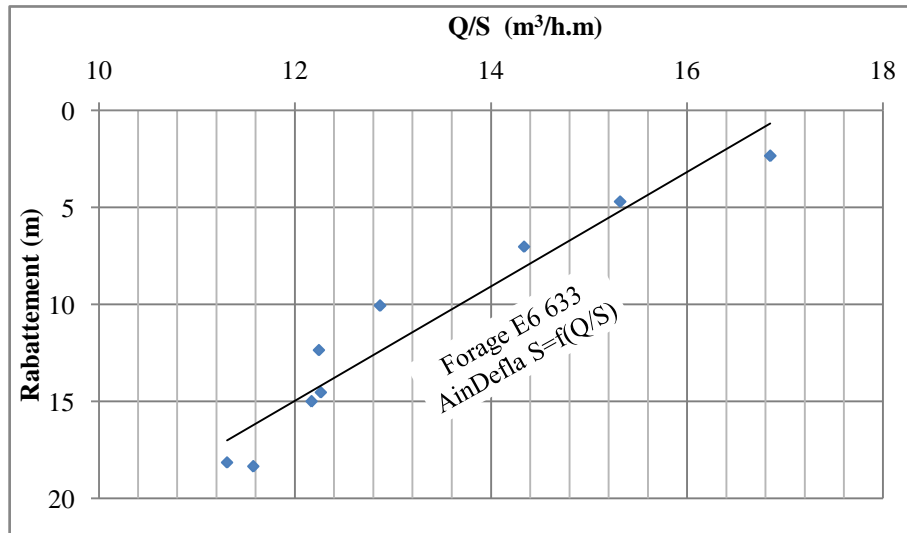


Figure 94: Droite débits spécifiques / Rabattement.

◆ *Droite débits / Rabattements spécifiques :*

Le droit débit / rabattements spécifiques, permet de déterminer les coefficients *B* et *C* de l'équation $S/Q = B + CQ$ d'où $S = BQ + CQ^2$

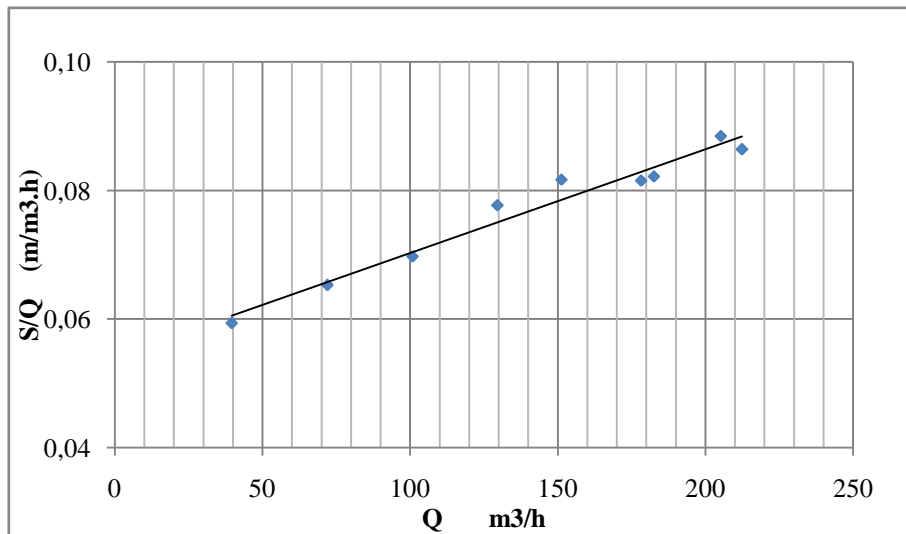


Figure 95: Droite débit/ rabattements spécifiques.

B : Coefficient obtenu par l'intersection de la droite représentative avec l'axe des rabattements spécifique.

$$B = 0,054$$

C : indice de Walton.

$$C = \text{tg } \alpha = \frac{a}{b} = \frac{0,022}{140} = 1,57 \cdot 10^{-4}$$

L'équation de la droite représentative s'écrit : $S = 0,54 Q + 1,57 \cdot 10^{-4} Q^2$

Le rabattement correspondant à chaque palie de débit est calculé par cette expression, les valeurs obtenues, portées sur le graphique débit / rabattements, se superpose parfaitement à la courbe observé.

♦ **Calcul des pertes de charges:**

- Perte de charge linéaire provoquée par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage du puits notée BQ : Elle est calculée par l'expression suivante : $S = BQ$

- Perte de charge quadratique, non linéaire provoquée par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage de captage notée CQ^2 : Elle est donnée par la relation : $S = CQ^2$

Tableau 36: Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai de courte durée
Forage E6 633 (Ain Defla).

Q L/s	Q m ³ /h	S (m)	S/Q	Q/Δ m ³ /h. m	Pertes de charges		S calculé (m)
					BQ	CQ ²	
11	39,6	2,35	0,06	16,85	1,782	0,25	2,03
20	72	4,7	0,07	15,32	3,24	0,81	4,05
28	100,8	7,03	0,07	14,34	4,536	1,60	6,13
36	129,6	10,07	0,08	12,87	5,832	2,64	8,47
42	151,2	12,35	0,08	12,24	6,804	3,59	10,40
49,5	178,2	14,53	0,08	12,26	8,019	4,99	13
50,7	182,52	15	0,08	12,17	8,2134	5,23	13,45
57	205,2	18,15	0,09	11,31	9,234	6,62	15,85
59	212,4	18,35	0,09	11,57	9,558	7,09	16,65

A-2- Essai de longue durée:

Un pompage de longue durée à débit constant (54 l/s), a été exécuté avec un seul palier de débit prolongé durant 100 heures, suivies d'un arrêt, les mesures ont été prélevées dans le forage et deux piézomètres (p1 à 24,6m du forage crépiné de 65 à 75 m et P2 de 37 à 50 m). Cet essai permet de déterminer les paramètres T, S. Les résultats sont représentés aux tableaux portés en annexe.

♦ **Courbe d'essai de descente:**

La courbe de descente obtenue à partir des données du pompage montre:

- Dans le forage, le niveau tombe de 16,35 m en 3 minutes et descend jusqu'à 17,19 m à 35 heures avec quelques fluctuations dues à des variations du débit pompé entre 52 et 55 l/s. de 35 à 38 h le niveau baisse de 17,19 à 17,74 m. Il baisse en suite de façon désordonnée entre 17,20 et 18,02 bien que le débit se stabilise.

On remarque que entre une heure et 35 heures les points s'alignent sur une droite moyenne de pente 0,3 m, la transmissivité calculé sur cette droite $T=3,29.10^{-2}$.

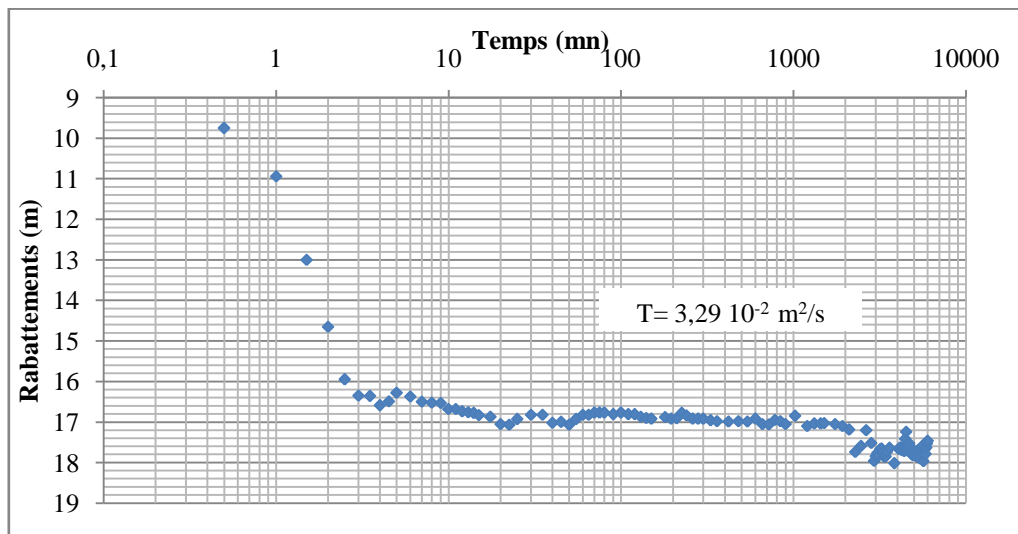


Figure 96: Courbe interprétative de la descente du forage E6 663 Ain Defla (méthode de Jacob).

- Dans le piézomètre (P1) Crépiné de 65 à 75m, dans la nappe profonde, distant de 24,6 m du forage, le niveau baisse de 4,78m en 22,5 minutes marquant l'effet de capacité de l'ouvrage de captage ; Puis les points s'alignent suivant une droite de pente $C = 0,48$ qui donne une transmissivité de $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{S}$ jusqu'à 5,73m de rabattement pendant 32 heures de pompage, ensuite le rabattement augmente jusqu'à 6,10 m à 49 heures de pompage pour remonter ensuite à 5,62m.

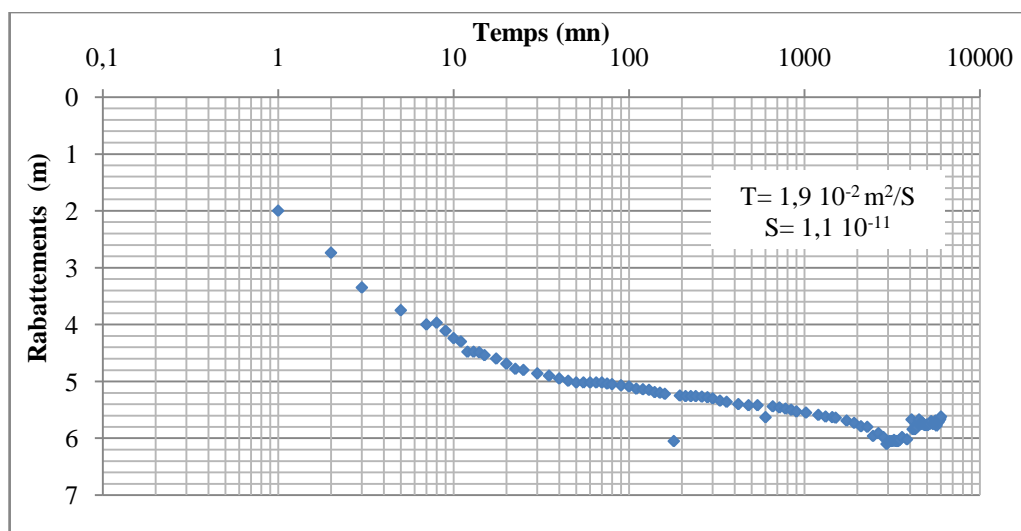


Figure 97: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 du forage E6 663 Ain Defla (méthode de Jacob).

La coupe des terrains (Fig. 06 Annexe) montre une nappe inférieure captive surmontée par une nappe supérieure libre intercalée par un terrain peu perméable de (52 à 64 m). Nous pouvons penser que la nappe inférieure étant rabattue par rapport à la nappe libre il se produit une drainance de celle-ci vers le bas à travers la couche intermédiaire, ceci explique la désorganisation du rabattement à la fin de pompage.

Dans le piézomètre superficiel (P2) crépiné de 37 à 50 m, montres une descente peut être due en grande partie à l'écoulement vers le forage qui capte les deux nappes simultanément.

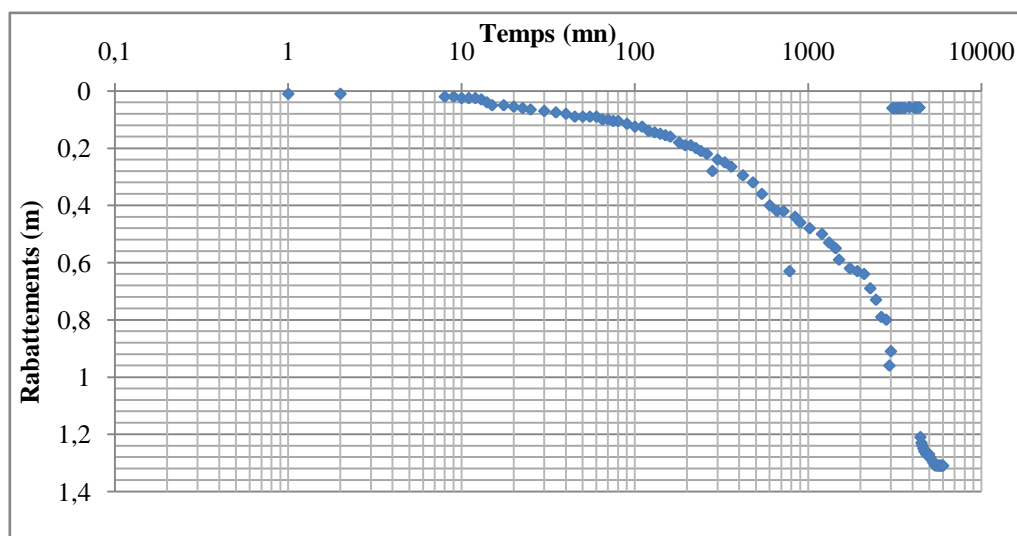


Figure 98: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 2 du forage E6 663 Ain Defla (méthode de Jacob).

La comparaison des descentes des deux piézomètres montre qu'elles sont entre une heure et 52 heures sensiblement parallèles. On pourrait donc attribuer l'absence de palier horizontal dans le graphique rabattements-logarithme du temps du piézomètre profond (p1), au fait que la nappe inférieure suit la descente de la nappe supérieure qui se vidange à la fois par le forage et par drainance. Si la nappe supérieure ne bougeait pas, on aurait alors une stabilisation des rabattements dans le piézomètre profond vers 5m (réellement observée à 5,02 de 50 à 70 mn) puisque c'est à partir du moment où l'on atteint cette valeur que les deux nappes baissent parallèlement.

◆ **Courbe d'essai de la remontée:**

La courbe de la remontée, montre la même allure que celle de la descente et représente la symétrie inverse de cette dernière. Pendant les cents premières minutes, elle se fait dans le forage et le piézomètre profond (P1) suivant une droite de pente $C = 0,52$ m environ en coordonnées semi-log, puis suivant une droite de pente $C = 0,51$. La transmissivité estimée de

cette courbe $T = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. voisine a celle observée pendant la descente dans le piézomètre profond (P1). Le niveau statique initiale est atteint en douze heures, après 48 heures de remonter, le niveau statistique est 40 centimètres plus haut que le niveau statique d'avant pompage. Ceci est dû probablement à la chute de neige à l'époque de l'essai.

Dans le piézomètre superficiel (P2) la remonté de niveau d'eau s'accélère durant les 20 premières minutes avec une pente de 0,82 m et une transmissivité de l'ordre de $T = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Au de la de 20 mins, et jusqu'à 48 h se fait suivant une droite de pente faible $C = 0,3 \text{ m}$.

A la fin de la remontée, le piézomètre superficiel (p2) est encore 26 cm sous le niveau statique d'avant pompage alors que (P1) est a 40 cm au dessus, ceci explique que l'alimentation de la nappe profond se fait probablement dans les massifs montagneux.

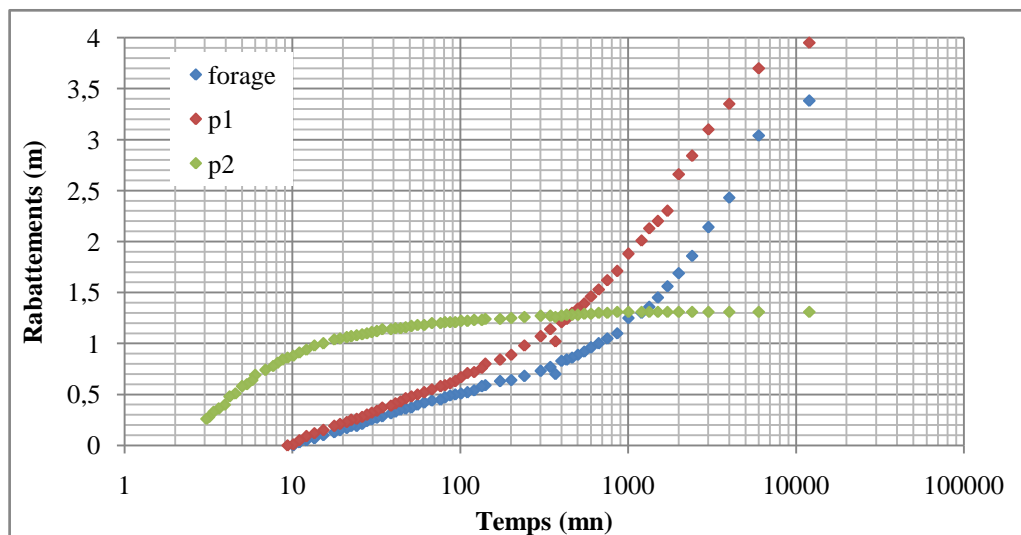


Figure 99: Courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres 1 et 2 et dans forage E6 663 Ain Defla, (méthode de Jacob).

B. FORAGE D'EL KHERBA

Après acidification et développement un pompage a eu lieu à l'intérieur du tube 14" donc sur la nappe des grès et sables. (Fig. 07 Annexe).

Puis la colonne provisoire 14" et la pompe installée à la base des crépines supérieures avec une profondeur d'immersion sous l'eau de 12m.

B-1- Essai de courte durée.

◆ Courbe caractéristique :

Au delà de 12m de rabattement les crépines des alluvions sont entièrement dénoyées et l'augmentation de débit ne peut être que due a la nappe des sables et grès, la courbe se

transforme donc en une droite parallèle à la droite caractéristique de cette nappe, le débit critique du forage est de l'ordre de 158 m³/h correspond à 10 m de rabattement.

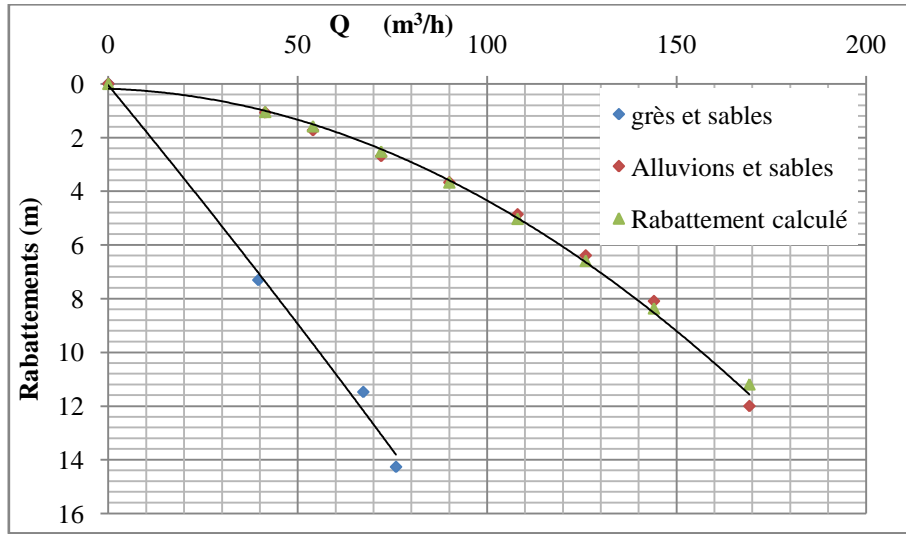


Figure 100 : Courbe caractéristique S = f(Q).

◆ Droite débits spécifiques / rabattement:

Le débit spécifique relatif, qui correspond à un rabattement unitaire = 34 m³/h.

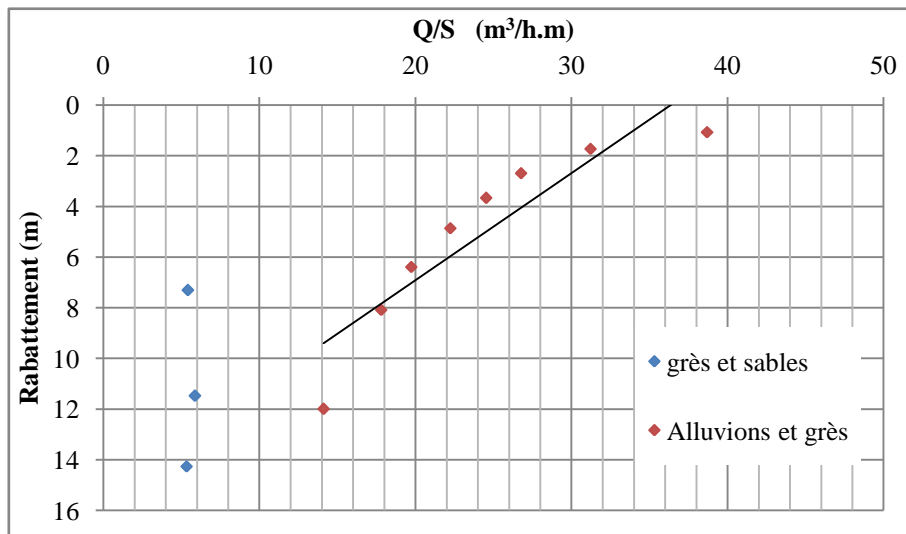


Figure 101: Droite débits spécifiques / rabattement.

◆ droite débits / rabattements spécifiques :

L'équation de la droite s'écrit $S/Q = B + CQ$ d'où $S = BQ + CQ^2$

$$B = 0,012$$

$$C = \text{tg } \alpha = \frac{a}{b} = \frac{0.2}{15} = 3,28 \cdot 10^{-4}$$

L'équation de la droite représentative s'écrit : $S = 0,012 Q + 3,28 \cdot 10^{-4} Q^2$

Les rabattements calculés se superpose parfaitement à la courbe observé (fig. 98).

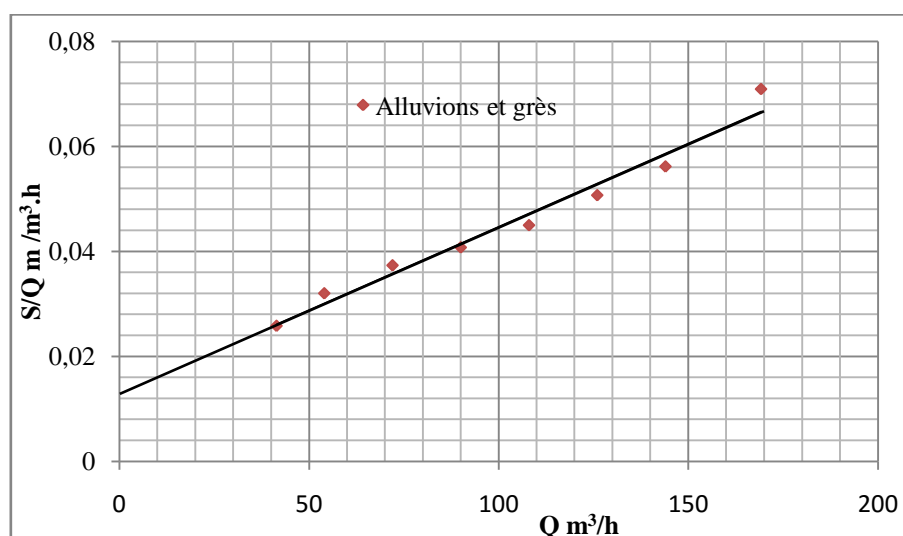


Figure 102: Droite débits spécifiques / rabattement.

◆ *Calcul des pertes de charges:*

Tableau 37: Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai de courte durée Forage E6 634 D'EL KHERBA.

Nappe des grès et Sables				Nappe des Alluvions et grès						
Q	S	S/Q	Q/S	Q	S	S/Q	Q/S	BQ	CQ ²	S calculé
39,6	7,31	0,185	5,417	41,4	1,07	0,026	38,69	0,4968	0,55	1,04
67,32	11,48	0,171	5,864	54	1,73	0,032	31,21	0,648	0,93	1,58
75,96	14,27	0,188	5,323	72	2,69	0,037	26,77	0,864	1,66	2,52
Q: debit (m ³ /h) S: rabattement (m) S/Q: m/m ³ .h Q/S: m ³ /h.m BQ: perte de charge linéaire CQ ² : perte de charge quadratique				90	3,67	0,041	24,52	1,08	2,59	3,67
				108	4,86	0,045	22,22	1,296	3,73	5,02
				126	6,39	0,051	19,72	1,512	5,08	6,59
				144	8,09	0,056	17,8	1,728	6,64	8,36
				169,2	12	0,071	14,1	2,0304	9,16	11,19

B-2- Essai de longue durée.

◆ *La nappe des grès et des sables :*

Cette nappe est surmontée par la nappe des alluvions grossières dont elle n'est séparée par aucune couche imperméable seule la perméabilité verticale des aquifères. Le piézomètre d'observation de la nappe des grès et sables est crépiné de 72 à 80 m.

Le pompage dans la nappe des grès et sables a duré 18h 20mn avec un débit de 17,5l/s.

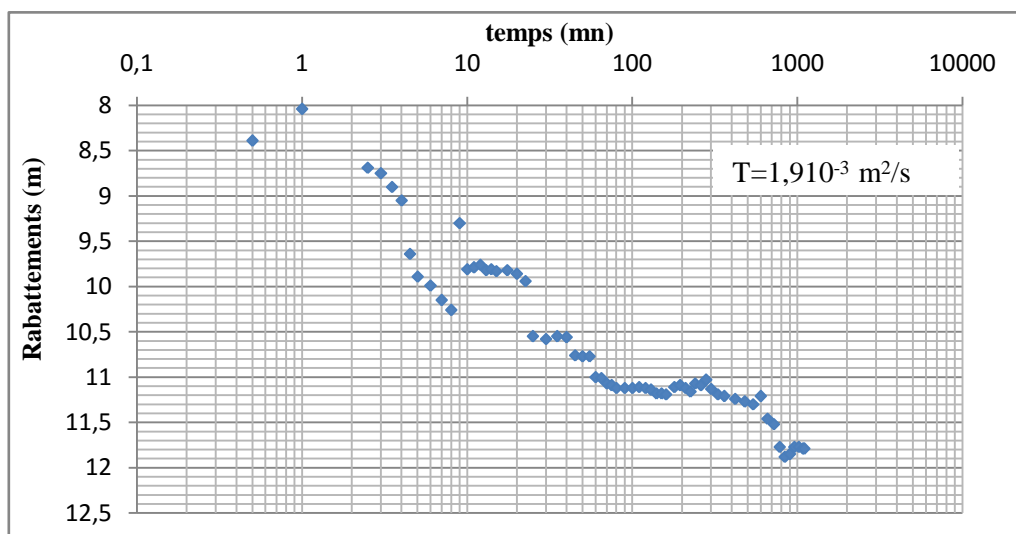


Figure 103: Courbe interprétative de la descente du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de Jacob).

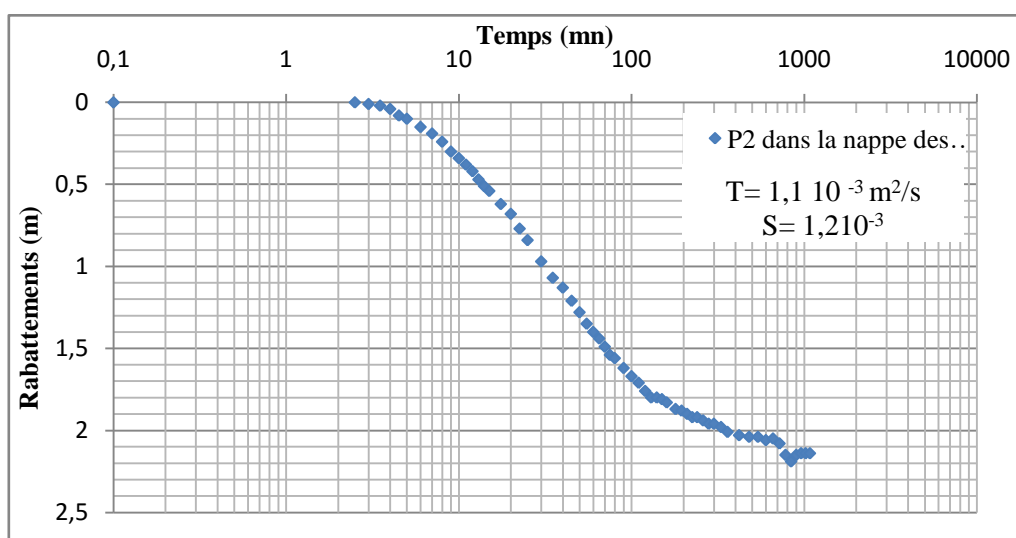


Figure 104: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de Jacob).

Le niveau a baissé 11m dans le forage et entre 11 et 11,9 m dans le piézomètre profond P2 situé à 45m du forage, le rabattement s'est pratiquement stabiliser à 2,04m au bout de 7 h.

Dans la nappe des alluvions le niveau était relevé dans un piézomètre à 20m du forage et dans l'espace annulaire du forage compris entre les crépines 18" des alluvions et la colonne d'exploitation 14" des grès et sables.

A la fin du pompage le rabattement dans cet espace annulaire était de 44 cm et de 18 cm dans le piézomètre 1 à 20 m. L'interprétation des courbes de décente et de remontée conduit aux valeurs: $T= 1,1 \text{ à } 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $S= 1,2 \cdot 10^{-3}$.

Lorsque la stabilisation dans la nappe profonde est atteinte, tout le débit extrait est fourni par la nappe superficielle.

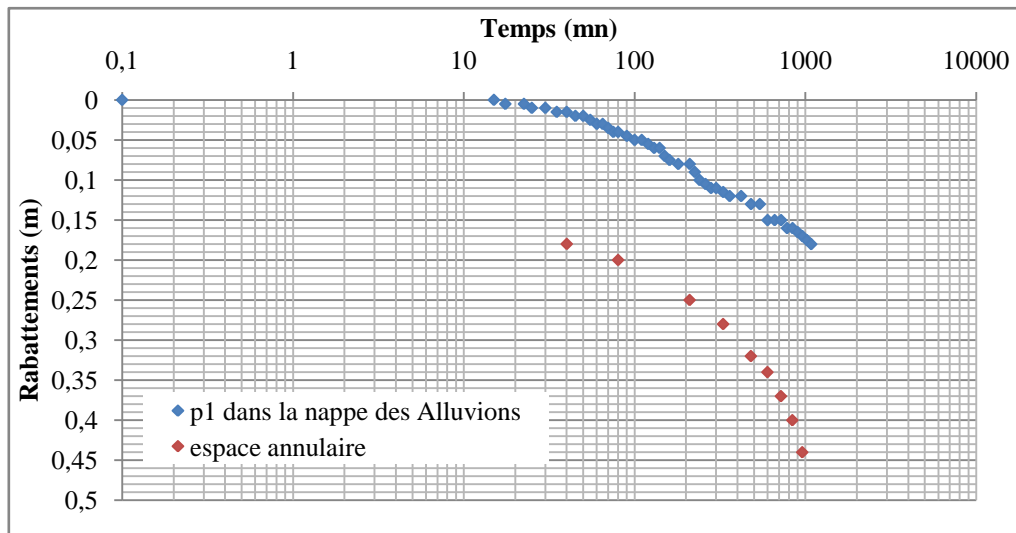


Figure 105: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 et dans l'espace annulaire du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de Jacob).

La représentation des données de la désente et la remontée des piézomètres de cette nappe suivant la solution de theis, a permet de constater la parfaite superposition avec la courbe théorique de theis ,l' interprétation du la courbe de theis a conduit a une transmissivité de l'ordre de $1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emmagasinement $S = 1,2 \cdot 10^{-3}$.

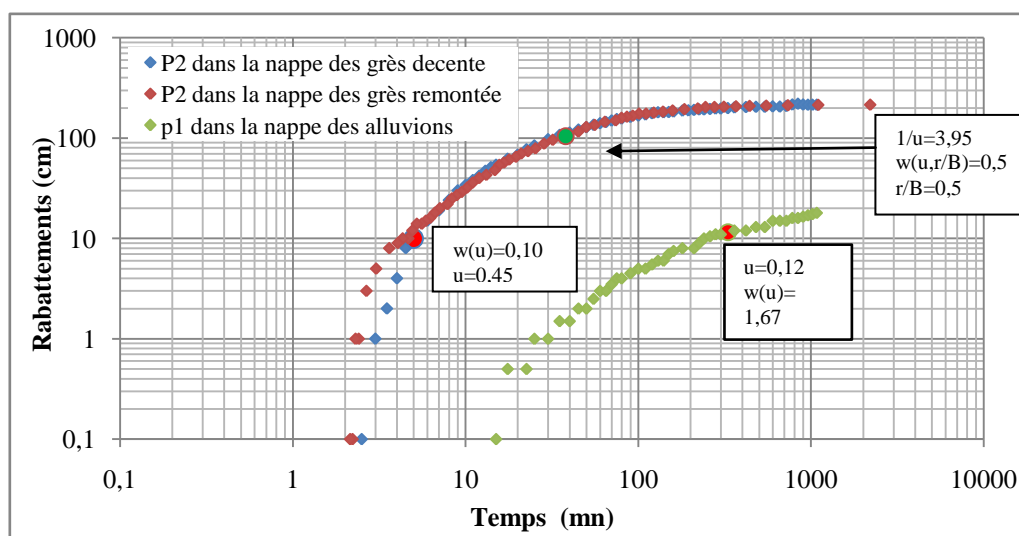


Figure 106: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de Theis).

◆ *La nappe des Alluvions*

Un essai a eu lieu sur l'ensemble des nappes des Alluvions et des grès et sables le 12/02/1970. le débit d'essais a été maintenu à 29 l/s pendant 68 heures. les niveaux ont été pratiquement stabilisés pendant les 20 dernières heures. Le débit du forage est estimé a partir des courbes caractéristiques qui donnent un rabattement de 4,46m au bout d'une heure.

Les courbes caractéristique donnent pour ce rabattement un débit de 6,5l/s dans la nappe des grès et un débit de 22,8 l/s pour les deux nappes réunies.

L'interprétation des données de pompage sur les deux nappes simultanément suivant la méthode de Jacob conduit a une valeur de transmissivité et de coefficient d'emmagasinement suivantes: La nappe des grès et sables $T = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $S = 1,56 \cdot 10^{-3}$

La nappe des Alluvions $T = 1,11 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $S = 3,73 \cdot 10^{-3}$.

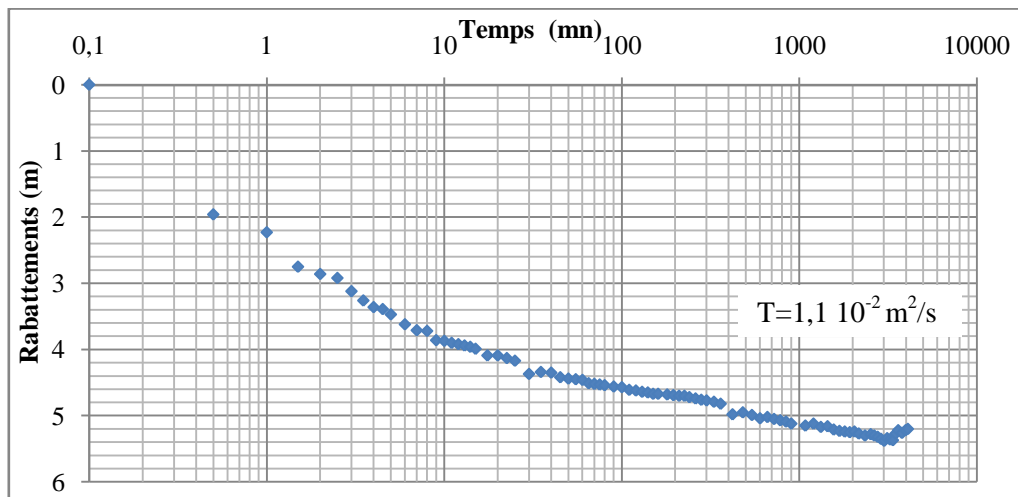


Figure 107: Courbe interprétative de la descente du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Jacob).

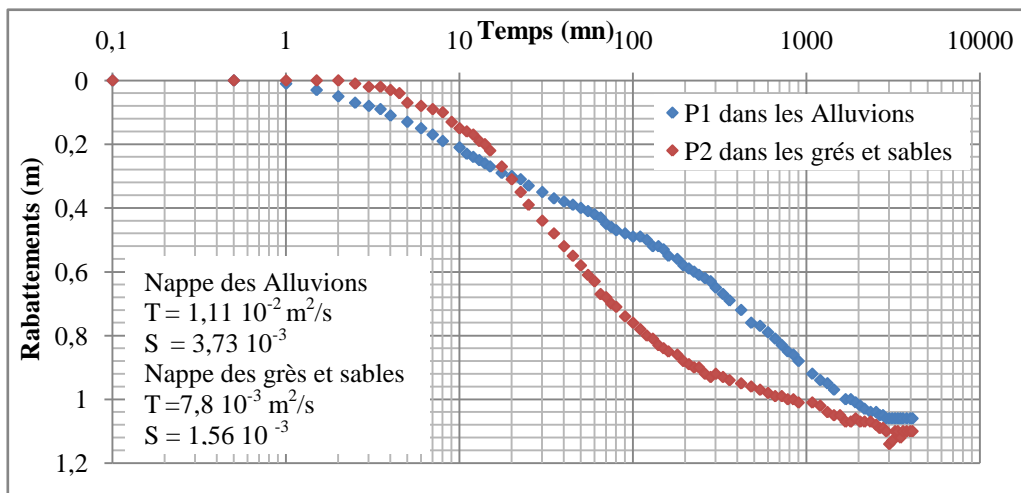


Figure 108: Courbe interprétative de la descente dans les piézomètres 1 et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Jacob).

L'interprétation des courbes de descente des piézomètres suivant la méthode de Theis conduit aux valeurs des paramètres :

- Nappe des grés $T = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $S = 9,2 \cdot 10^{-4}$ très voisine de $T = 1,1$ à $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$; $S = 1,2 \cdot 10^{-3}$ trouvées par l'essai sur la nappe des grés et sables ce qui confirme que cette nappe fournit un débit voisin de 6,5 l/s lors de l'essai d'ensemble.
- Nappe des Alluvions $T = 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $S = 1,14 \cdot 10^{-2}$ l'interprétation suivant la méthode de Jacob conduit $T = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

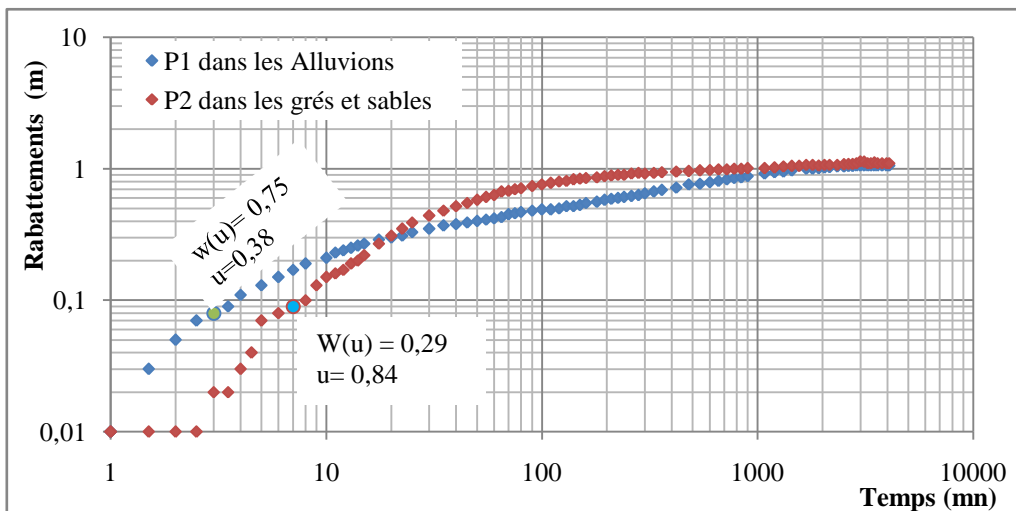


Figure 109: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Theis).

La remontée des niveaux se fait , au bout d'une heure, parallèlement sur tous les points d'observation. pour un débit global de 29 l/s cette remontée conduit à une transmissivité égale $T = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

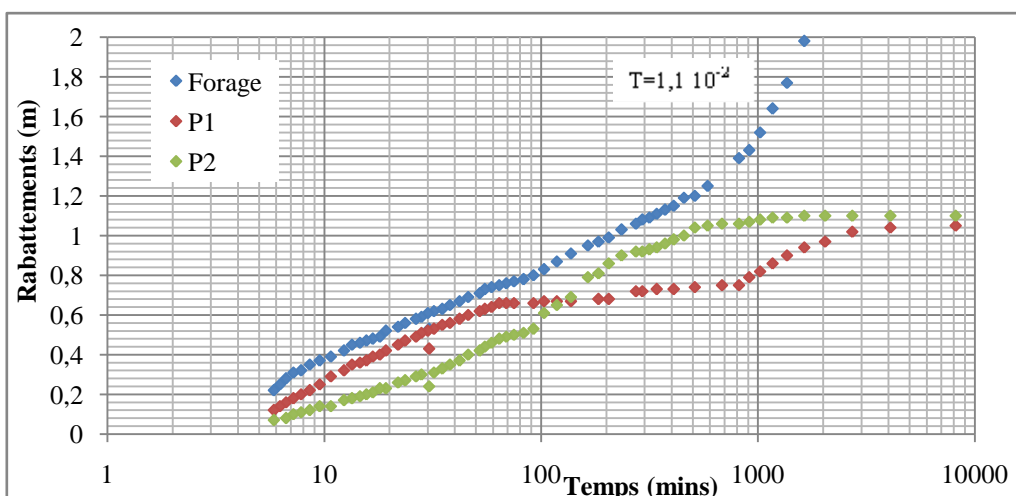


Figure 110: Courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres 1 et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Jacob).

C. FORAGE D'EL ABADIA

L'essai de pompage de longue durée s'étale sur 61h 55mn au débit de 125l/s. Le forage est accompagné de deux piézomètres. Piézomètre (P1) situé à 15 m du forage crépiné de 30 à 50m, et Piézomètre (P2) situé à 35 m du forage crépiné de 20 à 30 m.

C-1- Essai de courte durée:

◆ Courbe caractéristique :

La courbe caractéristique de ce forage montre un rabattement de 4,66 m pour un débit de 139 l/s, la pompe n'a pas permis d'obtenir plus de 139 l/s.

La courbe des rabattements calculés se superpose parfaitement à la courbe des rabattements observés

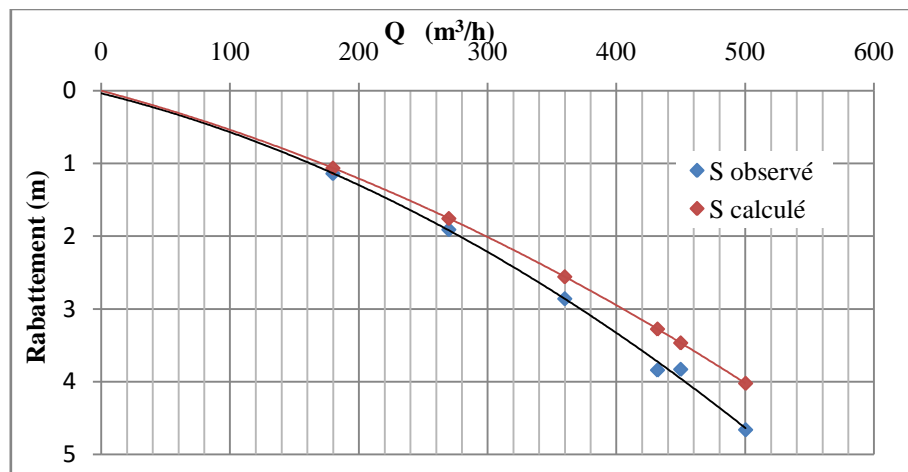


Figure 111: courbe caractéristique $S=f(q)$.

◆ Droite débits spécifiques / rabattement:

Le débit spécifique relatif, qui correspond à un rabattement unitaire = 157 m³/h.

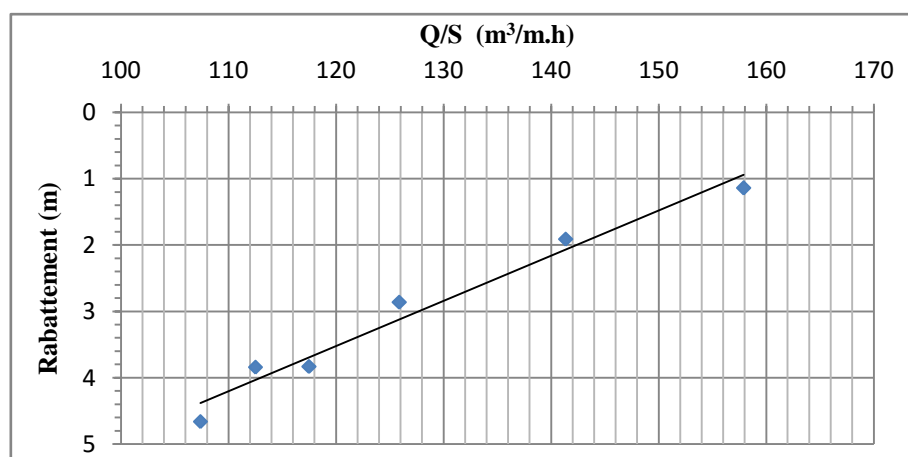


Figure 112: Droite débits spécifiques / rabattement.

◆ *droite débits / rabattements spécifiques :*

- L'équation de la droite s'écrit: $S/Q = B + CQ$ d'où $S = BQ + CQ^2$

- L'équation de la droite représentative s'écrit : $S = 0,0047 Q + 6,66 \cdot 10^{-6} Q^2$

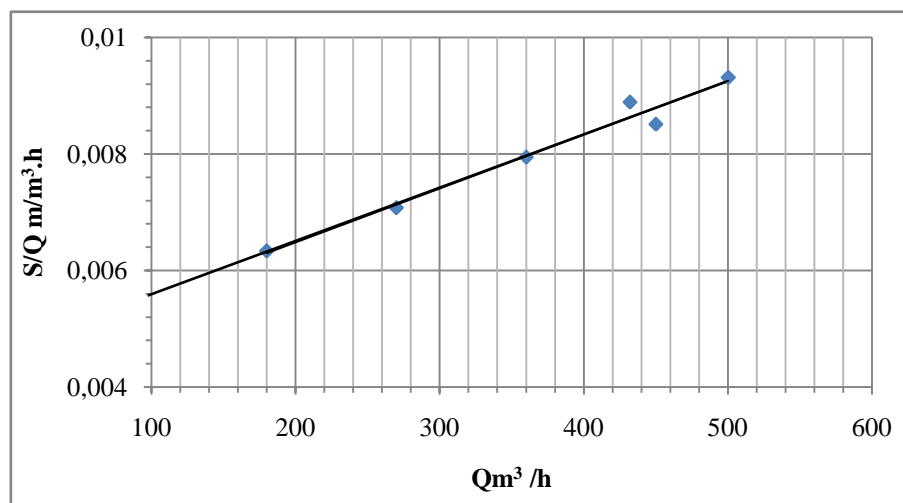


Figure 113: Droite débits spécifiques / rabattement.

◆ **Calcule des pertes de charges:**

Tableau 38 : Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai par paliers E6 635 El Abadia.

Q m³/h	S (m)	S/Q m/m³.h	Q/Δ m³/h.m	BQ	CQ²	S calculé (m)
180	1,14	0,0063	157,89	0,85	0,22	1,06
270	1,91	0,0070	141,36	1,27	0,49	1,76
360	2,86	0,0079	125,87	1,69	0,86	2,56
432	3,84	0,0089	112,50	2,03	1,24	3,27
450	3,83	0,0085	117,49	2,12	1,35	3,47
500,4	4,66	0,0093	107,38	2,35	1,67	4,02

C-2- Essai de longue durée

◆ **Courbe d'essai de descente:**

Le niveau dans le forage descend de 3.46 m, en 4 minutes puis il évolue " en moyenne" suivant une droite de pente $C = 0,23$ m jusqu'à 4,22 m en fin d'essai. Cet essai donne une transmissivité égale a $T = 9,910^{-2} m^2 / S$.

A la fin de l'essai les rabattements sont de 1.28 m, dans le piézomètre (P1) et 0,88 m dans le piézomètre (p2).

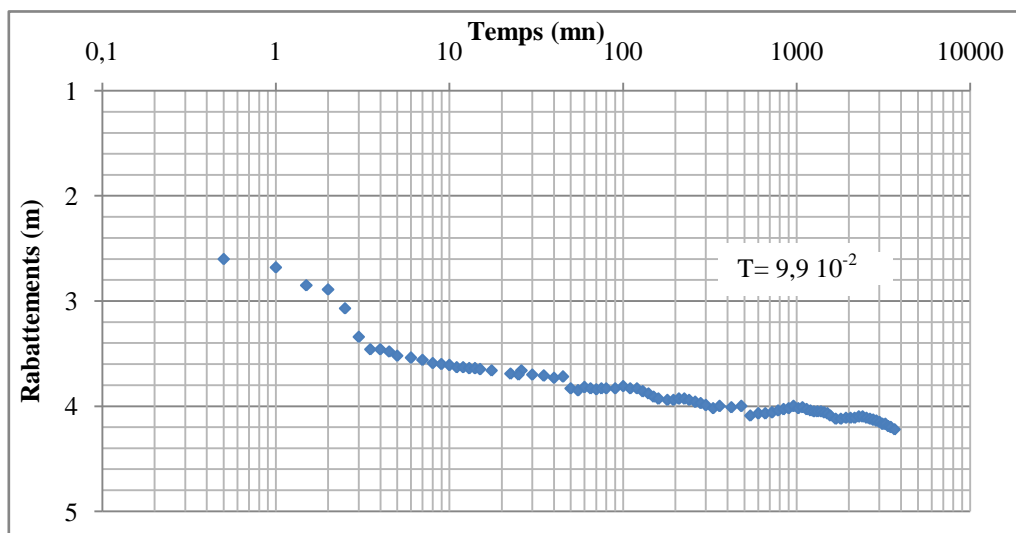


Figure 114: Courbe interprétative de la descente du forage E6 635 El Abadia (méthode de Jacob).

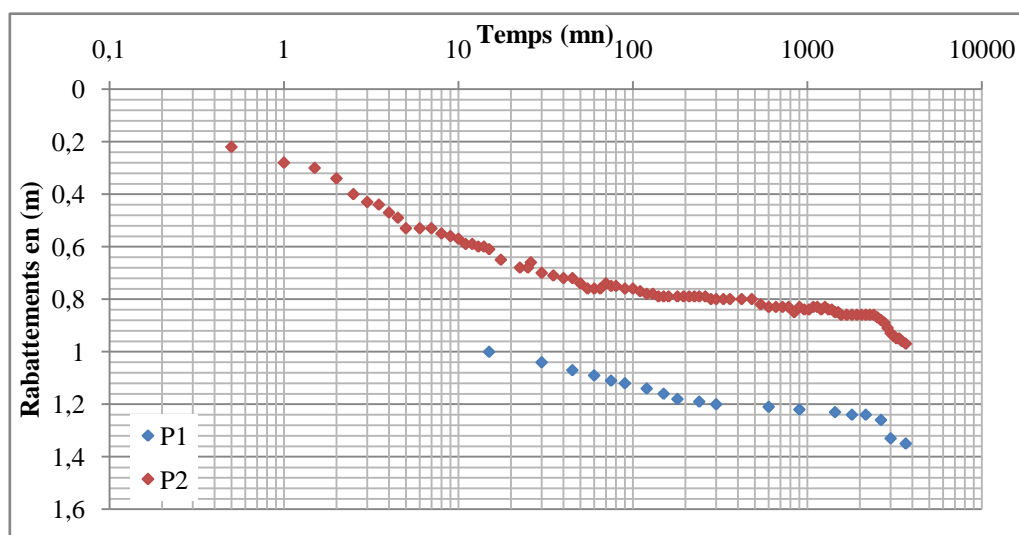


Figure 115: Courbe interprétative de la descente dans les piézomètres P1 et P2 du forage E6 635 El Abadia (méthode de Jacob).

De 40 heures à 62 heures l'augmentation des rabattements suivant deux segments à peu près parallèles. Ces droites ont des pentes $C = 0,50$ à $0,57$ m qui donnent des valeurs de transmissivité très voisines $T = 4 \cdot 10^{-2}$ à $4,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, mais des coefficients d'emmagasinement $S = 31 \cdot 10^{-2}$ à $39 \cdot 10^{-2}$ assez différents et trop élevés.

◆ **Courbe d'essai de remontée:**

Pendant 1 à 4 heures la remontée se fait suivant une pente à peu près égale à la moitié de celle de la fin de la descente. Cette remontée donne une transmissivité de l'ordre $9,5 \cdot 10^{-2}$ et un coefficient d'emmagasinement $S = 7 \cdot 10^{-4}$.

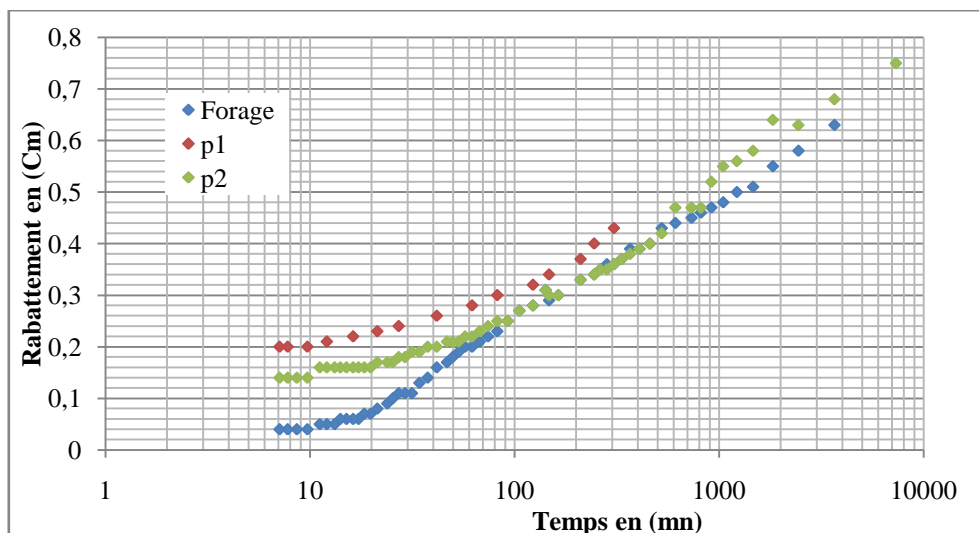


Figure 116: Courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres 1et 2 et dans le forage E6 635 El Abadia (méthode de Jacob).

G. FORAGE DE SIDI BOUABIDA

G-1- Essai de puits:

◆ **Courbe caractéristique :**

La courbe caractéristique présente une concavité vers le haut, ceci traduit un essai défectueux ou bien les mesures ont été mal prises.

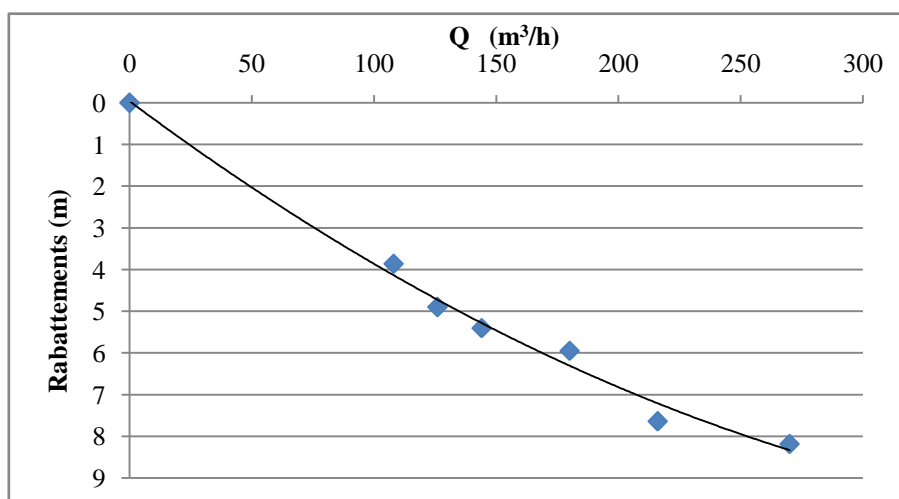


Figure 117: Courbe caractéristique $S=f(q)$.

G-2- Essai de longue durée:

L'essais sur le puits de Sidi Bouabida le 06/09/90 a durée 48h avec un débit de 75 l/s , les niveaux ont été mesurés dans le forage .

L'effet de capacité est rapidement éliminé, rabattement évolué progressivement en fonction du temps suivant une droite de pente $C = 1.2$, à la fin de pompage le rabattement atteint 8,8 m, Cet essai donne une transmissivité de l'ordre de $1,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

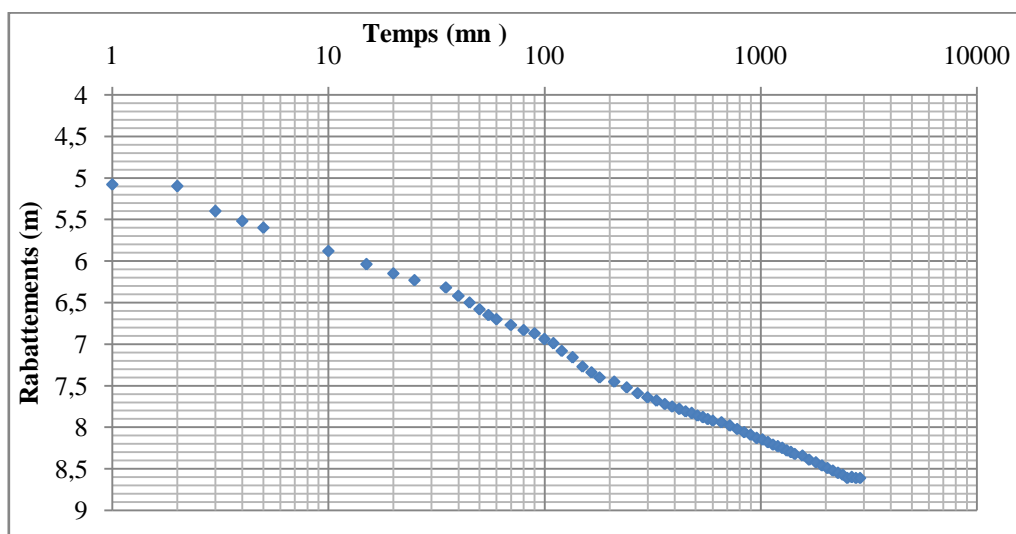


Figure 118: Courbe interprétative de la descente du forage Sidi Bouabida
(Méthode de Jacob).

La remontée du niveau statique se fait avec une droite de pente $C=1,8$, qui donne une transmissivité de l'ordre de $7,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

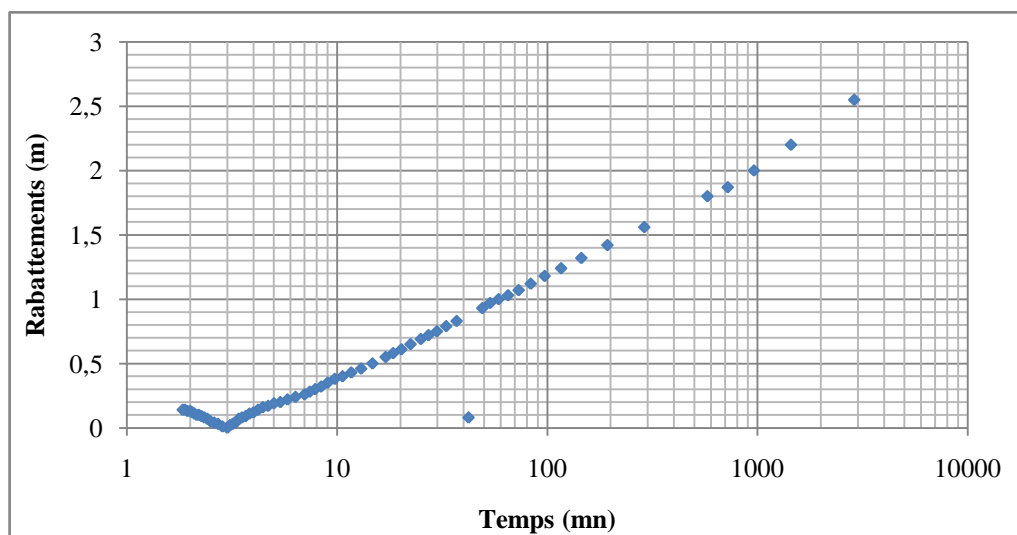


Figure 119: Courbe interprétative de la remontée dans le forage Sidi Bouabida
(Méthode de Jacob).

H. FORAGE OUED FODDA:(Fig 09 Annex).**H-1- Essai de courte durée:**◆ **Courbe caractéristique :**

La courbe caractéristique tracée présente un débit critique très net à 108 m³/h (30 l/s) correspond à 4 m de rabattement.

Au delà de débit critique la chute du niveau dynamique est extrêmement brutale, pour 115,2 m³/h (32 l/s) le rabattement atteind 20m.

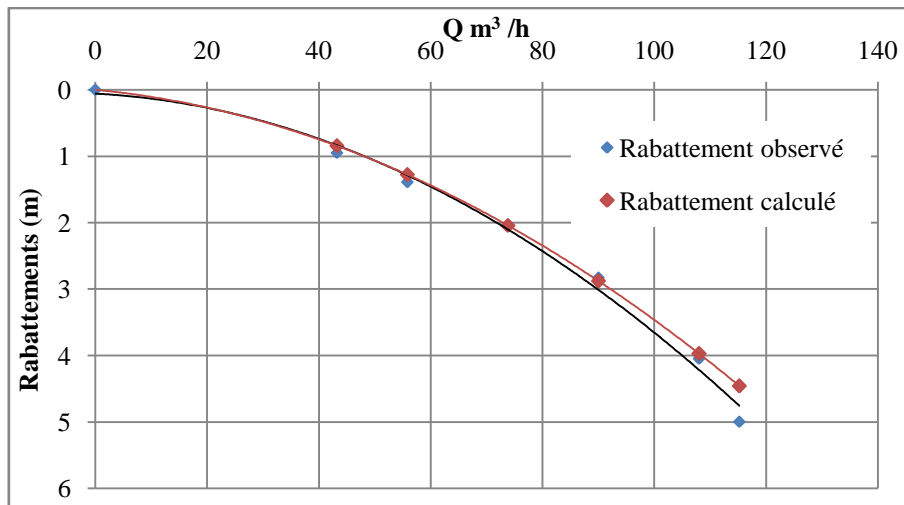


Figure 120 : Courbe caractéristique $S=f(q)$.

◆ **Droite débits spécifiques / rabattement:**

Le débit spécifique relatif, qui correspond à un rabattement unitaire = 43 m³/h.

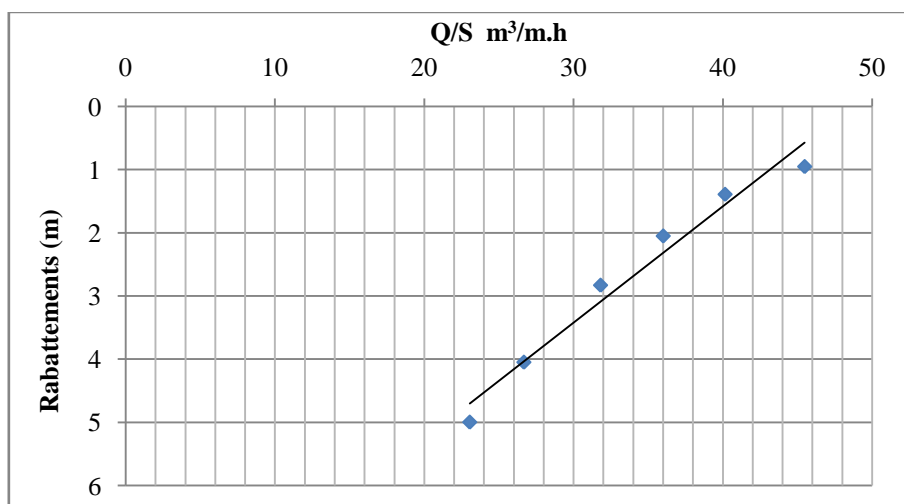


Figure 121: Droite débits spécifiques / rabattement.

◆ Droite débits / rabattements spécifiques :

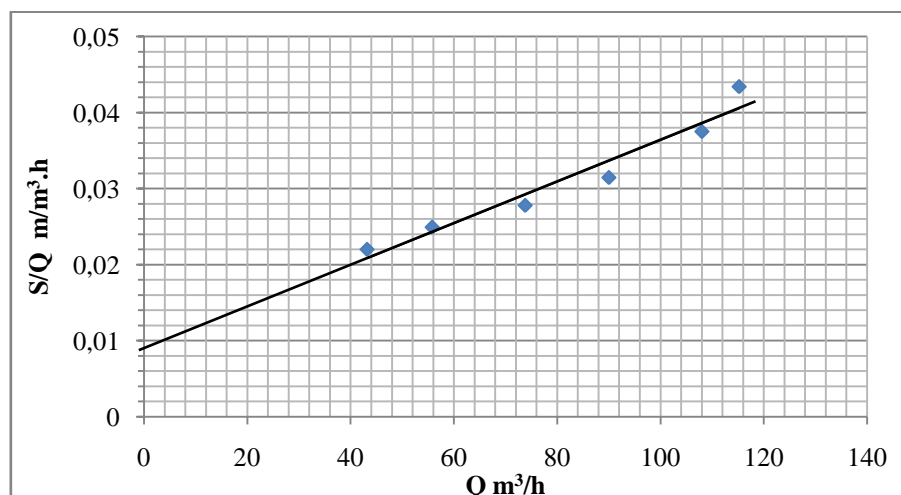


Figure 122: Droite débits spécifiques / rabattement.

- L'équation de la droite s'écrit : $S/Q = B + CQ$ d'où $S = BQ + CQ^2$

- L'équation de la droite représentative s'écrit : $S = 0,009Q + 2,6 \cdot 10^{-4} Q^2$

La courbe des rabattements calculés se superpose parfaitement à la courbe des rabattements observés (fig120).

◆ Calcul des pertes de charges:

Tableau 39: Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai par paliers Forage Oued Fodda.

Q m ³ /h	S (m)	S/Q m/m ³ .h	Q/S m ³ /h.m	Pertes de charges		S calculé (m)
				BQ	CQ ²	
43,2	0,95	0,02	45,47	0,35	0,50	0,84
55,8	1,39	0,02	40,14	0,45	0,83	1,28
73,8	2,05	0,03	36,00	0,59	1,45	2,04
90	2,83	0,03	31,80	0,72	2,16	2,88
108	4,05	0,04	26,67	0,86	3,11	3,97
115,2	20	0,04	23,04	0,92	3,54	4,46

H-2- Essai de longue durée:

L'essai a duré 100 heures avec un débit de 25 l/s. Les niveaux ont été mesurés dans le forage et dans un piézomètre situé à 60 m crépiné de 5 à 8 m de profondeur.

L'évolution des rabattements se fait en fonction du temps suivant des droites:

- Dans le forage avec une droite de pente $C = 0,90$ m pendant la descente et $C = 0,45$ m pour la remontée.

- Dans le piézomètre, la pente $C = 0,35$ à la descente et à la remontée.

Cette différence est due à l'existence d'une couche d'argile dans les alluvions vers 12 m de profondeur dans le forage.

Le forage capte l'ensemble des alluvions au dessus et au dessous de cette couche tandis que le piézomètre n'a que 8 m de profondeur. Ce piézomètre fournit les paramètres de nappe suivants: $T = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. et $S = 10^{-2}$

A, 25 l/s le rabattement dans le forage est au bout de 100 heures de 4 m, donc très voisin du rabattement critique donné par la courbe caractéristique, et il n'y a pas de stabilisation apparente, on peut recommander un débit de 22 l/s pour ce forage.

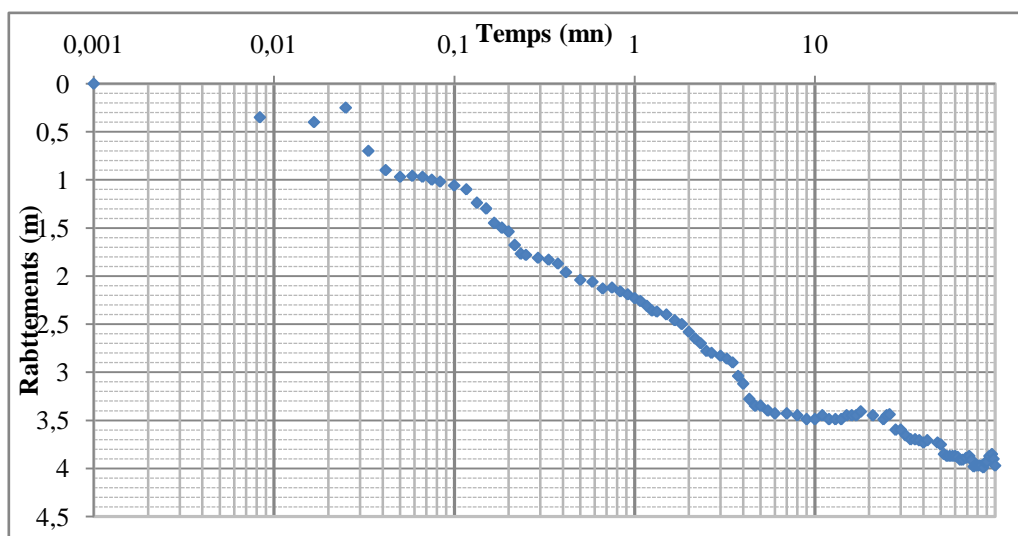


Figure 123: Courbe interprétative de la descente du forage E6 637 Oued Fodda (méthode de Jacob).

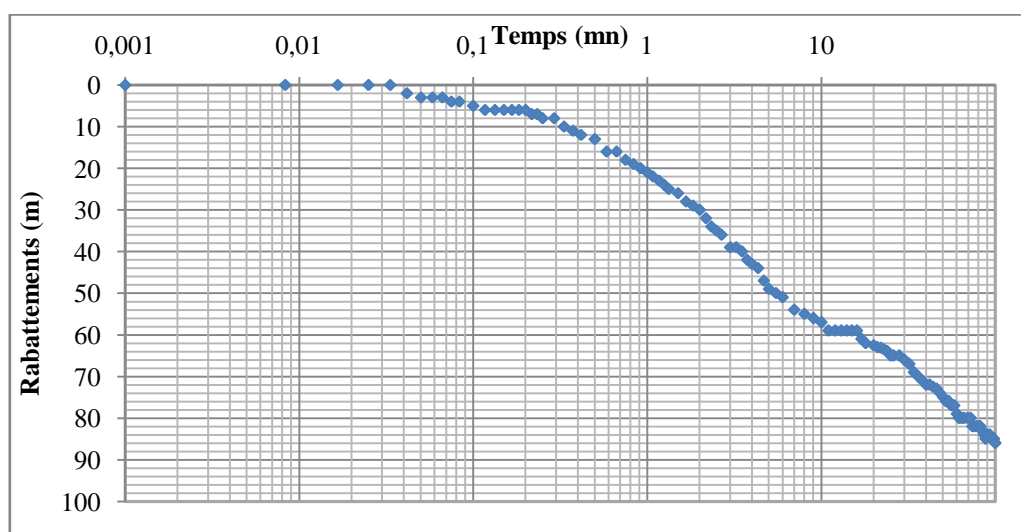


Figure 124: Courbe interprétative de la descente dans le piézomètre du forage E6 637 Oued Fodda (méthode de Jacob).

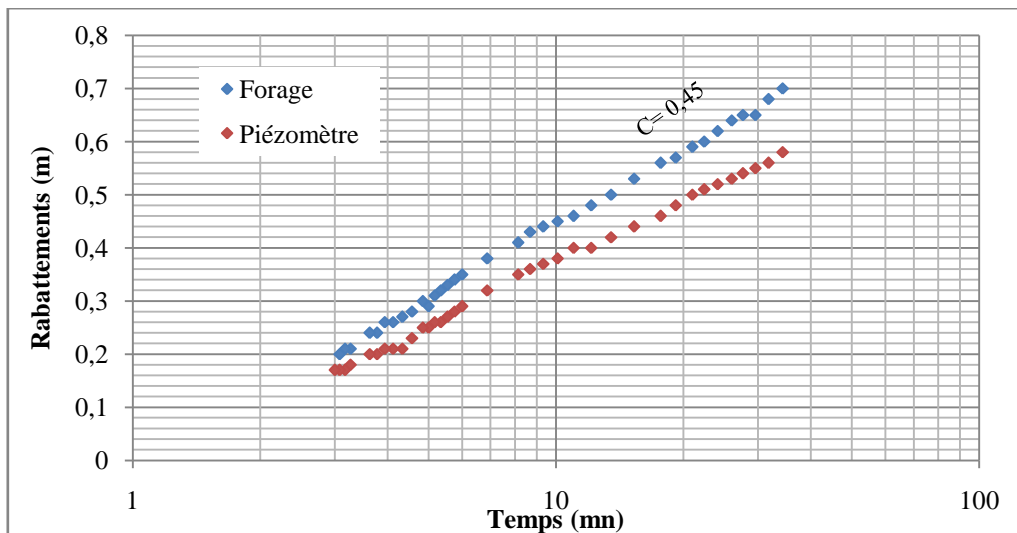


Figure 125: Courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres et dans le forage E6 637 Oued Fodda (méthode de Jacob).

3. CONCLUSION

L'étude géophysique et hydrogéologique a permis de mettre en évidence au niveau de la dépression du moyen Chélif orientale trois horizons aquifères représentés par des alluvions du Quaternaires, des sables et grés Astiens, grés et calcaires gréseux du Tortonien inférieur.

Les nappes suscitées sont généralement séparées par des horizons imperméables, mais dans certains cas du fait de structure tectonique (plissement, discordance) elles peuvent former des aquifères multicouches captifs sous le recouvrement constitué de limons Quaternaires, leur alimentation en eau a lieu essentiellement à partir du versant septentrional où elles sont libres. La recharge à partir du flanc méridional de la dépression est assez limitée.

Il est à noter l'existence de deux nappes sur le versant méridional, il s'agit des calcaires fracturés et karstifiés du Jurassique et les schistes et quartzites fracturés du Paléozoïque dont l'alimentation a lieu directement à partir des précipitations.

L'écoulement principal des eaux souterraines se fait suivant une direction EW conformément à celle de l'oued Chélif qui représente le drainage principal de la nappe.

CHAPITRE V

Etude qualitative et quantitative

1. ETUDE QUALITATIVE

La qualité de l'eau constitue un enjeu environnemental primordial pour tous les secteurs utilisateurs. Les ressources en eaux souterraines peuvent être de mauvaise qualité en raison de Problèmes d'origine naturelle ou de contamination, ou les deux. Il est souvent nécessaire de connaître la qualité d'une eau avant de s'en servir.

L'accroissement rapide de la population, en particulier dans les pays sous développés et en voie de développement où l'extension de la culture irriguée et le développement industriel, influençant fortement la quantité et la qualité de l'eau dans la nature. Dès lors, la nécessité d'une politique cohérente de gestion rationnelle et de protection des ressources s'impose. Mais cette gestion rationnelle ne saurait se fonder que sur la connaissance des problèmes d'hydrogéologique posés.

Les analyses chimiques des eaux prélevées permettent d'apprécier les teneurs des éléments chimiques dissous dans les eaux.

L'étude Hydrochimique permettra de préciser la répartition quantitative des divers éléments dissous, de suivre leur évolution spatio-temporelle et dans certains cas de déterminer les zones d'alimentation et d'échanges inter aquifères ainsi que la source d'une éventuelle pollution quelconque.

Les résultats de ces analyses chimiques serviront aussi de support pour définir la qualité chimique des eaux de la région, leur aptitude à la consommation domestique, à l'irrigation et à l'industrie.

L'analyse effectuée a porté sur les cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) et les anions (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- , NO_3^-) et le pH, la conductivité électrique et le résidu sec en mg/l.

1.1. Etude des paramètres physiques

1.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH est le cologarithme de la concentration de l'ion d'hydrogène libre H^+ contenu dans l'eau, il permet de déduire l'état d'équilibre d'une eau (acidité ou alcalinité de l'eau). Il subit l'influence de plusieurs facteurs tels que la température, la vitesse de circulation des eaux et les périodes d'activité biologiques.

Dans l'ensemble de la plaine du moyen Chélif oriental, les valeurs du pH sont dans les normes de potabilité établie par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) qui préconise un pH compris entre 6.5 et 8.5, pour les eaux destinées à la consommation. Toutes les mesures de pH ont donné des valeurs comprises entre 6,8 et 8,3 (Fig.124 ci dessous).

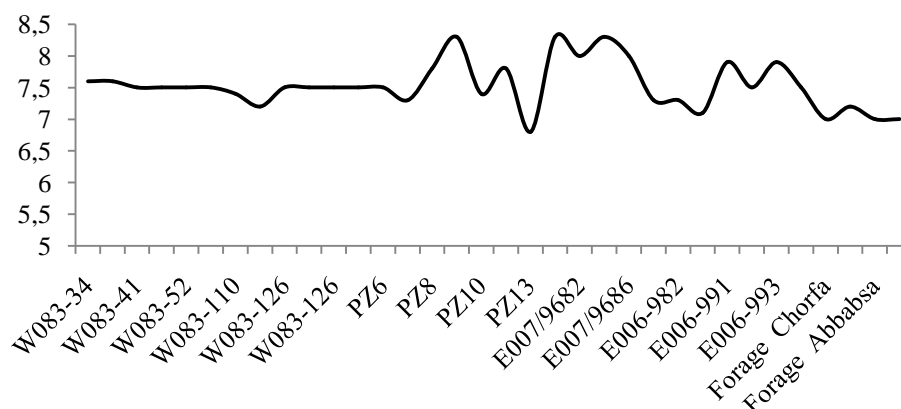


Figure 126: Variation du PH des échantillons d'eau analysé (Octobre 2012).

1.1.2. Conductivité

Elle est l'expression de la charge dissoute et rend compte de la minéralisation des eaux par la quantité d'ions en solution (J. Nicod, 1973). La conductivité est d'autant plus élevée que la minéralisation est importante. Elle permet donc, une bonne appréciation des matières en solution. Elle s'exprime en μ Siemens/cm ou le μ mhos/cm.

L'O.M.S a fixé 1500 μ Siemens/cm comme valeur limite de la conductivité admissible dans l'eau de boisson.

Tableau 40: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique de l'eau.

Conductivité électrique en μ Siemens/cm	Minéralisation de l'eau
• Conductivité < 100	• minéralisation très faible.
• 100 < Conductivité < 200	• minéralisation faible.
• 200 < Conductivité < 333	• minéralisation moyenne.
• 333 < Conductivité < 666	• minéralisation moyenne accentuée.
• 666 < Conductivité < 1000	• minéralisation moyenne importante.
• Conductivité > 1000	• minéralisation élevée.

Le tableau 48 suivant montre un degré de minéralisation élevée. Les valeurs de conductivités présentent des variations assez importantes et oscillent entre 1013 μ S/cm (PZ5) et 8710 μ S/cm (PZ13).

1.1.1. Balance ionique

Elle permet la vérification de la qualité des analyses. L'erreur de la balance ionique (e %) correspond au rapport de la différence des cations et des anions sur leur somme :

$$e\% = \frac{\sum r \text{ cations} - \sum r \text{ anions}}{\sum r \text{ cations} + \sum r \text{ anions}} * 100$$

D'après H. Schoeller (1962), le pourcentage d'erreur ne doit pas dépasser les 5%. Les résultats d'analyses des eaux de la région étudiée consignés dans le tableau 48, montrent un pourcentage d'erreur relativement inférieur à 5%, excepté quelques échantillons (E006-993, Forage AEP Chorfa, Forage AEP Ouled Issa).

Tableau 41: Paramètres physiques des échantillons d'eau analysé (Octobre 2012).

<i>Point d'eau</i>	X	Y	C μS/cm	pH	e %
W083-34	433000	329050	2 100	7,6	-0,30
W083-40	425870	330350	2630	7,6	-0,51
W083-41	424970	323620	1549	7,5	1,23
W083-48	421070	324850	1900	7,5	1,74
W083-52	418500	327250	2200	7,5	-1,37
W083-56	414200	323200	3260	7,5	1,75
W083-110	433250	332650	2020	7,4	-2,33
W083-122	423500	327200	5100	7,2	2,34
W083-126	431350	332350	3000	7,5	-0,86
W083-93	404000	324750	4 200	7,5	3,50
W083-127	416900	330050	3 700	7,5	3,79
PZ5	423300	332000	1013	7,5	4,44
PZ6	420900	329300	1200	7,5	-3,37
PZ7	419800	330800	1418	7,3	4,99
PZ8	415000	328600	2210	7,8	-3,09
PZ9	413950	330500	1550	8,3	-1,04
PZ11	412600	329600	1300	7,8	1,59
PZ13	406200	326100	8710	6,8	-0,30
PZ15	403400	325900	4 400	8,3	-3,26
E007/9682	392 550	313 200	3 200	8,0	-4,24
E006-978	396 425	324 350	4 590	7,3	-4,47
E006-982	397 325	320 900	3 380	7,3	-4,28
E006-988	397 075	323 150	4 380	7,1	-3,44
E006-991	390775	317600	2 100	7,9	-0,83
E006-992	393350	315900	7 950	7,5	-2,36
E006-993	394775	315625	5 050	7,9	5,78
F, Chorfa	406600	329050	1 900	7,0	5,35
F, Chekaknia	406430	327390	4 400	7,2	2,99
F, Abbabsa	403650	328410	2 400	7,0	3,63
F, Ouled Issa	400650	327980	1 900	7,0	5,08

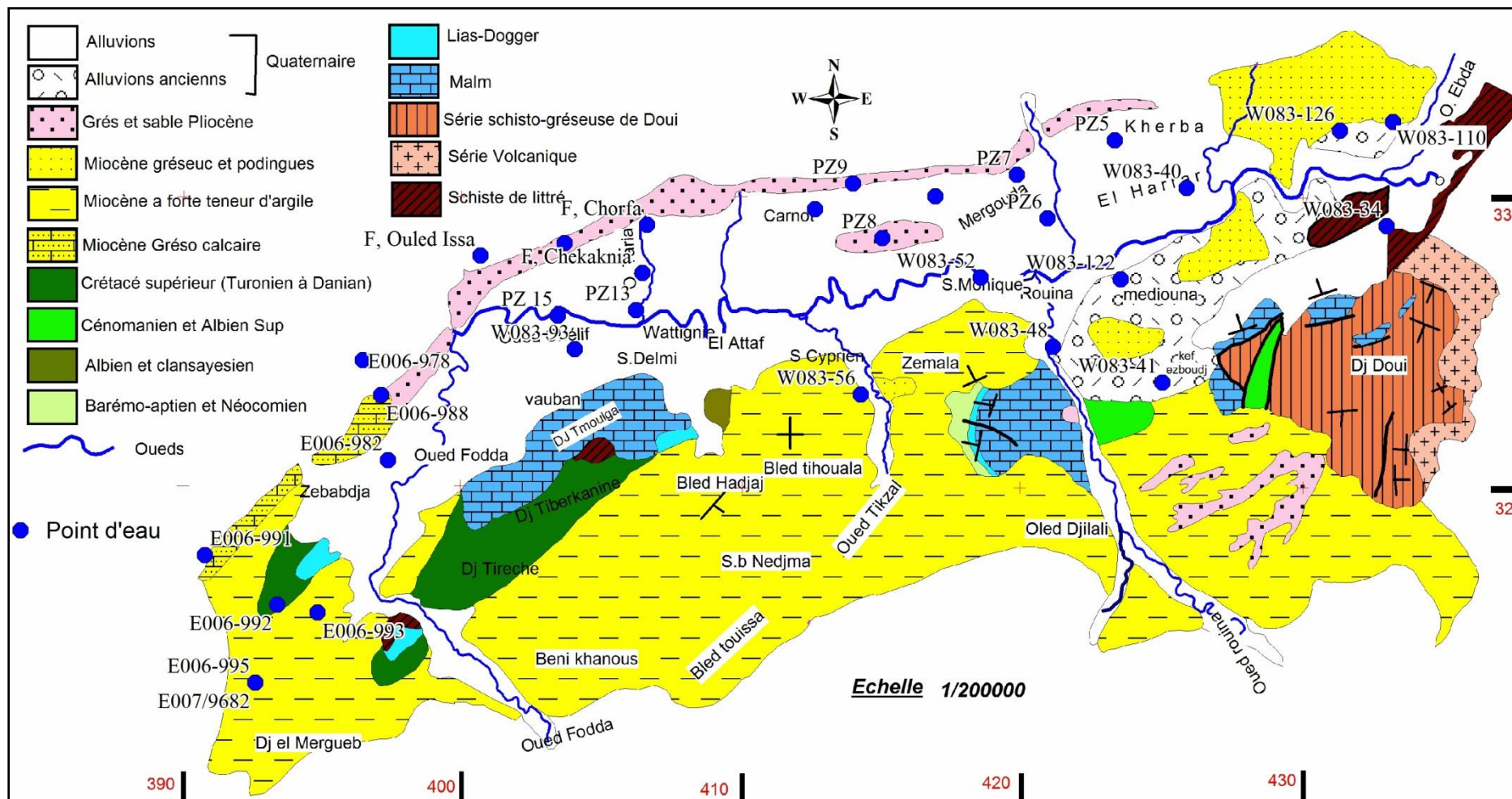


Figure 127: Carte de localisation des points d’eaux. (Quadrillage kilométrique Lambert Nord Algérie).

1.2. Etude des paramètres chimiques majeurs

1.2.1. Principaux cations et anions

Dans notre cadre d'étude, l'analyse chimique a concernée les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ et les anions: Cl^- , SO_4^- , et HCO_3^- . NO_3^- , Les résultats sont reportés dans le tableau 42 ci-après.

Tableau 42: Concentrations des différents éléments chimiques des échantillons d'eau analysé (Octobre 2012).

Point d'eau	X	Y	Concentrations des éléments chimiques en mg/l.								R.Sec mg/l
			Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	NO_3^-	
<i>W083-34</i>	43300	329050	267	67	49	2	284	256	427	59	1326
<i>W083-40</i>	425870	330350	209	117	149	4	375	433	458	9	1688
<i>W083-41</i>	424970	323620	133	80	76	2	194	228	366	8	846
<i>W083-48</i>	421070	324850	178	99	58	2	294	103	336	195	1174
<i>W083-52</i>	418500	327250	156	147	63	2	413	138	458	91	1748
<i>W083-56</i>	414200	323200	267	160	162	2	765	205	366	60	2201
<i>W083-110</i>	433250	332650	156	80	90	2	435	66	244	111	1554
<i>W083-122</i>	423500	327200	622	187	102	3	1190	405	336	89	3415
<i>W083-126</i>	431350	332350	244	157	113	4	628	395	305	0	2078
<i>W083-93</i>	404000	324750	360	103	231	2	833	157	382	95,0	2738
<i>W083-127</i>	416900	330050	317	129	150	1	605	265	429	80,0	2299
<i>PZ5</i>	423300	332000	46,7	38,7	85	6,1	229	9	127,25	0	751
<i>PZ6</i>	420900	329300	46,7	38,7	116	4,4	180	220	122	0	662
<i>PZ7</i>	419800	330800	88,9	53,3	105	5	354	53	76,25	6	958
<i>PZ8</i>	415000	328600	133,3	40	200	5	377,5	300	183	30	1375
<i>PZ9</i>	413950	330500	133,3	26,7	141	5	352	109	213,5	1	986
<i>PZ11</i>	412600	329600	111,1	33,3	113	5	317	79	152,5	3	757
<i>PZ13</i>	406200	326100	266,7	133,3	1000	11,9	2200	374	30,5	4	5639
<i>PZ15</i>	403400	325900	341	160	109	3	765	523	275	45,0	2855
<i>E007/9682</i>	392 550	313 200	280	63	178	3	588	163	534	66,0	2 114
<i>E006-978</i>	396 425	324 350	360	99	265	7	693	778	351	30,0	3 415
<i>E006-982</i>	397 325	320 900	231	71	230	3	390	523	445	75,0	2 087
<i>E006-988</i>	397 075	323 150	385	96	261	3	658	758	430	31,0	3 092
<i>E006-991</i>	390775	317600	111	43	219	2	202	276	438	47,0	1335
<i>E006-992</i>	393350	315900	435	124	710	4	1 500	850	407	43,0	5265
<i>E006-993</i>	394775	315625	160	50	750	3	555	865	378	77,0	3026
<i>Forage Chorfa</i>	406600	329050	127	61	211	4	288	301	259	17,0	1159
<i>Forage chekaknia</i>	406430	327390	269	144	425	6	1 080	387	214	9,0	2901
<i>Forage Abbabsa</i>	403650	328410	131	93	240	4	452	296	244	33,0	1414
<i>Forage Ouled Issa</i>	400650	327980	131	56	221	3	280	253	336	33,0	1181

1.2.1.1. Variations des teneurs en résidu sec en fonction de la concentration des éléments majeurs

Les diagrammes de corrélation (Fig. 126) montrent que les concentrations de Na^+ , Cl^- , et Ca^{2+} , sont très bien corrélées avec la salinité, avec des coefficients de corrélations supérieurs à 0,50. Ceci indiquerait que la minéralisation des eaux de la nappe est contrôlée principalement par les teneurs de ces éléments, qui sont considérés les ions dominants.

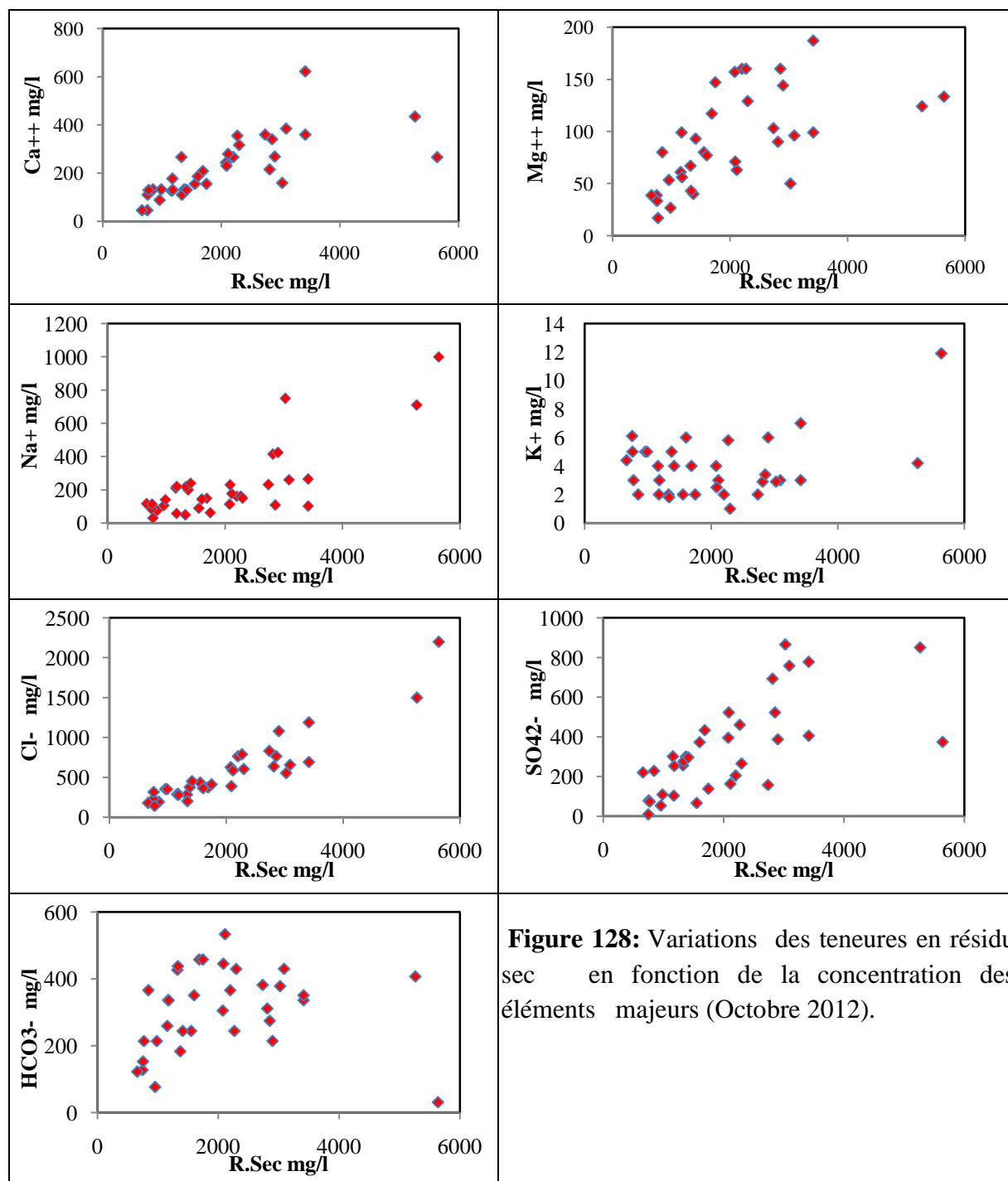


Figure 128: Variations des teneurs en résidu sec en fonction de la concentration des éléments majeurs (Octobre 2012).

1.2.1.2. Faciès chimique

Afin de comparer les eaux entre elles et d'indiquer les types de cations et anions les plus dominants dans la composition chimique des eaux analysées consiste, partant des teneurs en mg/l, à calculer les milliéquivalents par litre de chaque élément ainsi que son pourcentage par rapport à la somme des quantités en réaction. Pour faire une comparaison ionique, on classe de gauche à droite, par ordre décroissant de quantités en réaction en pourcent, d'abord le groupe des anions, puis des cations.

Les données interprétées sont représentées dans le Tableau 50, et qui ont permis de distinguer les faciès chimiques suivants:

- Faciès Bicarbonatée calcique, (W083-34, W083-41) ;
- Faciès Chloruré sodique, (PZ6, PZ7, PZ13, E006-991) ;
- Faciès Chloruré magnésienne, (W083-52, PZ05) ;
- Faciès sulfatée sodique, (E006-993) ;
- Faciès Chlorurée calcique le plus répandue (W083-40, W083-48, W083-56, W083-110, W083-122, W083-126, W083-93, W083-127, PZ8, PZ9, PZ11, PZ15, E007/9682, E006-978, E006-982, E006-988, E006-992, E006-995, F, Chorfa, F, Chekaknia, F, Abbabsa, F, Ouled Issa

Les Faciès chimiques sont représentés dans une carte sous forme de faciès ponctuels (voir figure 127).

Tableau 43: *Faciès chimique des eaux de la zone d'étude.*

<i>Point d'eau</i>	<i>Quantité en réaction en (%)</i>		<i>Faciès chimiques</i>
	<i>Anions</i>	<i>Cations</i>	
W083-34	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Bicarbonatée calcique
W083-41	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
PZ6	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++}$	Chloruré sodique
PZ7	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++}$	
PZ13	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	
E006-991	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	
W083-52	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chloruré magnésienne
PZ5	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++}$	
E006-993	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	Sulfatée sodique
W083-40	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	Chlorurée calcique
W083-48	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
W083-56	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
W083-110	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
W083-122	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
W083-126	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
W083-93	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++}$	
W083-127	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
PZ8	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++} > r \text{Ca}^{++}$	
PZ9	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++}$	
PZ11	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
PZ15	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$	
E007/9682	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++}$	
E006-978	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++}$	
E006-982	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++}$	
E006-988	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++}$	
E006-992	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r \text{Ca}^{++} > r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Mg}^{++}$	
E006-995	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	
F, Chorfa	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	
F, chekaknia	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	
F, Abbabsa	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	
F, Ouled Issa	$r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-}$	$r (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r \text{Ca}^{++} > r \text{Mg}^{++}$	

1.2.2. Rapports caractéristiques et indice d'échange de base

L'étude des rapports caractéristiques les plus courants en hydrochimie permet de préciser le milieu de provenance des eaux souterraines et de comparer leur concentration en éléments chimiques. L'étude a concerné les rapports suivants : (Mg^{2+}/Ca^{2+}), (Na^+/Cl^-), (SO_4^{2-}/Cl^-). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 51 ci-dessous :

1.2.2.1. Rapport $r Mg^{2+}/r Ca^{2+}$

Dans l'ensemble, les rapports rMg^{2+}/rCa^{2+} sont inférieurs à l'unité, montrant la prédominance du calcium sur le magnésium, donc les eaux ont une tendance à être calcique sauf au niveau des points (W083-52, PZ5, PZ6 et Forage AEP Abbabsa) où les teneurs en magnésium sont dominantes. Cela est probablement dû au lessivage des alluvions Quaternaires et des formations calcaires Jurassique riches en calcium.

1.2.2.2. Rapport $r Na^+/r Cl^-$

Ce rapport est tantôt inférieur à 1, montrant des eaux plus chlorurées que sodiques ; tantôt supérieur à 1, représenté par les points (PZ 6, E006-991, E006-993, Forage AEP Chorfa) qui déterminent une prédominance claire du sodium sur les chlorures.

1.2.2.3. Rapport $r SO_4^{2-}/r Cl^-$

Pour la plupart des points d'eau, les valeurs de ce rapport sont inférieures à l'unité, ce qui montre l'importance des chlorures par rapport aux sulfates. Au point (E006-991, E006-993) le rapport est supérieur à 1 où les sulfates dominent sur les chlorures, peut être expliqué par la vocation agricole de la région.

1.2.2.4. Indice d'échange de base (i.e.b)

L'indice d'échange de base défini par Schoeller en 1934 est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existant dans l'eau. Les échanges se font entre les ions de l'eau et ceux des terrains traversés dans la zone saturée, ces interactions eau/roche peuvent produire une modification dans la nature de l'eau. L'indice d'échange de base (i.e.b) ou indice de déséquilibre chloro-alkalin (I.D.C) est obtenu par la formule suivante:

$$I. D. C = \frac{r Cl^- - r (Na^+ + K^+)}{r Cl^-}$$

- Si $I.D.C < 0$: Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau sont échangés contre les ions Na^+ et K^+ des formations encaissantes.
- Si $I.D.C = 0$: Pas d'échange ionique.
- Si $I.D.C > 0$: Les ions de Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} des formations encaissantes.

Tableau 44: Calcul des rapports caractéristiques et de l'indice d'échange de base.

<i>Point d'eau</i>	$r \text{ mg}^{++} / r \text{ Ca}^{++}$	$r \text{ Na}^+ / r \text{ Cl}^-$	$r \text{ So}_4^{-2} / r \text{ Cl}^-$	I.D.C
<i>W083-34</i>	0,41	0,28	0,67	0,72
<i>W083-40</i>	0,93	0,64	0,85	0,35
<i>W083-41</i>	0,99	0,63	0,87	0,36
<i>W083-48</i>	0,92	0,32	0,26	0,68
<i>W083-52</i>	1,56	0,25	0,25	0,75
<i>W083-56</i>	0,99	0,34	0,20	0,66
<i>W083-110</i>	0,85	0,33	0,11	0,66
<i>W083-122</i>	0,50	0,14	0,25	0,86
<i>W083-126</i>	1,06	0,29	0,47	0,71
<i>W083-93</i>	0,47	0,45	0,14	0,55
<i>W083-126</i>	0,67	0,40	0,32	0,60
<i>PZ5</i>	1,37	0,60	0,03	0,38
<i>PZ6</i>	1,37	1,04	0,90	-0,06
<i>PZ7</i>	0,99	0,48	0,11	0,51
<i>PZ8</i>	0,50	0,85	0,59	0,14
<i>PZ9</i>	0,33	0,64	0,23	0,34
<i>PZ11</i>	0,50	0,57	0,18	0,41
<i>PZ13</i>	0,83	0,73	0,13	0,26
<i>PZ15</i>	0,78	0,23	0,51	0,77
<i>E007/9682</i>	0,37	0,49	0,21	0,51
<i>E006-978</i>	0,45	0,61	0,83	0,38
<i>E006-982</i>	0,51	0,95	0,99	0,05
<i>E006-988</i>	0,41	0,64	0,85	0,36
<i>E006-991</i>	0,64	1,74	1,01	-0,75
<i>E006-992</i>	0,47	0,76	0,42	0,24
<i>E006-993</i>	0,52	2,17	1,15	-1,18
<i>Forage AEP Chorfa</i>	0,79	1,18	0,77	-0,19
<i>Forage AEP chekaknia</i>	0,88	0,63	0,27	0,36
<i>Forage AEP Abbabsa</i>	1,17	0,85	0,48	0,14
<i>F, AEP Ouled Issa</i>	0,71	1,27	0,67	-0,28

L'examen des données du Tableau 51, de l'I.D.C, montre que les valeurs oscillent entre (-1,18 et 0,86). On constate qu'au niveau des points (PZ6, E006-991, E006-993, Forage AEP Chorfa), les valeurs de l'I.D.C sont négatif ceci indique qu'il y a un échange de base entre le calcium et le magnésium de l'eau, de la nappe contre le sodium et le potassium des minéraux argileux des terrains traversés. Alors que le reste des points présentent un I.D.C supérieur à 0 indique le remplacement des ions de Na^+ et K^+ de l'eau par les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} des formations encaissantes.

1.2.3. Représentation et interprétation graphique

L'objectif principal d'une représentation graphique est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques voisines ou de proximité géographique. Parmi les représentations graphiques les plus utilisées, les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff.

1.2.3.1. Diagramme losangique de Piper

Le diagramme de Piper permet d'étudier l'évolution spatio-temporelle du chimisme d'une eau et d'un aquifère et présente l'avantage de regrouper un grand nombre d'analyses. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs.

La quasi-totalité des eaux échantillonnées sont regroupées en deux principaux faciès selon le diagramme de Piper (Fig. IV-12), qui sont les suivants :

- faciès chloruré et sulfaté, calcique et magnésien (90 %).
- faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique (10 %).

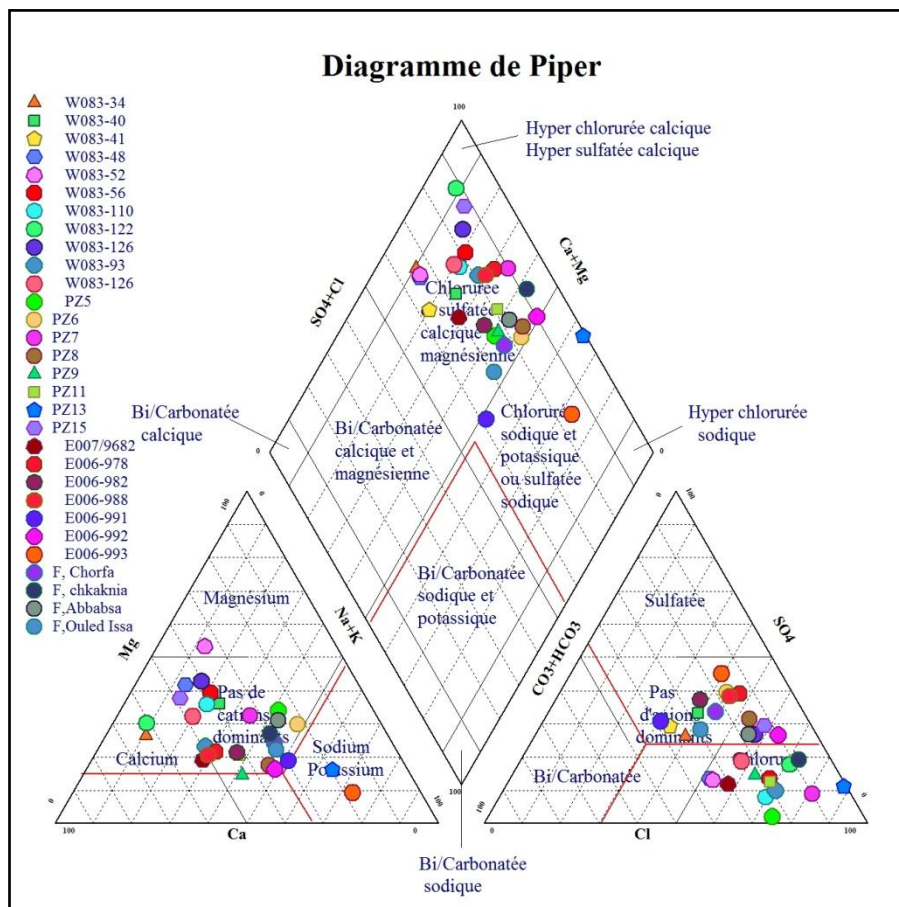


Figure 130: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper (Octobre 2012).

1.2.3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Selon Schoeller-Berkaloff (1955), on peut classer les eaux suivant l'importance d'abord des anions et ensuite des cations.

Ce diagramme à échelle semi-logarithmique permet de distinguer par simple lecture des échelles, les concentrations des ions dominants et donc d'en déduire rapidement les différentes familles des eaux.

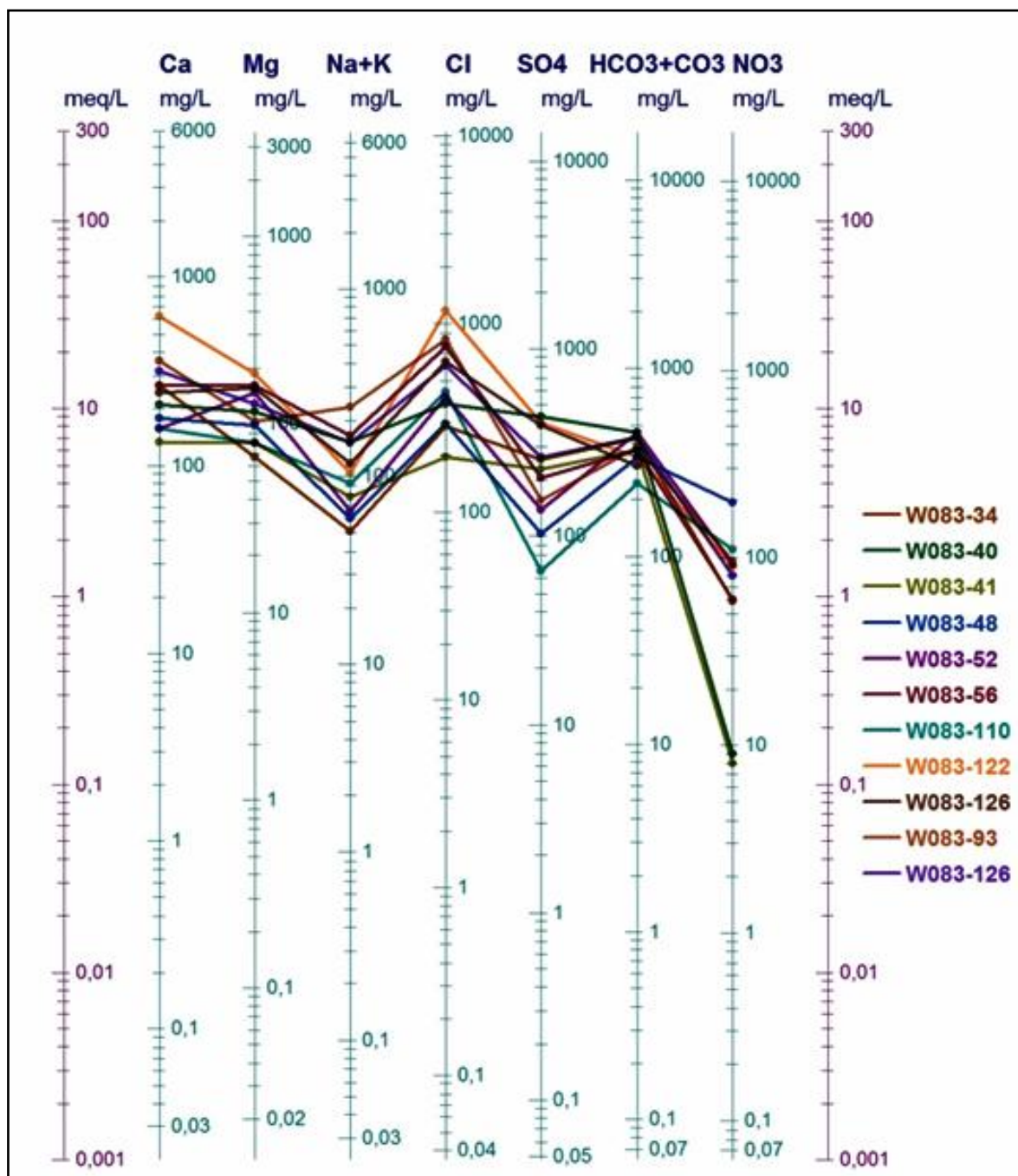


Figure 129: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff. (Octobre2012).

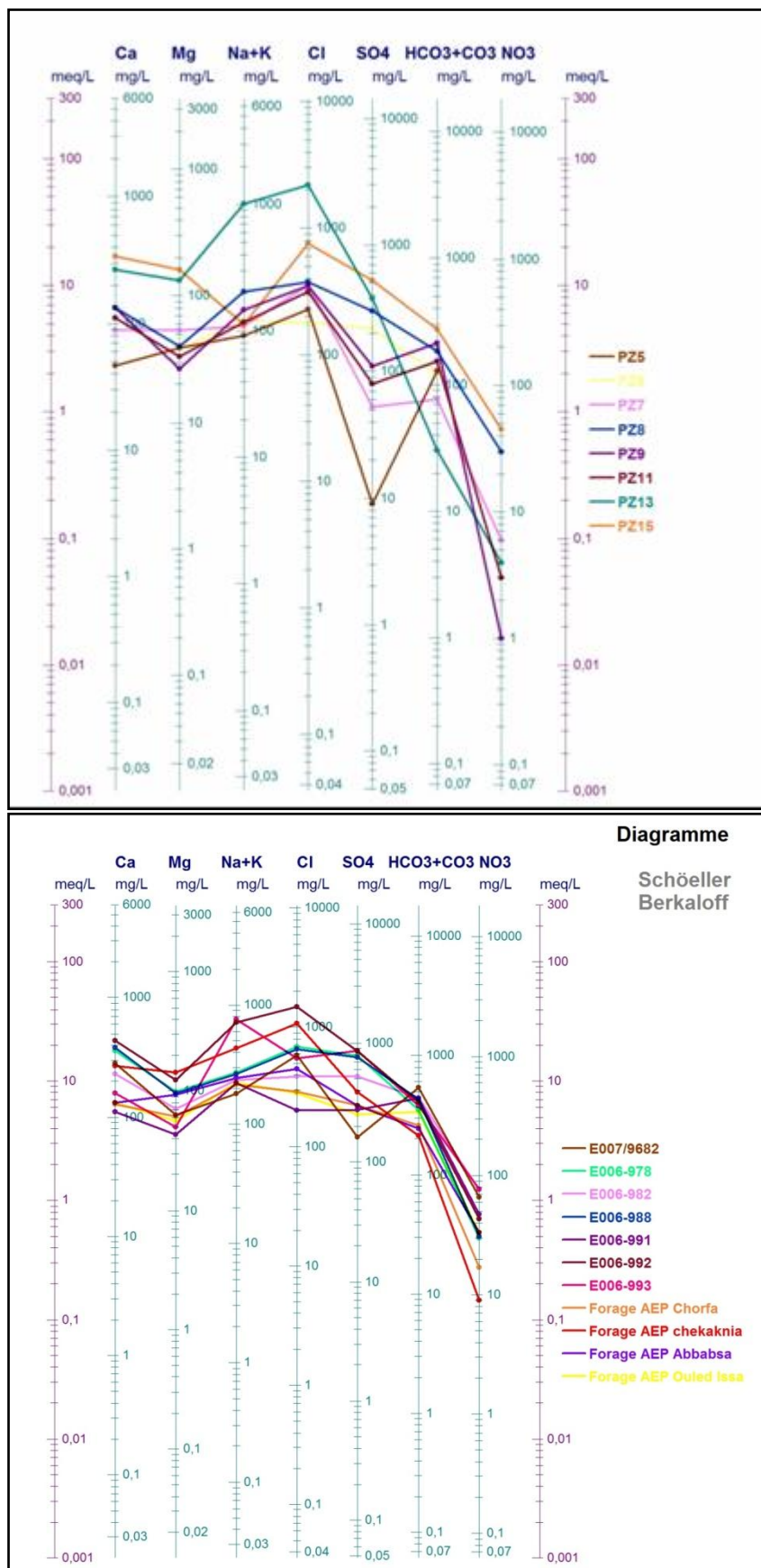


Figure 131: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Octobre2012).

1.2.4. Indices de saturation

L'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux peut être déterminé par l'étude de leurs indices de saturation et d'équilibre.

L'état de saturation (I.S) est défini par le logarithme du rapport des produits d'activité ionique (PAI) sur K la constante d'équilibre relative à la dissolution du minéral.

$$I.S = \log \frac{P.A.I}{K}$$

Prenons en considération la présence de la calcite (CaCO₃) en solution par exemple :



Donc le produit d'activité ionique : PAI = aCa²⁺ · aCO₃²⁻ (aCa²⁺ = activité de l'ion Ca²⁺),
A l'état d'équilibre thermodynamique, le produit de solubilité de la calcite (K CaCO₃) est :

$$K \text{ CaCO}_3 = \frac{a\text{Ca}^{2+} \cdot a\text{CO}_3^{2-}}{a\text{CaCO}_3}$$

Alors, l'indice de saturation exprimé est : $I.S = \log \frac{P.A.I}{K \text{ CaCO}_3}$

Trois cas sont possibles :

- I.S = 0 : l'eau est saturée vis-à-vis de la calcite ;
- I.S > 0 : l'eau est sursaturée par rapport à la calcite ;
- I.S < 0 : il montre que l'eau est sous-saturée vis-à-vis de la calcite.

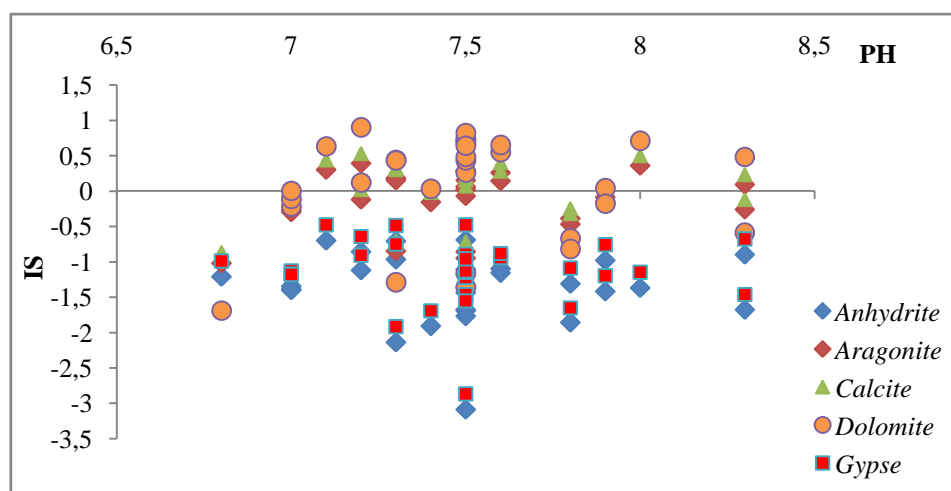
De la même manière, les indices de saturation vis-à-vis du gypse, de l'anhydrite, de la calcite, de la dolomite et de l'aragonite sont calculés.

Les résultats figurés dans le tableau 52 et figure 131 ci-dessous, montrent que la majorité des eaux analysées sont saturées à sursaturées vis-à-vis de la calcite, de la dolomite et de l'aragonite, ce qui indique que la charge saline n'est pas influencée par l'interaction eau-minéraux carbonatés. En revanche, sont sous-saturés vis-à-vis des minéraux sulfatés (gypse et anhydrite), dont la dissolution contribue à l'acquisition des solutés et contrôle la minéralisation.

Les résultats de calcul des différents indices de saturation sont obtenus en utilisant le programme Diagrammes V6.5, ils sont représentés dans le tableau 52.

Tableau 45: Indices de saturation des eaux souterraines.

Nom	I.S Anhydrite	I.S Aragonite	I.S Calcite	I.S Dolomite	I.S Gypse	pH
W08334	-1,16	0,26	0,4	0,55	-0,94	7,6
W08340	-1,1	0,14	0,28	0,65	-0,88	7,6
W08341	-1,44	-0,07	0,07	0,26	-1,22	7,5
W08348	-1,69	0,02	0,16	0,43	-1,47	7,5
W08352	-1,68	0,06	0,21	0,74	-1,46	7,5
W08356	-1,37	0,15	0,29	0,71	-1,15	7,5
W083110	-1,91	-0,16	-0,02	0,03	-1,69	7,4
W083122	-0,86	0,39	0,53	0,9	-0,64	7,2
W083126	-1,11	0,02	0,16	0,48	-0,89	7,5
W08393	-1,35	0,29	0,44	0,68	-1,13	7,5
W083126	-1,18	0,29	0,43	0,82	-0,96	7,5
PZ5	-3,09	-0,86	-0,72	-1,16	-2,87	7,5
PZ6	-1,77	-0,95	-0,81	-1,36	-1,55	7,5
PZ7	-2,14	-0,85	-0,71	-1,29	-1,92	7,3
PZ8	-1,31	-0,39	-0,25	-0,67	-1,09	7,8
PZ9	-1,68	-0,26	-0,12	-0,59	-1,46	8,3
PZ11	-1,86	-0,47	-0,32	-0,82	-1,65	7,8
PZ13	-1,21	-1,02	-0,87	-1,69	-0,99	6,8
PZ15	-0,9	0,09	0,23	0,48	-0,68	8,3
E0079682	-1,37	0,36	0,5	0,71	-1,15	8
E006978	-0,71	0,18	0,33	0,44	-0,49	7,3
E006982	-0,97	0,15	0,3	0,43	-0,75	7,3
E006988	-0,7	0,3	0,44	0,63	-0,48	7,1
E006991	-1,42	-0,09	0,05	0,04	-1,2	7,9
E006992	-0,69	0,27	0,42	0,64	-0,48	7,5
E006993	-0,98	-0,15	-0,01	-0,18	-0,76	7,9
F. AEP Chorfa	-1,35	-0,27	-0,12	-0,22	-1,13	7
F. AEP Chekaknia	-1,12	-0,12	0,02	0,12	-0,91	7,2
F. AEP Abbabsa	-1,39	-0,3	-0,15	-0,11	-1,17	7
F. AEP OuledIssa	-1,4	-0,13	0,01	0	-1,18	7

**Figure 133:** Variation de l'indice de saturation en fonction du pH.

1.2.4.1. Corrélations des indices de saturation

Nous allons nous intéresser à la variation des indices de saturation l'un par rapport à l'autre.

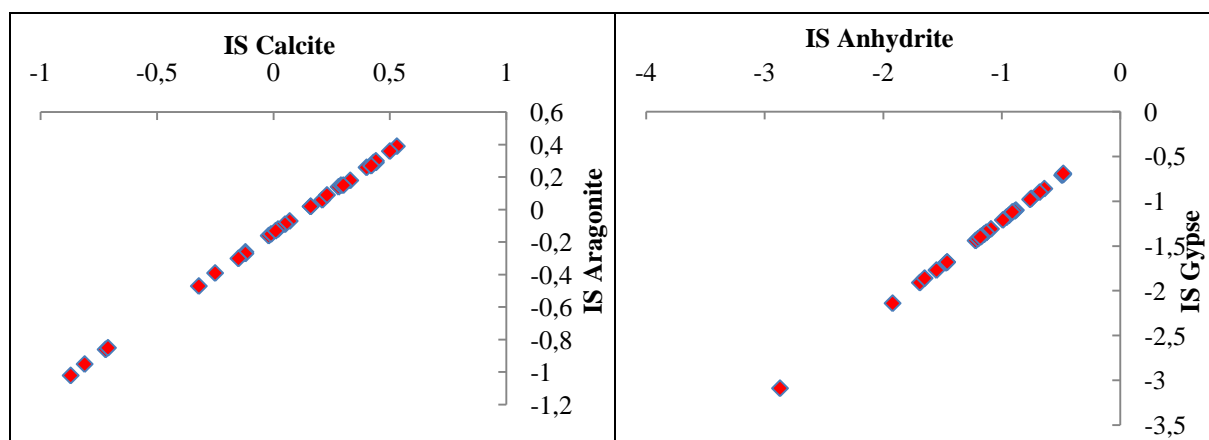


Figure 134: Variations des indices de saturation.

Nous remarquons au niveau des deux graphes que, les indices s'alignent suivant une droite, ce qui démontre que les formations carbonatées, sont attaquées par les eaux (dissolution), donnant ainsi les deux minéraux provoquant la salinité observée.

1.2.4.2. Relation indice de saturation – élément chimique

Les trois graphes de corrélation des indices de saturation avec les éléments chimique, présentent une Liaison monotone positive non-linéaire, indiquant l'absence d'une origine fixe des éléments chimiques.

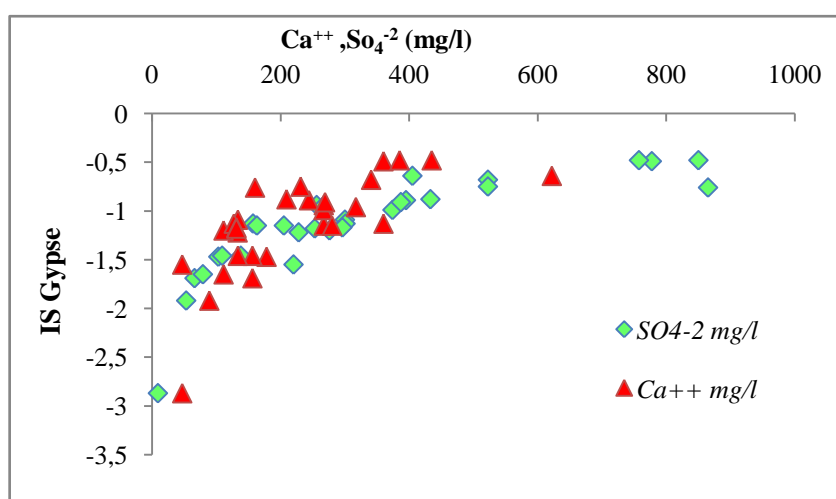


Figure 135: Evolution des indices de saturation de Gypse (IS) en fonction de Ca^{++} et SO_4^{-2} .

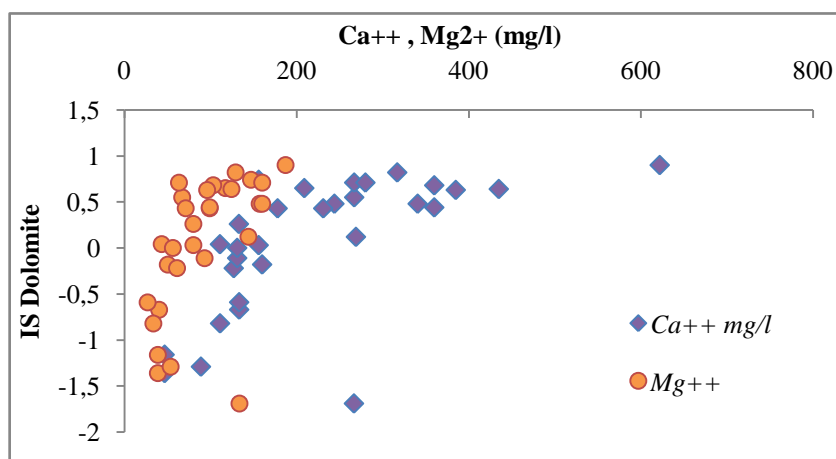


Figure 136: Evolution des indices de saturation de dolomite en fonction de Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺.

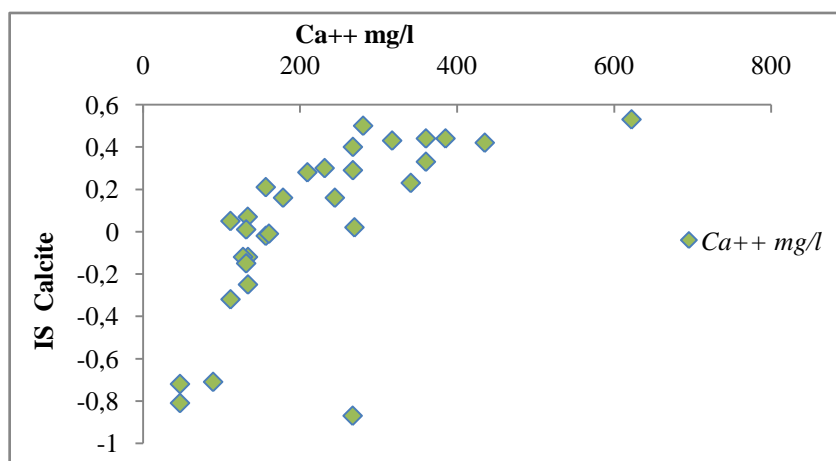


Figure 137: Evolution des indices de saturation de la Calcite en fonction de Ca⁺⁺.

Les chlorures étant le principal élément conditionnant la minéralisation des eaux, nous avons représenté sur les digrammes, les figures 136 et 137, les indices de saturation des différents minéraux carbonatés en fonction des chlorures.

On constate sur la figure 136 que les indices de saturation de la calcite, de l'aragonite et de la dolomite se manifestent de la même façon. Par ailleurs, les eaux sont sous-saturées par rapport à la calcite et à la dolomite sur quelques points, saturées pour d'autres et sursaturées pour la majorité des points restants. Quant à l'aragonite, plus de la moitié des points présentent des eaux sous-saturées par rapport à ce minéral.

La figure 137, montre une évolution traduisant une tendance vers la saturation bien que toutes les eaux de la nappe restent sous-saturées par rapport au gypse et à l'anhydrite.

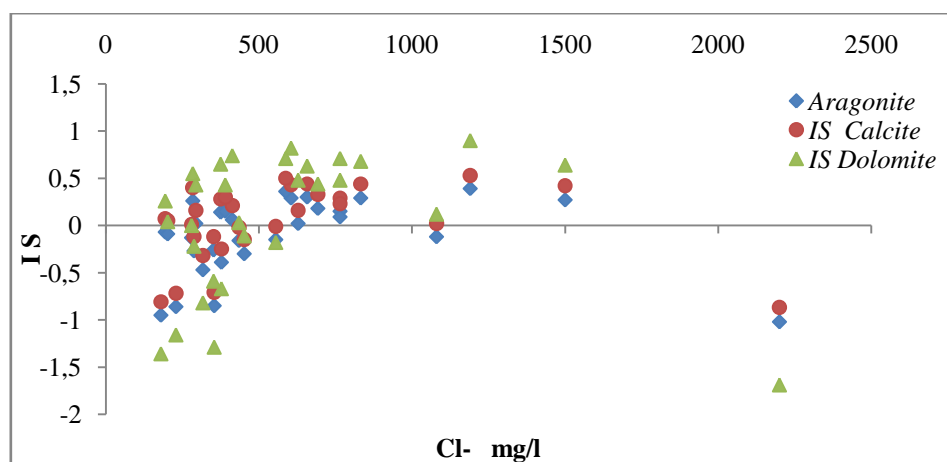


Figure 138: Diagrammes des indices de saturation (par rapport aux minéraux carbonatés).

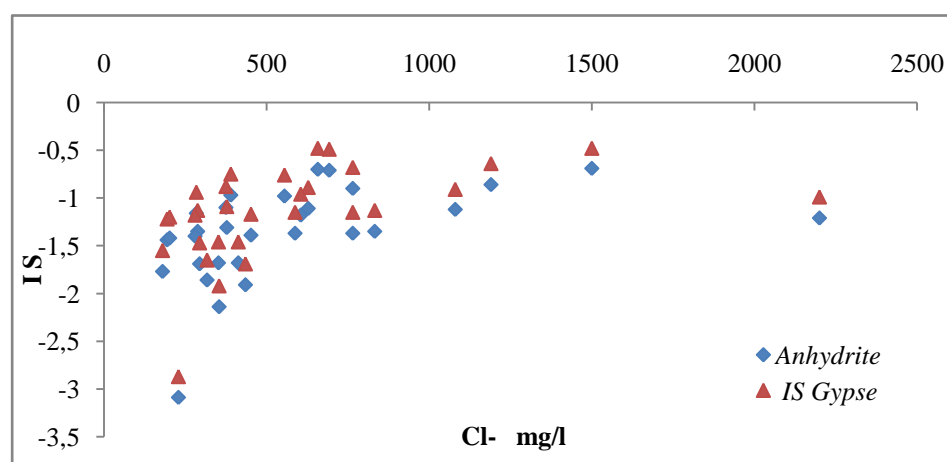


Figure 139: Diagrammes des indices de saturation (par rapport aux minéraux sulfatés).

1.2.5. Aptitude des eaux de la région de Moyen Chélif à l'irrigation

La qualité des eaux d'irrigation est un paramètre important à considérer, non seulement dans l'étude de l'impact direct sur les produits agricoles, mais aussi dans celle de l'impact indirect sur les sols par modification de leurs propriétés physique et chimique (Suarez et al. 2006)

Dans le but d'étudier la qualité des eaux de l'aquifère à l'irrigation, on a fait recours à la méthode de Richards. Il met en évidence différentes classes d'eau, ces classes ont été définies sur la base du sodium absorbable SAR (Sodium Absorption Ratio,). Le SAR est défini par la relation suivante :

$$SAR = \frac{(Na^+ + K^+)}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Tous les ions sont exprimés en méq/l.

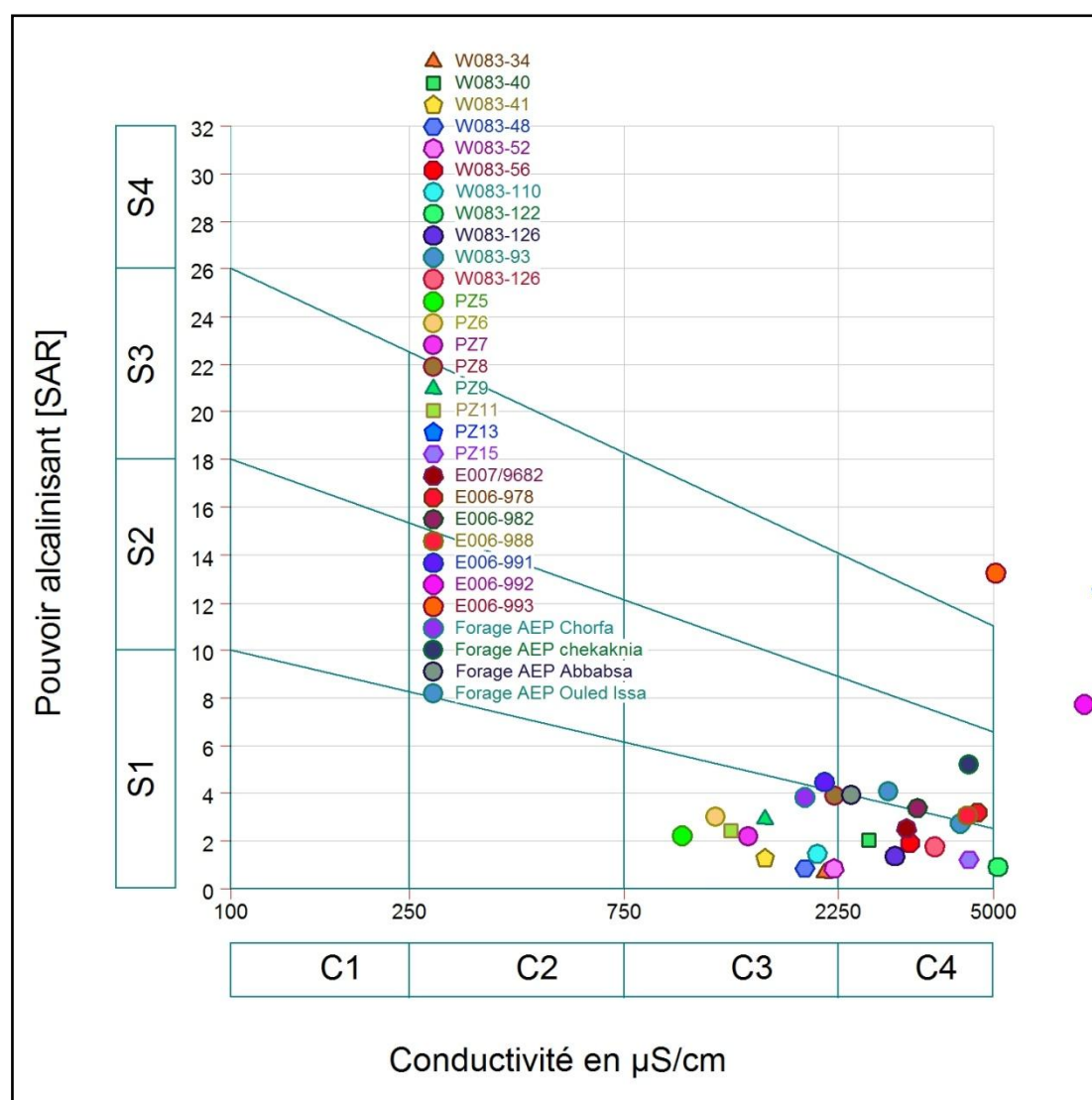


Figure 140: Diagramme de Richards des eaux du moyen Chéelif oriental (Octobre 2012).

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards on a pu dégager la présence des Cinq classes suivantes :

- Les classes C3S1, C3S2 : généralement, ces deux classes renferment des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée.
- La classe C3S1(Admissible) représente les Points d'eau, (W083-34, W083-41, W083-48, W083-52, W083-110, PZ5, PZ6, PZ7, PZ8, PZ11, PZ9, Forage AEP Chorfa; alors que la classe C3S2 (Admissible) représente le point W083-126.
- Les classes C4S1, C4S2 : elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

La majorité du reste des point d'eau appartenant à la classe C4S1, sauf les points (E006-978, E006-988, Forage AEP Ouled Issa, Forage AEP Chekaknia,)

Les point d'eau (E006-991, E006-992, E006-993) appartient a la classe C4S4 (mauvaise) correspond aux eaux non convenable à l'irrigation.

1.3. Traitement statistique des données hydrochimique

Pour toute étude hydrochimique, l'étude séparée de chacune des variables est une phase importante lors de l'analyse du comportement chimique, mais elle est souvent insuffisante. Il faut donc analyser les données en tenant compte de leur caractère multidimensionnel.

Parmi ces méthodes d'interprétations, nous avons utilisé l'analyse en composantes principales (A.C.P), méthode fondamentale en statistique descriptive multidimensionnelle. Cette méthode permet de traiter simultanément un nombre quelconque de variables, toutes quantitatives. Nous avons entrepris une étude statistique sur les 30 échantillons d'eau, à l'aide du logiciel XLSTAT et 10 variables définies comme suit :

Les éléments chimiques majeurs de l'eau exprimés en mg/l (Ca, Na, Mg, K, Cl, HCO₃, NO₃, SO₄), Le pH, La conductivité.

1.3.1. Paramètres caractéristiques représentatifs

Le calcul statistique classique a permis de donner pour chaque variable la moyenne et l'écart-type; dont les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous:

A partir des résultats du tableau 53, on peut conclure que les moyennes des teneurs des éléments chimiques s'accordent avec les normes de potabilité physico-chimique conseillées par l'O.M.S. Toutefois, les teneurs élevées des écarts-types constatées au niveau de la conductivité, bicarbonates, sulfates, chlorures, sodium et calcium confirment la grande dispersion entre les valeurs relatives à ces éléments. Cette dispersion est le résultat de la variation spatiale bien localisée du chimisme des eaux souterraines.

Tableau 46: Calcul des moyennes et des écart-types de la série.

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca ⁺⁺	46,70	622,00	223,21	127,71
Mg ⁺⁺	26,70	187,00	91,67	45,26
Na ⁺	49,00	1000,00	227,40	220,12
K ⁺	1,00	11,90	3,77	2,13
Cl ⁻	180,00	2200,00	582,48	436,43
SO ₄ ²⁻	9,00	865,00	325,53	235,32
HCO ₃ ⁻	30,50	533,75	310,77	127,80
CE μ S/cm	1013,00	8710,00	3157,00	1859,50
pH	6,80	8,30	7,49	0,36

1.3.2. Matrice de corrélation

Dans le tableau 54, présenté ci-après, nous avons figuré les valeurs des coefficients de corrélation entre les différents éléments chimiques.

Tableau 47: *Matrice de corrélation des éléments chimiques.*

Variables	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CE µS/cm	pH
Ca ⁺⁺	1								
Mg ⁺⁺	0,703	1							
Na ⁺	0,202	0,110	1						
K ⁺	-0,073	-0,048	0,564	1					
Cl ⁻	0,636	0,600	0,746	0,534	1				
SO ₄ ²⁻	0,517	0,271	0,570	0,119	0,403	1			
HCO ₃ ⁻	0,398	0,229	-0,154	-0,679	-0,150	0,324	1		
CE µS/cm	0,702	0,550	0,813	0,386	0,928	0,676	0,089	1	
pH	-0,120	-0,237	-0,257	-0,301	-0,317	-0,087	0,194	-0,232	1

La corrélation entre les concentrations de l'ion Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ et des ions Cl⁻ et ainsi que entre Na⁺ et ceux des SO₄²⁻ est très forte. Les autres ions sont moyennement à faiblement corrélés. L'absence de corrélations significatives entre certains éléments considérés indique qu'ils évoluent différemment. Cela peut-être expliqué par la variation spatiale de chimisme des eaux souterraines.

1.3.3. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales se présente comme un outil performant qui permet de mettre en évidence les relations qui existent entre les variables. Elle sert à condenser un nombre important de donnée, de façon à regrouper les paramètres dont les variations sont liées les unes aux autres, en fonction de facteurs expliquant ces regroupements. La recherche de la signification de ces facteurs conduit à proposer des hypothèses sur les causes de l'évolution des variables étudiées.

1.3.3.1. Etude des variables

Le cercle des corrélations (Fig.138) ci-dessous représente l'espace des variables considérées. Le pourcentage de la variance exprimé par l'axe 1 est de 45,93 % alors qu'il n'est que de 24,72% pour l'axe 2. Donc, la variance totale expliquée est de 70,65 % pour les deux axes.

Dans l'espace des variables, les teneurs en Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} et la Conductivité, présentent des coefficients de corrélation élevés entre eux et forment ainsi un groupe autour de l'axe 1. En revanche, l'axe F2 est représenté par les HCO_3^- et le PH. Le K^+ se détache nettement de ce groupe, ce qui indique son origine différente.

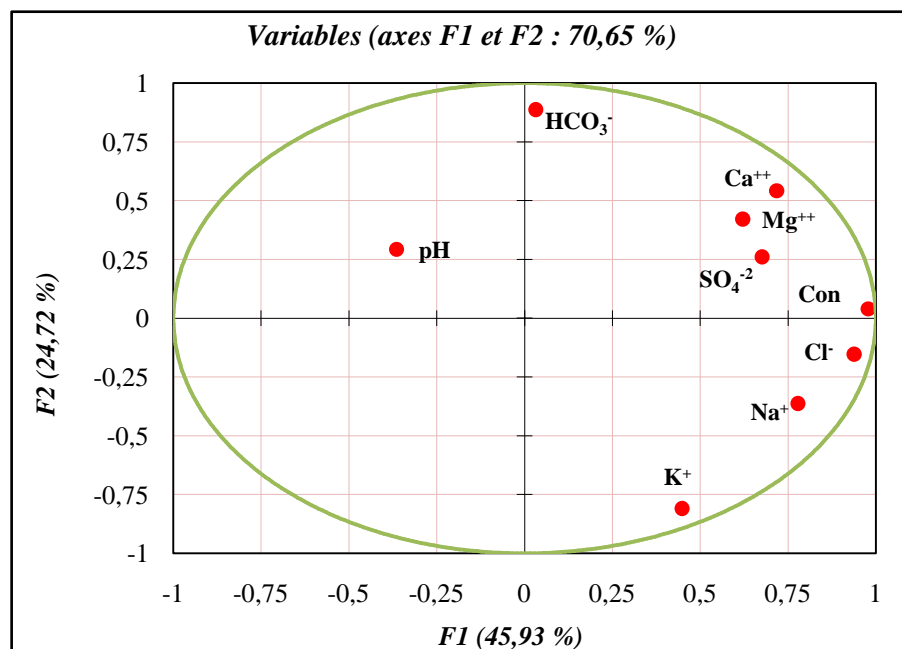


Figure141: Répartition des variables dans le cercle de corrélation suivant le plan factoriel F1 et F2.

1.3.3.2. Etude des individus

D'après la figure ci dessous, deux ensembles sont distingués par rapport à leur teneur en minéralisation.

- **Groupe 1 :** W083-34, W083-40, W083-41, W083-48, W083-52, W083-110, E006-991, E006-992, Forage AEP Chorfa, Forage AEP Abbabsa, Forage AEP Ouled Issa, PZ5, PZ6, PZ7, PZ8, PZ9, PZ11, cet ensemble est caractérisé par sa faible minéralisation et son pH relativement important.

- **Groupe 2 :** W083-56, W083-122, W083-126, W083-93, W083-127, PZ13, PZ15, E006-978, E006-982, E006-988, E006-992, E006-993, Forage AEP Chekaknia. Ce groupe, plus dispersé, caractérise les eaux avec une minéralisation assez élevée.

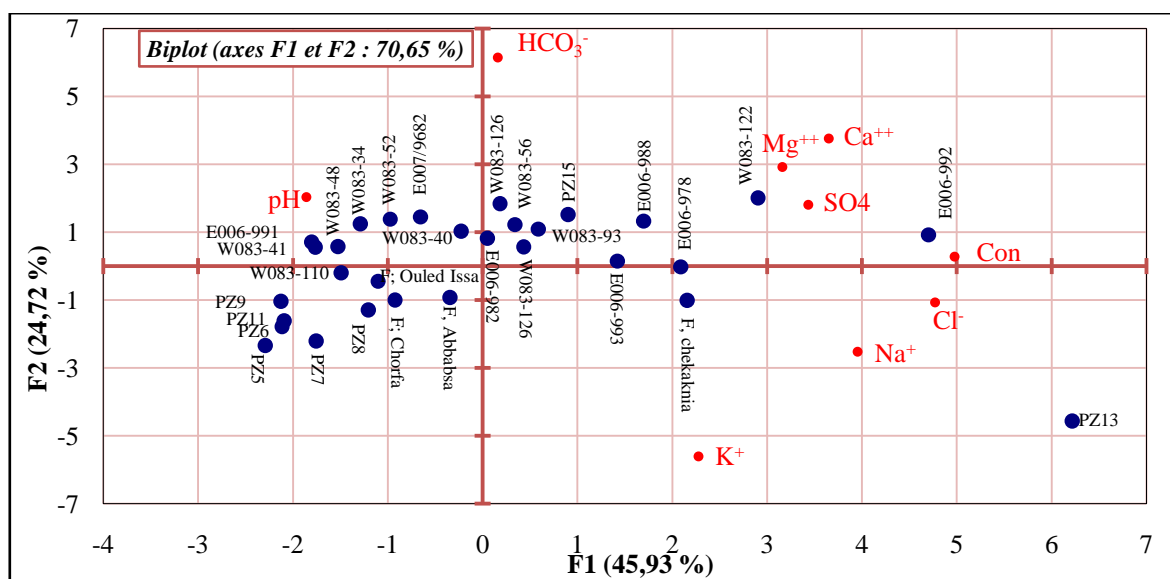


Figure 142: Projection des variables et individus dans l'espace des axes 1 et 2.

1.4. Evolution temporelle de la chimie des eaux

Pour examiner l'évolution temporelle de la chimie des eaux, avant et après le séisme, nous avons pris en considération des analyses effectuées à différentes époques au niveau du forage N°6, Situé au piémont de Djebel Temoulga à l'Est d'El Attaf.

L'examen des résultats d'analyses chimiques 1976, 1990 et 2007 dans le tableau ci dessous montrent :

- Un accroissement de la minéralisation au cours du temps et avec les pompages excessifs.
- Une augmentation très significative des éléments chimiques dissous, entre (1976, 2007).

Tableau 48: Résultats des analyses chimiques du forage N°6. (ANRH).

Date de prélèvement	Débit l/s	R.S	Teneurs en mg/l							
			Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃
1976	31	1.485	145	76	6	185	315	325	231	40
	74	1595	130	93	6	175	340	313	228	22
1990	/	3110	260	188	10	355	938	533	376	36
2007	/	/	556.3	392.5	45.3	2169.6	2624.4	1000.7	411	58

La représentation graphique sur le diagramme de Piper présente un changement de faciès chimique de Chloruré Calcique à Chloruré Sodique Avec une prédominance des ions Na et Cl.

Caractérisées sur le diagramme de Schoeller par des courbes sommairement parallèles et évolutives avec le temps. Cette évolution hydrochimique est marquée par une prédominance progressive des ions Na et Cl.

C'est probablement l'accident tectonique NW-SE qui affecte le djebel Témoulga, qui engendre cette situation en permettant la communication des eaux thermales de HAMMAM BOU TRIG trop chargées (8 g/l) Avec les eaux souterraines de la plaine Alluviale

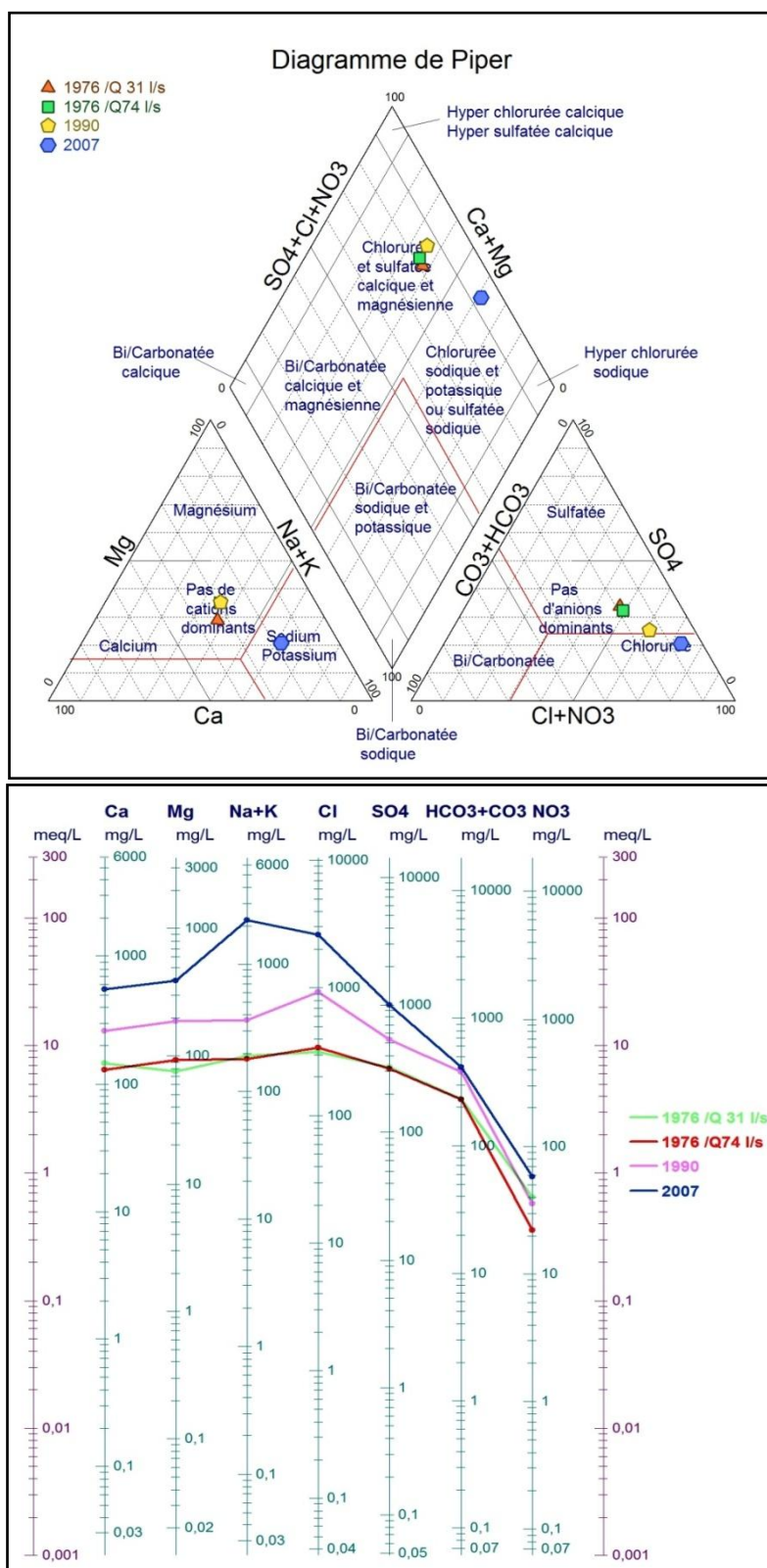


Figure 143: Evolution chimique temporelle des eaux du forage n°6.

2. ETUDE QUANTITATIVE

Depuis l'Antiquité, l'eau a toujours été considérée comme une source renouvelable et inépuisable. De nos jours, plusieurs pays sont touchés par l'épuisement de leurs ressources en eau, du fait des conditions climatiques et de l'accroissement de la demande (Blinda & Thivet, 2009), résultat inéluctable de la croissance démographique et du développement socio-économique. Le Moyen Chélif oriental, située entre la Méditerranée et l'Atlas tellien, est influencée par un climat semi Aride, l'origine d'une importante variation spatio-temporelle des ressources en eau. En effet, les précipitations moyennes annuelles varient de 400 mm à 600 mm. Ce gradient pluviométrique fait de moyen Chélif oriental une zone à ressources en eau renouvelables relativement rares.

La zone est caractérisée par un déficit hydrique important et passe, depuis des années, par des épisodes de sécheresse caractérisés par des pluies faibles qui ont des conséquences dévastatrices sur les processus de développement socio-économique dans ces régions. Face à cette situation, l'exploitation des nappes d'eau, qui contiennent des réserves considérables, demeure indispensable pour répondre à des besoins d'ordre industriels, agricoles, et domestiques continuellement croissants.

Il est évident que la gestion efficace et durable des ressources en eau implique une excellente connaissance de leur disponibilité, de leur qualité et de leur variabilité dans le temps et dans l'espace. C'est dans ce contexte que s'insère cette étude qui a pour objectif de préciser les caractéristiques quantitatives et qualitatives ; ceci afin d'assurer une gestion rationnelle de ces ressources dans la région étudiée.

2.1. Contexte socio - économique du Moyen Chélif Oriental

Le bassin versant du moyen Cheliff oriental est partagé entre trente huit (38) communes appartenant aux trois wilayas (Chlef (5), Tissemsilt (11) et Ain Defla (22)), mais la vallée étudiée est partagée entre 13 communes (Ain Defla, Bourachad, Mekhatria, El Amra, Rouina, Zaddine, Ain Bouyahia, El Abadia, El Attaf, Tiberkanine, Oued Fodda, El Karimia. Tacheta



Figure144: Carte de découpage administratif du bassin du moyen Chélif oriental.

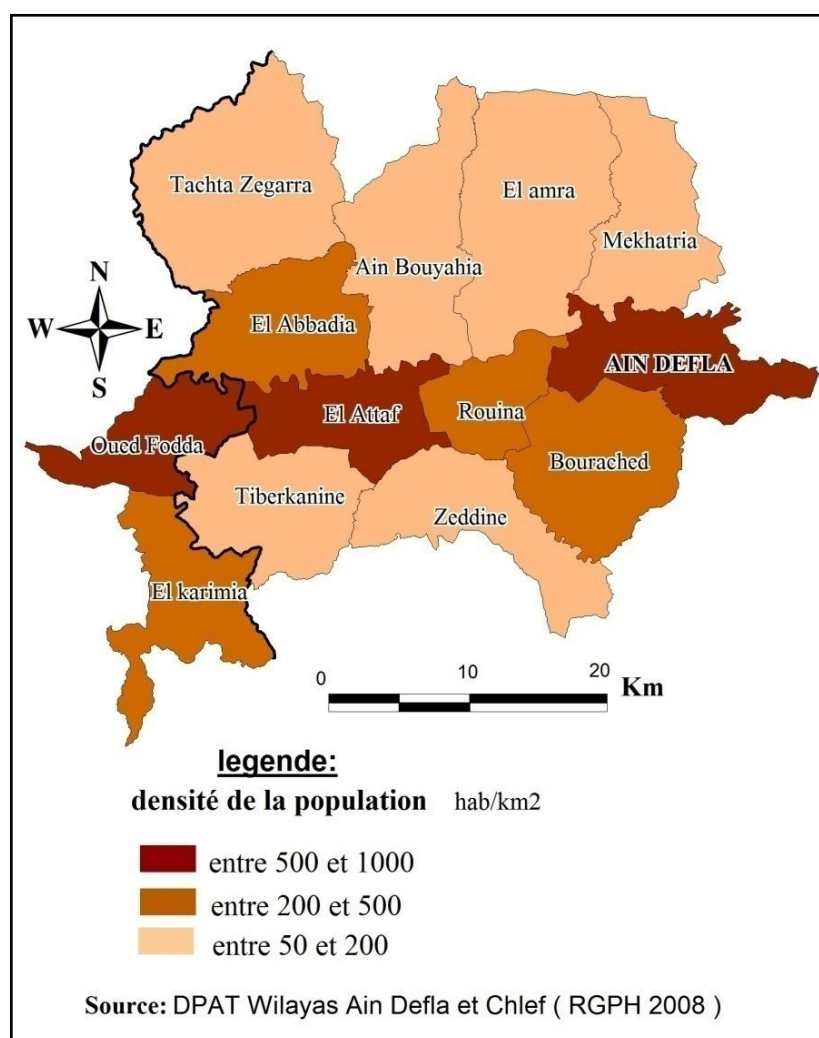
2.2. La population

Les principales données démographiques utilisées en Algérie proviennent de l'Office National des Statistiques Alger et sont disponibles, à l'échelle, administratifs, comme la commune ou la Wilaya.

La population est évaluée pour les treize (13) communes à 402736 habitants en 2008. Cependant, la distribution de cette population ne se fait pas d'une manière rationnelle, elle est concentrée dans les villes comme, Ain Defla (624,79 habitants /Km²), El Attaf (684,98 habitants /Km²) tandis que les zones rurales sont quasi-exodes.

Tableau 49: Répartition spatiale de populations dans le moyen Chélif oriental.

Commune	Superficie km ²	Populations 1998	Populations 2008	Densité hab/Km ²	Taux d'accroissement annuel moyen (%)
Ain-Defla	104,76	45446	65453	624,79	2,3
El-Attaf	84,29	42767	57737	684,98	1,4
Tiberkanine	107,46	5729	16384	152,47	1
El-Amra	180,45	19266	31073	172,20	1,9
Mekhatria	104,41	7125	17129	164,06	1,4
Bourached	122,05	25844	29680	243,18	1,4
El-Abadia	105,41	22709	40697	386,08	2,1
Ain-Bouyahia	136,59	8097	16213	118,70	1,6
Tacheta	182,32	19711	23397	128,33	1,8
Rouina	59,05	12534	21572	365,32	2,2
Zeddine	106,08	5785	12870	121,32	1,8
Oued Fodda	76,48	36187	41 710	545,37	1,5
El Karimia	96,49	25060	28 821	298,69	1,4
Total	1465,84	276260	402736		

**Figure 145:** Carte de la densité de population dans les communes de moyen Chélif Oriental.

2.2.1. Estimation de l'évolution de population

Les méthodes d'estimation de la population sont nombreuses et s'appuient sur des outils et données variés. Dans le cadre de cette approche, seul le taux d'accroissement Annuel moyen de la population est pris en considération, on ne tient pas compte des taux d'immigration et d'émigration. On suppose ainsi que le solde migratoire est négligeable.

Tableau 50: Estimation de l'évolution répartition spatiale de populations dans le moyen Chélif oriental.

Commune	taux d'accroissement Annuel moyen %	Estimation de l'évolution de la population				
		2014	2020	2030	2040	2050
Ain-Defla	2,3	75021	85988	107943	135503	170101
El-Attaf	1,4	62760	68220	78395	90088	103526
Tiberkanine	1	17392	18462	20393	22527	24884
El-Amra	1,9	34788	38947	47013	56749	68501
Mekhatria	1,4	18619	20239	23258	26727	30713
Bourached	1,4	32262	35069	40299	46310	53218
El-Abadia	2,1	46102	52224	64288	79138	97419
Ain-Bouyahia	1,6	17833	19615	22989	26944	31579
Tacheta	1,8	26040	28982	34643	41408	49496
Rouina	2,2	24581	28009	34819	43283	53806
Zeddine	1,8	14324	15942	19056	22778	27226
Oued Fodda	1,5	45608	49869	57875	67167	77950
El Karimia	1,4	31328	34054	39133	44970	51678
Total		446658	495620	590104	703593	840096

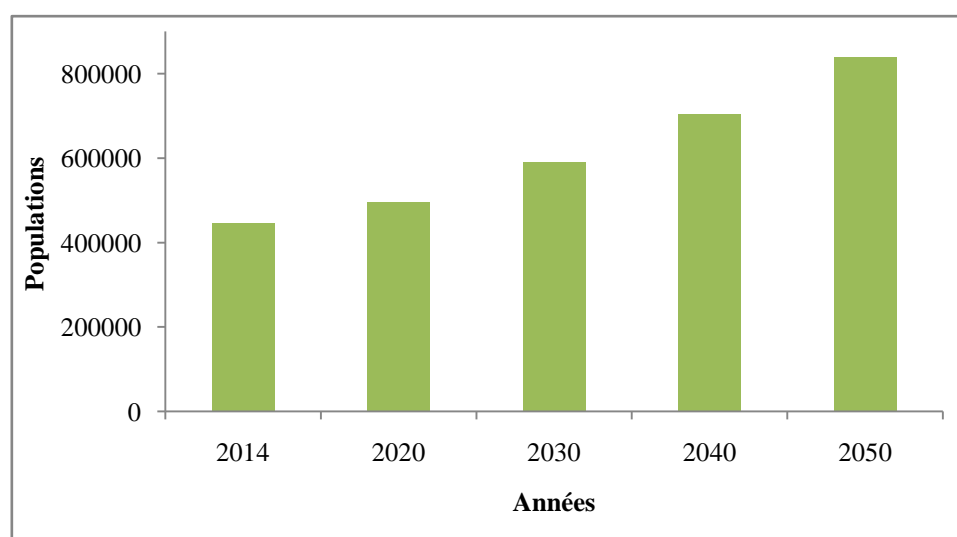


Figure 146: Estimation de l'évolution de la population dans le moyen Chélif oriental (2014 - 2050).

2.3. L'agriculture :

La région du moyen Chélif oriental recouvre une superficie agricole totale (SAT) de **96026** ha. La superficie agricole utile (SAU) est de l'ordre de **69875** ha. La superficie cultivée irriguée concerne **20703,5** ha.

Tableau 51: Répartition des terres agricoles, (source Directions des Services Agricoles).

Communes	Superficie Km ²	SAT (ha)	SAU (ha)	Superficie Irriguée (ha)
AIN DEFLA	104,76	6289	4753	2862
BOURACHED	122,05	10169	4770	1734
EL AMRA	180,45	8318	5501	3246
MEKHATRIA	104,41	6272	5030	1751
EL ATTAF	84,29	5370	5100	1674
TIBERKANINE	107,46	7240	6240	279
EL ABADIA	105,41	8994	6569	2004
TACHETA	136,59	11321	5950	245
AIN BOUYAHIA	182,32	9301	5550	1413
ROUINA	59,05	5164	4447	2015
ZEDDINE	106,08	7220	7110	1435
OUED-FODDA	76,48	6245	5003	1750
EL KARIMIA	96,49	4123	3852	295,5
TOTAL	1465,84	96026	69875	20703,5

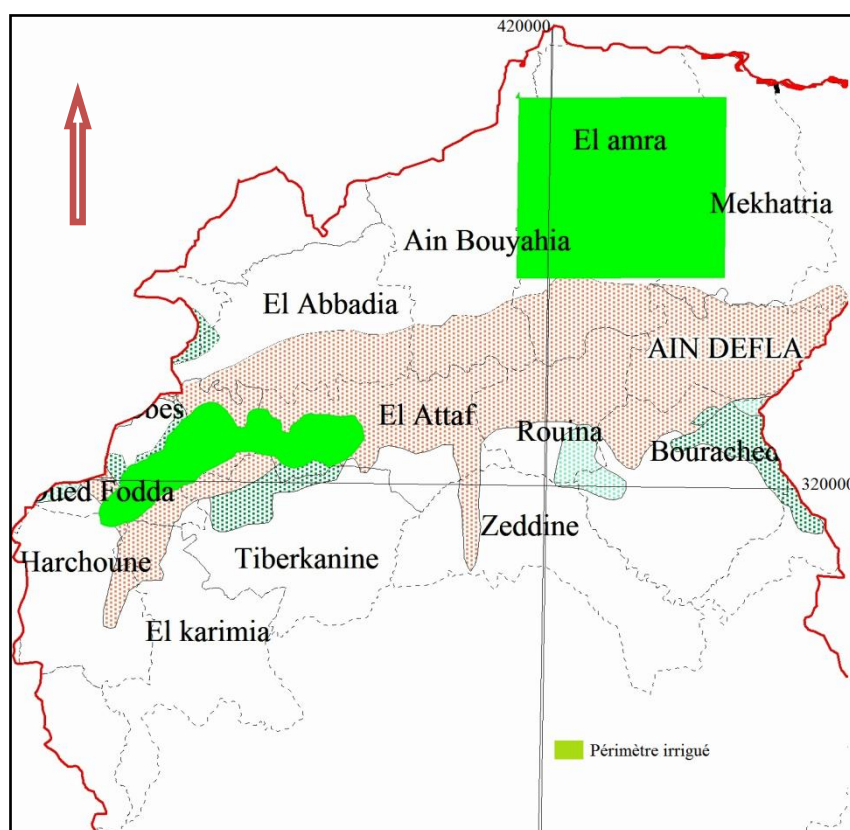


Figure 147: Carte de situation des périmètres irrigués.

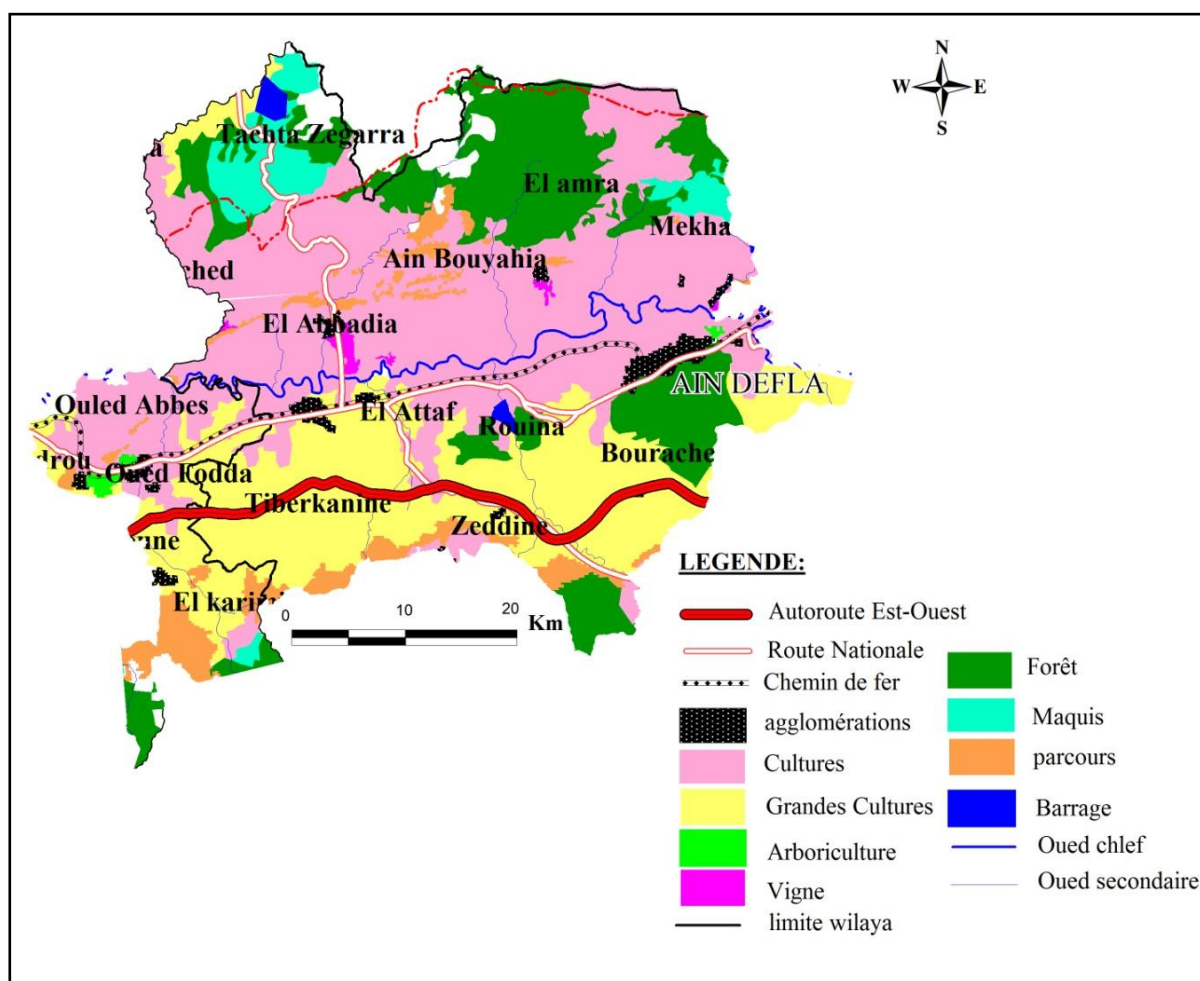


Figure 148: Carte d'occupation du sol de la plaine de moyen Chélif oriental.

2.4. Les potentialités industrielles

La région recèle des ressources minérales très importantes en gisements de matière à ciment, à liant briques tuiles, pierre, agrégats, sable, marbre et plâtre. La carte d'indices des gisements ainsi que les différentes études effectuées montrent clairement que ces gisements sont exploitables et rentables pour une production industrielle.

A cela s'ajoute la zone industrielle située au chef lieu de la wilaya de Ain Defla d'une superficie totale de 1.821.375.00 m² et une superficie occupée de 1.561.391.00 m². (Voir tableau 02 Annexe).

2.5. Les potentialités hydrauliques

La région du moyen Chélif Oriental dispose de grandes réserves hydriques d'ordre 132,158 Hm³ tant souterraines que superficielles.

2.5.1. Les ressources en eaux de surface

La ressource en eau mobilisable par un barrage s'exprime par le concept de « volume régularisable ». Le volume régularisable d'un barrage est le volume maximal qu'on peut garantir annuellement à partir d'une retenue de barrage par la régularisation des débits chronologiques dans un réservoir de dimension et de géométrie donnée (PNE 2010).

Les barrages faisant l'objet d'un envasement accéléré verront leur capacité de régularisation diminuer au fil du temps.

Tableau 52: Les ressources en eaux de surface (source PNE, DRE).

Nom du barrage	Localisation	Capacité Théorique hm ³	Capacité réelle hm ³	volumes régularisables hm ³ au 31/12/2014	Taux d'envasement
O.Mellouk	ROUINA	127	119	AEP : 33.5 IRR : 45	6.27 %
O.Fodda	O. Fodda	228	102.85	AEP : 22 IRR : 28.5	57%
Total	2	355	221,89	129	63,27
Les petits Barrages					
Commune	Nombre	Capacité en eau (H m ³)	Destination	Néant	
EL Abadia	2	3,158	Irrigation		

2.5.2. Les ressources en eaux souterraines

Les principales ressources en eaux souterraines de la région de moyen Chélif oriental se résumerait comme illustré dans le tableau ci dessous:

Tableau 53: Les ressources en eaux souterraine exploitables (source PNE).

Aquifère	Ressources exploitables (Valeur moyen Hm ³ /an)
Alluviale, sables et grès Pliocène	16
Calcaires jurassiques	2.3
Total	18,3

2.5.3. Mobilisation des Ressources en Eau

Les ouvrages de mobilisation des ressources en eau sont très variés. Ce sont essentiellement les barrages de grandes et petites capacités et les captages en rivière pour les eaux de surface, les forages, les puits modernes et traditionnels.

2.5.3.1. Mobilisation des ressources en eaux domestiques

La quasi-totalité de la population est alimentée en eau potable par des forages captant les aquifères de moyen Chélif.

Pour une population de l'ordre de 457757 habitants, les besoins en eau sont évalués à une valeur moyen de l'ordre de 82396,26 m³/J, selon une dotation moyen de 180 l/j/ha, le volume d'eau produit quotidiennement parvenir à 140008 m³/j, cette production demeure satisfaisante pour servir les besoins en eau domestique.

Tableau 54 : Mobilisation des ressources en eau potable (source DRE).

Commune	population	Besoins m ³ /J dotation 180 l/j/ha	Production m ³ /J	Distrib m ³ /J	Dotation L/J/Hab	Déficit ou excédent m ³ /J	Taux de Raccord AEP %	Linéaire réseau ML
Ain Defla	77689	13984,02	23760	17863	229,93	3879,01	99	117,552
El Amra	35654	6417,72	9677	7487,34	210	1069,62	87,9	83,182
El Attaf	64232	11561,76	19191	12525,2	195	963,48	99,43	182,99
Tiberkanine	17617	3171,06	2592	1831,64	103,97	-1339,42	69,19	80,039
Mekhatria	18998	3419,64	5479	3980,65	209,53	561,01	90,67	53,068
Bourached	32994	5938,92	13190	7423,65	225	1484,73	72	152,832
El Abadia	47550	8559	18548	10461	220	19902	97	108,628
A. Bouyahia	18228	3281,04	5530	3746	205,51	464,96	79,27	72,004
Tacheta	26686	4803,48	3326	2456,71	92,06	-2346,77	59	54,264
Rouina	25394	4570,92	10768	6264,56	246,69	1693,64	99	131,915
Zeddine	14656	2638,08	5024	3297,6	225	659,52	95	68,913
Oued Fodda	46292	8332,56	13832	10957	236,69	5499,44	99	104,995
El Karimia	31767	5718,06	9091	7619	239,84	3372,94	73	88,295
Total	457757	82396,26	140008	95913,4	2639,22	35864,16	86,11%	1298,67

2.6. Estimation de l'évolution de la demande en eau

2.6.1. Evolution de la demande en eau potable

La demande en eau potable est définie comme la somme des volumes à mobiliser pour satisfaire les différents besoins en eau potable tout en prenant en compte les pertes en réseaux des infrastructures d'hydraulique.

La détermination de la demande en eau potable repose sur un ensemble d'hypothèses d'estimation et d'évolution des facteurs liés:

- A la démographie et aux projections de populations à différents horizons ;
- Aux dotations unitaires domestiques et à leurs évolutions aux différents horizons ;
- Aux facteurs de majorations associés pour la prise en compte des « autres usages » (administrations, commerces, artisanat et petites industries) et l'activité touristique ;
- Aux rendements des infrastructures et à leurs évolutions dans le temps.

◆ *La dotation unitaire domestique* : Elle correspond à la dotation nette, et est définie comme étant la quantité d'eau potable, par jour, que doit recevoir effectivement un habitant «

au niveau de son robinet » pour couvrir ses besoins domestiques journaliers. En couplant population et dotation unitaire, on peut évaluer la consommation domestique annuelle.

Pour l'évaluation de la demande en eau potable on procède à la projection de la dotation unitaire domestique sur le nombre de population à différents horizons.

Le tableau ci dessous montrent une évolution de la demande en eau de 29,3Hm³ en 2014 à 55 Hm³ en 2050, Ces valeurs fortement contrastées mettent en évidence les enjeux de la rationalité dans la distribution de l'eau (politique assidue de résorption des fuites et mise au point de standards de consommation unitaire réalistes).

Tableau 55 : Estimation de l'évolution de la demande en eau.

Horizon	population	Dotation	Demande Hm ³
2014	446658	180 L/ habitant/ j	29,3
2020	495620		32,7
2030	590104		38,8
2040	703593		46,2
2050	840096		55

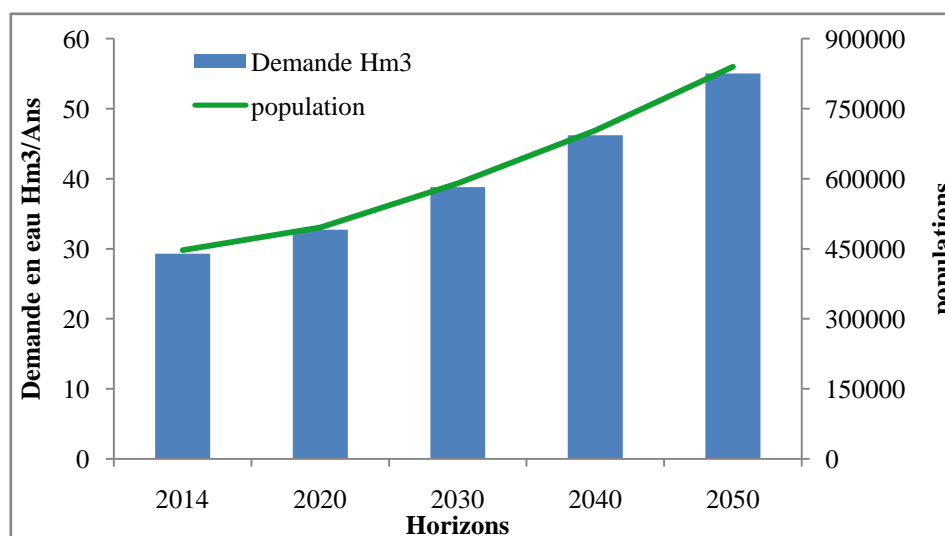


Figure 149: Histogramme d'évolution de la demande en eau.

2.6.2. Evolution de la demande en eau Agricoles

Dans le Nord de l'Algérie l'irrigation se fait globalement dans un contexte de bilan global déficitaire avec prélèvement sur un capital souterrain non renouvelable face à une demande d'AEP prioritaire continûment croissante, d'une part, et au développement incontrôlé de la petite et moyenne hydraulique privée sous l'effet incitatif des subventions de l'Etat, d'autre part.

Le moyen Chélif oriental dispose de deux Grands Périmètres Irrigués (GPI), sont gérés par l'Office National des Irrigations et du Drainage (ONID). Ce dernier mobilisent les eaux des barrages et les petits Barrages pour servir les exploitants Agricole en eau.

Une estimation normative des besoins en eau des cultures pratiquées ou projetées dans les GPI/PIW a été effectuée en 1998 dans le cadre d'une étude réalisée par l'ANRH intitulée « Estimation des besoins en eau des cultures par région hydraulique de planification ». Ces besoins ont été calculés par la méthode classique, à partir des données pluviométriques, de la rétention en eau par les sols et du ruissellement, d'un assolement type, de l'ETP et du coefficient cultural.

Cet important travail exprime, dans l'ensemble, des doses d'irrigation assez conformes à celles énoncées brutes par les agriculteurs. Les besoins en eau dans le moyen Chélif oriental ont été estimés $4\,168,96\text{ m}^3/\text{ha}$. Il est ainsi constatable que la demande en eau agricole est liée aux conditions climatiques de la campagne en cours, la demande d'eau diminue si l'année est pluvieuse ou augmente si elle est sèche, sans entrer dans les détails de la répartition des pluies mensuellement, selon le cycle biologique des plantes.

La demande totale à mobiliser en eau d'irrigation de moyen Chélif Orientale pour l'année de base 2014 peut être estimée à une hauteur de $86,31\text{Hm}^3$.

La sécurité alimentaire du pays constitue la préoccupation phare du secteur et l'épine dorsale de la politique agricole. Il s'agit de garantir la meilleure sécurité alimentaire possible compte tenu des potentialités et des limites de l'agriculture nationale. Il est par ailleurs prévu de poursuivre et consolider les actions de développement des périmètres irrigués selon un scénario social extensif, avec un taux d'accroissement moyen des terres irriguées de 3%, ceci implique une augmentation de la demande en eau pour l'irrigation.

Tableau 56: *Projection des besoins totaux en eau des terres irrigables.*

Horizon	Superficie irriguée (ha)	Besoins en eau (moyenne Pondérée)	Demande en eau Hm^3/Ans
2014	20704	$4\,168,96\text{ m}^3/\text{ha}$	86,31
2020	24721		103,1
2030	33223		138,5
2040	44649		186,1
2050	60005		250,2

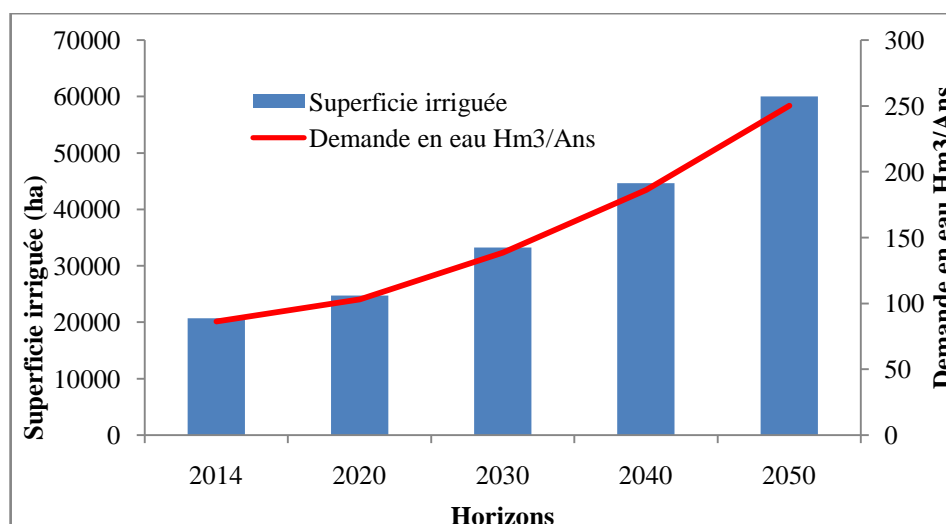


Figure 150: Evolution de la demande en eau d'irrigation en fonction de la superficie irrigable.

2.6.3. Evolution de la demande en eau industrielle

Pour la plupart des industries, l'eau est un facteur de production. L'eau est présente dans la majorité des processus de fabrication. Elle est cependant également utilisée pour les besoins des personnels, le nettoyage des ateliers, des machines et des produits finis.

La plupart des entreprises ne sont pas dotées de compteur pour mesurer les volumes d'eau consommée d'autres s'approvisionnent à partir de citernes, les enquêtes usagers pour calculer les redevances tout à fait récentes ne permettent pas dans tous les cas de cerner avec précision les besoins réels des entreprises en rapport avec leur fonctionnement.

Pour réduire les erreurs, il a été procédé à des recoupements en fonction des données disponibles en recourant à une extrapolation des besoins.

Au total, les besoins en eau industrielle estimés sont de l'ordre de 0,27 Hm³/Ans

Tableau 57 : Répartition actuelle des besoins en eau industriels (source DRE).

Entreprise	Activités	Besoins m ³ /Ans
Batirim	Montage, bardage, ossature	130000
Baticic EX Batimital	Ferronnerie et menuiserie métalliques	13200
EIMS MILIANA ex PROMELTAL-ENIEM	Fabrication industrielle de produits sanitaires	30976
TRANS CANAL	Tuyaux en béton armé	20000
Complexe de matériaux de constriction	Carreaux et dalles en ciment	9000
SARL Chachou AEK	Sablière	11400
SARL Nor-Essaada	Sablière	11400
NAFTAL	Centre enfuteur	17000
Divers petites industries	Mines	27300

Dans le cadre de développement économique la région a bénéficié d'une assiette de 168 hectares pour l'implantation d'une zone industrielle au niveau de la Commune de Tiberkanine, cette dynamique industrielle impliquera une croissance d'environ 1,5 % /Ans de la demande en eau industriels selon les services de DRE.

La projection de la demande en eau avec ce taux de croissance prévisionnels permet d'estimer l'évolution de la demande en eau industrielle dans le temps.

Tableau 58 : *Projection des besoins totaux industriels en eau dans le moyen Chélif orientale.*

Horizons	2014	2020	2030	2040	2050
Demande en eau industrielle (Hm ³)	0,27	0,3	0,34	0,4	0,46

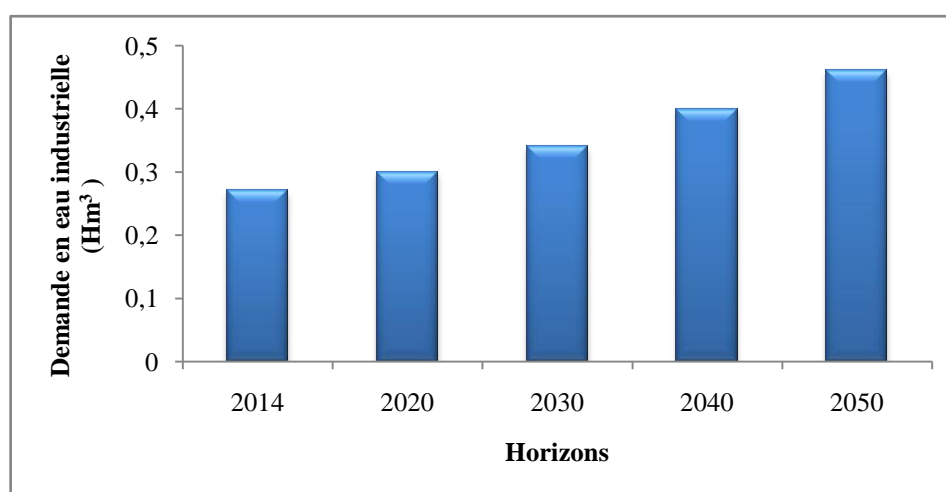


Figure 151: Evolution de la demande en eau industrielle dans le moyen Chélif orientale.

2.7. Bilan ressource / besoins

Pour l'année de référence 2014 la demande totale en eau 115,87 Hm³, l'irrigation domine la demande avec 86,3 Hm³ soit 75 % de la demande totale.

La ressource disponible, de 132,158 Hm³, permet de couvrir les demandes. Ce chiffre sera atteint en termes de demande à l'horizon 2020, Le bilan demandes / ressource apparaît déficitaire ce qui laisse présager des risques de pénurie en cas de superposition des évènements d'étiage.

Tableau 59: *Récapitulatif des différents termes de bilan.*

Horizons	2014	2020	2030	2040	2050
Demande en eau potable Hm ³	29,3	32,7	38,8	46,2	55
Demande en eau agricole Hm ³ /Ans	86,3	103,1	138,5	186,1	250,2
Demande en eau industrielle (Hm ³)	0,27	0,3	0,34	0,4	0,46
Totale (Hm ³)	115,87	136,1	177,64	232,7	305,66
Réserves estimés (Hm ³)	132,158				

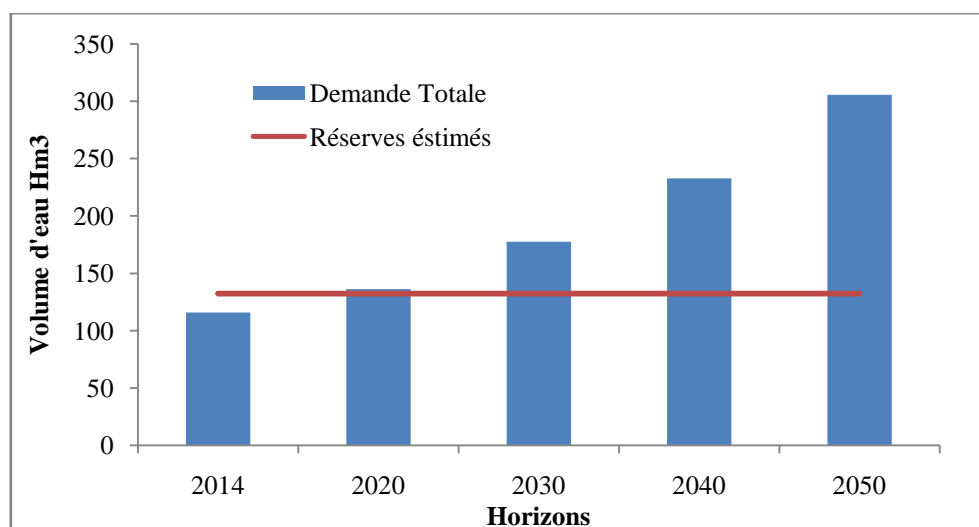


Figure 152: Bilan ressource / Besoins.

3. CONCLUSION

L'étude hydrochimique a montré que les eaux de l'aquifère de moyen Chélif Orientale sont dans l'ensemble, très dures. En revanche, elles sont chimiquement de qualité médiocre à bonne pour la consommation en eau potable.

Le faciès chimique prédominant pour la nappe est celui des eaux Chloruré calciques. Ceci peut être expliqué par l'importance des apports des affluents de l'Oued Chélif à partir des calcaires jurassiques.

L'étude de l'indice de saturation a montré que les eaux sont généralement, sursaturées par rapport aux minéraux carbonatés et sous-saturées par rapport aux minéraux sulfatés.

L'étude statistique des échantillons par l'analyse en composante principal A.C.P fait apparaître deux groupes selon leurs caractéristiques physico-chimiques (pH, Conductivité, faciès chimique...).

Le bassin de moyen Chélif oriental renferme une unité hydrogéologique d'extension d'environ 200km², cette entité hydrogéologique est fortement sollicitée pour servir les besoins de la population et aussi pour la dynamique économique.

La population a été estimée en 2014 d'environ 446658 habitants approvisionnés par 29,3 Hm³/Ans d'eau potable, Avec une dotation unitaire moyenne de 180 l/j/habitants.

La vocation Agricole notamment la culture maraîchère consommatrice d'eau implique une forte demande en eau d'irrigation. La demande en eau Agricole atteint 86,3 Hm³ soit 75 % de la demande totale, cette demande s'élève à 250 86,3 Hm³ en 2050.

La demande en eau dans le secteur industriel demeure faible.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Formant une dépressions topographique Allongé Est-Ouest. La région du moyen Chélif oriental fait partie du grand bassin versant de Chélif. Il se situe à 150 km au Sud- Ouest d'Alger à la jonction entre la Wilaya de Ain Defla à l'Est et la Wilaya de Chlef à l'Ouest.

L'étude hydroclimatologique a révélée que le climat est de type semi-aride, avec des gradients de température relativement importants et une irrégularité inter annuelle des précipitations. Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite, a montré que le bilan est déficitaire dans son ensemble, mais il est excédentaire aux mois de janvier, février et mars.

La région d'étude reçoit en moyenne entre (419 à 521 mm) de pluie chaque année, l'évapotranspiration réelle (ETR) interannuelle varie de (347 à 304mm). La quantité d'eau ruisselée varie d'un bassin à l'autre (78 à 29 mm). La lame d'eau infiltrée varie de (94 à 35mm).

Géologiquement, la région étudiée appartient au domaine tellien représentant la chaîne alpine. Les ensembles lithologiques rencontrés dans la plaine sont les terrains Néogènes et Mio-Plio-quaternaires, le substratum essentiellement secondaire sur les bordures; les monts de l'Ouarsenis au Sud, du Dahra au Nord et les massifs épimétamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et du Temoulga a l'Est.

L'étude géophysique et hydrogéologique a permis de mettre en évidence l'existence de trois horizons aquifères représentés par des alluvions du Quaternaires, des sables et grés Astiens et des sables, grés et calcaires gréseux du Tortonien inférieur.

Les cartes piézométriques montrent un écoulement principal des eaux souterraines suivant une direction EW conformément à celle de l'oued Chélif qui représente le drainage principal de la nappe.

L'étude hydrochimique a montré que les eaux de l'aquifère de moyen Chélif Orientale sont dans l'ensemble, très dures. En revanche, elles sont chimiquement de qualité médiocre à bonne pour la consommation en eau potable. Le faciès chimique prédominant pour la nappe est celui des eaux Chloruré calciques.

Quantitativement les ressource disponible, permet de couvrir les demandes actuelles. Mais à terme de 2020 Le bilan demandes / ressource apparaît déficitaire ce qui laisse présager des risques de pénurie en cas de superposition des évènements d'étiage.

Annexes

Tableau 01 : Les variations annuelles des précipitations pour les stations étudiées.

Années	Aribe Ebda	Sidi Mjahed	El Anneb	El Touaibia	Rouina Mairie	El-Abadia	Tikzal	O,Fodda
1973	691,1	994,8	921,8	477,5	461,4	481,5	304,3	544,6
1974	529,1	867,6	626,1	365	341,9	370,3	329,6	764,1
1975	536,5	866,5	823,6	435,1	468,8	480,2	438,5	574,7
1976	645,6	812,9	865	363,9	480,7	511,4	488,9	614,5
1977	428,5	685,8	555,2	330,1	377,4	389,6	387,7	506
1978	657,6	897,8	739,8	403,7	433,8	514,9	480	540,9
1979	591,2	881,3	560,8	391,2	418,1	441,8	435,3	522,4
1980	518,6	715,9	642,8	279,8	319,9	374,2	318,6	434,8
1981	384,6	467,7	426,5	208,2	255,4	285,2	247,4	488,8
1982	443,8	576,9	568,3	245,2	318,8	450,7	294,4	452,6
1983	516,1	617,2	492,2	207,1	291,6	315,9	315,4	421,2
1984	564,9	827,7	733,4	300,6	405,2	336,9	383	297,3
1985	593,8	771,5	671	265	431,2	479,8	402,7	315,3
1986	584,2	740	791,2	230,1	379,8	347,4	389	377,7
1987	377,9	474,4	506,9	167,9	299,2	278,9	256	430,3
1988	539,2	669,7	649,4	257,4	331,8	297	336,6	452,4
1989	310,5	431,5	472,5	210	280,1	260,6	255,4	362
1990	438	643,6	650	211,3	290,3	294,5	303,4	311,5
1991	547,8	831,5	720	247,8	280,1	303,8	272,1	343,4
1992	283,4	442,9	413,2	234,1	264,9	220,7	232,3	245,5
1993	282	370,1	387,7	200,5	229,9	285,4	233	315,2
1994	525,9	749,6	409,7	355,3	358,9	301	365,3	347,8
1995	530,6	815,9	600,5	383,5	461,3	506,1	533,5	256,2
1996	540,3	493,9	411,9	261,4	283,3	292,3	346,9	254,2
1997	564,1	613,7	628,7	310,1	345,9	364,9	355,4	
1998	391,8	631,8	537,2	257,4	272,4	259,6	321	
1999	293,9	437,6	338,2	157,5	205,7	168,4	240,1	
2000	512,9	717,4	628,3	304,8	401,5	344,3	416,9	
2001	315,7	385	446,4	200,2	287,5	263,7	298,3	
2002	471,3	497,4	603,8	278,7	308,7	359,8	359,5	
2003	373,6	420,3	544	348,7	300,6	359,4	379,4	
2004	457,3	398,5	451,6	309,2	282,4	296,3	313,9	
2005	511,8	528,1	682,2	344,8	334,7	310,5	371,7	
2006	487,4	469,7	697	270	300,6	348,2	291,2	
2007	493,9	418,7	422,5	304,9	436,1	394,8	375,2	
2008	714,9	722,7	434,9	441	457,1	462,8	508,4	
2009	625,2	595,1	305,7	388,1	385,6	390,4	453,8	
2010	786,1	798,5	662,4	355	462,8	523,1	489,2	
2011	613,9	580,5		320,4	399,6	308,5	410,3	
2012	521,1	557,8		445,5	404,4	491,6	398,9	
2013		382,9		322,5		311,4	342,9	

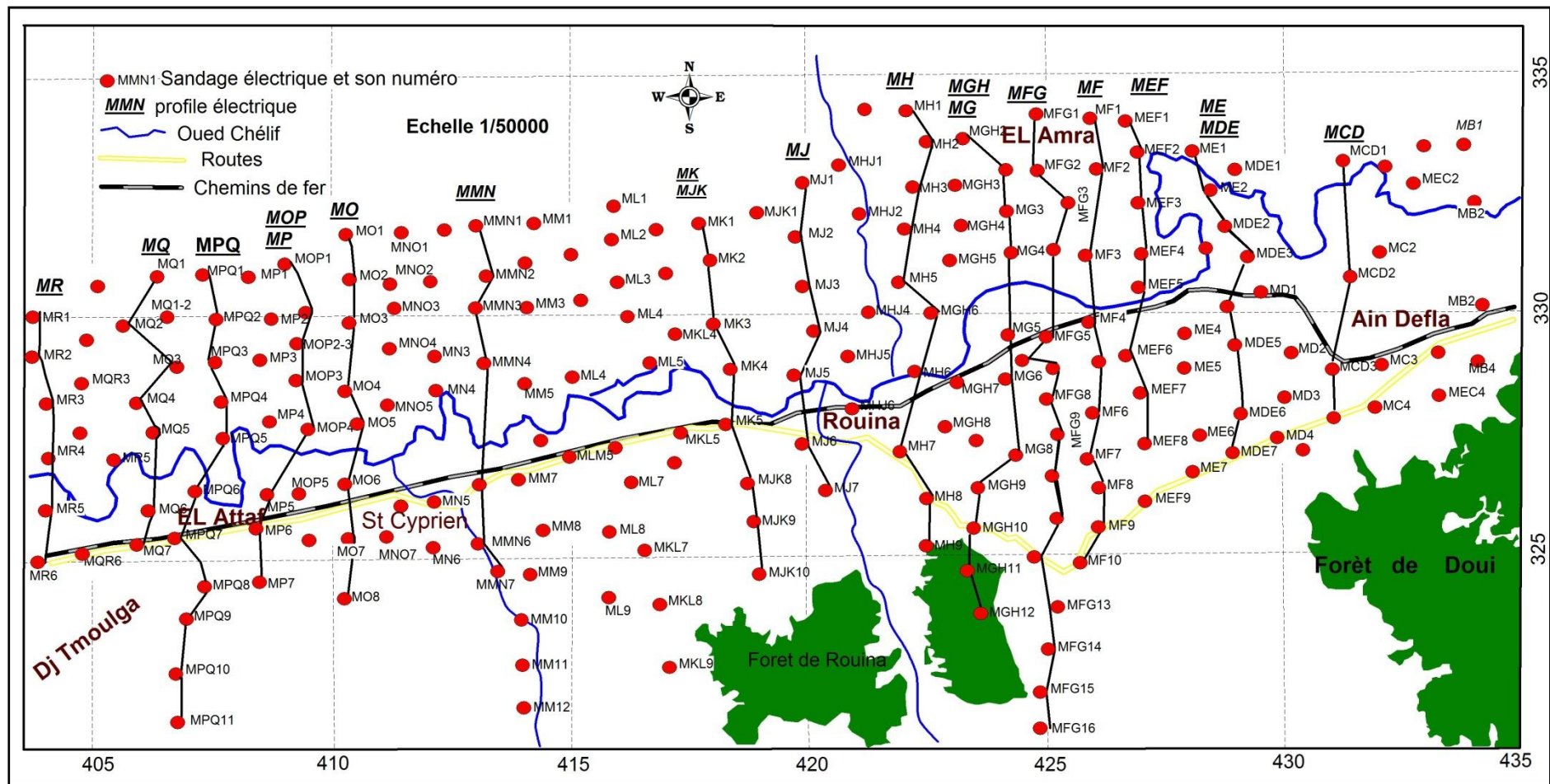


Figure 01 : Carte de situation des profils électrique (d'après CGG, 1969).

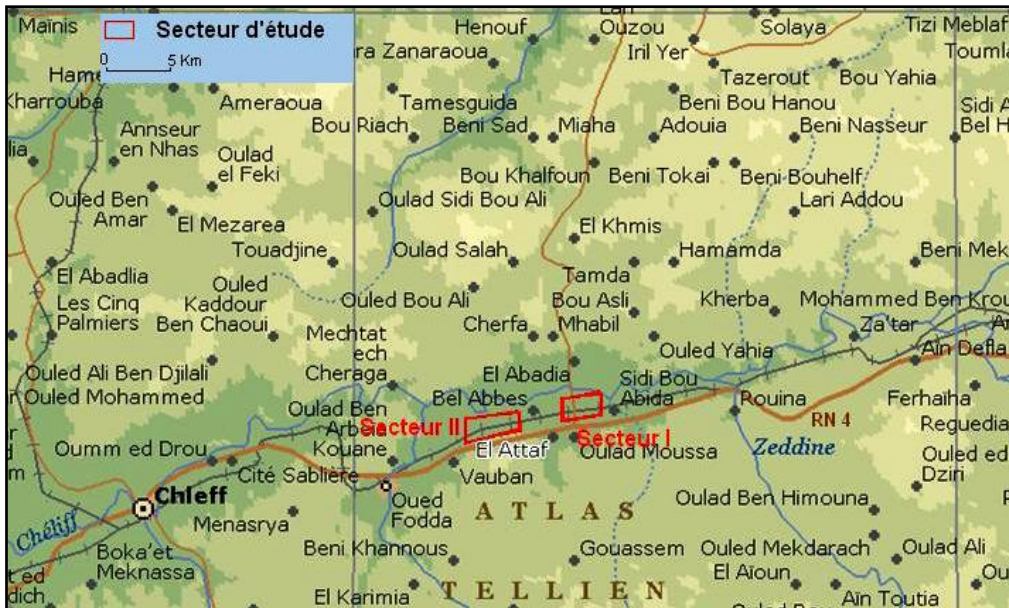


Figure 02: Carte de positionnement des secteurs d'étude géophysique.

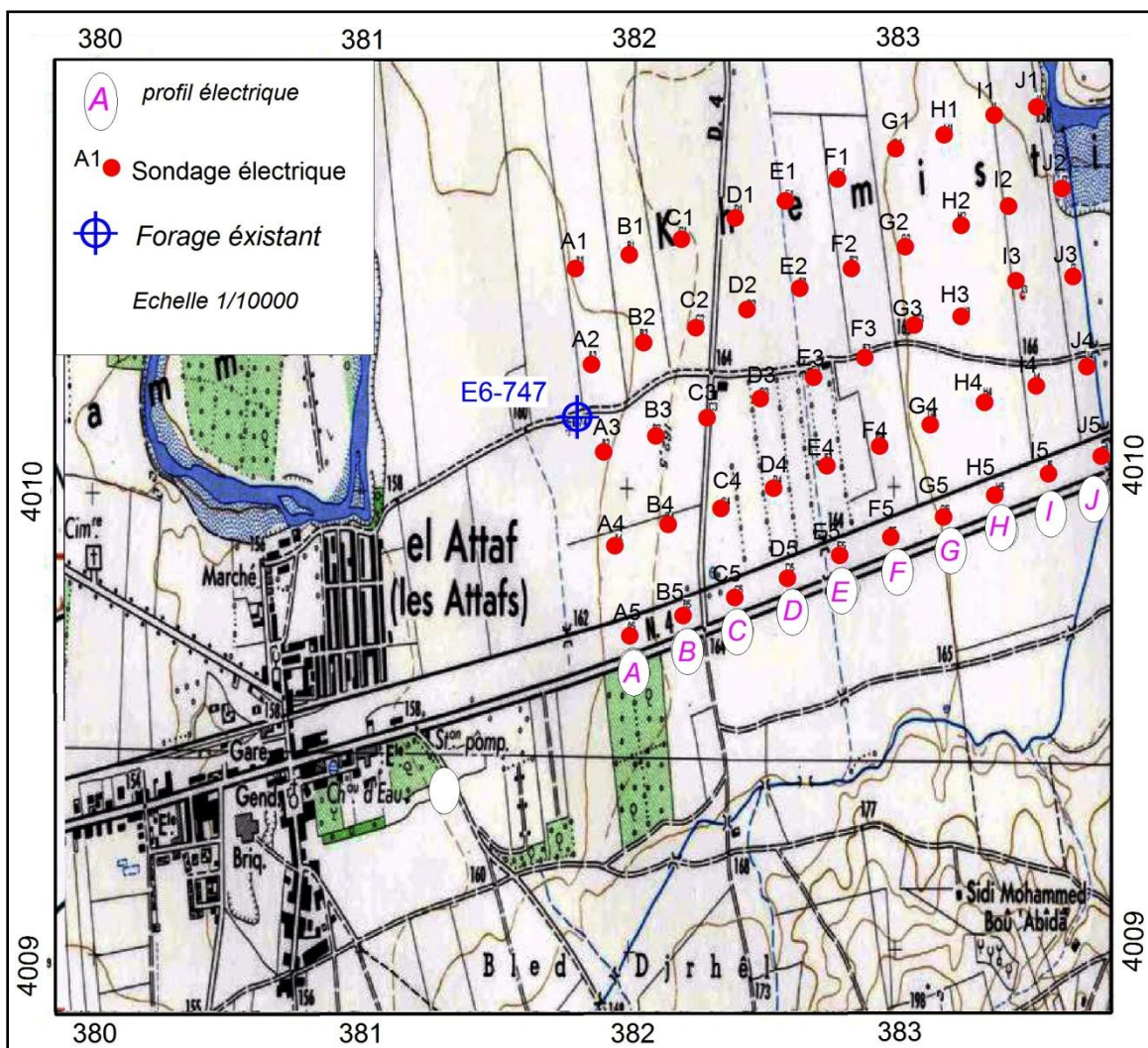


Figure 03 : Carte de situation des profils électrique secteur "I" (d'après ANRH 2006).

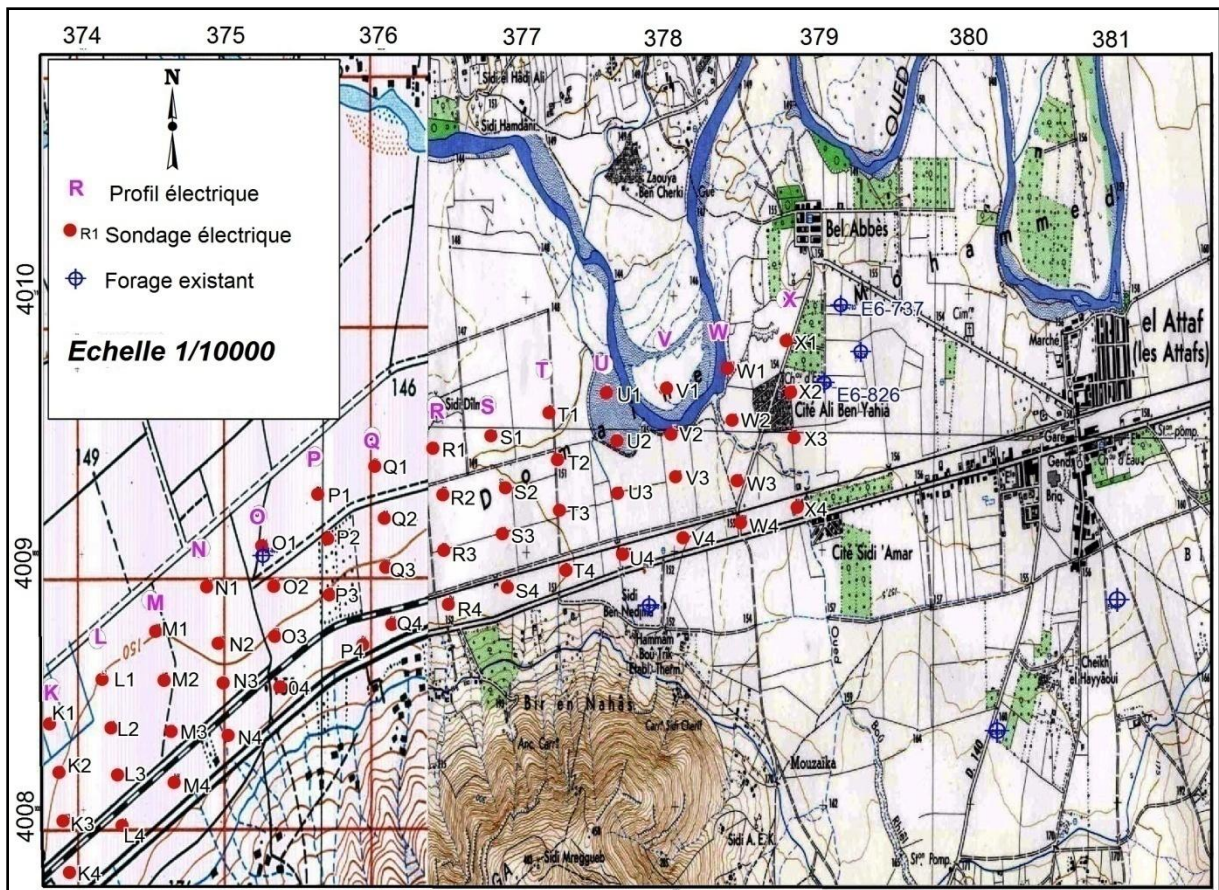


Fig. 04 : Carte de situation des profils électrique. (D'après ANRH 2006).

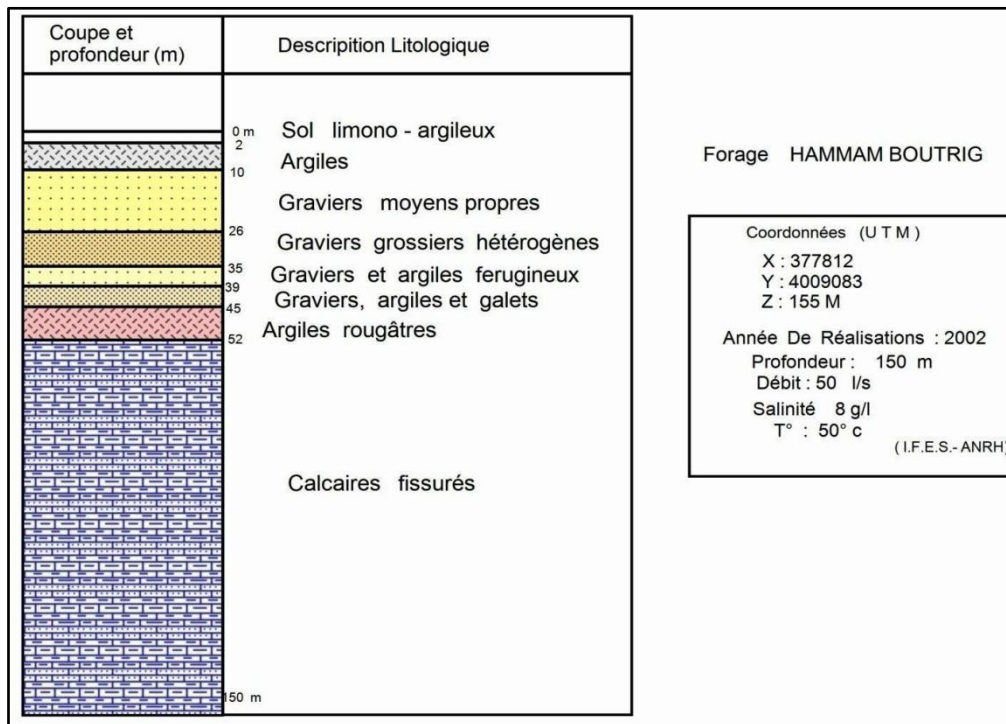


Fig. 05 : Coupe lithologique du Forage de Hammam Bou Djemane.

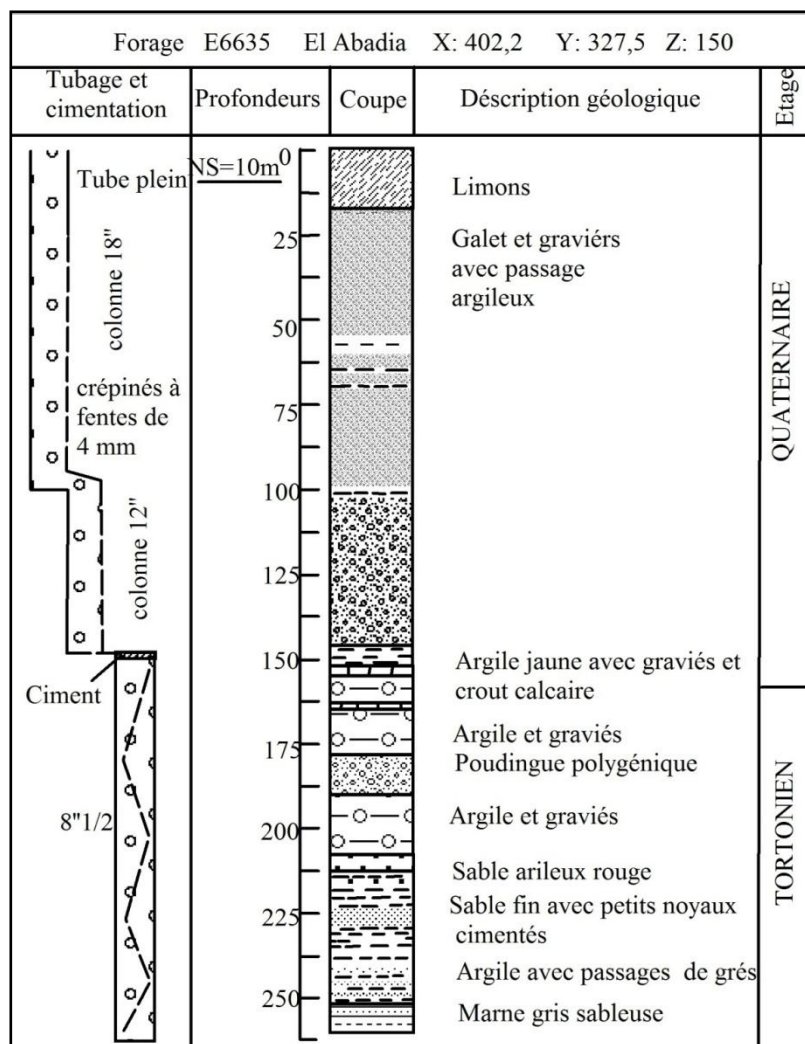


Fig. 08 : Coupe géologique et technique du forage E6 635 El Abadia.

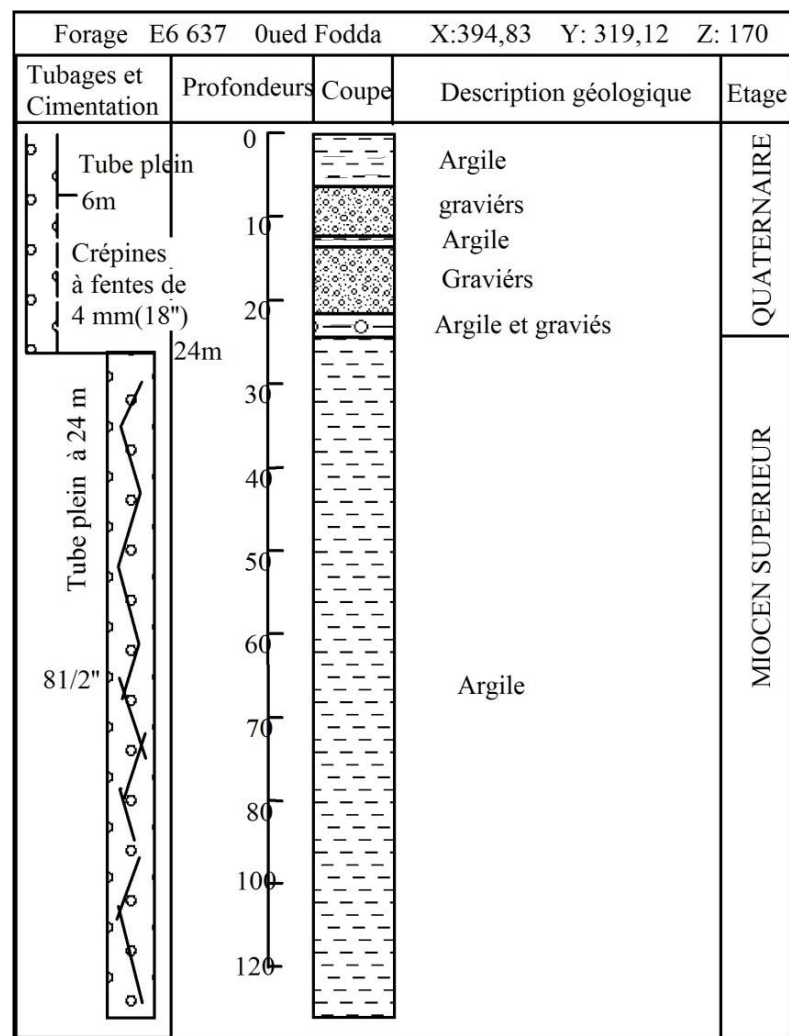


Fig. 09 : Coupe géologique et technique du forage E6 637 Oued Fodda.

Tableau 02: Unité industriel dans le Moyen Chélif Oriental (source directions d'industrie).

Entreprise	Commune	Nature de l'activité	Effectifs
BATIRIM	Ain Defla	Montage métallique	367
BATICIC	Ain Defla	Construction métallique	433
Minoterie DHAHRA	El Attaf	Production de semoule et farine	105
Minoterie SIM	Ain Defla	Production de semoule et farine	62
CMCD briqueterie	Ain Defla	Production de la brique	34
ALCAHYD	Ain Defla	Fabrication de produits en béton	191
EL SEWEDEY câbles Algérie	Ain Defla	Fabrication de câbles électriques et téléphoniques	679
SPA maghrib tubes	Ain Defla	Fabrication des tubes acier	171
SPA profiles Aluminum de Maghreb	Ain Defla	Production de profiles Aluminium	50
ENIR	Ain Defla	Réalisation des ouvrages	140
SARL bergan energy	Ain Defla	Fabrication d'accumulateurs	186
Enterprise national d'entervention	Ain Defla	Génie civil et bâtiment	32
SARL f.star	El Attaf	Production œuf de consommation	72
METALCO	El Attaf	Production de profiles aluminium	122
BINEX	Ain Defla	Fabrication des matériaux de blanchiment	27
CHERIFI BELGACEM	Defla	Production et préparation du béton	/
SIM-SANDERS	Ain Defla	Production des aliments du bétails	/
SPA ALGRAN	Oued Fodda	Agrégats Calcaire	129
SPA SOMIFER	Rouina	Agrégats Calcaire	57
SPA ENIR	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	56
SPA EPTRC	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	41
SPA OULED ALI	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	43
SPA ETRHB	El-Attaf	Agrégats Calcaire	41
SARL FERHAD	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	28
EURL ASMA	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	20
SARL SAPAM	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	37
SARL EL HASSA	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	34
EURL ETP RAMLA	El-Attaf	Agrégats Calcaire	10
EURL ETP ABROUS	El-Attaf	Agrégats Calcaire	15
EURL BOUHRAOUA	El-Attaf	Agrégats Calcaire	15
SPA CARRIERE SICHERIF	El-Attaf	Agrégats Calcaire	85
SARL EGREGAN	El-Attaf	Agrégats Calcaire	22
SARL STE CHATTIA	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	15
EURL ESSAKHRA	Tiberkanine	Agrégats Calcaire	24
GROUPE HYDROCANAL	Oued Fodda	Tuyaux en béton	
SARL BELLETRECHE	Mekhatria	Sables	6
SARL SABLONEUSE	Mekhatria	Sables	6
SNC SABLE JAUNE	Mekhatria	Sables	6
ETPH Merrah Elhadj	Oued Fodda	Agrégats Calcaire	32
Sarl Concassage Ennadjah	Oued Fodda	Agrégats Calcaire	43
EURL Wancharis Ghoul	Oued Fodda	Agrégats Calcaire	38
Spa TRANSCANAL	Oued Fodda		53

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Localisation du bassin de Chélif dans l'ensemble du Nord de l'Algérie	2
Figure 02: Carte de localisation de secteur d'étude (extrait de la carte du réseaux hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux ANRH)	3
Figure 03: domaine d'étude.....	5
Figure 04: Profils en long de l'Oued Chélif et ses affluents dans le Haut et Moyen Cheliff	7
Figure 05: Carte du chevelu hydrographique secteur d'étude (ABH)	10
Figure 06: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Ebda.....	12
Figure 07: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Rouina-Zeddine	13
Figure 08: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Tikzale	14
Figure 09: Courbe hypsométrique du bassin versant d'Oued Fodda	15
Figure 10: Modèle numérique du terrain étudié (ABH).....	17
Figure 11: Carte des sols de la plaine de moyen Chélif orientale (J. BOULAIN 1955).....	22
Figure 12: Position des postes pluviométriques de la zone d'étude, (extrait de la carte du réseaux hydro climatologique et de la surveillance de la qualité des eaux ANRH)	24
Figure 13: Précipitations moyennes annuelles des stations de la région	25
Figure14 : Chroniques pluviométriques des stations d' Aribes ;Sidi Mjahed et El Anneb	26
Figure15: Chroniques pluviométriques des stations d'El Touaibia et Rouina Mairie	27
Figure16: Chroniques pluviométriques des stations d' El Abadia ;et Tikezal.....	27
Figure17: Carte des pluies interannuelles (A.N.R.H période 68-02)	28
Figure18: Méthodes des polygones de THIESSEN cas du Bassin de Rouina	30
Figure19: Carte en courbes isohyètes (A.N.R.H).....	31
Figure20: Précipitations moyennes mensuelles (Période 1973-2013)	32
Figure 21: Variation mensuelles des températures dans le moyen Chélif orientale (1972/2001)	33
Figure 22: Variation du potentiel évapotranspiré annuel dans le bassin de Chélif -Zahrez(ANRH)	34
Figure 23: Abaque de WUNDT modifiée par COUTAGNE	36
Figure 24: Différents termes bilan hydrique selon Thornthwaite.....	39
Figure 25: Abaque de Verdeil	40
Figure 26 : Diagramme ombrothermique de "GAUSSEN et BAGNOULS"	42
Figure 27: Climmagramme d'EMBERGER	44
Figure 28: Différents termes du bilan hydrologique, moyen Chélif orientale(1970 - 2013).....	48
Figure 29: Variations annuelles des Apports à la station d'Arib (1968 à 2012).....	49
Figure 30: Variations annuelles des Apports à la station de Ponteba (1983 à 2011)	49
Figure 31: Analyse fréquentielle des Apports observés - Stations (d'Arib et Ponteba) Ajustement à une loi de Gumbel	50
Figure 32: Analyse fréquentielle des Apports observés - Ajustement à une loi Log-normal.....	51
Figure 33: Variations interannuelles des apports mensuels	52
Figure 34: Echantillonnage de la valeur max du débit journalier station de Ponteba	53
Figure 35: Variations interannuelles des modules de oued Chélif a la station d'Arib.....	55
Figure 36: Variations interannuelles des modules de oued Chélif a la station de Ponteba	56
Figure 37: Ajustement des débits max. instantané de la station d'Arib.....	58
Figure 38: Ajustement des débits maximums instantané de la station de Ponteba	58
Figure 39: Ajustement des débits maximum journaliers de la station d'Arib.....	59
Figure 40: Ajustement des débits maximum journaliers de la station de Ponteba	59
Figure 41 : Grandes subdivisions de l'Algérie septentrionale (Durant- Delga. 1969-1980).....	62
Figure 42: Esquisse géographique des bassins néogènes sublittoraux de l' Algérie Occidentale	62
Figure 43: Cadre géographique et géologique de la plaine du Chélif (Perrodon, 1957).....	63

Figure 44 : Coupe structurale Nord-sud Dahra - Ouarsenis (D'après M. Megartsi, 1996).....	63
Figure 45 : Cadre structural du Tell Ouest – Algérois (O. Kirèche, 1993)	65
Figure 46 : La lanière des massifs de la vallée de Chélif (O. Kirèche 1993).....	67
Figure 47 : Coupe Géologique (D'après S.N.REPAL1964)	68
Figure 48 : Carte géologique du Doui (Kirèche, 1977).....	70
Figure 49 : Coupe montrant les formation du nord de Doui et des Aribes (Kirèche1977)	70
Figure 50 : La succession lithostratigraphique synthétique du Doui,	71
Figure 51 : Carte géologique de Djebel Rouina(KIRECH 1977).....	73
Figure 52 : Carte et Coupe géologique de Djebel Rouina(O. KIRECH 1977)	73
Figure 53 : Carte géologique de Djebel Temoulga(O. KIRECHE 1977).....	74
Figure 54 : Coupe du massif de Koudiat Larouah (YGourinard, modifiée par O. Kirèche	74
Figure 55 : Le Jurassique des massifs du Chélif (colonnes synthétique)	75
Figure 56 : coupe synthétique de la série de Littré, au Nord de Doui (O. KIRECHE)	75
Figure 57 : coupes du Temoulga Séghira-DJ. Tiberkanine (O, KIRECH 1977).....	76
Figure 58 : Le Sénonien allochtone (Nappe B) d'EL Karimia(O. Kirèche 1993)	77
Figure 59 : Coupe synthétique montrant la relation entre les différentes séries du Primaire du Chélif et la discordance entre le Primaire et la transgression du Jurassique (Mattauer1957)	77
Figure 60 : Carte géologique de la région d'étude (extrait del la carte géologique de l'Ouarsenise oriental par M . Mattauer 1958 complété par D. Pradines 1971	80
Figure 61 : Carte des intensités sismiques maximales et principaux épïcêtres enregistrés au cours de la période (1790 - 1978 Région de Chlef CRAAG –Alger).....	81
Figure 62 : Carte montrant le mécanisme au foyer du séisme d'El Asnam du 10/10/1980 ainsi que sa localisation (l'étoile).. A, B et C sont les segments de la faille.....	82
Figure 63 : Traces de surface observées tout le long des 36km de la faille	83
Figure 64 : Carte des résistivités apparentes en AB =300 m (CGG, 1969).....	87
Figure 65 : Carte des résistivités apparentes en AB =3000 m (CGG, 1969).....	88
Figure 66 : Carte du toit du substratum résistant (d'après CGG, 1969).....	89
Figure 67 : Coupe géoélectriques (MR , MQ et MPQ d'après la CGG 1969).....	91
Figure 68 : Coupe géoélectriques (MOP , MO et MMN d'après la CGG 1969).....	93
Figure 69 : Coupe géoélectriques (MFG et MCD d'après la CGG 1969)	94
Figure 70 : Carte des résistivités apparentes en AB = 200 m (ANRH 2006).....	97
Figure 71 : Carte des résistivités apparentes en AB = 400 m (ANRH 2006).....	97
Figure 72 : Carte des résistivités apparentes en ab = 400 m (ANRH 2006)	98
Figure 73 : Carte des résistances transversales (ANRH 2006).....	99
Figure 74 : Coupes géoélectriques A, B et C (d'après ANRH 2006)	101
Figure 75 : Coupes géoélectriques D, E et F. (d'après ANRH 2006).....	102
Figure 76 : Coupes géoélectriques G et F. (d'après ANRH 2006)	103
Figure 77 : Coupes géoélectriques I et J. (d'après ANRH 2006).....	104
Figure 78 : Résistivité des calcaires de Témoulga (d'après ANRH 2006)	105
Figure 79 : Carte des résistivités apparentes en AB = 200 m. (ANRH 2006).....	107
Figure 80 : Carte des résistivités apparentes en AB = 450 m (ANRH 2006).....	107
Figure 81 : Carte des résistances transversales (ANRH 2006).....	108
Figure 82 : Coupes géoélectriques K, L (ANRH 2006)	109
Figure 83 : Coupes géoélectriques M,N et O (ANRH 2006)	110
Figure 84 : Coupes géoélectriques P,Q et R (ANRH 2006).....	111
Figure 85 : coupes géoélectriques S,T et U (ANRH 2006).....	112
Figure 86 : coupes géoélectriques V,W et X (d'après ANRH 2006).....	113
Figure 87 : Carte de situation des points magnétométriques (ANRH 2006).....	114

Figure 88 : Carte du champ magnétique total (ANRH 2006)	115
Figure 89 : Coupes hydrogéologiques transversales des nappes de moyen Chélif orientale	118
Figure 90 : : Coupes technique des Forages dans la plain de moyen Chélif oriental	119
Figure 91: Carte hydrogéologique do moyen Chélif oriental Mai 1969 (Pradines 1969 modifié).....	121
Figure 92: Carte hydrogéologique do moyen Chélif oriental (Extrait de la carte hydrogéologique interprétative de bassin Chélif ANRH 2008)	122
Figure 93: Courbe caractéristique $S=f(q)$	125
Figure 94: Droite débits spécifiques / Rabattement	126
Figure 95: Droite débit/ rabattements spécifiques.....	126
Figure 96: Courbe interprétative de la descente du forage E6663 Ain Defla (méthode de Jacob)	128
Figure 97: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 du forage E6663 Ain Defla (Jacob)	128
Figure 98: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 2 du forage E6 663 Ain Defla (Jacob)...	129
Figure 99: Courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres 1 et 2 et dans forage E6 663 Ain Defla , (Jacob)	130
Figure 100: Courbe caractéristique $S=f(q)$	131
Figure 101: Droite débits spécifiques / rabattement.....	131
Figure 102: Droite débits spécifiques / rabattement.....	132
Figure 103: Courbe interprétative de la descente du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de Jacob)	133
Figure 104: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de Jacob).....	133
Figure 105: courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 et dans l'espace annulaire du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de J.....	134
Figure 106: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur la nappe des grès et sables (méthode de Theis)	134
Figure 107: Courbe interprétative de la descente du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Jacob).....	135
Figure 108: Courbe interprétative de la descente dans les piézomètres 1et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Jacob).....	135
Figure 109: Courbe interprétative de la descente Piézomètre 1 et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Theis)	136
Figure 110: Courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres 1et 2 du forage E6 634 El Kherba pompage sur les deux nappes (méthode de Jacob)	136
Figure 111: courbe caractéristique $S=f(q)$	137
Figure 112: Droite débits spécifiques / rabattement.....	137
Figure 113: Droite débits spécifiques / rabattement.....	138
Figure 114: courbe interprétative de la descente du forage E6 635 El Abadia (méthode de Jacob)	139
Figure 115: courbe interprétative de la descente dans les piézomètres P1 et P2 du forage E6 635 El Abadia (méthode de Jacob)	139
Figure 116: courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres 1et 2 et dans le forage E6 635 El Abadia (méthode de Jacob)	140
Figure 117: Courbe caractéristique $S=f(q)$	140
Figure 118: Courbe interprétative de la descente du forage Sidi Bouabida (méthode de Jacob).....	141
Figure 119: Courbe interprétative de la remontée dans le forage Sidi Bouabida (méthode de Jacob)..	141
Figure 120: Courbe caractéristique $S=f(q)$	142
Figure 121: Droite débits spécifiques / rabattement.....	142
Figure 122: Droite débits spécifiques / rabattement.....	143
Figure 123: Courbe interprétative de la descente du forage E6637 Oued Fodda (méth de Jacob)	144

Figure 124: Courbe interprétative de la descente dans le piézomètre du forage E6 637 Oued Fodda (méthode de Jacob).....	144
Figure 125: Courbe interprétative de la remontée dans les piézomètres et dans le forage E6 637 Oued Fodda (méthode de Jacob).....	145
Figure 126: Variation du PH des échantillons d'eau analysé (Octobre 2012).....	146
Figure 127: Carte de localisation des points d'eaux.....	148
Figure 128: Variations des teneurs en résidu sec en fonction de la concentration des éléments majeurs (Octobre 2012).....	150
Figure 129: Répartition ponctuelle des faciès chimiques des eaux dans le MCO (octobre 2012).....	153
Figure 130: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Piper (Octobre 2012).....	156
Figure 131: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	157
Figure 132: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	158
Figure 133: Variation de l'indice de saturation en fonction du pH.....	160
Figure 134: Variations des indices de saturation.....	161
Figure 135: Evolution des indices de saturation de Gypse (IS) en fonction de Ca^{++} et SO_4^{-2}	161
Figure 136: Evolution des indices de saturation de dolomite en fonction de Ca^{++} et Mg^{+2}	162
Figure 137: Evolution des indices de saturation de la Calcite en fonction de Ca^{++}	162
Figure 138: Diagrammes des indices de saturation (par rapport aux minéraux carbonatés).....	163
Figure 139: Diagrammes des indices de saturation (par rapport aux minéraux sulfatés).....	163
Figure 140: Diagramme de Richards des eaux du moyen Chélif Octobre (2012).....	164
Figure 141: Répartition des variables dans le cercle de corrélation suivant le plan factoriel F1 et F2.....	167
Figure 142: Projection des variables et individus dans l'espace des axes 1 et 2.....	168
Figure 143: Evolution chimique temporelle des eau du forage n°6.....	169
Figure 144: Carte de découpage administratif du bassin du moyen Chélif oriental.....	171
Figure 145: Carte de la densité de population dans les communes de moyen Chélif Oriental.....	172
Figure 146: Estimation de l'évolution de la population dans le moyen Chélif oriental (2014 - 2050).....	173
Figure 147: Carte de situation des périmètres irrigués.....	174
Figure 148: Carte d'occupation du sol du la plaine de moyen Chélif oriental.....	175
Figure 149: Histogramme d'évolution de la demande en eau.....	178
Figure 150: Evolution de la demande en eau d'irrigation en fonction de la superficie irrigable.....	180
Figure 151: Evolution de la demande en eau industrielle dans le moyen Chélif orientale.....	181
Figure 152: Bilan ressource / besoins.....	182

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du moyen Chélif.....	8
Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques des principales unités hydrologiques étudiées.....	9
Tableau 3 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Ebda.....	11
Tableau 4 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Rouina-Zeddine.....	12
Tableau 05 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Tikzal.....	13
Tableau 06 : Répartition hypsométrique du bassin versant d'Oued Fodda.....	14
Tableau 07 : Altitudes caractéristiques des sous bassins étudié.....	16
Tableau 08 : Classification du relief selon La dénivelée spécifique.....	17
Tableau 09: Indices de pentes et reliefs des sous bassins.....	18
Tableau 10 : Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH).....	25
Tableau 11 : Estimation de la lame d'eau précipitée sur le bassin de Rouina Méthode de Thiessen.....	29
Tableau 12 : Précipitations mensuelles dans les bassins étudié (ANRH 1973-2013).....	31

Tableau 13 : Répartition géographique des températures moyennes (1973-2013) d'après les données de l'ANRH sur le moyen Chélif	32
Tableau 14: Tableau récapitulatif la vitesse des vents d'après P.Seltzer (1913-1938).....	34
Tableau15: Déficit d'écoulement d'après la formule de M.COUTAGNE.....	35
Tableau 16: Déficit d'écoulement d'après la formule de "M. TURC"	35
Tableau17: Déficit d'écoulement par la méthode de WUNDT	36
Tableau18: Récapitulatif des paramètres du bilan hydrologique Selon THORNTHWAITE	39
Tableau 19 : Tableau récapitulatif des résultats du Déficit d'écoulement. « P. Verdeil ».	40
Tableau20 : Tableau récapitulatif des résultats du déficit d'écoulement des 05 méthodes.....	41
Tableau 21 : Moyenne mensuelle des précipitations et températures période 1973/ 2013	41
Tableau 22 : Indice d'aridité annuel dans la région étudiée d'après " DE MARTONNE "	43
Tableau 23 : Indice d'aridité mensuel	43
Tableau 24 : Indice d'EMBERGER.....	44
Tableau 25 : Résultats de calcul de (Im) de MORAL.....	45
Tableau 26: Résultats de calcul de Indice pluviométrique mensuel (Im) de MORAL	46
Tableau 27 : Résultats du ruissellement et d' infiltrations.....	47
Tableau 28: Apports annuels en Hm ³ /an	49
Tableau 29 : Ajustement des Apports à la loi de Gumbel	51
Tableau 30 : Echantillons de débits maximaux	54
Tableau 31: Valeurs caractéristiques des modules interannuels.....	57
Tableau 32: Echelle des résistivités dans le moyen Chélif	84
Tableau 33: Programme des prospections géophysiques	94
Tableau 34 : Echelles des résistivités adoptées.....	95
Tableau 35 : Echelles des résistivités adoptées (Secteur II).....	105
Tableau 36: Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai de courte durée Forage Ain Defla	126
Tableau 37: Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai de courte durée Forage d' El Kherba....	131
Tableau 38 : Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai par paliers E6 635 El Abadia	137
Tableau 39: Récapitulatif des Résultats du pompage d'essai par paliers E6637 Oued Fodda.....	142
Tableau 40: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique de l'eau.....	146
Tableau 41: Paramètres physiques des échantillons d'eau analysé (Octobre 2012).....	147
Tableau 42: Concentrations des différents éléments chimiques des échantillons d'eau analysé	149
Tableau 43: Faciès chimique des eaux de la zone d'étude	152
Tableau 44: Calcul des rapports caractéristiques et de l'indice d'échange de base	155
Tableau 45: Indices de saturation des eaux souterraines.....	160
Tableau 46: Calcul des moyennes et des écart-types de la série.....	165
Tableau 47: Matrice de corrélation des éléments chimiques....	166
Tableau 48: Résultats des analyses chimiques du forage N°6.(ANRH)	168
Tableau 49: Répartition spatiale de populations dans le Moyen Chélif Oriental	172
Tableau 50: Estimation de l'évolution répartition spatiale de populations dans le moyen Chélif	173
Tableau 51: Répartition des terres agricoles,(source Directions des Services Agricoles)	174
Tableau 52: Les ressources en eaux de surface (source PNE, DRE)	176
Tableau 53: Les ressources en eaux souterraine exploitables (source PNE)	176
Tableau 54 : Mobilisation des ressources en eau potable (source DRE)	177
Tableau 55 : Mobilisation des ressources en eau potable (source DRE)	178
Tableau 56: Projection des besoins totaux en eau des terres irrigables.....	179
Tableau 57: Répartition actuelle des besoins en eau industriels (source DRE)	180
Tableau 58: Projection des besoins totaux industriels en eau dans le moyen Chélif orientale	181
Tableau 59: Récapitulatif des différents termes de bilan.....	181

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHOUR. F. BOUZELBOUDJEN. M:** Variabilité spatio-temporelle des ressources en eau en région semi-aride: application au bassin du Chélif, Algérie, Water Resources Vulnerability in Africa during the 21st Century (Proceedings of the Abidjan'98 Conference 225 held at Abidjan, Cote d'Ivoire, November 1998). IAHS Publ. no. 252.1998.
- Alain Perrodon 1957:** Étude géologique des bassins néogènes de l'Algérie occidentale. Thèse de Doctorat en sciences; Ecole Nationale de Géologie de Nancy.320P.
- BELDJOUDI. H. 2011 :** Etude de la sismicité du Nord Algérien. Thèse de Doctorat en sciences; Universitaire de Tlemcen, 148P.
- BENDJEDOU Med Yacine 20015:** Valorisation et gestion des ressources en eau en zone semi aride à aride, cas de la plaine de Ain Ousser, mémoire de Magister, Université d'Oran; 121P.
- BENSAOULA. F., et al 2008.** La mobilisation des ressources en eau : Contexte climatique et contraintes Socio-économiques (Cas De La Wilaya De Tlemcen); Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 07, Juin 2008, pp. 79-92.
- BOUANANI. A. 2004:** Hydrologie, transport solide et modélisation étude de quelques sous bassins de la tafna (NW – Algérie) Thèse de Doctorat d'Etat, Universitaire de Tlemcen, 250P.
- BOUROUBI .O .Y 2009:** Etude hydrogéologique du synclinal de la Taoura : fonctionnement et évaluation des ressources en eaux souterraines, mémoire de Magister, univ de Constantine 182 P.
- BRADAÏ. A. 2006:** Evaluation de la qualité des eaux souterraines du moyen Cheliff Application de la Géostatistique. Mémoire de Magister, Centre Universitaire de Khémis Miliana, 122p.
- CASTANY. G. 1963:** Traité pratique des eaux souterraines. Dunod Edit. Paris, 641p.
- D.PRADINS 1971 :** Etude hydrogéologique du haut et moyen Chélif. Secrétariat d'état à l'Hydraulique.163 P.
- ELMEDDAHI. Y - 2009:** Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du moyen Cheliff mémoire de Magister, Université de Chlef, 185p.
- HADJADJ. M. 2012 :** Contribution de l'hydrochimie à l'étude hydrogéologique de la nappe Mio-Plio-quaternaire du synclinal de Djelfa. Mémoire d'Ingénieur., Université d'Oran 153P.
- HAMEL. A. 2005:** Hydrogéologie des systèmes aquifères en pays montagneux à climat semi -aride. cas de la vallée d'Oued El Abiod (Aures), mémoire de Magister, univ de Mentouri Constantine 231 P.
- HAMZAOUI A. et al, 2012 :** Caractérisation de la minéralisation des eaux de la nappe des grès du Trias (S-E Tunisie) par les méthodes géochimiques et statistiques Géo-Eco-Trop., 2012, 36: 49-62
- HENNIA. K. 2007:** Contribution à la gestion qualitative des Eau souterraines dans les zones semi arides application au moyen Chélif occidentale mémoire de Magister, Université de Chlef 125P.
- J. BOULAIN 157:** Etude des sols des plaines du Chélif. Direction de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural; 549P.
- KACHI. .S. 2007:** Vulnérabilité de la nappe alluvionnaire de Tébessa-Morsott face aux polluants; Thèse de Doctorat d'Etat, Universitaire de Annaba.174P.
- KHALDI. A.2005 :** Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". Thèse de Doctorat d'Etat, Universitaire d'Oran 239P.
- KIRECHE. O. 1971:** Etude structurale du Djebel Témoulga, D.E.A.. Université Alger (inédit).
- KIRECHE. O. 1977:** Etude géologique et structurale des massifs à schistosité du Chélif (Tell Centro-Occidental).Thèse Doctorat. 3ème cycle, Université. Alger. 147 p.
- MATTAUER. M. 1958:** Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie) .Pub. Serv. Carte géol. Algérie, sér., no17, 534p.

MEDDI. M et al 2010: Etude des crues dans le bassin du Cheliff. Application de la méthode du Gradex; *Revue « Nature et Technologie »*. n° 03/Juin 2010. Pages 21 à 28.

MEGUENNI. K. REMINI B.2008: Evaluation du débit solide dans le bassin versant de Harreza (Algérie). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 07, Juin 2008, pp. 7-19.

MEHAIGUENE. M. 2005: Bilan hydrologique et ressources en eau de surface du bassin Cheliff-Zahrez, mémoire de Magister, Université de Chlef 142P.

Ministère des Ressources en Eau (ANRH) : Réalisation de Carte des Ressources en Eau Souterraines du Nord de l'Algérie (Région centre).

Ministère des Ressources en Eau 2010 : Etude d'actualisation du plan national d'eau.

Ministère des Ressources en Eau 2011 : Actualisation de la base de données pdare.sous mission 1: surveillance de la nappe du moyen Cheliff. Rapport définitif.

NASRI. A. 2015: Etude Hydrochimique du système Hydrogéologique du bassin du Hodna mémoire de Magister, Université de Mascara; 121P.

NEFRAOUL. A. 2010: La transgression carbonatée (Jurassique) sur le facies "verrucano" (Westphalo-Stephanien) du Kef en Nsour (Djebel Doui, massifs du Chélif) Mémoire d'Ingénieur., Université d'Oran 40P.

PATRICK LE GOULVEN et al 2009: Techniques de mobilisation des ressources en eau et pratiques d'utilisation en zones arides : bilans, évolutions et perspectives; *Sécheresse* vol. 20, n° 1, 2009.

POMEL. A. 1870: Description et carte géologique au 1/200 000 du massif de Miliana. *Bull. Soc. Sc. Nat. et Clim.*, Alger, p. 5-184.

REBBA. M. 2012 : Contribution a l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de la basse Soummam (wilaya de Bejaia). Mémoire d'Ingénieur., Université d'Oran 143P.

REMAOUN. M. 1995: Contribution à l'étude des formes extrêmes des écoulements dans les cours d'eaux du Cheliff (Algérie) mémoire de Magister, Université de Chlef, 175 p.

REMINI. B. 2010: La Problématique de L'eau en Algérie Du Nord; *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46.

ROUABHIA. A.E.K. DJABRI. L : L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère Miocène de la plaine d'elma el Abiod; *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 55.

SCHOELLER. H 1962: Les Eaux Souterraines. Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources. Paris: Masson et Cie. 642 p.

SUAREZ DL, WOOD JD, LESCH SM., 2006: Effect of SAR on water infiltration under a sequential rain irrigation management system. *Agric water Manage*; 86:150-64.

TOUAHIR. S 2007: Etude comparative de transport solide en suspension entre les sous bassins des Oued Zeddine et Tikzal (chélif) Ain Defla; mémoire de Magister; Ecole nationale supérieur de l'hydraulique.

W.CHAIB, N. BOUCHAHM et al : caractérisation hydrogéochimique des eaux géothermales de la nappe du continental intercalaire de la région de l'Oued Righ., *CRSTRA Journal Algérien des Régions Arides* N° Spécial 2013.