

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
et des Sciences de la Terre et de l'Univers



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

Laboratoire de recherche N° 25
Promotions des ressources minières hydriques et pédologiques

THESE

présentée par

RAHMANI Abderrahmane

en vue de l'obtention du

Doctorat en science

Filière : Sciences de la Terre

Option : Hydrogéologie

**Elaboration d'un SIG pour l'étude et la gestion
des ressources en eau dans une région aride :
Cas des bassins de la région d'Ain Sefra -Monts des Ksour-
-Algérie-**

Soutenu le : *22 Février 2018* devant le Jury composé de :

BENSALAH Mustapha	Professeur	Université Tlemcen	Président
BOUANANI Abderrazak	Professeur	Université Tlemcen	Directeur de thèse
MANSOUR Hamidi	Professeur	Université Oran II	Examineur
AZZAZ Habib	MCA	Université Mascara	Examineur

Année universitaire : 2017-2018

AVANT-PROPOS

Avant tout nous devons remercier le bon dieu qui nous a aidé à l'élaboration de ce travail.

Au terme de ce travail de recherche, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

*Un grand merci au Professeur **A. BOUANANI**, mon directeur de thèse. C'est grâce à lui que j'ai eu la chance d'effectuer ce travail. Je le remercie pour ses précieux conseils et l'aide qu'il n'a cessé de me prodiguer. Je tiens à lui formuler mon estime et ma profonde gratitude.*

Je veux rendre un chaleureux hommage à ceux qui m'ont fait l'honneur d'en constituer le jury :

*Le Professeur **Mustapha BENSALAH** qui m'a honoré en acceptant de présider le jury de ma thèse et de mettre à contribution son expérience et son savoir faire pour juger ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent à Monsieur **Hamidi MANSOUR**, Professeur à l'université d'Oran, d'avoir eu l'amabilité de juger ce travail. Qu'il daigne accepter ma reconnaissance pour l'intérêt qu'il a porté à cette thèse.*

*J'exprime aussi mes remerciements à Monsieur **Habib AZZAZ** « Maitre de conférence » Classe « A » à l'université de Mascara qui a bien voulu juger ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.*

A tous ces membres du Jury, j'adresse mes sincères remerciements.

*Il m'est agréable d'adresser mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à Monsieur **Ali KACEMI** enseignant chercheur à l'université de Tlemcen pour son aide et son soutien moral pendant ma formation et qui n'a pas hésité un seul instant à m'encourager.*

Mes vifs remerciements sont également adressés à mes amis et à tous ceux qui à des titres divers ont contribué à la réalisation de cette étude : Abdelkrim BENAMAAMAR de Tlemcen, Trody MOULAY BRAHIM de Naama, mes collègues de la Direction des ressources en eau de la wilaya de Naama, notamment les hydrogéologues.

Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont je suis redevable se voient ici vivement remerciés.

Mes pensées vont à feu Larbi FIZAZI qui n'a pu hélas voir l'aboutissement de cette étude. Le destin en a voulu autrement.

Je dédie ce travail de thèse à :

- mes parents.*
- mon épouse, à mes enfants Soumia, Hadjer et Ghofrane.*
- mes frères, sœurs, leurs enfants et leurs conjoints.*
- ma belle famille.*

A tous Merci.

RESUME

La région d'Ain Sefra, zone située au Sud Ouest Algérien, s'intègre dans les zones à climat aride avec une pluviométrie moyenne de 176 mm/an, une température annuelle de 17,3°C, ainsi qu'une évaporation intense.

Avec ses sous-bassins versants (Breidj, Tirkount, Tiout, Moghrar), faisant partie du grand ensemble hydrologique de Oued Namous, ainsi que le bassin de Asla, elle couvre une superficie de 5800 km².

Elle se distingue, en plus de son important réseau hydrographique, avec cinq grands oueds importants, par des ressources en eau souterraines, caractérisées par 03 systèmes aquifères : la nappe Quaternaire (les alluvions, la dune et les terrasses des grands oueds), la nappe des grès crétacés inférieurs et celle des grès jurassiques.

En plus de l'alimentation en eau potable, l'agriculture représente la première activité socio-économique de la région et la plus consommatrice des ressources hydriques. De nombreux puits et forages ont été créés, et le nombre n'a cessé d'augmenter d'une année à l'autre avec une demande croissante pour la création de forages de moyenne profondeur.

Face à cette situation, avec une probable surexploitation et pollution des nappes, notamment par les engrais chimiques, une étude des possibilités des systèmes aquifères s'impose.

L'objectif de l'étude vise, en plus de la connaissance du fonctionnement et des potentialités de ces aquifères, la gestion et la protection de cette ressource, qui nécessite une étude détaillée des différents éléments du bilan et des processus hydrogéologiques, leur distribution spatiale et temporelle, leur qualité physico-chimiques, ainsi que toutes les actions anthropiques qui peuvent avoir une influence qualitative et quantitative.

Cette gestion se fait par la réalisation et la mise à disposition d'outils de gestion et de planification, en utilisant un Système d'Information Géographique (S.I.G.).

L'apport du SIG permettra, en plus d'analyser et d'aider à la décision pour l'aménagement et la planification des ressources en eaux souterraines, l'établissement:

- d'une carte du potentiel hydrogéologique du bassin à partir du traitement numérique des données spatiales.
- d'une cartographie hydrogéologique de la région.
- d'une carte d'identification des zones perméables favorisant l'infiltration et la recharge artificielle des nappes superficielles (alluvionnaires et des terrasses) surexploitées. La recharge peut se faire à travers l'aménagement des zones ciblées sous forme de retenues collinaires.

Mots clés : Ain Sefra- S.I.G. – Grès crétacés inférieurs - Ressources en eau – Potentiel hydrogéologique - Gestion – Recharge

ABSTRACT

The region of Ain Sefra is situated in the South West of Algeria, belongs into arid climate zones with an average rainfall of 176 mm / year, an annual average temperature of 17,3°C, and intense evaporation.

With its sub-watersheds (Breidj, Tirkount, Tiout, Moghrar), part of the large hydrological system of wadi Namous, as well as the watershed of Asla, it covers an area of 5800 km².

In addition to its important hydrographic network with five major wadis, the region of Ain Sefra is characterized by three aquifer systems of groundwater resources: the quaternary aquifer (the alluvium, the dune and the terraces of the great wadis), the aquifer of the lower cretaceous sandstones and that of the jurassic sandstones

Beside drinking water supply, the agriculture represents the most important socio-economic activity and the most consuming of water resources in the region. Numerous wells and boreholes have been created, and the number has grown steadily year over year with increasing demand for the creation of medium depth drilling.

Face to this situation, with probable overexploitation and pollution of the aquifers particularly by chemical fertilizers, a study of the possibilities of the aquifer systems is necessary.

In addition to knowledge of the functioning and potential of these aquifers, the aim of the study is to manage and protect this resource, which requires a detailed study of the various elements of the balance sheet and hydrogeological processes, their spatial and temporal distribution, their physicochemical quality, as well as all the anthropic actions that can have a qualitative and quantitative influence.

This management is carried out through the realization and provision of management and planning tools, using a Geographical Information System (GIS).

More than analyze and assist to decision-making in the management and planning of groundwater resources, The GIS will provide:

- A hydrogeological potential map of the basin from the digital processing of spatial data.
- A hydrogeological mapping of the region.
- An identification card of the permeable zones favoring the infiltration and the artificial recharge of the superficial watertables overexploited (alluvial and terraces). The recharge can be achieved through the development of targeted areas in the form of water retentions dams.

Keywords: Ain Sefra - G.I.S. - Lower cretaceous sandstones - Water resources - Hydrogeological potential - Management - Recharge

ملخص:

تميز منطقة العين الصفراء الموجودة بالجنوب الغربي الجزائري بمناخها الجاف المتمثل بتبخر شديد مع متوسط سنوي لسقوط الأمطار بـ 176 مم ودرجة حرارة $17,3^{\circ}\text{C}$. تتربع المنطقة المتمثلة في الحوض المائي "واد الناموس" على مساحة تقدر بـ 5800 كم².

بالإضافة إلى شبكتها الهيدروغرافية الهامة، مع وجود خمسة أودية رئيسية، تتمتع المنطقة بموارد مياه جوفية هامة من ثلاث طبقات: الرباعي (الطمي، والكثبان الرملية)، الحجر الرملي الطباشيري السفلي و الحجر الرملي الجوراسي. إضافة إلى المياه الصالحة للشرب تمثل الزراعة النشاط الاجتماعي والاقتصادي الأول في المنطقة وأكبر مستهلك للموارد المائية، تم إنشاء العديد من الآبار مع الطلب المتزايد من سنة إلى أخرى. وأمام هذا الوضع مع احتمال الإستغلال المتزايد للمياه الجوفية، أصبحت دراسة إمكانيات هذا المورد أساسية لحمايتها وتسييرها.

الأمر يتطلب دراسة مفصلة عن المعلمات الهيدروجيولوجية، والجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه، وجميع الأنشطة البشرية التي يمكن أن يكون لها تأثير نوعي وكمي. ويتم ذلك من خلال إنشاء وتوفير أدوات التسيير والتخطيط، وذلك باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (S.I.G.).

بالإضافة إلى التحليل والمساعدة في اتخاذ القرار، يساهم نظام المعلومات الجغرافية لتطوير وتخطيط موارد المياه الجوفية بعد جمع عدد مهم من البيانات المتعلقة بالمعطيات الهيدروجيولوجية مع إنشاء:

- خريطة الإمكانيات الهيدروجيولوجية للووض بالمعالجة الرقمية للبيانات المكانية.
- خريطة هيدروجيولوجية للمنطقة.
- خريطة للمناطق ذو نفاذية هامة يا مكانها تعبئة الطبقة المائية السطحية ذو الإستغلال المفرط. تكون تعبئتها من خلال تطوير المناطق المستهدفة على شكل سدود صغيرة.

الكلمات الرئيسية: عين الصفراء - نظام المعلومات الجغرافية (S.I.G.) - الحجر الرملي الطباشيري - الموارد المائية - الإمكانية الهيدروجيولوجية - التسيير - تعبئة

TABLE DES MATIERES

	Page
AVANT PROPOS	01
RESUME	03
SOMMAIRE	06
LISTE DES FIGURES	11
LISTE DES TABLEAUX	15

PREMIERE PARTIE

CONSIDERATIONS GENERALES	17
I) INTRODUCTION GENERALE ET OBJET DE L'ETUDE	18
II) PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	20
III) CLIMATOLOGIE	20
III-1) - INTRODUCTION	22
III-2) ETUDE DES PRECIPITATIONS	22
III-2-1) Répartition des précipitations moyennes annuelles a la station d'Ain Sefra (période 1979/80-2012/13).	22
III-2-2) Précipitations mensuelles.	23
III-2-3) Analyse statistique des précipitations	24
a) Ajustement des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (1979/80 et 2012/13)	25
b) Ajustements graphiques :	25
c) Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée	26
III-3) - ETUDE DES TEMPERATURES	28
III-3-1) Les températures moyennes annuelles	28
III-3-2) Les moyennes mensuelles	29
III-4) ETUDE DU CLIMAT	30
III-4-1) Courbe pluviothermique (P = 2T)	30
III-4-2) Les indices climatiques	30
III-4-2-1) indice d'aridité de De Martonne	31
III-4-2-2) indice climatique d'Emberger	32
III-4-2-3) indice de Stewart	34

III-5) EVAPORATION ET DEFICIT D'ECOULEMENT	34
III-5-1) Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	34
- Méthode de THORNTHWAITE	34
III-5-2) Calcul de l'évapotranspiration réelle	35
- Méthode de WUNDT	35
- Méthode de TURC	36
- Méthode de VERDEIL	36
III-5-3) Estimation du bilan (1979/80 - 2012/13)	37
• Le ruissellement :	37
• Estimation de la lame d'eau infiltrée :	37
IV) HYDROLOGIE	37
IV-1) DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT :	38
IV-1-1) Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du bassin d'Ain Sefra	38
IV-1-1-1) Paramètres géométriques du bassin versant :	38
a) – Surface du B.V	38
b) – Indice de compacité	39
c) –Rectangle équivalent	39
IV-1-1-2) Paramètres de relief:	40
IV-2) CARACTERISTIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT :	46
IV-2-1) Densité de drainage :	46
IV-2-2) Temps de concentration des eaux:	47
IV-3) PARAMETRES GEOLOGIQUES	48
IV-4) ESTIMATION DE LA LAME ECOULEE ET L'APPORT	50
IV-4-1) L'écoulement moyen annuel	50
IV-4-2) Le coefficient d'écoulement	51
V) CONCLUSION	52
DEUXIEME PARTIE	
HYDROGEOLOGIE	
I) APERCU GEOLOGIQUE :	55
I-1) STRATIGRAPHIE	55

I-1-1) LE TRIAS	56
I-1-2) LE JURASSIQUE	56
I-1-3) LE PASSAGE JURASSIQUE - CRETACE	57
I-1-4) LE CRETACE INFERIEUR	57
I-1-5) LE CENOMANO-TURONIEN	58
I-1-6) LE TERTIAIRE CONTINENTAL	60
I-1-7) LE QUATERNAIRE	60
I-2) TECTONIQUE	60
I-3) CADRE GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE	62
I-3-1) REGION « AIN SEFRA ET TIOUT »	62
I-3-2) REGION « SIDI BRAHIM »	66
I-3-3) REGION « ROSFA HAMRA – RHOUIBA »	67
I-3-4) REGION « SFISSIFA-BENHANDJIR »	69
I-3-5) REGION « ASLA – REMTHA »	70
I-3-6) REGION « DJENIEN BOUREZG »	71
II) GEOPHYSIQUE	72
II-1) LA REGION « TIRKOUNT- EL HENDJIR »	73
II-2) LA REGION « SIDI BRAHIM » (MOGHRAR)	74
III) CADRE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION	75
- les grès du Jurassique supérieur	78
- Les grès massifs du Crétacé inférieur	78
La source thermique de Ain Ouarka	82
IV) HYDRODYNAMIQUE:	83
IV -1) LA PIEZOMETRIE:	84
IV-1-1) La zone de Benhandjir – Skhouna – Garet Kheil – Tirkount	85
IV-1-2) La zone de Slih – Maader – Asla	86
IV-1-3) La zone de Rosfa Hamra- Djenien Bourezg- Sidi Brahim	87
IV-1-4) La nappe alluvionnaire	89
- La piézométrie de la nappe alluvionnaire d'Ain Sefra	90
- Estimation du bilan de la nappe des dunes et des alluvions :	91
IV-2) LA TRANSMISSIVITE	91
V) HYDROCHIMIE	92
V-1) INTERPRETATION DES RESULTATS	93

V-2) LA MINERALISATION :	94
V-3) LES FACIES CHIMIQUES	99
V-4) TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES HYDROCHIMIQUES	100
V-4-1) Etude statistique en composante principale	100
V-4-2) Analyse en composante Principale (ACP)	102
V-4-3) Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)	106
V-5) HYDROCHIMIE DE LA NAPPE ALLUVIONNAIRE D'AIN SEFRA	109
V-6) HYDROCHIMIE DE LA SOURCE THERMALE DE AIN OUARKA	111
VI) CONCLUSION	112

TROISIEME PARTIE

APPORT DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUES	114
(S.I.G.)	
I) DEFINITION ET FONCTIONNALITES D'UN SYSTEME D'INFORMATION	115
II) LOGICIEL S.I.G. UTILISE.	117
III) METHODOLOGIE DE TRAVAIL.	118
III-1) COLLECTE DE DONNEES	118
III-2) LA GEODATABASE	119
III-3) LE GEOREFERENCEMENT ET LA NUMERISATION DES CARTES	121
III-4) LA VISUALISATION DES DONNEES SOUS MAPINFO 6.5	124
IV) ELABORATION DES RESULTATS.	124
IV-1) TOPOGRAPHIE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE	125
IV-2) ELABORATION D'UN MODELE GEOLOGIQUE	127
IV-3) GEOMETRIE DE L'AQUIFERE	130
IV-3-1) Région Benhandjir - Tirkount	130
IV-3-2) Région de Remta (Asla)	131
IV-3-3) Région de Rosfa Hamra - Rhouiba	133
IV-4) Elaboration des cartes hydrodynamiques	134
IV-4-1) Carte piézométrique MNT	134
IV-4-2) Carte des Transmissivités	136
IV-4-3) Le gradient hydraulique	138
V) METHODE DE MODELISATION SPATIALE DES POTENTIALITES EN RESSOURCES EN EAU	138

V-1) ELABORATION D'UNE CARTE DE PENTE	139
V-2) ÉLABORATION D'UNE CARTE DE PERMEABILITE DE SURFACE POUR LA ZONE D'ETUDE	140
V-3) REPRESENTATION TRIDIMENSIONNELLE DE LA CARTE D'INFILTRATION	141
V-4) ELABORATION D'UNE CARTE DE DENSITE DE DRAINAGE	143
V-5) ELABORATION D'UNE CARTE DE DENSITE DE LINEAMENTS	144
V-6) DEBIT DE LA NAPPE	145
VI) ANALYSES THEMATIQUES ET REQUETES.	147
VI-1) ANALYSES THEMATIQUES	147
VI-1-1) Le débit	147
VI-1-2) La minéralisation	148
VI-1-3) Les éléments physico-chimiques	150
- Calcium, Sodium, Chlorures et Sulfates	150
- Les Nitrates	151
VI-1-4) La Potabilité	152
VI-1-5) Qualité des eaux à des fins d'irrigation	154
VI-2) LES REQUETES	155
VI-3) FUSION ET SUPERPOSITION DE DONNEES	159
VII) CONCLUSION	167
CONCLUSION GENERALE	168
LISTE DES TABLEAUX ANNEXES	174
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	193

LISTE DES FIGURES

	Page
Fig.1: Situation du secteur d'étude.....	21
Fig.2: Précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra.....	23
Fig.3: Précipitations moyennes mensuelle.....	24
Fig.4a: Ajustement à une loi Normale.....	25
Fig.4b: Ajustement à une loi Log normale.....	26
Fig.4c: Ajustement à une loi racine normale.....	26
Fig.5: Températures moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra.....	28
Fig.6: Variations des températures moyennes mensuelles.....	29
Fig.7: Courbe pluviothermique.....	30
Fig.8: Indice d'aridité de De Martonne.....	31
Fig.9: Climagramme d'Emberger.....	33
Fig.10: Evaluation du déficit d'écoulement d'après WUNDT.....	35
Fig.11: Abaque de VERDEIL.....	36
Fig.12: Carte hypsométrique du bassin versant d'Ain Sefra.....	38
Fig.13: Bassin Oued Breidj et la courbe hypsométrique.....	40
Fig.14: Bassin Oued Tirkount et la courbe hypsométrique.....	41
Fig.15: Bassin Oued Tiout et la courbe hypsométrique.....	42
Fig.16: Bassin Oued Moghrar et la courbe hypsométrique.....	43
Fig.17: Histogrammes de fréquence altimétrique et courbes représentatives des bassins versants de la région d'Ain Sefra.....	45
Fig.18: Carte du réseau hydrographique.....	47
Fig.19: Les apports moyens annuels à la station de Ain Hadjadj.....	50
Fig.20: Coupe de la « Formation de Tiout » (Kacemi 2013).....	59
Fig.21: Les grands alignements dans la région d'étude (Galmier 1972 + CGG 1974).....	61
Fig.22: Carte de linéaments globale issue des images satellitales et des quatre cartes photogéologiques rassemblées (Kacemi 2013).....	62
Fig.23: Carte géologique de la région d'Ain Sefra (Galmier 1972 –digitalisée).....	63
Fig.24: Coupe géologique Hendjir – Maader.....	63
Fig.25: Coupe géologique Garet Kheil – Skhouna.....	64
Fig.26: Coupe géologique montrant le rétrécissement du Synclinal.....	64
Fig.27: Coupe géologique au niveau de Slih.....	65

Fig.28: Coupe géologique au niveau de Maader.....	65
Fig.29: Coupe géologique passant par El Hendjir.....	66
Fig.30: Carte géologique de la région de Sidi Brahim (Galmier 1972).....	66
Fig.31: Coupe géologique AA' au niveau du bassin Sidi Brahim.....	67
Fig.32: Carte géologique de la région de Rosfa Hamra - Rhouiba (Galmier 1972).....	67
Fig.33: Coupes géologiques au niveau du bassin Sam – Rhouiba.....	68
Fig.34: Carte géologique de la région de Sfisifa (Galmier 1972).....	69
Fig.35: Coupe géologique de la zone de Sfisifa passant par Sidi Maamar.....	69
Fig.36: Carte géologique de la région de Asla -Remtha (Galmier 1972).....	70
Fig.37: Coupe géologique au niveau du synclinal Remtha.....	71
Fig.38: Carte géologique de la région de Djenien Bourezg (Galmier 1972).....	71
Fig.39: Coupe géologique au niveau du synclinal de Djenien Bourezg.....	72
Fig.40: Carte du toit du Jurassique sup. (Tirkount – El Hendjir) (CGG 1974).....	73
Fig.41: Coupes géoélectriques (CGG 1974).....	74
Fig.42: Coupe géoélectrique de la région de Sidi Brahim (Belyï 1971).....	75
Fig.43: Carte de localisation des points d'eau.....	76
Fig.44: Coupe hydrogéologique schématique Djebel Hairech, Dir Hirech, Djebel Mekter	77
Fig.45: Essai de corrélation des coupes de forages de la région d'Ain Sefra.....	79 -80
Fig.46: Coupes lithostratigraphiques de quelques forages de la zone d'étude.....	81
Fig.47: Coupes schématiques montrant les conditions d'émergences des sources.....	82
Fig.48: Les pointements triasiques et formations Jurassique à Ain Ouarka.....	83
Fig.49: Coupe schématique montrant les conditions d'émergences de la source de Ain Ouarka.....	83
Fig.50: Piézométrie « Benhandjir – Skhouna – Garet Kheil – Tirkount » (Octobre 2012).	86
Fig.51: Piézométrie « Slih-Maader-Asla » (Octobre 2012).....	87
Fig.52: Piézométrie « Rosfa Hamra- Djenien Bourezg- Sidi Brahim » (Octobre 2012)...	88
Fig.53: Diagramme de la nappe alluvionnaire d'Ain Sefra.....	89
Fig.54 : Piézométrie nappe alluvionnaire (Saïd 1983).....	90
Fig.55: Teneurs moyennes en éléments majeurs des nappes (Crétacé inf.,Jurassique sup.)	93
Fig.56: Carte d'iso minéralisation des différentes gouttières synclinales.....	97-98
Fig.57: Histogramme comparatif des facies chimiques des nappes (Crétacé inf. et Jurassique sup).....	100
Fig.58: Cercle de corrélation : axe F1, F2 et variables.....	104
Fig.59: Projection des individus (points d'eau) sur le plan factoriel (F1 x F2).....	105

Fig.60: Classification ascendante hiérarchique des variables.....	107
Fig.61: Dendrogramme visualisant le regroupement progressif des observations.....	108
Fig.62: Dendrogramme après troncature.....	109
Fig.63: Classification de Schöeller et Berkallof des points d'eau de la nappe alluvionnaire (Ain Sefra).....	110
Fig.64 : Carte de minéralisation (nappe alluvionnaire).....	110
Fig.65 : Classification de Schöeller et Berkallof « Source de Ain Ouarka ».....	111
Fig.66 : Synthèse de la méthode de réalisation des cartes.....	120
Fig.67: Choix du système de projection.....	122
Fig.68 : Calage de la carte topographique.....	123
Fig.69: Calage de la carte géologique.....	123
Fig.70: Interface de la visualisation des données.....	124
Fig.71: Modèle topographique de la région d'étude avec les bassins versants.....	126
Fig.72: Carte du réseau hydrographique (Breidj -Tirkount).....	127
Fig.73: Modèle géologique tridimensionnel.....	129
Fig.74a-b: Un bloc diagramme géologique et corrélation lithostratigraphique de direction NW-SE « Benhandjir-Tirkount ».....	131
Fig.75a-b: Un bloc diagramme géologique et corrélation lithostratigraphique « Remta ».....	132
Fig.76a-b: Un bloc diagramme géologique et corrélation lithostratigraphique « Rosfa Hamra-Rhouiba ».....	133
Fig.77: Piézométrie tridimensionnelle de la région d'étude.....	134
Fig.78: Piézométrie tridimensionnelle (Région Tirkount).....	135
Fig.79: Répartition statistique des transmissivités.....	137
Fig.80: Analyse thématique de la transmissivité.....	137
Fig.81: Carte thématique du gradient hydraulique.....	138
Fig.82: Interface de visualisation de la carte pente.....	139
Fig.83: Interface de visualisation de la carte de perméabilité de surface.....	141
Fig.84: Vue tridimensionnelle des zones d'infiltration (Bassin Oued Breidj et Tirkount).....	142
Fig.85: Vue tridimensionnelle des zones d'infiltration (Bassin Oued Tiout).....	143
Fig.86: Interface de visualisation de la carte de densité de drainage (km/km ²).....	144
Fig.87: Carte de densité de linéaments (km/km ²).....	145
Fig.88: Interface de visualisation de la carte du débit de la nappe.....	146
Fig.89: Répartition spatiale des valeurs de débit (l/s).....	148
Fig.90: Répartition spatiale de la minéralisation (mg/L).....	149

Fig.91: Corrélation entre le Sodium et les chlorures.....	150
Fig.92: Corrélation entre les Sulfates et le Calcium.....	151
Fig.93: Carte des nitrates.....	152
Fig.94: Histogramme de la potabilité des eaux.....	154
Fig.95: Histogramme des eaux d'irrigation.....	155
Fig.96:L'interface SQL de Mapinfo 6.5.....	156
Fig.97: Carte de sites des zones favorables pour l'AEP.....	158
Fig.98: Superposition carte thématique « débit » et structurale.....	159
Fig.99: Superposition piézométrique et structurale.....	160
Fig.100: Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Garet Kheil – Tirkount ».....	161
Fig.101: Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Maader».....	162
Fig.102: Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Remtha ».....	162
Fig.103: Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Sfissifa ».....	163
Fig.104: Colonne hydrogéologique du système aquifère Crétacé Inferieur.....	164
Fig.105: Carte des zones très favorables pour les forages d'AEP (Vue tridimensionnelle)	166

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Caractéristique de la station météorologique d’Ain Sefra.....	22
Tableau 2 : Ecart maximums moyens des précipitations annuelles dans la station d’Ain sefra durant la période (1913-1938) et la période (1979-2012).....	23
Tableau 3: Données des précipitations moyennes mensuelles (1979/80 – 2012/13).....	23
Tableau 4: Paramètres principaux.....	25
Tableau 5: Températures mensuelles : minimum, maximum et moyenne.....	29
Tableau 6: Températures et des précipitations moyennes mensuelles.....	30
Tableau 7: Valeurs d’indice d’aridité mensuelles.....	32
Tableau 8: Valeurs de l’ETP.....	35
Tableau 9: Eléments du bilan.....	37
Tableau 10: Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du bassin d’Ain Sefra.....	40
Tableau 11: Répartition hypsométrique du bassin d’oued Breidj.....	41
Tableau 12: Répartition hypsométrique du bassin d’oued Tirkount.....	42
Tableau 13: Répartition hypsométrique du bassin d’oued Tiout.....	43
Tableau 14: Répartition hypsométrique du bassin d’oued Moghrar.....	44
Tableau 15: Caractéristique morphométrique du bassin d’Ain-Sefra.....	48
Tableau 16: Répartition des différentes formations.....	49
Tableau 17: Classification d’après l’O.R.S.T.O.M.....	49
Tableau 18: Lamé d’eau écoulée et apport moyen annuel des bassins versants de la région d’Ain Sefra.....	51
Tableau 19: Bilan hydrologique moyen.....	52
Tableau 20: les teneurs moyennes en éléments majeurs de la nappe exprimées en meq/L.....	93
Tableau 21: Répartition des ions (max – moy – min).....	94
Tableau 22: Fréquences des faciès chimiques des nappes.....	99
Tableau 23: Données de la série.....	101
Tableau 24 : Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques.....	101
Tableau 25: Valeurs propres des axes et leurs contributions.....	102
Tableau 26: Corrélation entre les variables et les axes.....	103
Tableau 27 : Analyse physico-chimique de la source de Ain Ouarka.....	111
Tableau 28: Les composantes thématiques de la géodatabase.....	119

Tableau 29: Système de référence géographique et planimétrique.....	122
Tableau 30: Porosité, perméabilité et coefficient d'infiltration de certaines roches réservoirs...	140
Tableau 31: Les valeurs de débits de la nappe.....	146
Tableau 32: Normes Algériennes de potabilité	152
Tableau 33: Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines.....	153
Tableau 34: Classification des eaux d'irrigation selon les chlorures et les sulfates.....	154
Tableau 35: Classes des requêtes.....	161
Tableau 36: Données hydrochimiques zone Garet Kheil-Tirkount.....	161
Tableau 37: Données hydrochimiques zone Maader.....	157
Tableau 38: Données hydrochimiques zone Remtha.....	163
Tableau 39: Données hydrochimiques zone Sfissifa.....	163
Tableau 40: Zones à exploiter pour l'Alimentation en Eau Potable.....	165

PREMIERE PARTIE

**CONSIDERATIONS
GENERALES**

I) INTRODUCTION GENERALE ET OBJET DE L'ETUDE

Depuis l'aube de l'humanité, l'eau est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique et à l'épanouissement et aux comforts de l'humanité. Cependant, les ressources en eau sont profondément liées aux précipitations qui sont peu importantes par endroit, mal réparties et d'une irrégularité extrême. En conséquent, et à l'échelle planétaire, les problèmes liés à l'eau sont désormais aptes à devenir plus complexes dans le futur, en raison de la poussée démographique et les besoins qu'ils lui sont associés surtout le caractère instable et variable des régimes pluviométriques liés à la péjoration climatique. Pour cela, la gestion de l'eau a pour rôle de trouver le bon équilibre entre ressource et usage.

Assurer le développement durable d'une région, c'est avant tout garantir à cette dernière une disponibilité en eau compatible avec ses capacités de développement social et économique.

A l'instar des villes situées en milieu semi-aride, la disponibilité de l'eau a toujours été au centre des préoccupations des collectivités locales de la zone d'Ain Sefra. Elle constitue un facteur déterminant pour le développement économique et social de la région.

La région étant à vocation agricole, de nombreux puits et forages ont été réalisés depuis la mise en place en l'an 2010 du fond national du développement et de la régularisation agricole (FNDRA). Le nombre de puits et forages, d'un volume annuel estimé à 50 Hm³, n'a cessé d'augmenter d'une année à l'autre (plus de 750 points d'eau – source Direction des Ressources en Eau -Naama-) avec une demande croissante pour une éventuelle création et extension des périmètres irrigués, en plus de l'alimentation en potable (AEP) pour une population estimée à 80 000 habitants. Ce dernier secteur est considéré comme prioritaire. En fait presque tous les centres habités de la zone d'étude sont alimentés en eau potable par les nappes profondes de la région. Le volume annuel exploité a montré une hausse, en passant de 6,65 Hm³ en 2000 à 17,25 Hm³ en 2012.

Cette situation nécessite un programme pour l'étude et la gestion des disponibilités en eaux superficielles et souterraines dans cette région qui appartient à l'étage climatique aride à semi-aride, caractérisée par l'irrégularité et la rareté des précipitations.

Faisant partie du cœur de l'Atlas Saharien occidental, la région d'Ain Sefra dont l'histoire est étroitement liée à la ressource en eau et aux différents modes de sa mobilisation, constitue un très bon exemple pour comprendre les phénomènes hydrogéologiques qui

régissent les écoulements souterrains, leur origine ainsi que le chimisme lié principalement à la zonalité géologique de la région.

La ressource en eau souterraine de la région d'Ain Sefra est répartie principalement sur trois (03) nappes aquifères, à savoir la nappe des grès du Jurassique supérieur, du Crétacé inférieur et celle du Quaternaire alluvionnaire et dunaire. La nappe des grès du Crétacé inférieur, dont les exutoires donnent naissance à d'importantes émergences, constitue la ressource souterraine la plus importante de la région.

Ce travail, porte principalement sur l'étude du système aquifère des grès Crétacés Inférieurs des gouttières synclinales de GARET KHEIL –TIRKOUNT, BENHANDJIR-SKHOUNA, SLIH-MAADER, ASLA, SIDI BRAHIM, ROSFA HAMRA-AMAR et DJENIEN BOUREZG-UGLATS, en utilisant le Système d'Information Géographique (SIG).

En effet le SIG est considéré parmi les meilleurs outils les plus utilisés actuellement. Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés. On peut citer la planification urbaine, les forêts (cartographie pour l'aménagement), la géologie (prospection minière), l'hydrologie et les ressources en eau. Le rôle et le fondement principal de ce dernier c'est qu'il est capable de rassembler dans une même base de données des informations autrefois dispersées. Il offre la possibilité de description des organisations spatiales et favorise la mise à jour des données, et la restitution des cartes thématiques. L'objectif final est de servir d'outil pour la planification des ressources à travers la réalisation d'une base de données thématiques et spatiales.

Dans le système que l'on se propose de mettre en place, pour l'étude des ressources en eaux souterraines de la région d'Ain Sefra, l'innovation vient du fait d'introduire et de croiser des données hydrologique, géologique, hydrogéologique et hydrochimique.

Les possibilités d'analyse permettent de choisir des données de sources diverses et apportent une solution simple au traitement des données spatialement référencées ou non. Les résultats peuvent être présentés sur des cartes. Les SIG permettent de mettre en évidence et d'expliquer des liens complexes que d'autres moyens ne permettent pas d'élucider ou d'observer facilement. Au lieu d'utiliser des cartes en deux dimensions, les logiciels SIG permettent de développer des vues en trois dimensions que l'on utilise par la suite dans des applications avancées, telle que la réalité virtuelle. Ils permettent de concevoir des approches

globales en matière de gestion des ressources en eaux et servent comme outil d'analyse et d'aide à l'implantation d'éventuels forages dans les zones étudiées.

II) PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Située au Sud Ouest de l'Algérie (Fig. 1), la zone d'étude couvre une superficie totale de l'ordre de 5800 km² (coordonnées UTM : 683,245 < X < 770,385 km et 3545,850 < Y < 3664,125 km).

La région d'étude appartient au domaine atlasique occidental dont la ville la plus importante est Ain Sefra.

Elle se trouve à la limite méridionale des Hauts plateaux et du Sahara, et se présente généralement sous forme d'un parallélogramme traversé en diagonale du Nord-Est au Sud Ouest par une chaîne montagneuse enserrant au Nord-Est des plaines assez importantes (dépression de Ain Benkhellil, plaine de Mekmen Ben Amar) au Sud Est une zone saharienne (région de Bechar).

Cette chaîne montagneuse formant l'extrémité occidentale de l'Atlas Saharien appelée « Monts des Ksour » se termine à l'Est par El Bayadh et à l'Ouest par Beni-Ounif.

Le centre d'Ain Sefra se trouve dans le fond d'un couloir montagneux formé par Faidjet El Bettoum séparant les deux grands Djebels parallèles de Aïssa et Morhad orientés Nord Est, Sud Ouest.

Le fond du couloir étant formé par le massif du Mekter et le Djebel Aïssa s'étend sur 32 km de long, où on observe une disposition assez régulière du style Atlasique.

L'extrémité Nord s'abaisse à l'Est de Mekalis où le prolongement du massif s'effectue par le Djebel Tifkirt. Le Djebel Mekter long de 30 km et large de 20 km, domine Ain Sefra au Sud, dont il n'est séparé que par un cordon de dune. Il culmine à Ras Ech Chergui (2062 m) vers l'Est, il s'abaisse lentement en se coffrant jusqu'à la route Ain Sefra - Bechar (Fig.1).

Morphologiquement, les monts des Ksour se distinguent par leurs reliefs très élevés avec certains sommets qui culminent à plus de 2000m d'altitude, comme le Djebel Aïssa (2236m), M'zi (2167m), Mekter (2053m) et le Mir El Djebel (2109m), parsemés de petites vallées et terrasses alluviales occupées par des oasis à l'image de : Tiout, Moghrar, Sfissifa, Asla.

Les principales localités en plus d'Ain Sefra sont, Tiout, Asla, Sfissifa, Moghrar et Djenien Bourezg.

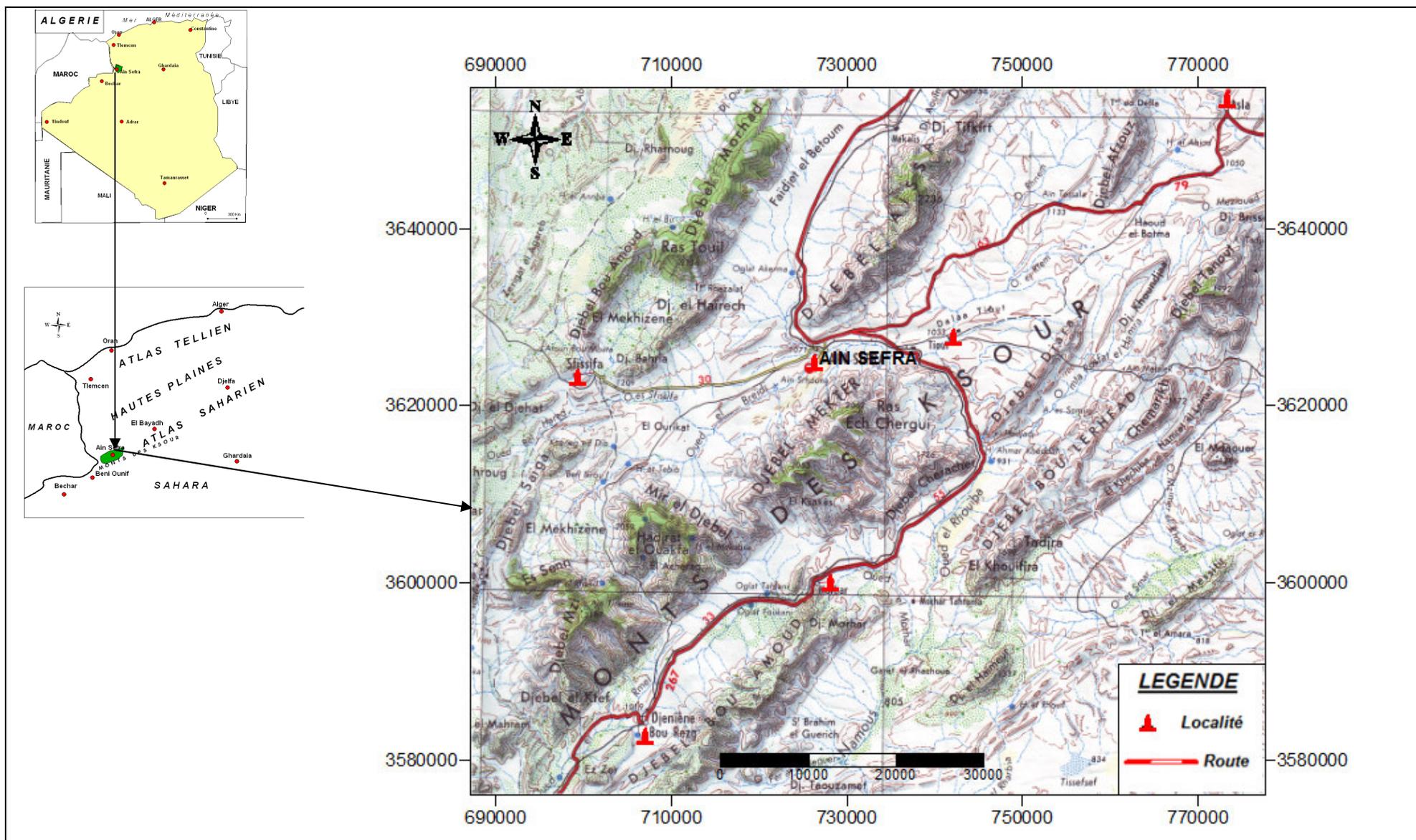


Fig. 1 - Situation du secteur d'étude (Carte Aïn Sefra 1/500 000)

III) CLIMATOLOGIE

III-1) - INTRODUCTION

Les paramètres hydroclimatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique, car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

L'étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques : températures et précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique d'Ain Sefra, dont les caractéristiques sont représentées au tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Caractéristique de la station météorologique d'Ain Sefra

Station	Code	X m (UTM)	Y m (UTM)	Altitude (Z)
Ain Sefra	605600	724838	3626956	1058 m

III-2) ETUDE DES PRECIPITATIONS

III-2-1) Répartition des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (période 1979/80-2012/13).

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station d'Ain Sefra pour la période allant de 1979/80 à 2012/13, sont mentionnées au tableau (Annexe 1).

Dans la station d'Ain Sefra nous avons noté quatre phases. La première de 1979 à 1982 est caractérisée par des précipitations variables oscillant entre 63,9 et 218 mm. La seconde phase de 1983 à 1991 enregistre une tendance plus au moins positive des précipitations moyennes annuelles, la troisième phase de 1991 à 2007 la pluviométrie est à la baisse avec une tendance négative, quant à la dernière phase de 2008 à 2012 elle est en nette augmentation.

La variation interannuelle des précipitations (Fig.2), montre deux années exceptionnelles correspondantes à 1991/92 et 2008/09 avec respectivement 376,92 et 375,93 mm, alors que le minimum est de 39.9 mm pour 2000/01. La moyenne interannuelle est de 176 mm. D'après les données de SELTZER (1946), au cours de la période (1913/14 – 1938/39) un écart maximum de 12 mm est enregistré à Ain Sefra. Cependant, l'analyse des données pendant la période récente (1979/80-2012/13) a révélé que la variabilité des précipitations annuelles est plus accentuée. A cet effet, l'écart maximum est passé de 12 mm à 136,1 mm pour la station d'Ain-Sefra (Tableau 2).

Tableau 2 : Ecart maximums moyens des précipitations annuelles dans la station d'Ain Sefra durant la période (1913-1938) et la période (1979-2012).

Station	Période Seltzer (1913/14- 1938/39)			Période 1979/80 – 2012/13		
	P minimales (mm)	P moyennes (mm)	Ecart maximum (mm)	P minimales (mm)	P moyennes (mm)	Ecart maximum (mm)
Ain Sefra	180	192	12	39.90	176	136,1

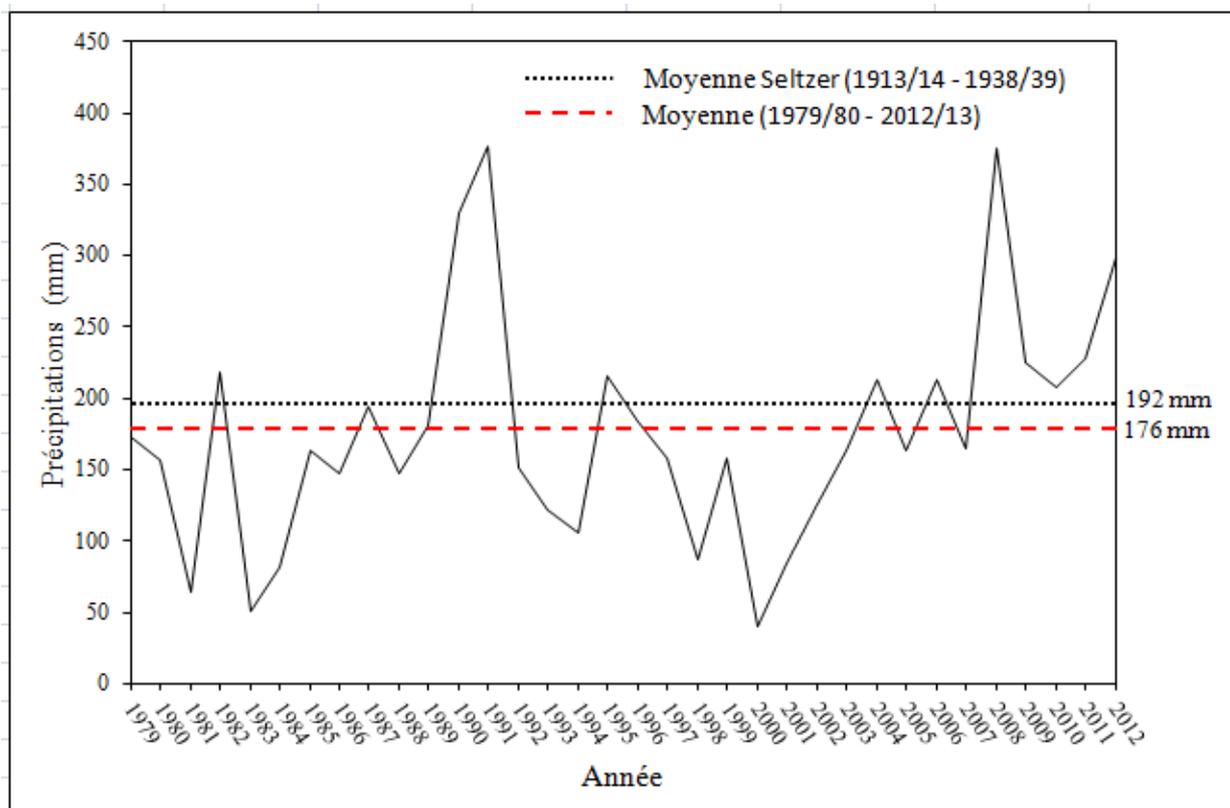


Fig. 2 : Précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra

III-2-2) Précipitations mensuelles :

Le tableau 3 et la figure 3 montrent la répartition des précipitations moyennes mensuelles.

Tableau 3: Données des précipitations moyennes mensuelles (1979/80 – 2012/13)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Total Annuel
P (mm)	10,6	19,7	16,8	10,3	16,6	14,7	25,1	17,9	23,7	8,8	4,4	7,6	176

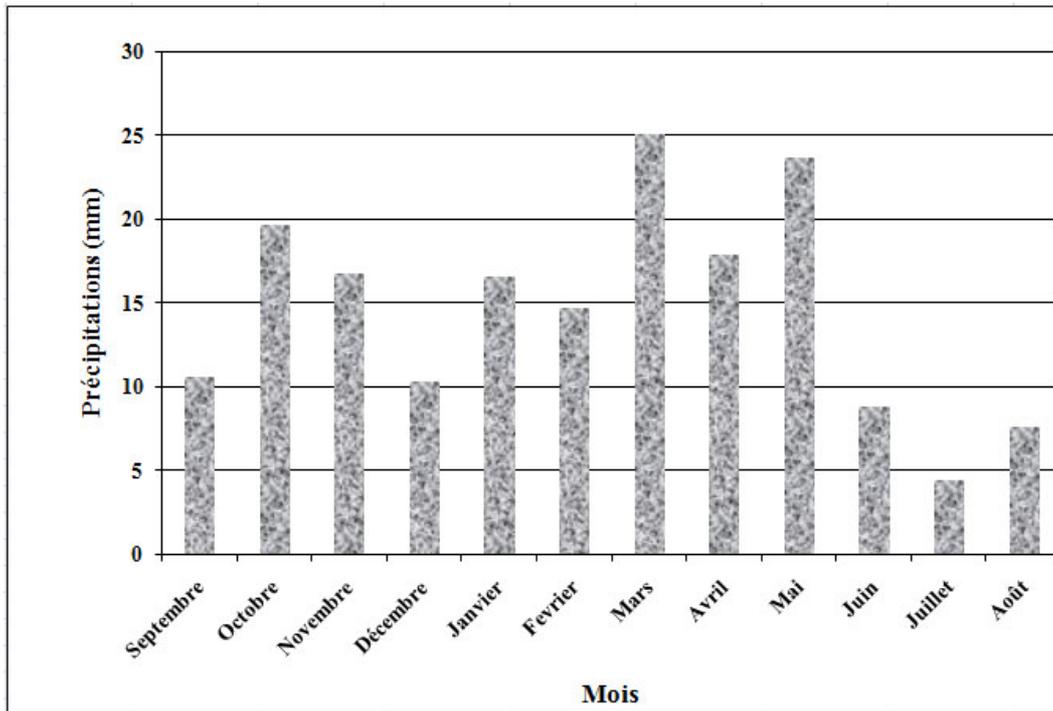


Fig. 3 : Précipitations moyennes mensuelles

- La pluviométrie moyenne annuelle de la période est de 176 mm.
- Le mois le plus pluvieux Mars, avec une valeur de 25,1 mm, tandis que le plus sec est le mois de Juillet avec une valeur de 4,4 mm.

III-2-3) Analyse statistique des précipitations

L'analyse statistique d'une série d'observation peut être opérée après un laps de temps suffisamment long pour que l'échantillon dont on dispose soit représentatif.

L'analyse statistique des précipitations vise à définir les régimes à travers certaines valeurs représentatives.

On détermine de la sorte :

- Les valeurs moyennes, tendances centrales ou dominantes (moyenne, médiane)
- Les lois de distribution statistiques (loi normale, log-normale, racine)
- les valeurs extrêmes qui représentent les valeurs que prendront les précipitations pour une probabilité choisie à l'avance.

L'ensemble de ces valeurs ponctuelles, condensées sous forme statistique, est utilisé pour déterminer la fréquence et les caractéristiques d'un événement pluvieux isolé ou encore pour étudier la variabilité de la pluviométrie dans l'espace.

a) Ajustement des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (1979/80 et 2012/13)

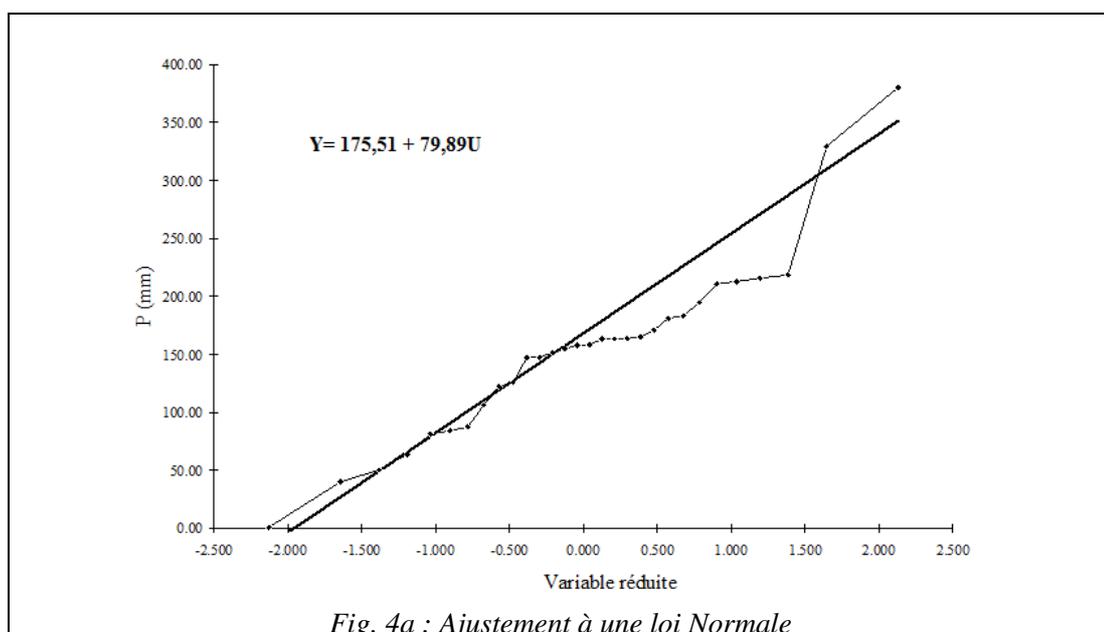
Notre traitement statistique des séries d'observation portera sur les précipitations annuelles par l'ajustement graphique selon les lois normales, log-normale et racine. Les précipitations moyennes annuelles sont classées suivant une distribution ordonnée en terme croissant (tableau Annexe 2).

b) Ajustements graphiques :

Nous avons pu déterminer les paramètres principaux (tableau 4), ainsi que les équations de droites, à partir desquelles nous avons tracé les courbes (fig.4 a-b-c), suivant les lois : Normale, Log Normale et Racine normale. C'est la loi Log Normale qui donne la meilleure distribution des valeurs de P. Donc l'ajustement de la distribution suit une loi log normale.

Tableau 4 : Paramètres principaux

Paramètres	Loi Normale	Loi Log Normale	Loi Racine
\bar{P} (variable)	175,51	5,05	12,89
Σ (Ecart Type)	79,98	0,51	3,04
Equation de la droite	$Y = 175,51 + 79,98 U$	$\text{Log } Y = 5,05 + 0,51 U$	$\sqrt{Y} = 12,89 + 3,04 U$



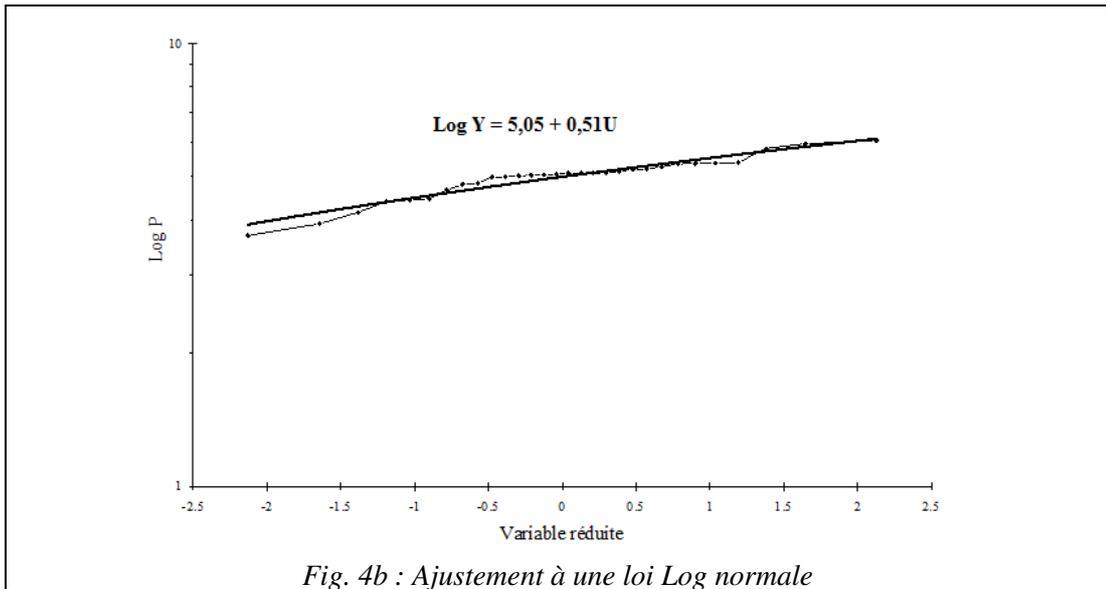


Fig. 4b : Ajustement à une loi Log normale

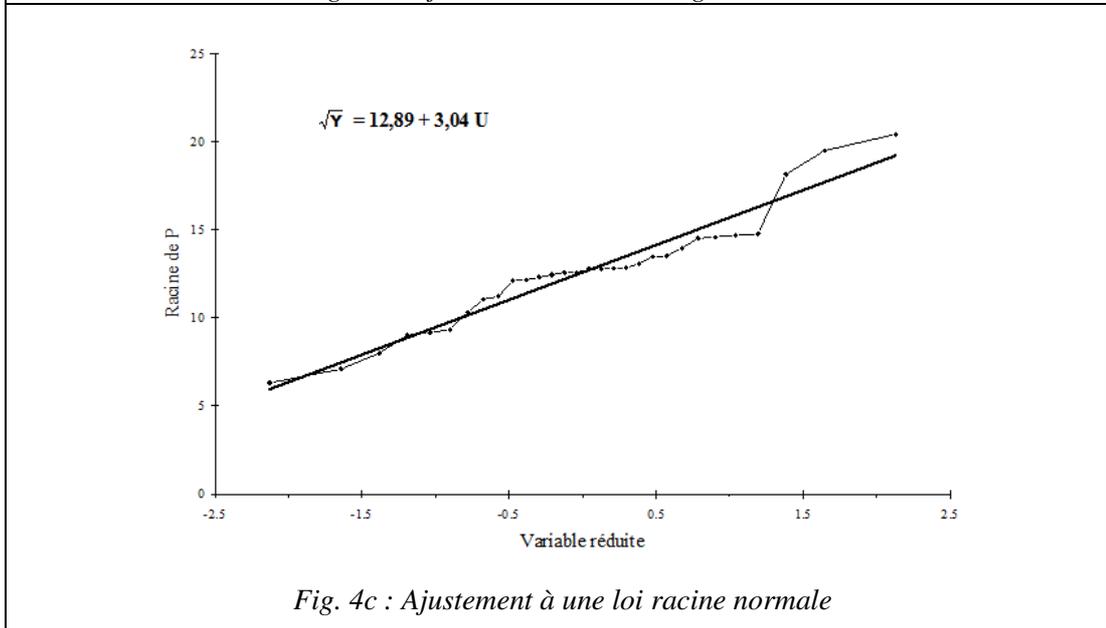


Fig. 4c : Ajustement à une loi racine normale

c) Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée

Partant de l'équation de la loi Log Normale, nous pouvons calculer les valeurs des précipitations pour une période de récurrence donnée.

L'équation de la loi représentative est : $\text{Log } Y = 5,05 + 0,51 U$

- *Calcul du module décennal humide*

C'est la fréquence au non dépassement 0,90 à laquelle correspond $U = 1,28$ pour la variable réduite.

$$\text{Log } Y = 5,05 + (0,51 \times 1,28) = 5,70 \quad \text{donc } Y = 299 \text{ mm}$$

Cette valeur a été atteinte

- *Calcul du module de 50 ans humide*

C'est la fréquence au non dépassement 0,98 à laquelle correspond $U = 2,05$ pour la variable réduite.

$$\text{Log } Y = 5,05 + (0,51 \times 2,05) = 6,09 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 441 \text{ mm}}$$

Cette valeur n'a pas été atteinte

- *Calcul du module centennal humide*

C'est la fréquence au non dépassement 0,99 à laquelle correspond $U = 2,33$ pour la variable réduite.

$$\text{Log } Y = 5,05 + (0,51 \times 2,33) = 6,24 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 512 \text{ mm}}$$

Cette valeur n'a pas été atteinte

- *Calcul du module décennal sec*

C'est la fréquence au non dépassement 0,1 à laquelle correspond $U = -1,28$ pour la variable réduite.

$$\text{Log } Y = 5,05 - (0,51 \times 1,28) = 4,39 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 81 \text{ mm}}$$

- *Calcul du module de 50 ans sec*

C'est la fréquence au non dépassement 0,02 à laquelle correspond $U = -2,05$ pour la variable réduite.

$$\text{Log } Y = 5,05 - (0,51 \times 2,05) = 4,01 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 55 \text{ mm}}$$

- *Calcul du module centennal sec*

C'est la fréquence au non dépassement 0,01 à laquelle correspond $U = -2,33$ pour la variable réduite.

$$\text{Log } Y = 5,05 - (0,51 \times 2,33) = 3,86 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 47 \text{ mm}}$$

- *Récurrence du module théorique le plus fort : On a*

$$T = \frac{1}{1-F}$$

$$P = 376,92 \quad \text{et } F = 0,97$$

$$\mathbf{T = 33 \text{ ans}}$$

En moyenne ce module pluviométrique est dépassé une fois tous les 33 ans.

- *Récurrence du module théorique le plus faible :*

$$T = \frac{1}{F}$$

$$P = 39,90 \quad F = 0,03$$

$$T = 33 \text{ ans}$$

Le module pluviométrique le plus faible est non dépassé en moyenne une fois tous les 33 ans.

III-3) - ETUDE DES TEMPERATURES

La température est un facteur important dans l'étude du climat. Elle a une grande influence sur le bilan hydrologique.

III-3-1) Les températures moyennes annuelles

Le tableau (en annexe 1) résume les données des températures annuelles à la station d'Ain Sefra.

La variation de la température moyenne annuelle pour la période 1979/80– 2011/2012) (fig.5), est très irrégulière oscillant entre 15,03 °C (1992/93) et 20,14 °C (2010/11). L'élévation continue de la température depuis 1995/96 peut être liée au phénomène des changements climatiques.

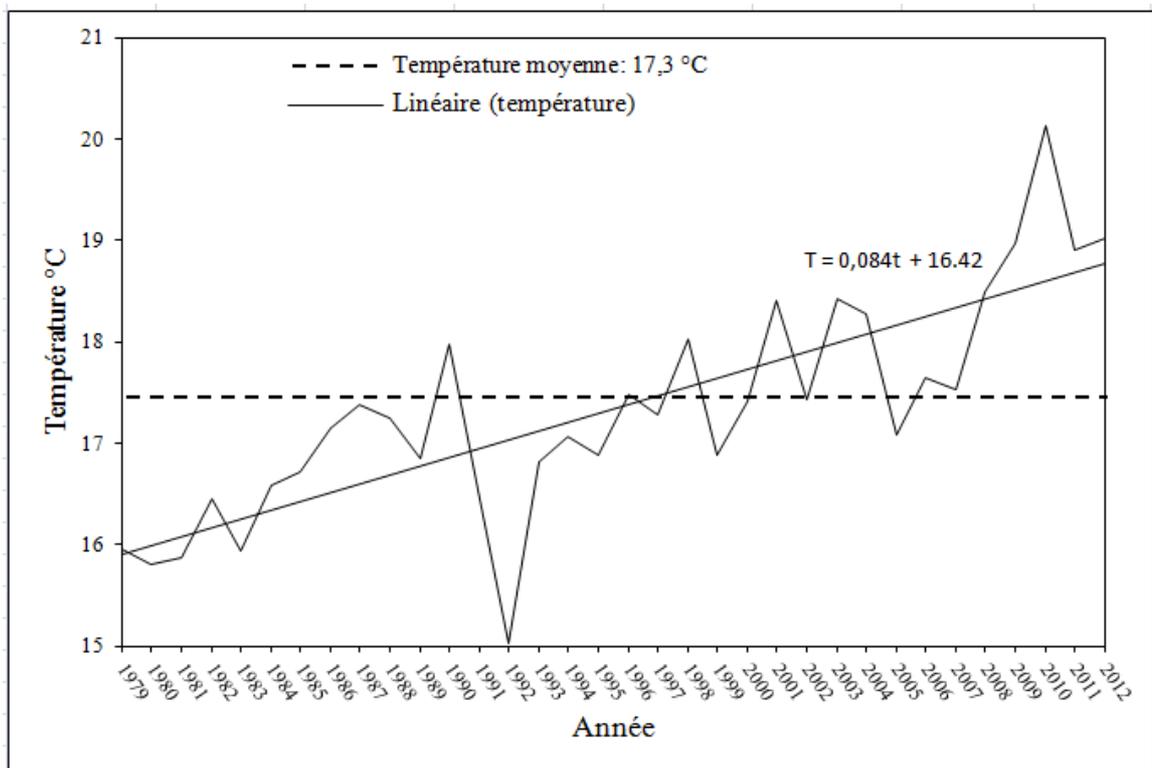


Fig. 5: Températures moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (1979/80 – 2012/2013)

III-3-2) Les moyennes mensuelles (Fig.6)

- Les minima (Tmin) : sont comprises entre 1,4°C en janvier et 21,5 °C en Juillet.
- Les maxima (Tmax) : sont comprises entre 12,7 °C en janvier et 37,4 °C en Juillet.
- Les moyennes $TM = (Tmax + Tmin) / 2$: (Tableau 5).

La répartition de la température moyenne mensuelle permet de considérer le mois de Janvier comme le plus froid (7,05°C) et le mois de Juillet comme le plus chaud de l'année (29,45 °C). La moyenne annuelle de la température (période 1979/80 – 2012/13) est de **17.3°C**.

Tableau 5: Températures mensuelles : minimum, maximum et moyenne

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Tmin (°C)	16,6	10,9	4,9	1,7	1,4	2,4	5,5	9,4	12,6	18,4	21,5	19,6	10,3
Tmax (°C)	31,6	23,9	17,9	13,6	12,7	15,9	18,3	21,4	26,8	33,4	37,4	36,5	24,1
(Tmax+Tmin)/2	24,10	17,4	11,4	7,65	7,05	9,15	11,90	15,40	19,7	25,90	29,45	28,05	17,3

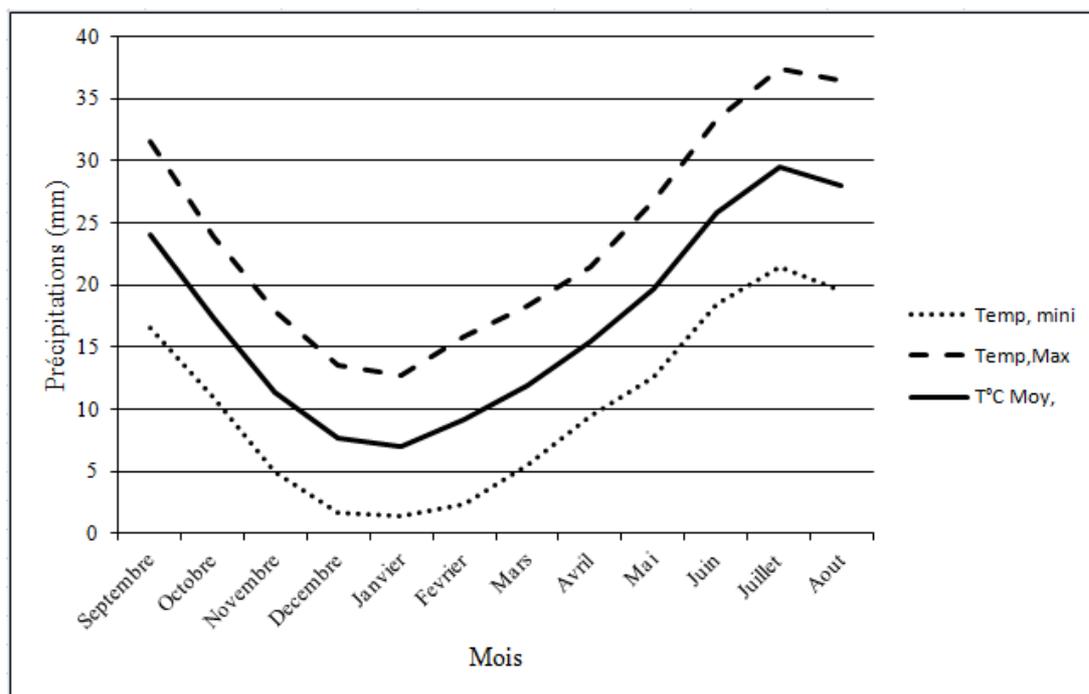


Fig. 6: Variations des températures moyennes mensuelles

La température annuelle moyenne est de 17,3 °C. Elle se situe entre une valeur moyenne maximale de 29,45 °C et moyenne minimale de 7,05 °C. Les températures extrêmes peuvent atteindre 37,4 °C et 1,4 °C. Le gel est assez fréquent durant la période allant du mois de décembre au mois de Janvier.

III-4) ETUDE DU CLIMAT

L'étude du climat et des indices climatiques se fera à partir des données des températures et des précipitations moyennes mensuelles (tableau 6)

Tableau 6 : Températures et des précipitations moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moy
T moy (°C)	24,10	17,40	11,4	7,65	7,05	9,15	11,90	15,40	19,70	25,90	29,45	28,05	17,3
P (mm)	10,6	19,7	16,8	10,3	16,6	14,7	25,1	17,9	23,7	8,8	4,4	7,6	176

II-4-1) Courbe pluviothermique ($P = 2T$) (Fig. 7) : (méthode de GAUSSEN et BAGNOULS)

Pour notre cas la méthode de GAUSSEN et BAGNOULS a montré une période humide au mois de Janvier et Mars, une période sèche durant tous les autres mois de l'année.

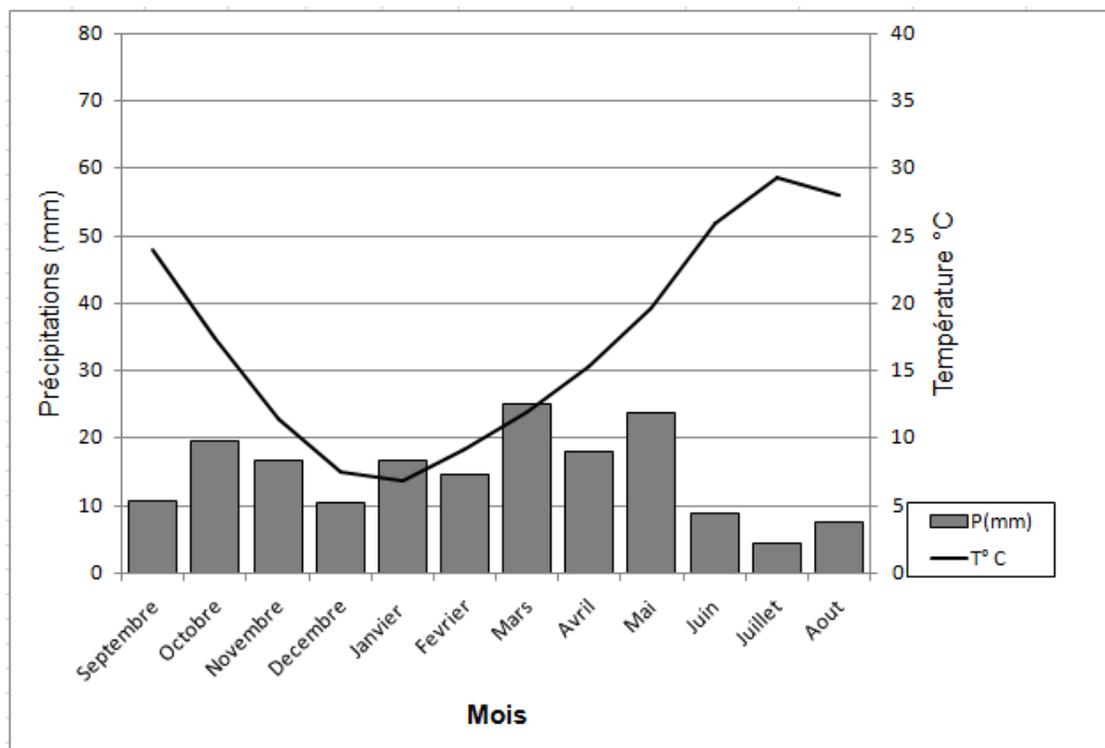


Fig. 7 : Courbe pluviothermique

II-4-2) Les indices climatiques

L'étude de certains indices climatiques est importante, car elle permet de mieux approcher le type de climat de la région étudiée.

II-4-2-1) indice d'aridité de De Martonne :

a) indice d'aridité annuel de De.Martonne: défini par :

$$I = \frac{P}{10 + T}$$

P : précipitation moyenne annuelle : 176 mm

T : température moyenne annuelle : 17,2 °C

$$I = 6,47$$

Pour: $20 < I < 30$: climat tempéré

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$7.5 < I < 10$: climat steppique

$5 < I < 7.5$: climat désertique

$I < 5$: climat hyper aride

L'indice I est égal à 6,47, donc *la région présente un climat désertique.*

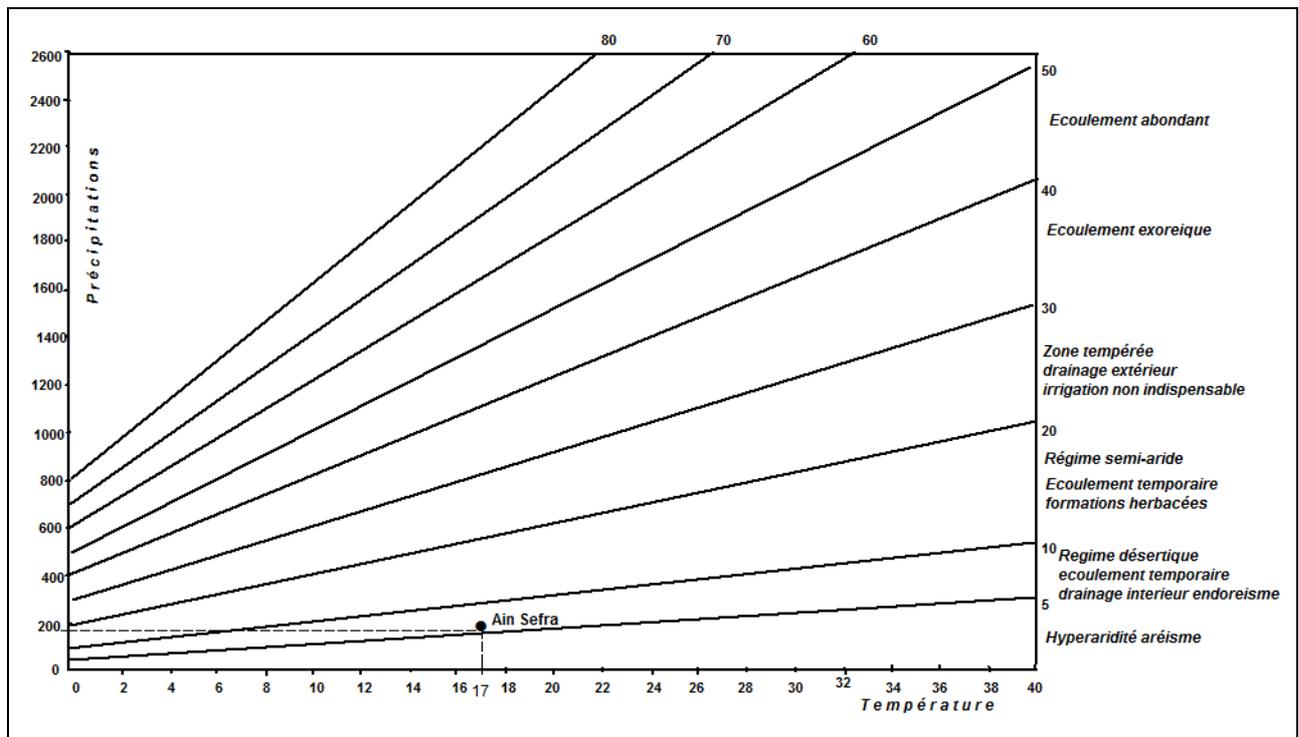


Fig. 8 : Indice d'aridité de De Martonne

D'après la classification de De Martonne (Fig. 8), la région présente un climat désertique à écoulement temporaire, drainage intérieur endoréïque.

b) indice d'aridité mensuelle de De Martonne i :

Pour préciser l'étendue des variations climatiques dans le courant de l'année, les élèves de De Martonne ont proposé d'utiliser un indice d'aridité mensuel.

$$i = \frac{12P}{T + 10}$$

Avec : P : précipitations moyennes mensuelles exprimées (mm)

T : températures moyennes mensuelles (°C)

Les résultats d'indice d'aridité mensuelle de De Martonne, sont reportés dans le tableau 7

Tableau 7 : valeurs d'indice d'aridités mensuelles

Année	Indice mensuel (i)	Classement de l'année
Septembre	3,75	i < 5 Climat hyperaride
Octobre	8,63	
Novembre	9,42	5 < i < 10 Climat steppique et désertique
Décembre	7,04	
Janvier	11,82	
Février	9,21	
Mars	13,72	
Avril	8,47	i < 5 Climat hyperaride
Mai	9,61	
Juin	2,95	
Juillet	1,34	
Août	2,40	

D'après le tableau 7, on constate que d'Octobre jusqu'à Mai le régime est désertique (5 < i < 10), pour le reste de l'année c'est un climat hyper aride (i < 5).

II-4-2-2) indice climatique d'Emberger :

Pour définir son indice d'aridité, Emberger s'est basé sur les limites des zones occupées par les différentes associations végétales. Il propose d'utiliser la relation suivante :

$$Q_2 = \frac{P}{\frac{M+m}{2}(M-m)} \times 1000 \qquad Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima de température en (°K) du mois le plus chaud :
($M=37,4+273=310,4$)

m : moyenne des minima de température en (°K) du mois le plus froid : ($m=1,4 +273=274,4$)

Q_2 = quotient pluviothermique d'Emberger.

$$Q_2= 16,7$$

En reportant cette valeur sur le diagramme d'Emberger (Fig. 9) qui comporte en ordonnées les valeurs de Q_2 et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid (°C), nous pouvons constater que la région présente **un climat type aride à hiver frais**.

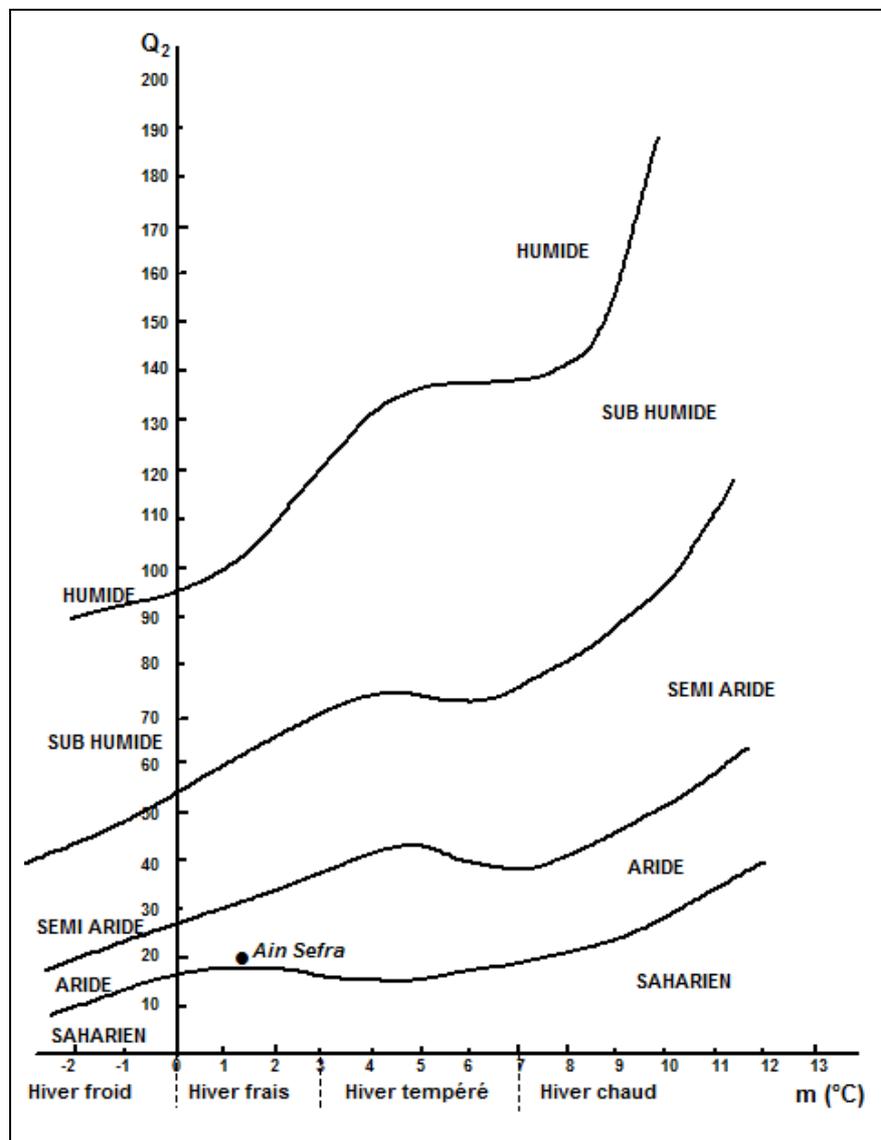


Fig. 9 : Climagramme d'Emberger.

II-4-2-3) indice de Stewart :

Cet indice est donné par la relation :

$$Q_2 = \frac{3,43P}{M + m}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm) : 176 mm

M : moyenne des maxima de température du mois le plus chaud en °C : 37,4

m : moyenne des minima de température du mois le plus froid en °C : 1,2

On a: **Q₂=15,63**

Pour: 10 < Q₂ < 50 climat semi aride

2 < Q₂ < 10 climat désertique

Q₂ < 2 climat insaturé

Q₂ étant compris entre 10 et 50, cette valeur caractérise selon Stewart :

un climat semi-aride.

III-5) EVAPORATION ET DEFICIT D'ÉCOULEMENT

III-5-1) Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

En l'absence de poste de mesure de l'évaporation et le déficit d'écoulement, nous emploierons un ensemble de méthodes empiriques qui nous permettront d'estimer des valeurs de l'évapotranspiration réelle.

- Méthode de THORNTHWAITE

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a * K \quad \text{en mm}$$

ETP : Evaporation potentielle mensuelle en mm

T : Température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

a : Coefficient calculé par la formule suivante : $a = 1,6 \left(\frac{I}{100} \right)^a + 0,5$

I : Indice thermique annuel qui est égal à la somme des douze valeurs de l'indice thermique mensuel. Cet indice est calculé par la formule suivante : $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,541}$

K : Coefficient de correction qui dépend de la latitude.

Les résultats de calcul de l'ETP par cette méthode sont présentés dans le tableau N°8

Tableau 8 : valeurs de l'ETP

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Total
T°(C)	23,95	17,4	11,4	7,55	6,85	9,15	11,95	15,35	19,6	25,85	29,35	28,05	17,2
i	11,2	6,8	3,6	1,9	1,6	2,5	3,8	5,6	8,2	12,6	15,3	14,3	87,4
ETP(mm)	107,5	58,8	26,4	12,1	10,1	17,4	28,9	46,4	73,6	124,2	157,9	145	808,5
Facteur	1,03	0,97	0,88	0,86	0,8	0,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	-
ETP corrigée (mm)	110,8	57	23,3	10,4	8,1	15	29,8	50,1	87,6	147,8	191,1	166,7	898

ETP annuel corrigée= 898 mm

III-5-2) Calcul de l'évapotranspiration réelle

- Méthode de WUNDT

En utilisant l'abaque de Wundt modifié par Coutagne (Fig.10) pour la station d'Ain Sefra (P= 176 mm et T= 17,2 °C) On obtient : **E= 220 mm**

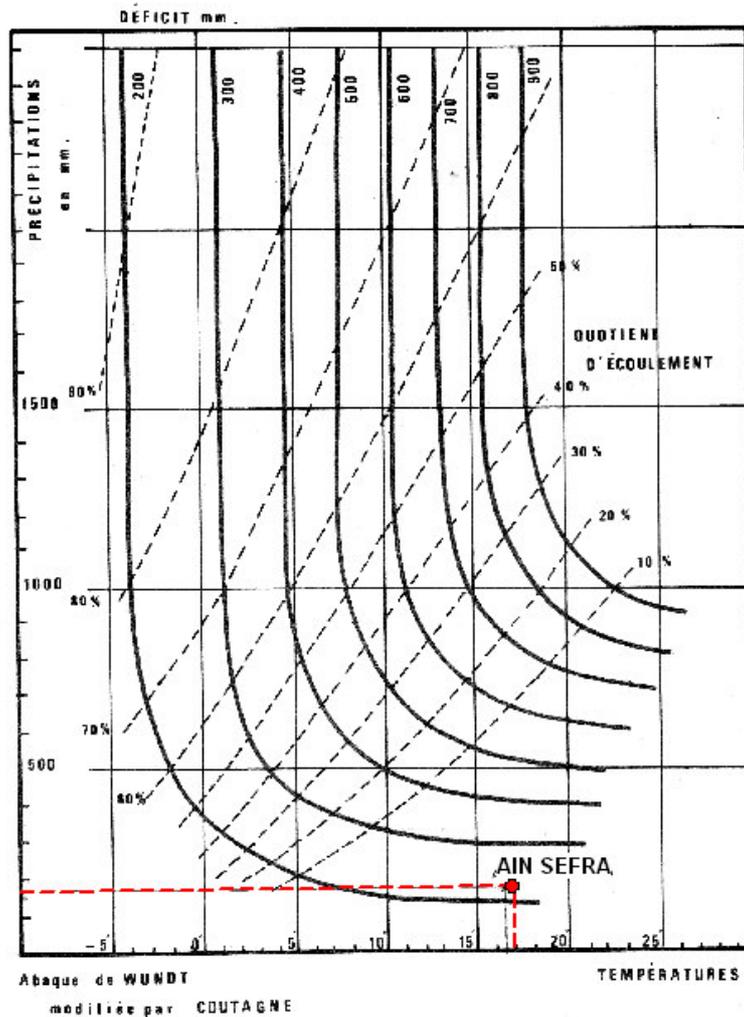


Fig. 10: Evaluation du déficit d'écoulement d'après WUNDT

- **Méthode de TURC**

Utilisation de la relation :
$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

E : Evaporation moyenne annuelle (mm)

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) : 176

T : Température moyenne annuelle (°C) : 17,2

L : $300 + 25T + 0,05T^3 = 984$

E = 183 mm

- **Méthode de VERDEIL**

L'abaque de Verdeil (Fig. 11) pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie, donne directement les valeurs du déficit d'écoulement (mm) en fonction de la précipitation moyenne annuelle. Pour la station d'Ain Sefra (1981/82 – 2012/13), le déficit d'écoulement est de :

D= 170 mm soit 96,5 % des précipitations.

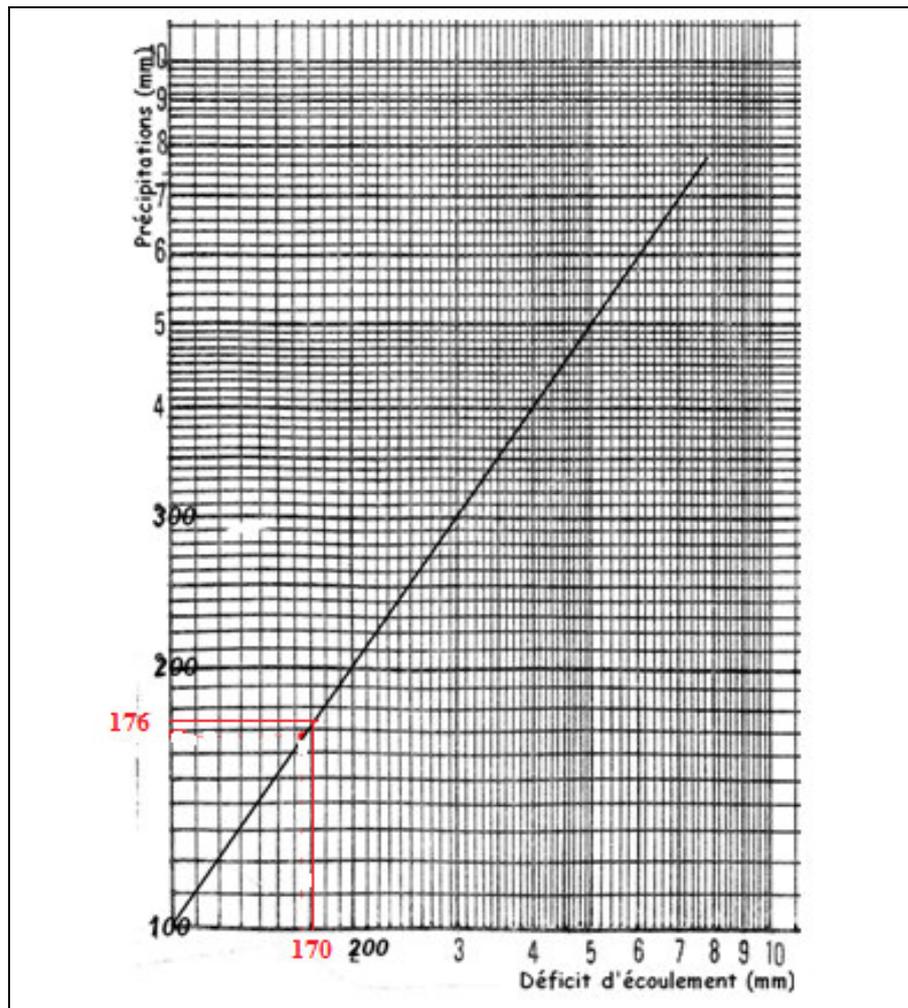


Fig. 11: Abaque de VERDEIL (1988)

III-5-3) Estimation du bilan (1979/80 - 2012/13)

La formule générale du bilan d'eau donne l'égalité des apports et des pertes évaluées sur de grandes périodes.

$$P = ETR + R + I$$

Les différentes composantes du bilan

- **Le ruissellement** : Il correspond à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il peut être connu d'une façon générale par analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau ou à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Parmi ces méthodes on peut citer celle de Tixeront et Berkaloff.

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

R= 2,25 mm soit 1,28 % des précipitations

- **Estimation de la lame d'eau infiltrée** :

Elle est déduite à partir des autres paramètres à l'aide de la formule :

$$P = R + I + ETR$$

Soit $I = P - R - ETR$

I= 4,35 mm soit 2,47 % des précipitations

Les résultats des éléments du bilan sont classés dans le tableau 9

Tableau 9: éléments du bilan

Élément du bilan	mm	%
Apports	176	100
Ruissellement	2,25	1,28
Déficit	169,4	96,25
Infiltration	4,35	2,47

IV) HYDROLOGIE

Le bassin hydrologique de la région d'étude faisant partie du grand ensemble du bassin d'oued Namous s'étend sur une superficie de 5800 km², et s'organisent en 04 sous bassins versant (Fig. 12):

- Oued Beidj
- Oued Tirkount
- Oued Tiout
- Oued Moghrar

IV-1) DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT

IV-1-1) Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du bassin d'Ain Sefra

IV-1-1-1) Paramètres géométriques du bassin versant :

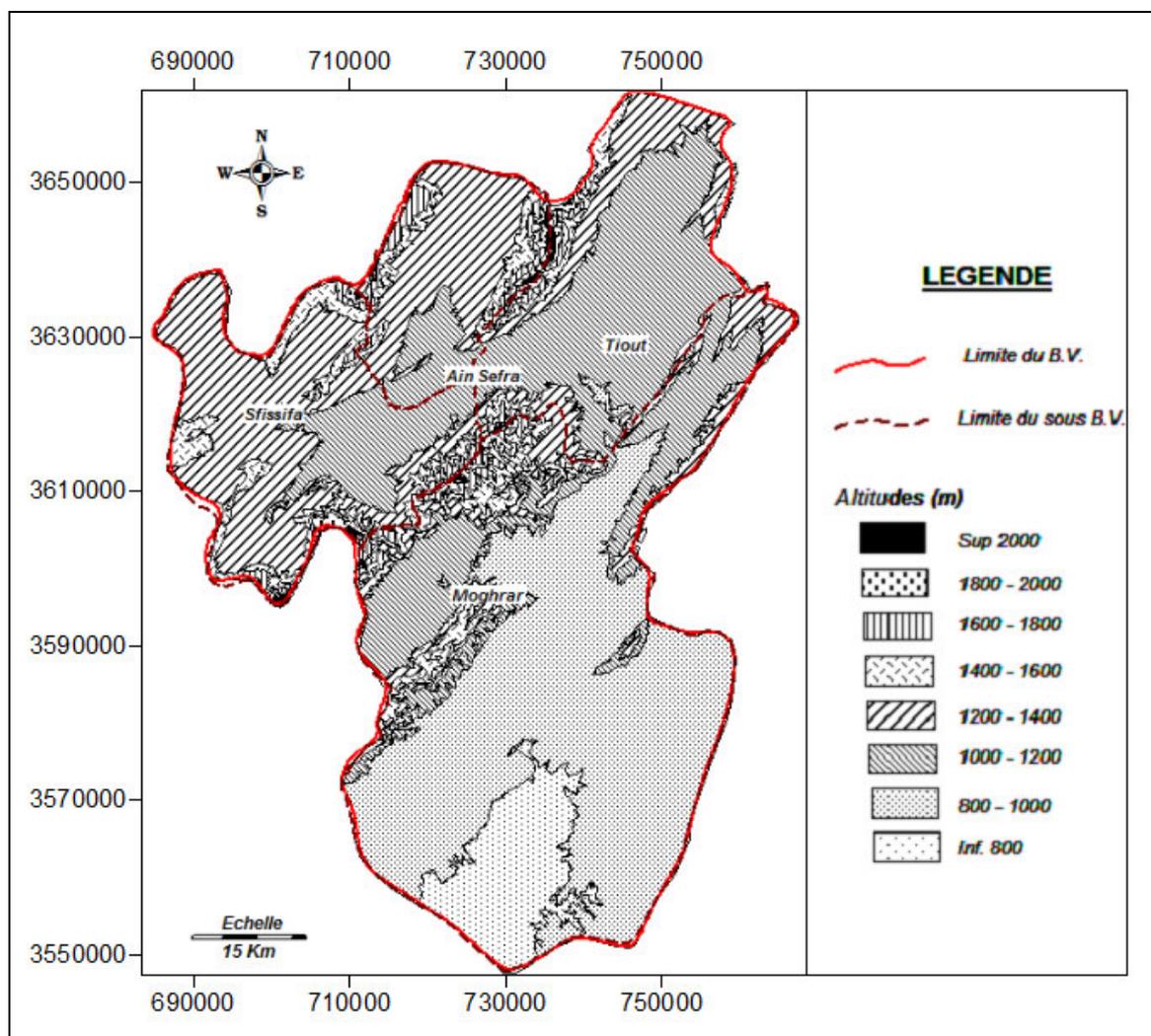


Fig. 12 : Carte hypsométrique du bassin versant d'Ain Sefra

d) – Surface du B.V :

La surface du bassin d'Ain Sefra est déterminée par le Système d'information Géographique (Mapinfo 6.5) sur des cartes topographiques scannées.

e) – Indice de compacité :

L'indice de compacité K_c renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant, résultant d'une pluie donnée. Il est dépendant de S et P et est calculé par la formule ci-après et détermine la forme du bassin.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

$K_c = 1$ bassin versant circulaire.

$K_c = 1,12$ bassin versant compact.

$K_c > 1,12$ bassin versant allongé.

Sur le plan morphologique, les valeurs de l'indice de compacité K_c (tableau 10) des sous bassins de la région, traduisent l'allongement du bassin, favorisant des faibles débits de pointe de crue grâce à un temps de concentration plus long. Cependant, la forme allongée du bassin versant ne met nullement les populations à l'abri des crues.

c) – Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est défini comme étant le rectangle de longueur " L " et largeur " I ", qui a la même surface, le même périmètre et le même coefficient de compacité que notre bassin versant. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées comme suit :

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right) \quad \text{et} \quad I = \frac{P}{2} - L$$

Avec :

L : Longueur de rectangle équivalent (km).

I : Largeur du rectangle équivalent (km).

P : Périmètre de rectangle équivalent (km).

Tableau 10 : Caractéristiques de forme des unités hydrologiques du bassin d'Ain Sefra

Sous bassins	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	K _c	Rectangle équivalent	
				Longueur (Km)	Largeur (Km)
Oued Breidj	1120	179	1,54	76	14
Oued Tirkount	548	98	1,18	32	17
Oued Tiout	1081	160	1,37	64	16
Oued Moghrar	3000	282	1,45	99	42
Total bassin	5749	424	1,59	183	29

IV-1-1-2) Paramètres de relief

La caractéristique la plus significative du bassin est la nature du relief. Le pourcentage des aires entre les différentes courbes de niveau permet de tracer la courbe hypsométrique.

Pour la représentation des courbes hypsométriques on tiendra compte des résultats résumés dans le tableau 11-12-13-14 :

- **Bassin Oued Breidj (fig13)**

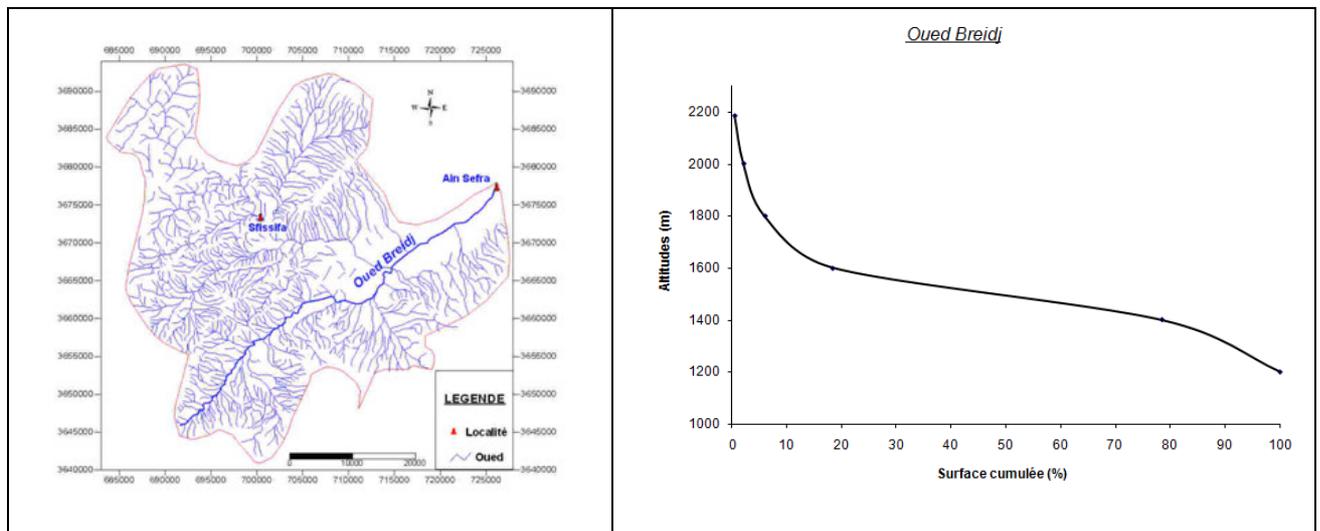


Fig. 13 : Bassin Oued Breidj et la courbe hypsométrique

On a :

- $H_{5\%} = 1820$ m
- $H_{50\%} = 1500$ m
- $H_{95\%} = 1250$ m
- Altitude moyenne : 1311 m
- Indice de pente globale I_g : 7,5 m/km
- Dénivelée spécifique : 250 m (relief assez fort)

Tableau 11 : Répartition hypsométrique du bassin d'oued Breidj

Tranche d'altitude	Surface (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface %	Surface cumulée (%)	Altitudes cumulées %
2187- 2000	5,07	5,07	0,45	0,45	100
2000-1800	18,50	23,57	1,65	2,10	84,25
1800-1600	43,84	67,41	3,91	6,02	67,40
1600-1400	138,62	206,03	12,38	18,39	50,55
1400-1200	673,9	879,93	60,17	78,57	33,70
1200-1000	240	1119,93	21,43	100	16,85

• **Bassin Oued Tirkount (fig 14)**

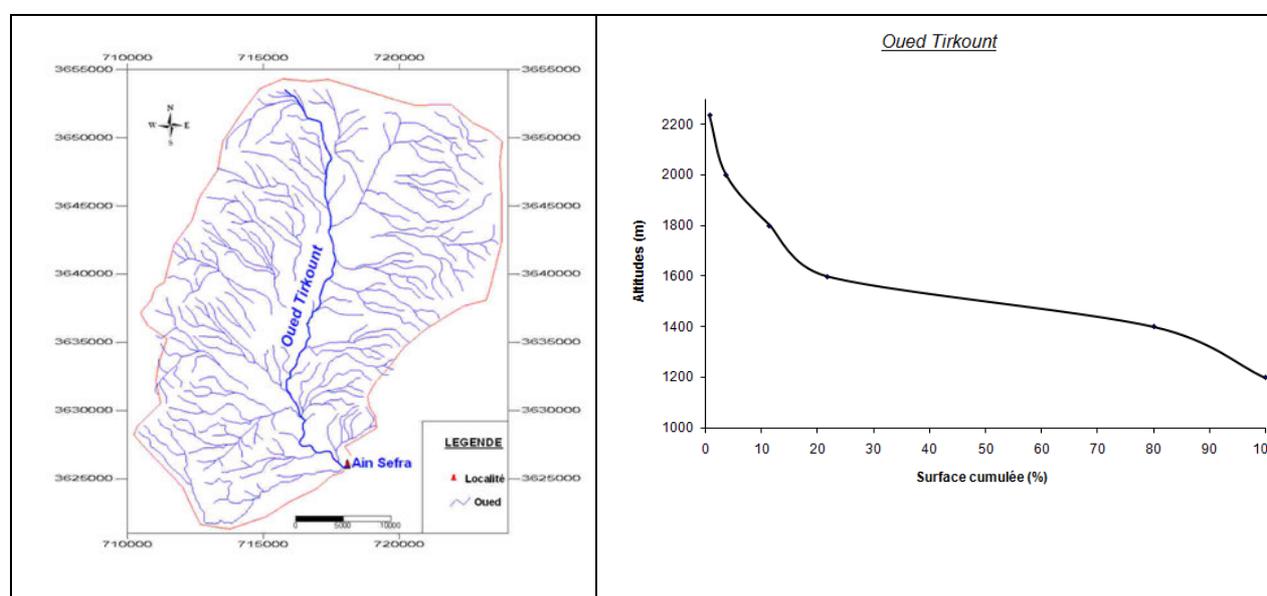


Fig. 14 : Bassin Oued Tirkount et la courbe hypsométrique

On a:

- $H_{5\%} = 1940$ m
- $H_{50\%} = 1500$ m
- $H_{95\%} = 1260$ m
- Altitude moyenne : 1336 m
- Indice de pente globale Ig: 21,25 m/km
- Dénivelée spécifique : 497 m (relief fort)

Tableau 12: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Tirkount

Tranche d'altitude	Surface (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface %	Surface cumulée (%)	Altitudes cumulées %
2236-2000	4,21	4,21	0,77	0,77	100
2000-1800	15,70	19,91	2,87	3,64	80,90
1800-1600	42,52	62,43	7,78	11,42	64,72
1600-1400	56,29	118,72	10,30	21,72	48,54
1400-1200	319,50	438,22	58,45	80,17	32,36
1200-1000	108,40	546,62	19,83	100	16,18

• **Bassin Oued Tiout (fig15)**

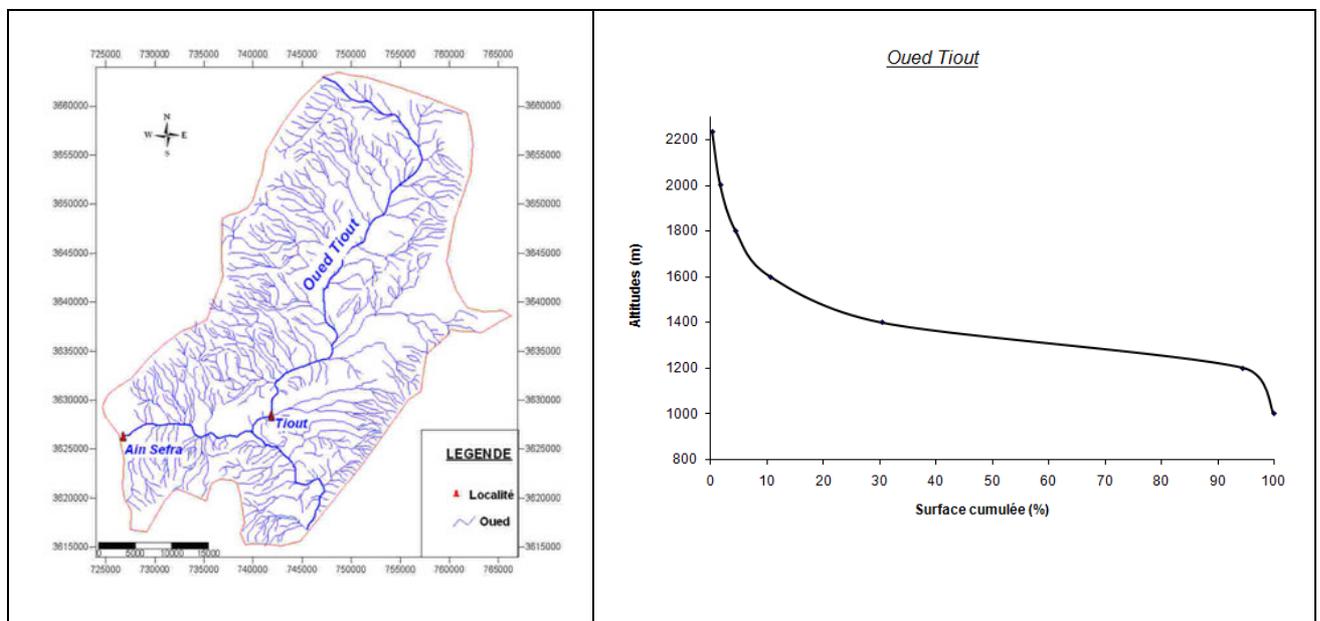


Fig. 15 : Bassin Oued Tiout et la courbe hypsométrique

On a:

- $H_{5\%} = 1770$ m
- $H_{50\%} = 1330$ m
- $H_{95\%} = 1190$ m
- Altitude moyenne : 1193 m
- Indice de pente globale I_g : 9,06 m/km
- Dénivelée spécifique : 298 m (relief fort)

Tableau 13: Répartition hypsométrique du bassin d'oued Tiout

Tranche d'altitude	Surface (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface %	Surface cumulée (%)	Altitudes cumulées %
2236- 2000	3,14	3,14	0,31	0,31	100
2000-1800	14,65	17,79	1,43	1,74	83,57
1800-1600	28,31	46,10	2,76	4,49	69,64
1600-1400	63,26	109,36	6,16	10,66	55,71
1400-1200	204,47	313,83	19,92	30,57	41,79
1200-1000	698,00	1011,83	67,98	98,56	27,86
1000-800	14,87	1026,70	1,45	100	13,93

• **Bassin Oued Moghrar (fig. 16)**

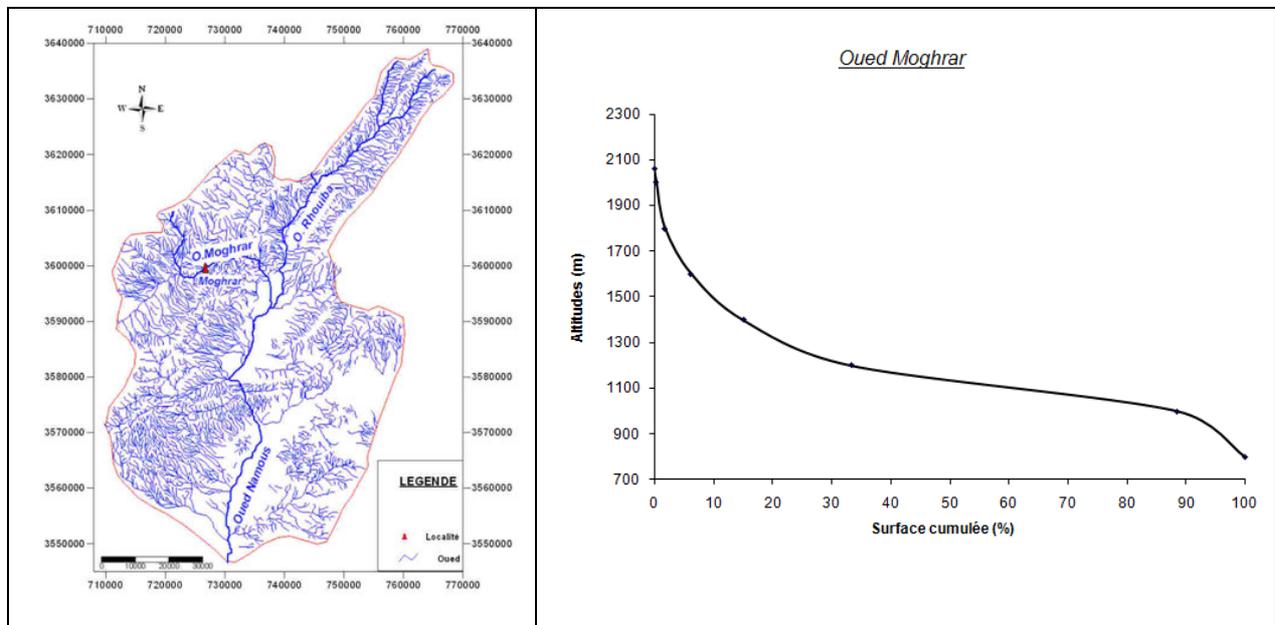


Fig. 16: Bassin Oued Moghrar et la courbe hypsométrique

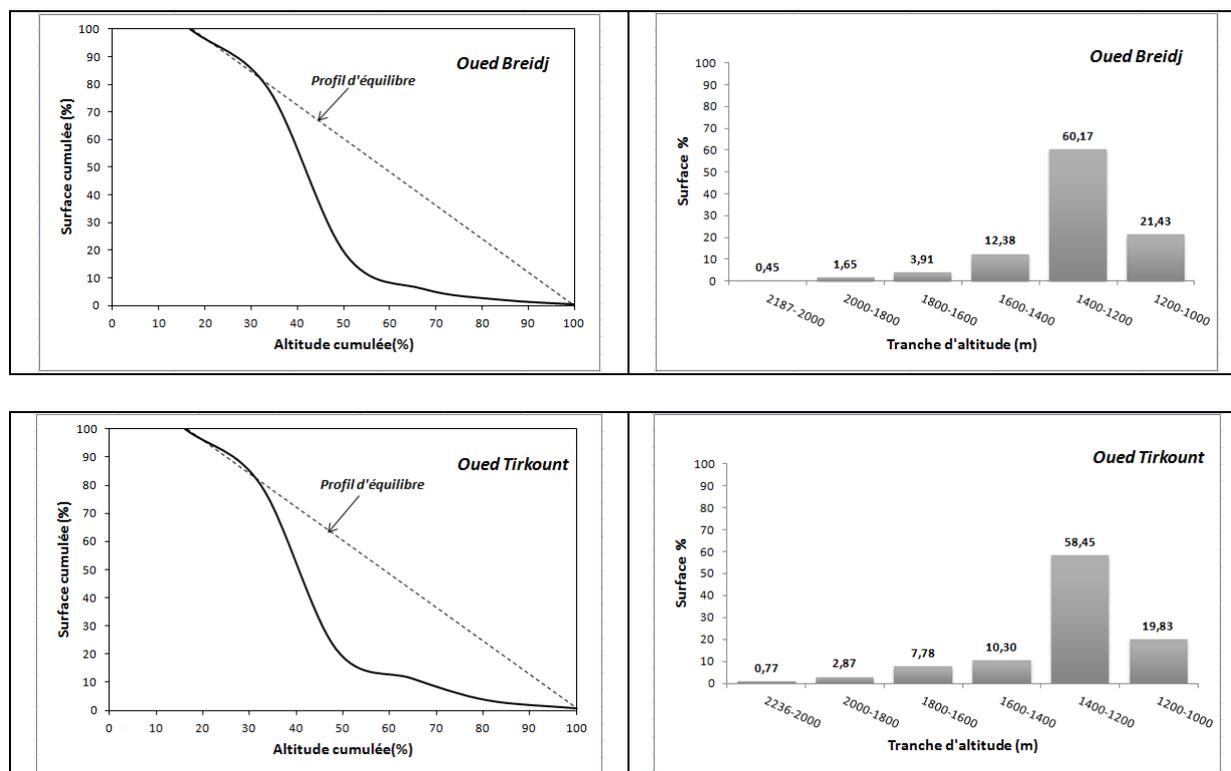
On a:

- $H_{5\%} = 1630$ m
- $H_{50\%} = 1140$ m
- $H_{95\%} = 920$ m
- Altitude moyenne : 1000 m
- Indice de pente globale I_g : 7,27 m/km
- Dénivelée spécifique : 398 m (relief fort)

Tableau 14 : Répartition hypsométrique du bassin d'oued Moghrar

Tranche d'altitude	Surface (km ²)	Surface cumulée (km ²)	Surface %	Surface cumulée (%)	Altitudes cumulées %
2062- 2000	0,74	0,74	0,02	0,02	100,00
2000-1800	11,40	12,14	0,38	0,40	95,23
1800-1600	41,33	53,47	1,38	1,78	79,83
1600-1400	134,82	188,29	4,49	6,27	64,44
1400-1200	266,00	454,29	8,87	15,14	49,04
1200-1000	545,60	999,89	18,19	33,32	33,64
1000-800	1653,13	2653,02	55,10	88,43	18,25
800-763	347,00	3000,02	11,57	100,00	2,85

Les courbes représentatives (fig.17) montrent que les bassins de la région d'étude sont dans un état de vieillesse où l'érosion hydrique a atteint un stade très avancé : l'aire située en dessous du profil d'équilibre est très supérieure à celle située en dessus.



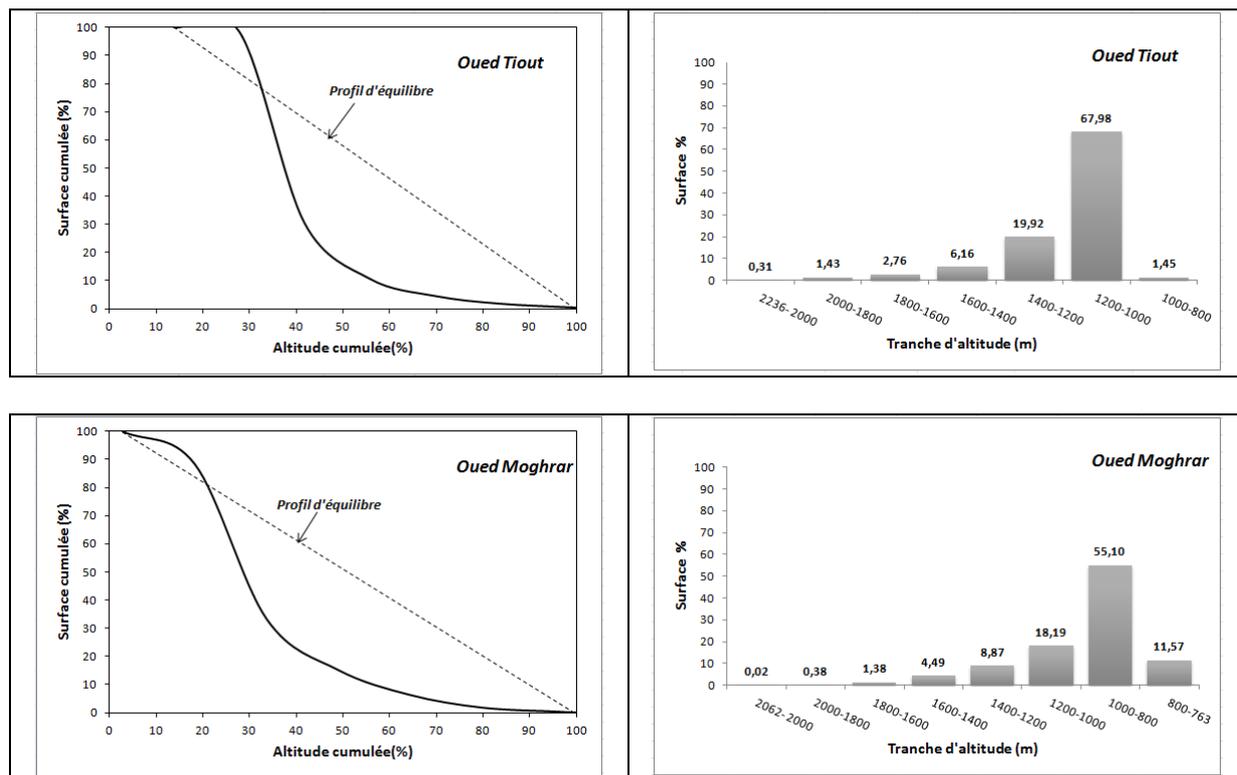


Fig. 17 : Histogrammes de fréquence altimétrique et courbes représentatives des bassins versants de la région d'Ain Sefra

Les histogrammes de fréquence altimétrique (fig.17) illustrent les principales caractéristiques des bassins versants qui nous permettent d'obtenir la répartition suivante des classes d'altitude :

- Les zones d'altitude supérieures à 1600 m occupent 6,01% de la superficie du bassin oued Breidj, 11,42% pour le bassin oued Tirkount, 4,5 % pour le bassin de Tiout. Par contre, dans le sous bassin oued Moghrar elles sont peu étendues représentant 1,78 % de la superficie totale.
- Les secteurs d'altitude comprise entre 1600 et 1200 m correspondant aux massifs montagneux couvrent 72,55% dans le sous bassin oued Breid, 68,75% pour oued Tirkount, 26,08% et 13,36 % respectivement pour les bassins de oued Tiout et oued Moghrar.
- Les zones d'altitudes inférieures à 1200 m sont les plus étendues dans le sous bassin de oued Tiout et oued Moghrar et représentent respectivement 69,43% et 84,86 % de la surface totale des sous bassins, ce qui met en évidence le caractère plaine notamment dans la zone de Moghrar proche de la plateforme saharienne. Mais dans le sous bassin de l'oued Breidj et oued Tirkount ces tranches d'altitudes ne représentent respectivement que 21,43 % et 19,83% de la superficie totale confirmant la prédominance des hautes et moyennes altitudes.

En général, dans le sous bassin d'oued Moghrar, les valeurs traduisent bien l'importance du caractère plaine. Par contre, dans les sous bassins de Breidj et Tirkount et à un degré moindre Tiout, l'importance des hautes et moyennes altitudes est bien illustrée, ce caractère favorise le ruissellement.

IV-2) CARACTERISTIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT

IV-2-1) Densité de drainage

Elle est donnée comme étant le rapport entre la longueur cumulée de tous les cours d'eau et la surface totale du bassin versant. Elle dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S}$$

Bassin versant	Densité de drainage km/km²
Breidj	1,48
Tirkount	1,25
Tiout	1,42
Moghrar	1,14

Les réseaux hydrographiques des bassins étant réalisés à la base des cartes au 1/100.000 et 1/200.000 (fig.18), ne permettent pas de reproduire complètement, ni fidèlement le chevelu, d'où disparition importante des thalwegs d'ordre inférieur.

Les valeurs de densité de drainage obtenues sont faibles comprises entre 1,14 et 1,48 km/km². En pratique, les valeurs de la densité de drainage varient de 3 à 4 km/km² pour des régions où l'écoulement n'a atteint qu'un développement limité et se trouve centralisé.

Ceci traduit que les sous bassins versants de notre région sont moyennement drainés, et présentent dans leur ensemble une formation géologique perméable.

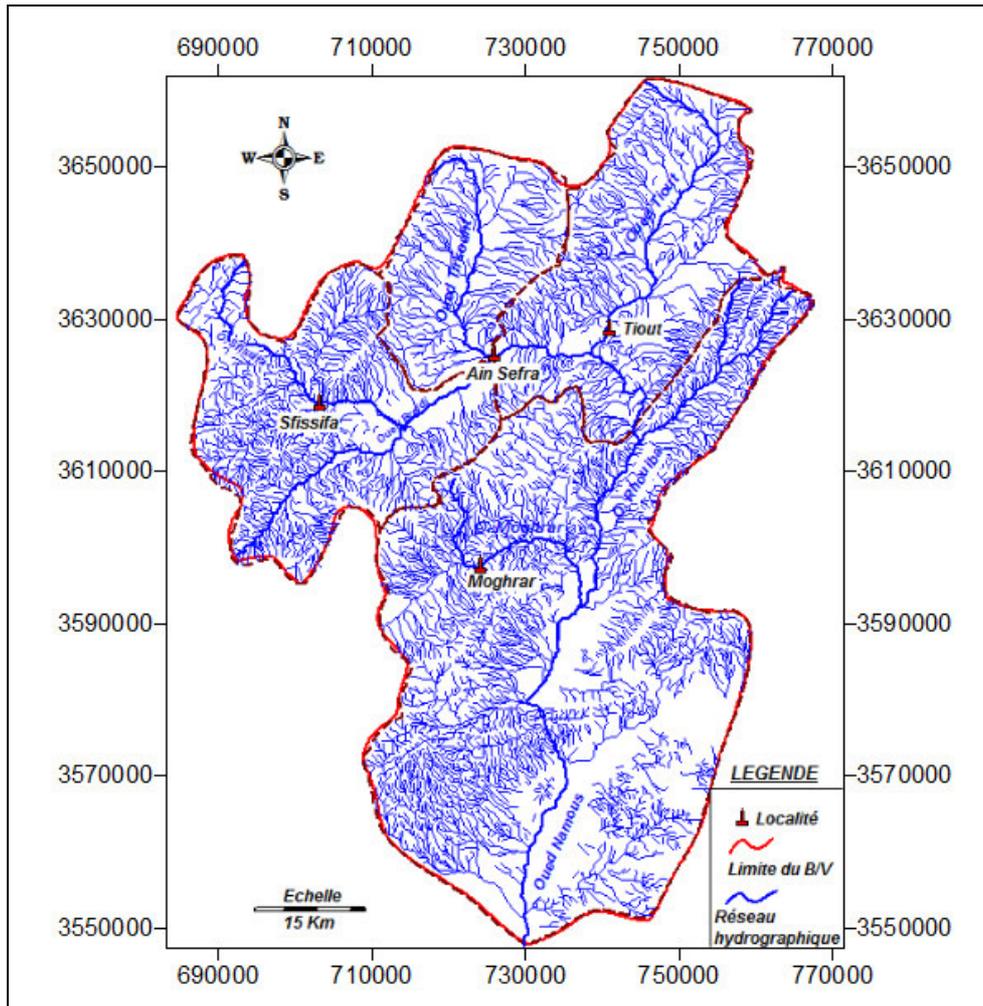


Fig. 18: Carte du réseau hydrographique

IV-2-2) Temps de concentration des eaux

C'est le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydrologiquement le plus éloigné (en amont) du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Pour sa détermination on utilise la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec:

L: Longueur du cours d'eau principal

S: Surface totale du bassin versant

H_{moy} : Attitude moyenne

H_{min} : Altitude minimale

D'où :

bassin versant	Breidj	Tirkount	Tiout	Moghrar
Temps de concentration (h)	17	11	20	32

Les temps de concentration de 11h à 32 h, peuvent être considérés comme importants, ils sont fonctions non seulement de leurs grandes superficies, mais aussi de la lithologie et le relief.

Les caractéristiques physiques du bassin versant sont récapitulées dans le tableau 15:

Tableau 15 : caractéristique morphométrique du bassin d'Ain-Sefra

Paramètres	Unité	Valeurs des bassins			
		Breidj	Tirkount	Tiout	Moghrar
Surface du bassin versant	Km ²	1120	548	1081	3000
Perimetre du bassin versant	Km	179	98	160	282
Indice du compacité	-	1,54	1,18	1,37	1,45
Longueur du rectangle equivalent	Km	76	32	64	99
Largeur du rectangle equivalent	Km	14	17	16	42
Altitude maximale	m	2187	2236	2236	2062
Altitude minimale	m	1071	1071	1000	763
Altitude moyenne	m	1311	1336	1193	1000
Longueur de thalweg principale	Km	54	35	70	121
Indice de pente global I_g	m/Km	0,008	0,021	0,085	0,007
Pente moyenne du bassin I_{moy}	%	11	11	9	10
Pente du bassin I_{Bv}	%	5	5	4	5
Denivelée spécifique D_s	m	244	495	280	455
Densite de drainage	Km/Km ²	1,48	1,25	1,42	1,14
Temps de concentration	h	17	11	20	32

IV-3) PARAMETRES GEOLOGIQUES

La géologie d'un bassin versant est un facteur très important du régime des cours d'eau qui le drainent. En période de crue, les volumes écoulés seront d'autant plus grands que le bassin sera moins perméable. En période de basses eaux, les débits seront d'autant plus forts que les nappes sont plus nombreuses et importantes.

Enfin, la géologie influe indirectement sur l'évapotranspiration par l'effet thermique dû à la couleur des sols et par le développement de la végétation en fonction des sols (albédo).

Les sous bassins sont occupés essentiellement par des formations perméables (46%) à semi perméables (39%), ce qui favorise l'infiltration des eaux de surface.

La répartition des différentes formations par groupes lithologique en % de la surface du bassin versant est représentée dans le tableau 16 suivant.

Tableau 16 : répartition des différentes formations

Imperméable	Semi perméable			Perméable			
Argile + marne	Grès argileux	Calcaire marneux	Argile sableuse	Grès	Calcaire	Sable dunaire	Alluvions
15%	14%	6%	19%	35%	2,5%	3%	5,5%

On se contente généralement de caractériser la géologie d'après le comportement hydrogéologique du bassin. L'O.R.S.T.O.M. a proposé une classification en cinq groupes ainsi définis (Tableau 17):

Tableau 17 : Classification d'après l'O.R.S.T.O.M* (Laborde 1999)

Classe	Intitulé	Exemple
P1	Perméable à aquifère drainant ou non drainé	Formation gréseuse dont les exutoires sont à l'extérieur du bassin
P2	Perméable à aquifère drainé	Formation gréseuse dont les sources alimentent le réseau
P3	Perméabilité moyenne ou faible	Alternance de marnes et calcaires
P4	Karstique	Formation calcaire, perméabilité de fissures et développement d'un réseau souterrain
P5	Imperméable	Terrain marneux, cristallin, etc.

* Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre Mer

Notre zone se trouve dans la classe P2 du groupe perméable à aquifère drainé, formé de formation gréseuse dont les sources alimentent le réseau (cas des sources de Skhouna, Benhandjir, Tirkount, Tiout, Tiouartalt).

IV-4) ESTIMATION DE LA LAME ECOULEE ET L'APPORT

En l'absence de données d'observations suffisantes sur le bassin, nos estimations de l'apport liquide moyen annuel se sont basées sur les caractéristiques morphologiques ainsi que sur les enregistrements hydrologiques du bassin d'Ain Hadjadj (Ain Sefra) dont les conditions d'écoulement, présentent des analogies convenables avec notre bassin d'étude.

IV-4-1) L'écoulement moyen annuel

Le calcul de la lame d'eau écoulée et l'apport moyen annuel s'est basé, sur l'utilisation des formules empiriques employées sous les conditions d'absence de données d'observations hydrométriques.

Il convient tout d'abord avant d'appliquer les formules empiriques sur les bassins non couverts par l'observation hydrologiques (oueds non jaugés), notamment ceux de la région d'étude, de vérifier leur précision sur les données de oued Rhouiba, en l'occurrence, les données de jaugeages effectués à la station hydrométrique de Ain Hadjadj code ANRH 1030345, aux coordonnées UTM X : 745 619 et Y : 3 616 097. Les mesures et observations hydrologiques et hydrométriques ont débuté au niveau de cette station le 01/09/1973. Elle contrôle un bassin de surface égale à 2880 Km².

L'apport moyen annuel (AMA) pour la période d'observation (1973 – 1998) est de 26,25 Hm³ pour une lame écoulée de 8,42 mm, avec la mise en évidence d'une année hydrologique (1991) bien distincte avec un apport moyen annuel de 139,51 Hm³ (fig. 19).

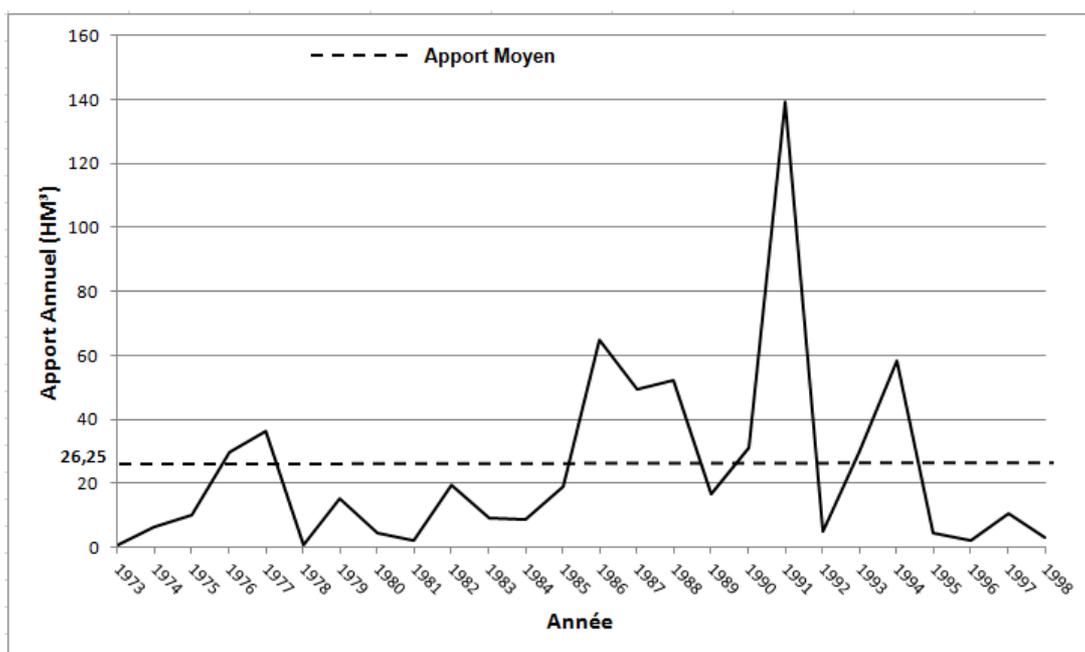


Fig. 19 : Les apports moyens annuels à la station de Ain Hadjadj

En appliquant les formules empiriques usuelles on obtient les estimations des lames d'eau écoulées présentées au tableau 18. On voit que seule la formule la plus adéquate est celle de Samie donnant une estimation moyenne de 6,62 mm, comparativement assez proche de l'observation (avec un écart de 21,40 %). L'utilisation des autres formules donne une estimation erronée des apports.

Tableau 18: Lame d'eau écoulée et apport moyen annuel des bassins versants de la région d'Ain Sefra

Formule	Breidj		Tirkount		Tiout		Moghrar		Moyenne du Bassin total	
	Le (mm)	AMA (HM ³)	Le (mm)	AMA (HM ³)	Le (mm)	AMA (HM ³)	Le (mm)	AMA (HM ³)	Le (mm)	AMA (HM ³)
Dery	3,19	3,58	1,75	0,96	3,1	3,35	21,93	2,44	3,84	7,46
Samie	6,80	7,62	7,48	3,58	6,84	7,39	5,34	1,78	6,61	8,78
Anrh	30,86	34,56	30,84	16,9	30,85	33,35	30,88	10,29	30,86	44,36
Chaumont	14,33	16,05	14,33	7,85	14,33	15,49	14,33	4,78	14,33	20,60
Ecart Sami %	19,23		11,11		18,76		36,57		21,40	
Coefficient d'écoulement : Ce %	3,86		4,25		3,89		3,03		3,73	

IV-4-2) Le coefficient d'écoulement

Le coefficient d'écoulement est le quotient de la lame d'eau écoulée sur la lame d'eau précipité, bien que son intérêt est limité car il varie beaucoup d'une année à l'autre mais il reflète néanmoins l'impact des facteurs physico-géographiques de chaque bassin versant, notamment la perméabilité des terrains et l'importance des facteurs thermiques et leur influence sur l'écoulement à l'aide de la formule suivante :

$$Ce = \frac{Le}{P} 100$$

Ce : le coefficient d'écoulement exprimé en%

P : les précipitations (mm)

Le : la lame d'eau écoulée (mm)

Le bilan pluriannuel moyen peut être traduit par l'équation suivante, et dont les résultats sont consignés dans le tableau 19 :

$$P \text{ (mm)} = Le \text{ (mm)} + E \text{ (mm)}$$

Avec :

P : lame d'eau annuelle précipitée (mm)

Le : lame d'eau annuelle écoulée (mm)

E : déficit annuel d'écoulement qui est assimilé à l'évapotranspiration réelle (ETR).

Tableau 19 : Bilan hydrologique moyen

Bassin versant	P (mm)	Le (mm)	Q (m3/s)	E (mm)	Ce (%)
Breidj	176	6,80	0,25	169,20	3,75
Tirkount	176	7,48	0,13	168,52	4,25
Tiout	176	6,84	0,23	169,16	3,89
Moghrar	176	5,34	0,51	170,66	3,03

A travers les résultats représentés ci dessus qui expriment les variations des différents paramètres, on peut conclure que le coefficient de l'écoulement est très faible sur les bassins versants de la région d'Ain Sefra (3,73%), ce qui traduit des conditions d'alimentation et d'écoulement très défavorables, notamment une forte évaporation.

V) CONCLUSION

Les différentes méthodes d'étude du climat indiquent que la région d'Ain Sefra jouit d'un climat semi-aride à aride avec des étés chauds et des hivers froids.

Elle se caractérise par :

- des pluies souvent à caractère orageux, donnant lieu à de fortes crues et à l'inondation des zones habitées situées à proximité des oueds ;
- une irrégularité dans la répartition saisonnière et mensuelle des pluies.
- une baisse des précipitations moyennes annuelles. Les observations des différentes séries pluviométriques, pour la station d'Ain Sefra, montrent que la moyenne des précipitations annuelles est passée de 250 mm/an (période 1913 – 1938) à 176 mm/an (période 1981 – 2012), soit un écart pluviométrique de 30%.

- des températures moyennes excessivement froides en hiver (1,2 °C), accompagnées de gelées fréquentes et de chutes de neige, et des températures très élevées en été (37,4°C), accompagnées d'un faible taux d'humidité,

Parmi les méthodes de calcul de l'ETR (déficit d'écoulement) seule la méthode de VERDEIL donne 3,5 % pour l'écoulement.

Un ruissellement et une infiltration respectivement de 2,25 mm et 4,35 mm représentant 1,28% et 2,47% des précipitations. Une lame écoulee moyenne de 6,60 mm pour tout le bassin étudié.

DEUXIEME PARTIE

HYDROGEOLOGIE

D) APERCU GEOLOGIQUE :

La chaîne occidentale de l'Atlas Saharien correspond aux monts des Ksour. C'est une chaîne intracratonique plissée lors de l'orogénèse alpine, qui s'interpose entre deux domaines stables : les hautes plaines oranaises au Nord et la plateforme saharienne au Sud. Elle est affectée par deux grandes lignes de démarcation qui correspondent aux accidents Nord et Sud atlasiques.

C'est une région montagneuse qui s'étend à l'Ouest depuis la terminaison orientale du Haut Atlas marocain jusqu'à l'Atlas Saharien Central et Oriental à l'Est.

La série stratigraphique de la région d'Ain Sefra s'étale de terrains allant de l'âge Triasique au Quaternaire récent, se présentant sous des facies marins et continentaux. Les terrains Jurassique et Crétacé, sont essentiellement gréseux avec intercalations de marnes et argiles.

Les monts des Ksour sont constitués de plis en échelon de direction générale NE-SW. Ces structures possèdent un style tectonique caractérisé par des anticlinaux généralement coiffés, pincés, faillés, souvent déversés, donnant naissance aux Djebels Aissa, Morhad, Hirech, Djara, Mekter, Boulerhfad et Mir Djebel. Ils sont caractérisés aussi par des synclinaux à fond larges (Tiout, Skhouna, Tirkount, Benhandjir, Oglats, Sidi Brahim et Djenien Bourezg) et des synclinaux parfois perchés tels que Djebel Rhoundjaia.

I-1) STRATIGRAPHIE

La série lithostratigraphique des Monts des Ksour a été subdivisée en cinq ensembles lithologiques (Kacemi 2013) :

- Des argiles versicolores à gypse, surmontés par du sel d'épaisseur importante à Ain Ouarka, recoupés par des roches vertes à texture ophitique.
- Un ensemble carbonaté où apparaissent des marnes en alternance avec des calcaires au sommet (Lias – Aalénien).
- Un ensemble détritique argilo-gréseux, avec des niveaux carbonatés plus ou moins importants en intercalation dans les argiles (Bajocien inférieur à Bathonien inférieur).
- Un ensemble détritique argilo-gréseux, à la base surmonté par des grès massifs (Bathonien-Callovien à Albien).

- Des argiles à bancs gréseux et dolomitiques puis à gypses surmontés de calcaires et de marnes (Vraconien, Cénomaniens à Turonien).

Cette série lithostratigraphique constitue la série géologique des Monts des Ksour, c'est-à-dire les différentes formations des différents auteurs. (Bassoulet 1973 ; Douihasni 1976 ; Mekahli 1998 et Kacemi 2005 et 2013).

I-1-1) LE TRIAS

Il affleure en extrusion, généralement le long des failles favorisant sa remontée au niveau des anticlinaux. Il est constitué de matériel argilo-gypseux, parfois salifère, il montre une sédimentation évaporitique de type lagunaire et apparaît en diapir (Douihasni 1976).

Il y affleure dans la région d'Ain Ouarka, El Hendjir, Tiouartalt et Djenien Bourezg, et est représenté par des argiles versicolores bariolées gypso-salines, du basalte doléritique et de roches à structure ophitique (Douihasni 1976).

I-1-2) LE JURASSIQUE

- *Le Lias* jusqu'à l'Aalénien

D'une épaisseur moyenne de 800 m, il est formé par des calcaires et des marnes. Il occupe la majeure partie de l'Atlas Saharien Occidental. Cette série a été décrite à Djebel Chemarikh, Souiga et Mellah par Bassoulet (1973), Douihasni (1976), Ait Ouali (1991), Mekahli (1995,1998) et Kacemi (2013).

- *Le Dogger*:

Il occupe généralement les flancs des anticlinaux, tel que Djebel Souiga, Mellah, Chemarikh et Djara. Le faciès constituant cette série est représentée par des calcaires oolithiques prédominant en quelques endroits, des calcaires à lumachelles, des dolomies, des argiles et des grès (Kacemi 2013).

- *Le Malm:*

Il constitue l'Oxfordien, le Kimméridgien et le Portlandien. Le faciès est généralement détritique, formé de grès et d'argile. Il est représenté en grande majorité par la " *Formation de Aissa* "

I-1-3) LE PASSAGE JURASSIQUE - CRETACE

Il concerne la « *formation de Tiloula* » d'âge Tithonien-Néocomien, définie par J.P Bassoulet (1973) et subdivisée en 02 ensembles, un inférieur et un supérieur. Elle est constituée d'argiles pélitiques versicolores, de grès de couleur claire, de petits bancs de dolomies et de rares lits gypseux.

I-1-4) LE CRETACE INFÉRIEUR

Il concerne la « *formation de Tiout* » (fig.20) d'âge Barrémien-Aptien-Albien. Cette formation à sédimentation détritique, a été définie au nom du village de Tiout par J.P Bassoulet (1973), appelée aussi « groupe de grès à dragées » par Douihasni (1976).

D'une épaisseur moyenne de 1065m (Kacemi 2005), cette masse principale de grès présente un faciès assez caractéristique, quoique pas toujours différenciable des autres étages gréseux.

Ce sont des grès massifs rouges à stratifications obliques dans lesquels apparaissent des niveaux lenticulaires de dragées de quartz surmontés par une série d'argiles pélitiques entrecoupés de niveaux de grès rouges à chenaux.

Les grès se présentent en gros bancs, occupant le cœur des synclinaux de l'Atlas saharien occidental.

Cette formation a été subdivisée en trois membres selon la composition lithologique et la géomorphologie (Kacemi 2013): Un membre inférieur (115m), un membre médian (790m) et un membre supérieur (160m).

- **Le membre inférieur : « Le membre des grès inférieurs de Tiout » (115m)**

Formé de grès grossiers à dragées de quartz, à ciment argileux avec à leur base un niveau graveleux. Au dessus, les argiles sont parfois intercalées de grès d'épaisseur décimétrique à grains moyens à fins de couleur rosâtre. Il s'agit bien d'une séquence fluviatile

- **Le membre médian : « Le membre argileux » ou « membre des alternances argilo-gréseuses » (790m)**

Il est formé d'une alternance de grès, de dolomie et de quelques lits gypseux intercalés dans des argiles. On note la présence de grès de couleur verdâtre qui présentent des indices cuprifères.

- **Le membre supérieur : « Le membre des grès supérieurs de Tiout » (160m)**

Il s'agit de séquences typiquement fluviatiles. Il est caractérisé par la présence de grès rougeâtres à dragées de quartz, intercalé de bancs d'argiles.

Cette formation occupe le cœur des grands synclinaux à fond plat (Garet Kheil-Tirkount, Benhandjir- Skhouna, Slih –Maader, Asla, Sidi Brahim, Djenien Bourezg).

I-1-5) LE CENOMANO-TURONIEN :

Il est formé par:

- Un ensemble d'argiles pélitiques gris verdâtre gypsifère surmonté par une alternance marno-dolomitique, attribué au Cénomaniens.
- Un ensemble formé de calcaires dolomitiques massifs et de marnes blanchâtres à oursin d'âge Turonien.

Ces deux ensembles forment les affleurements de tous les synclinaux perchés de la partie centrale des monts des Ksour en particulier le Djebel Rhoundjaia (Ain Ouarka) et Safret El Djir à proximité d'El Hendjir.

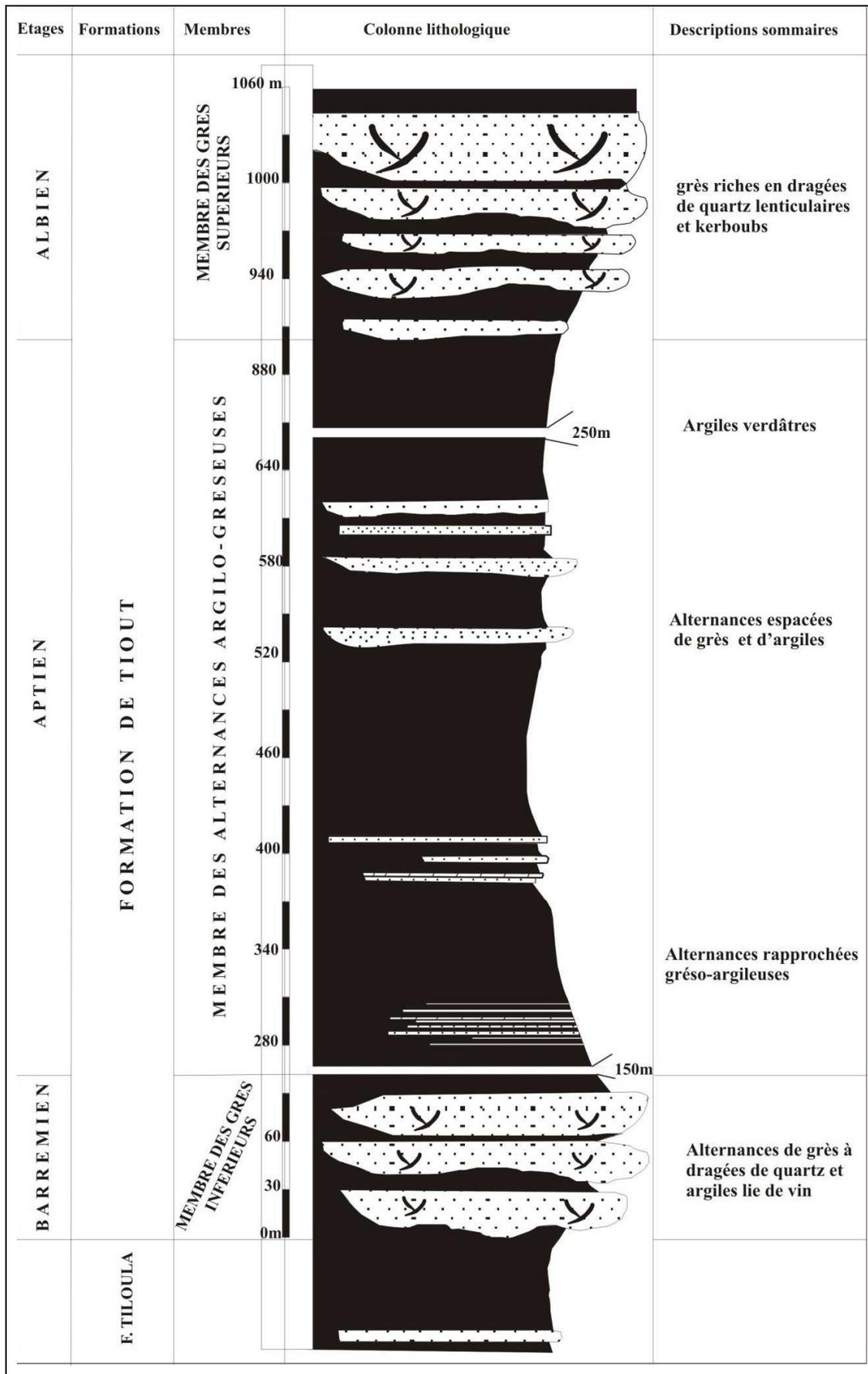


Fig. 20 : Coupe de la « Formation de Tiout » (Kacemi 2013)

I-1-6) LE TERTIAIRE CONTINENTAL

Il est constitué par des dépôts continentaux ou lagunaires attribués au Tertiaire et au Quaternaire, Bassoulet (1973) et Douihasni (1976).

Cette formation comporte:

- une série attribuée au Mio-pliocène formée de couches rouges argilo-gréseuses entrecoupées de niveaux gypsifères.
- une formation épaisse rapportée au Pliocène formée de conglomérats hétérométriques appelés « poudingues de Ksour ».
- Une croûte horizontale de 1 à 2m d'épaisseur constituée de calcaires blanchâtres.

II-7) LE QUATERNAIRE :

Les formations quaternaires sont constituées par plusieurs types de dépôts :

- *Les limons anciens* : attribués au Plio-Quaternaire et Quaternaire ancien et constituent des alluvions connues sous le terme de « formations tufacées » (Galmier 1972).

A ces limons anciens sont rattachés des tufs et travertins localisés à proximité des sources et souvent liées à des accidents (Douihasni 1976).

- *Colluvions de piémonts* : constitués de cailloutis formant les brèches de pente.
- *Alluvions anciennes* : Ce sont des formations argilo-sableuses et conglomératiques. Elles sont peu épaisses, localisées sur les étendues planes ou dans les dépressions de faible pente.
- *Alluvions récentes* : Sont constituées de sables, et jalonnent les lits des Oueds.
- *Formations éoliennes* : Elles sont assez répandues dans la région d'Ain Sefra. Ces accumulations sableuses constituent les dunes qui jalonnent la partie Nord et Nord-Est du Djebel Mekter.

I-2) TECTONIQUE

La région a été intensément plissée. Le style tectonique est celui classique de l'Atlas Saharien. Entre les vastes voûtes anticlinales, de direction NE-SW, s'étalent des synclinaux à fond plat. (Fig.21).

Au Nord, le domaine des hautes plaines oranaises culminant à 1200 m d'altitude, et au Sud, le domaine saharien(ou plateforme saharienne) culminant à 800 m d'altitude.

Cet ensemble structural est limité au Nord par « l'accident nord atlasique », correspondant à la limite entre l'Atlas saharien occidental et les Hautes plaines oranaises, d'orientation SW-NE, au Sud par l'accident Sud atlasique appelé aussi « Flexure sud atlasique ».

D'importantes fractures, dont plusieurs ont une orientation NE-SW, ont affecté les terrains.

A la fracturation et aux plissements s'ajoutent un certain nombre d'alignements qui se manifestent par arrêts de structures et des anomalies tectoniques.

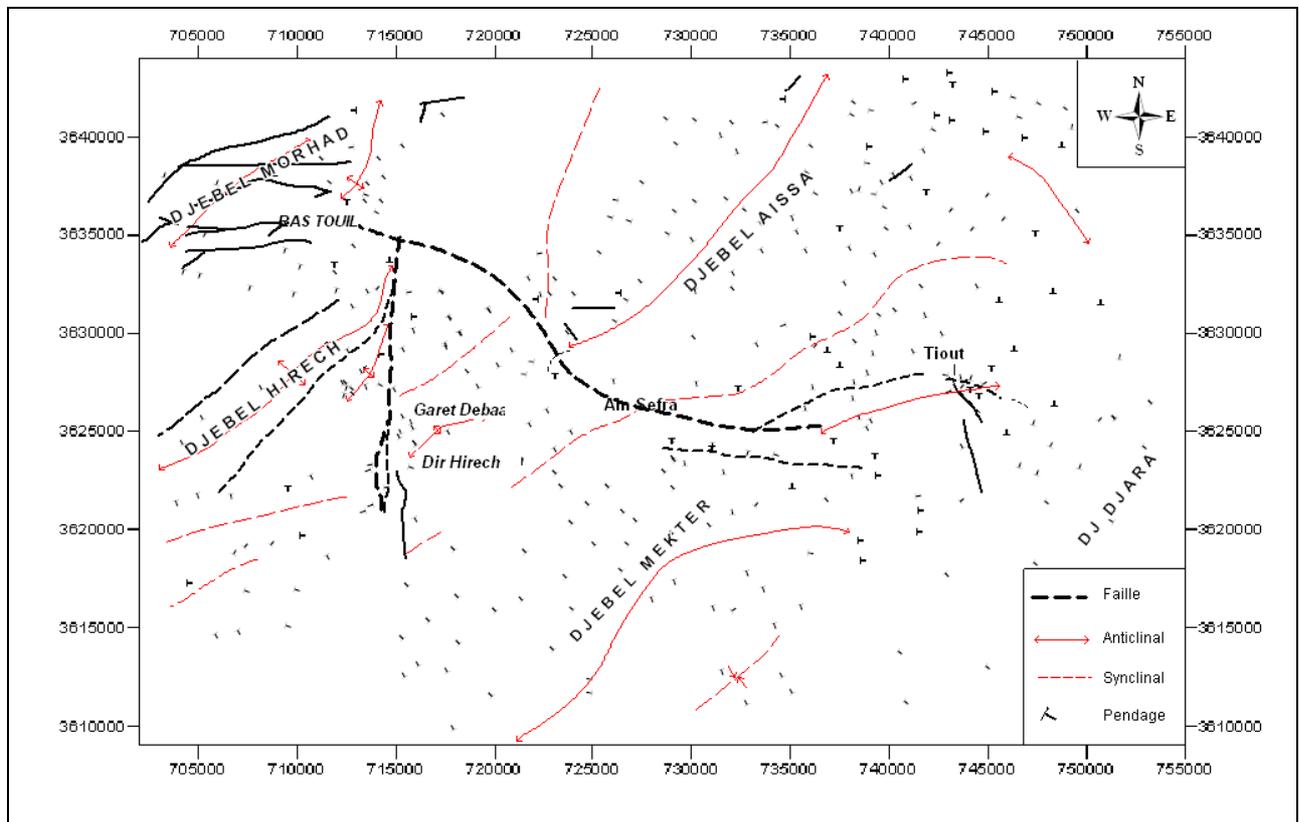


Fig. 21 : Les grands alignements dans la région d'étude (Galmier 1972 + CGG 1974)

Aux différents alignements et la carte globale de linéaments Kacemi 2013 (fig. 22) dont les principales directions sont N90° à N110° et N70° à N90°, on peut rattacher la faille « Ras Touil – Ain Sefra », décelé par l'étude géophysique réalisée en 1974 dans la région par la CGG (Compagnie Générale de Géophysique).

C'est une faille normale de direction moyenne N150° (NW – SE), qui recoupe transversalement, d'une part les anticlinaux de Djebel Hirech et Morhad, et d'autre part ceux de Dir Hirech–Garet Deba et Djebel Aissa.

Cet accident a causé l'effondrement de la région de Garet Deba –Hirech, par rapport à la partie Nord représentée par le synclinal, entre Aissa et Morhad. (In Ardallah et Belhadj 2008).

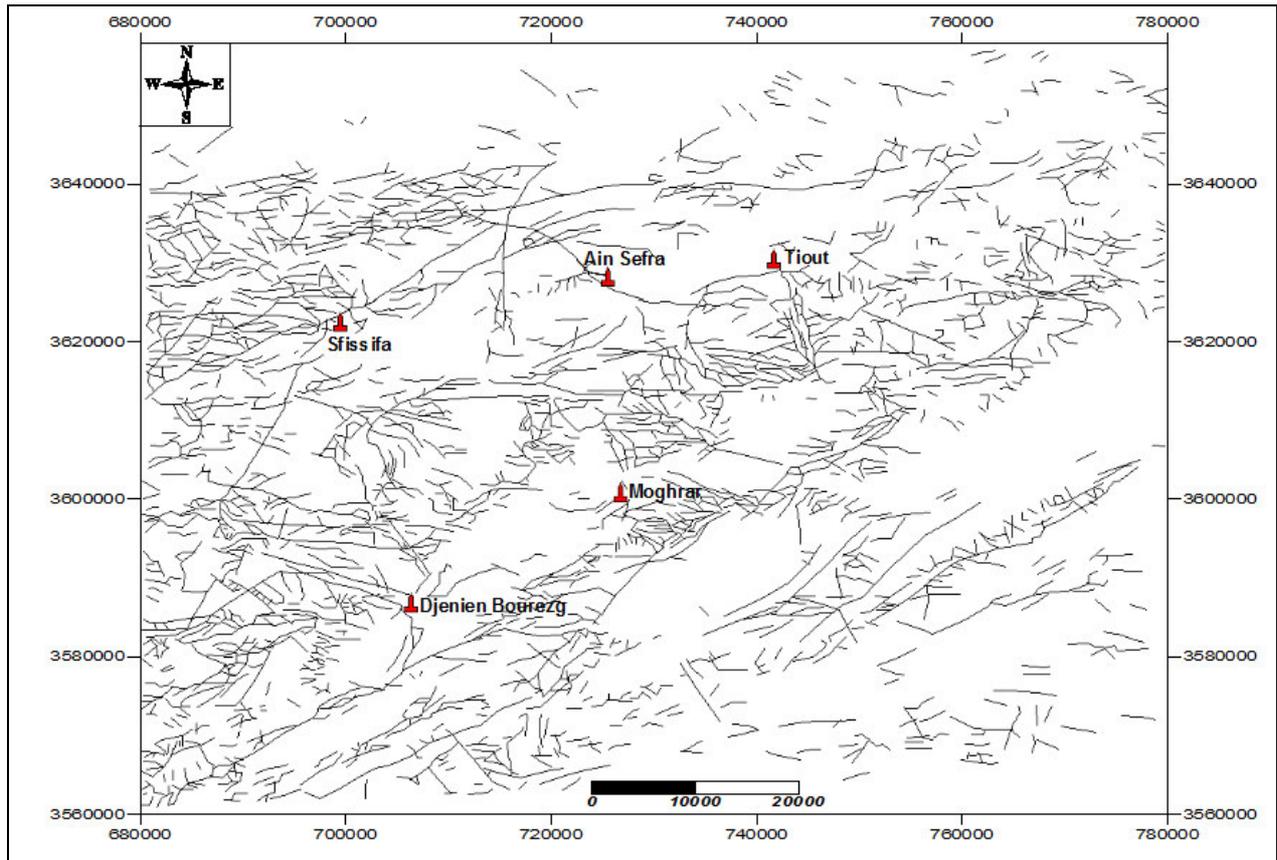


Fig. 22 : Carte de linéaments globale issue des images satellitales et des quatre cartes photogéologiques rassemblées (Kacemi 2013)

I-3) CADRE GEOLOGIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

I-3-1) REGION « AIN SEFRA ET TIOUT » (Fig.23)

Ain Sefra et Tiout sont situées dans l'un des synclinaux, qui s'étalent de Sefret Djir (El Hendjir) à Maader (Tiout) (Coupe E-E' Fig. 24), où les couches sont représentées par les grès du Crétacé inférieur.

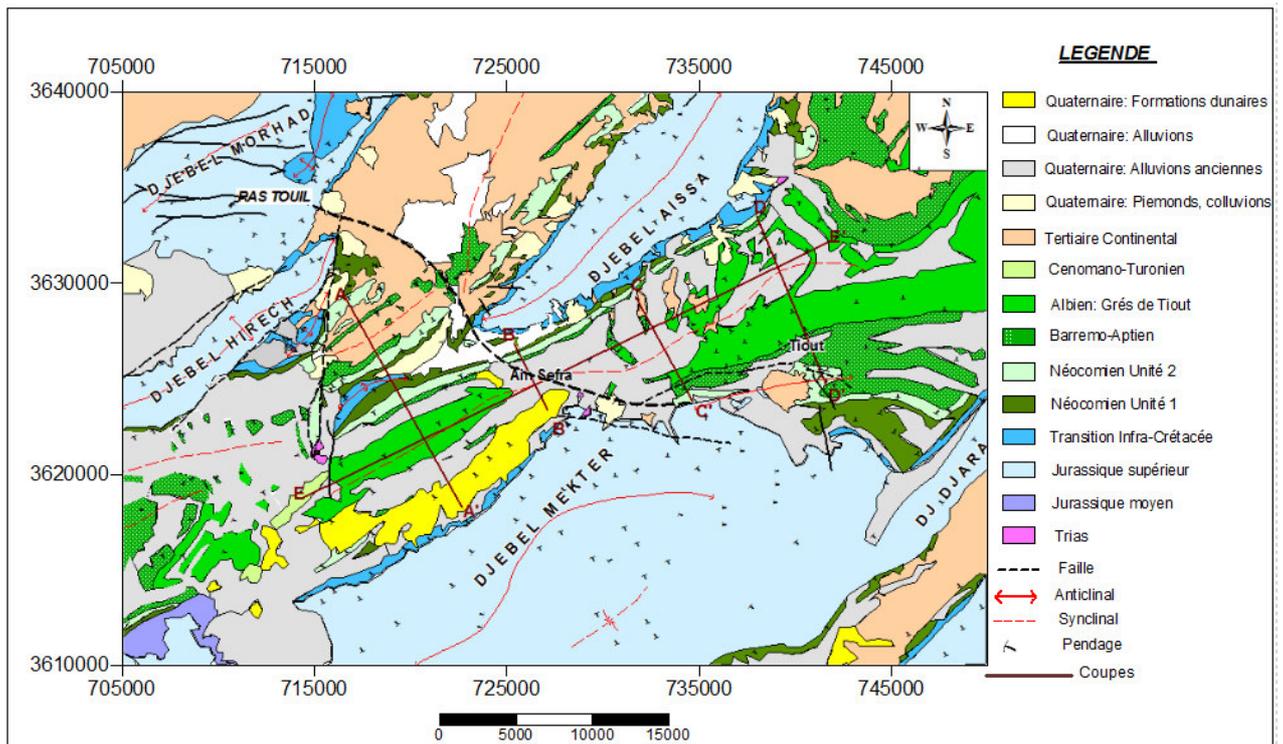


Fig. 23: Carte géologique de la région d'Ain Sefra (Galmier 1972 –digitalisée)

Deux anticlinaux l'un au Nord et l'autre au Sud encadrent le synclinal.

- La première partie du synclinal se situe entre El Hendjir et Ain Sefra, le flanc Sud-Est étant fortement masqué par les dunes.

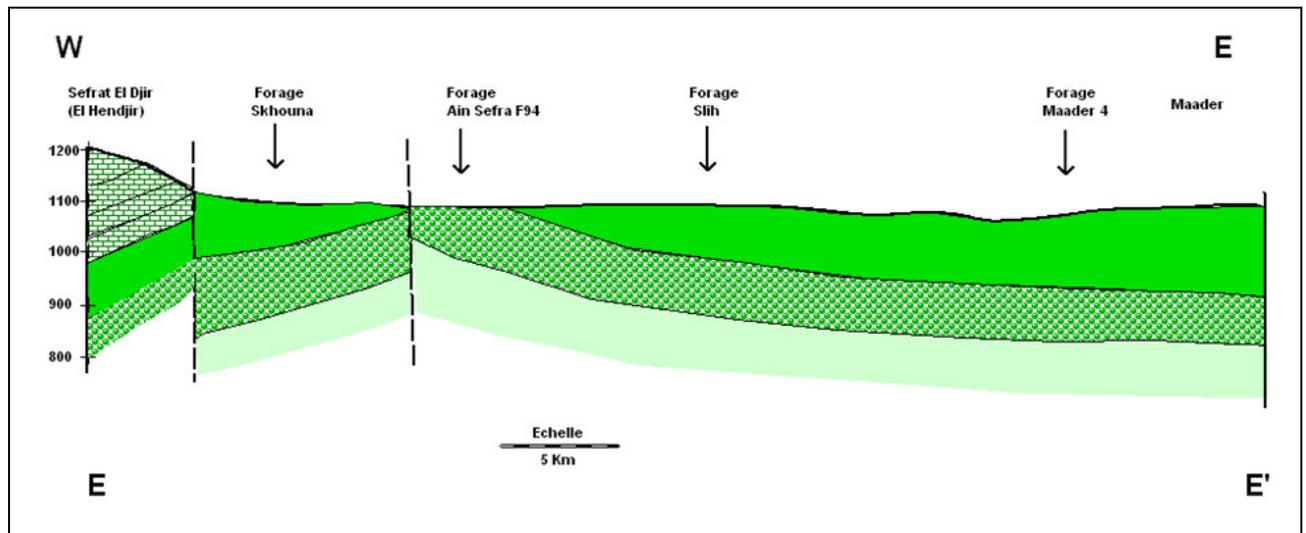


Fig.24 : Coupe géologique Hendjir – Maader

La limite Sud Ouest est bien marquée. Il s'agit de la zone disloquée Nord-Sud renfermant les ophites du Trias d'El Hendjir. (Coupe A-A' et FF' Fig. 25 et 29).

La structure de la région « Ain Sefra –Tiout » se présente comme suit:

On distingue du Nord au Sud:

- L'anticlinal Jurassique du Djebel Hirech accidenté sur son flanc Sud par une faille orientée SW-NE.
- le synclinal à fond plat de Gareit Kheil
- L'anticlinal de Gareit Debaa- Dir Hirech, qui est un prolongement vers l'Ouest de Djebel Aissa.
- le synclinal Skhouna

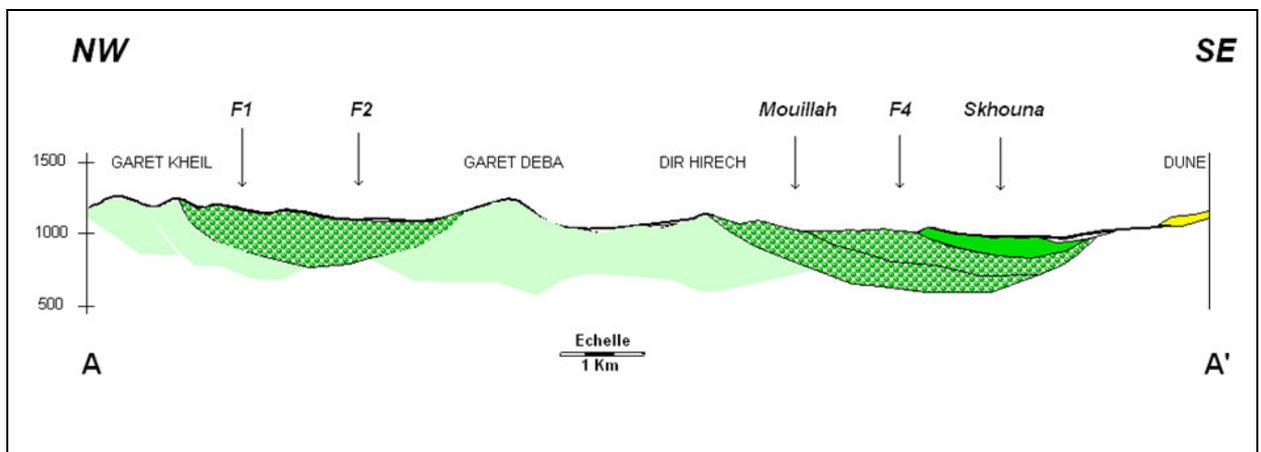


Fig. 25 : Coupe géologique Gareit Kheil - Skhouna

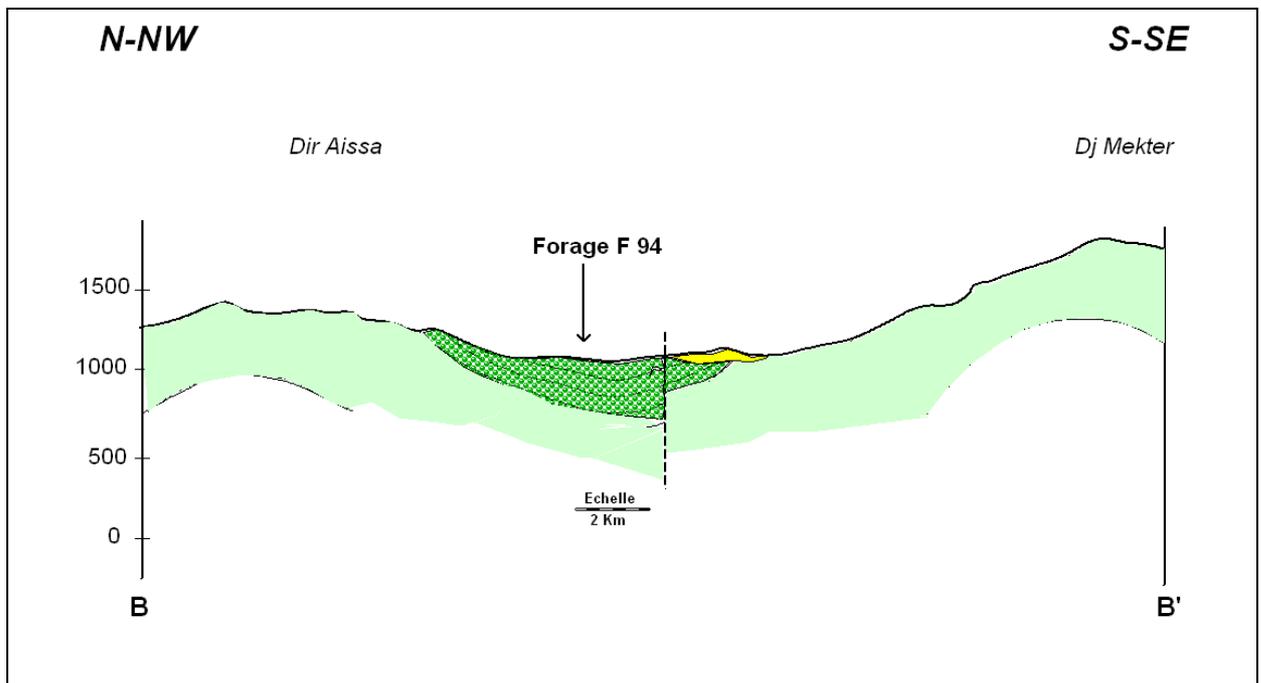


Fig. 26 : Coupe géologique montrant le rétrécissement du Synclinal

- A l'Est, et à Ain Sefra même on a un rétrécissement de ce synclinal. (Coupe B-B' Fig.26).
- La deuxième partie du synclinal s'étale à l'E-NE d'Ain Sefra vers la région de Tiout pour former le synclinal de Slih-Maader, typique des monts des Ksour à fond plat affectant l'Albien encadré par les anticlinaux Jurassiques de Djebel Aïssa et Djara. (Coupe C-C' et D-D' Fig.27-28).

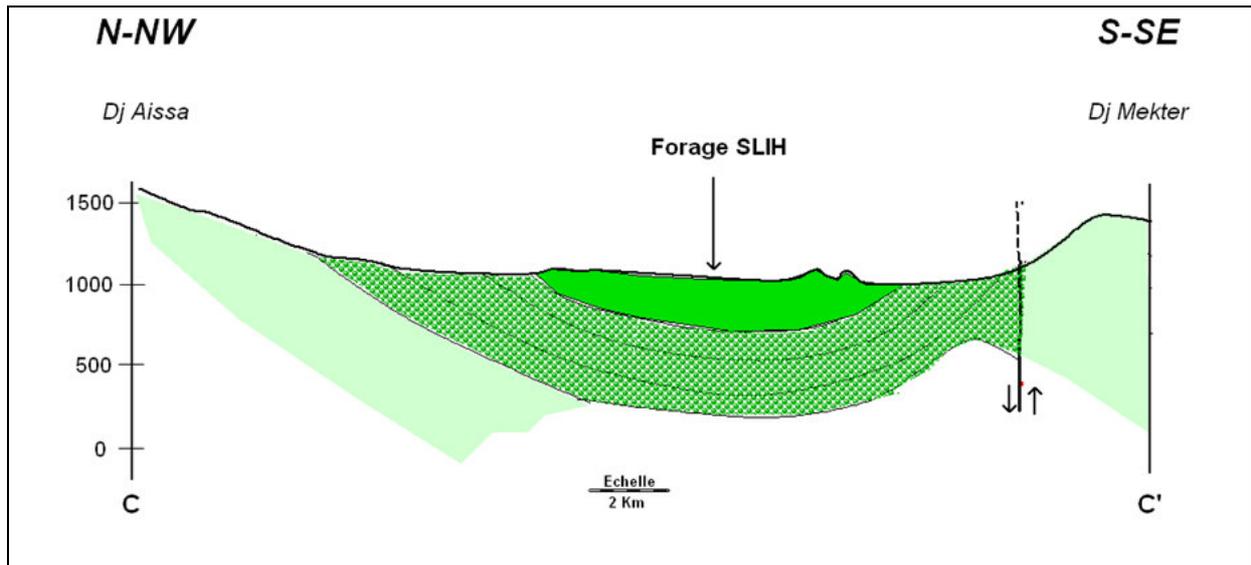
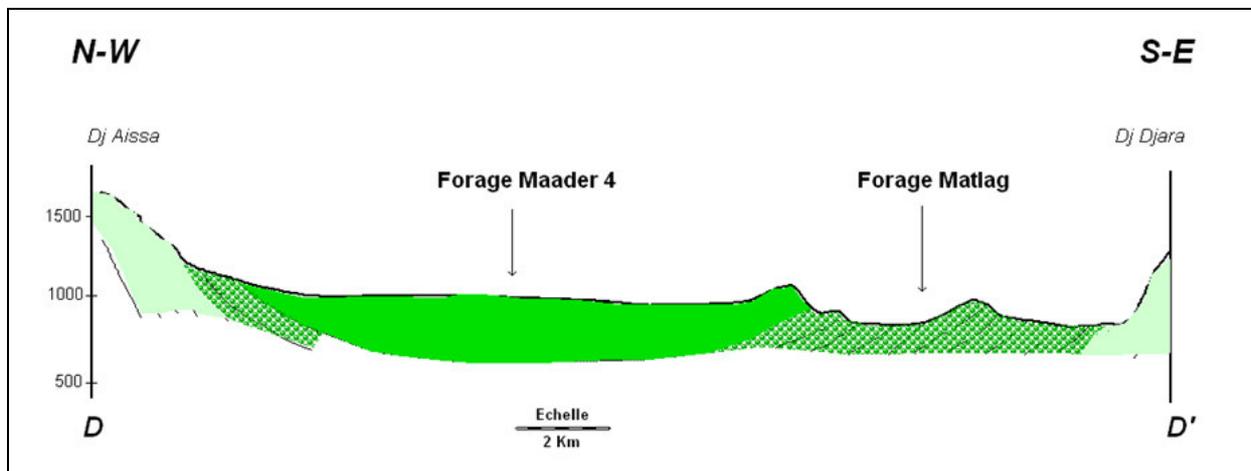


Fig.27 : Coupe géologique au niveau de Slih



LEGENDE

- Dune
- Formation de Tiout (Membre sup.)
- Formation de Tiout (Membre median et inf.)
- Formation de Tiloula (Membre sup.)
- Faille

Fig.28 : Coupe géologique au niveau de Maader

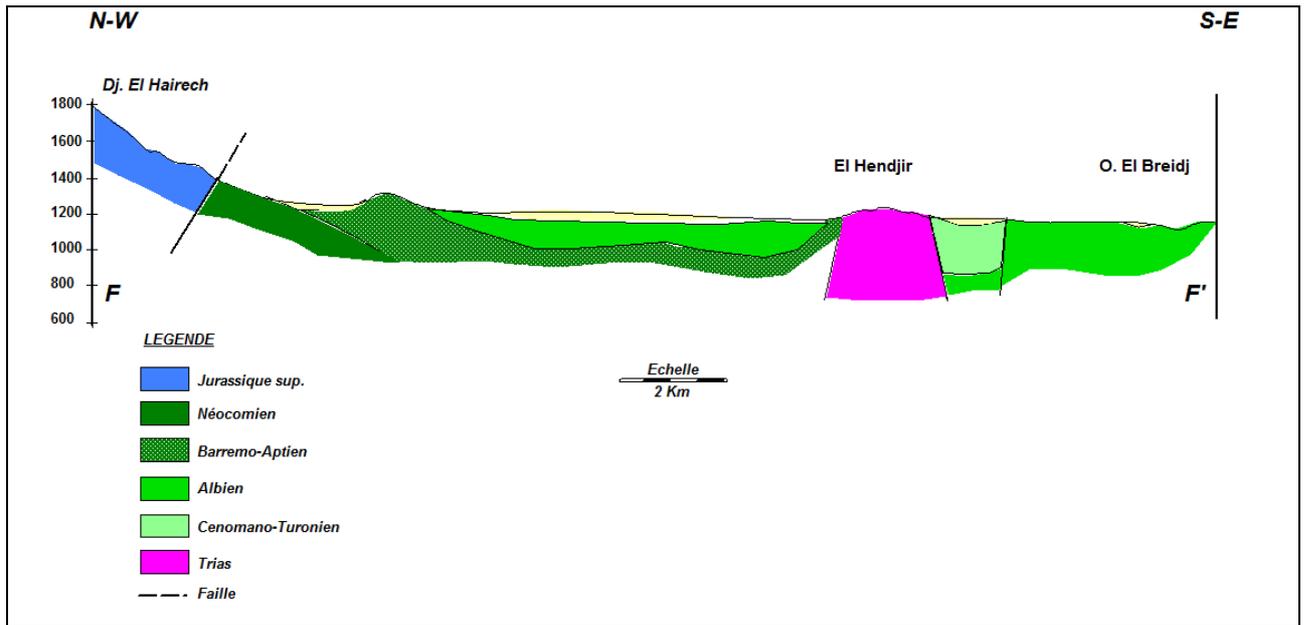


Fig. 29 : Coupe géologique passant par El Hendjir

I-3-2) REGION « SIDI BRAHIM » (Fig 30-31)

Elle se rapporte à un synclinal elliptique fermé typique un peu allongé du Sud-Ouest au Nord-Est à fond plat (fig.30), affectant le Crétacé inférieur et l'Albien (formation de Tiout), au centre de la cuvette traversé par Oued Namous et bordé par des rides Jurassiques de Djebel Moghrar et Haimeur (fig.31) qui sont des anticlinaux gréseux allongés d'une orientation SW-NE limitant le synclinal.

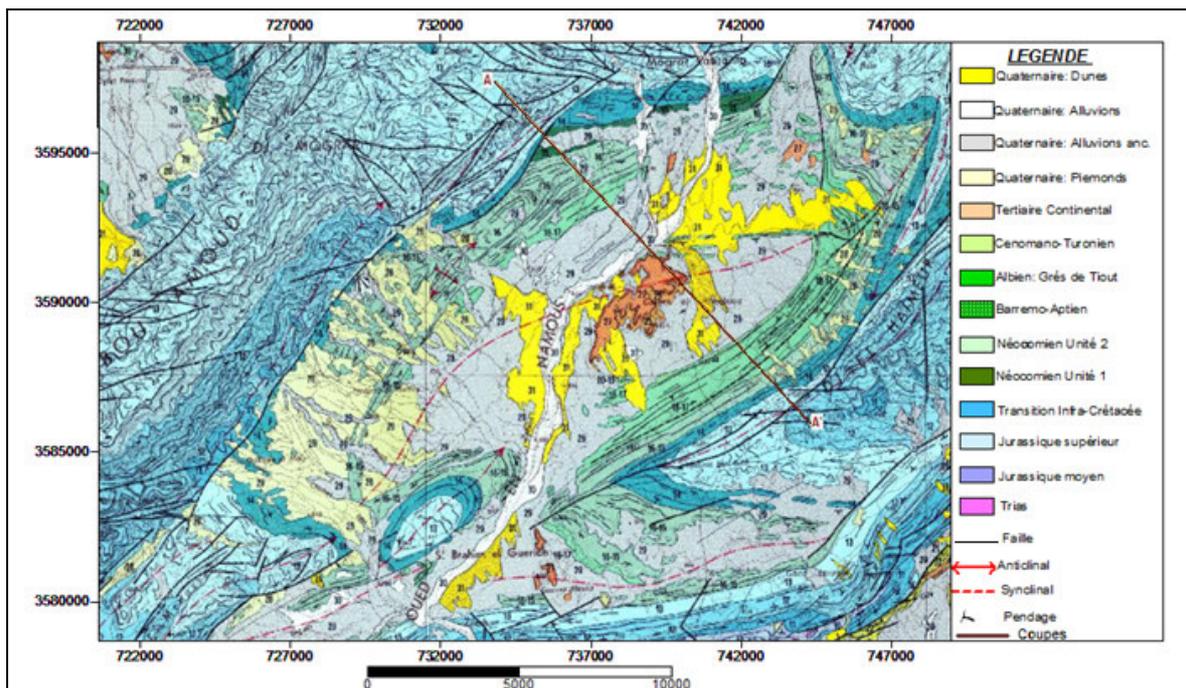


Fig. 30: Carte géologique de la région de Sidi Brahim (Galmier 1972)

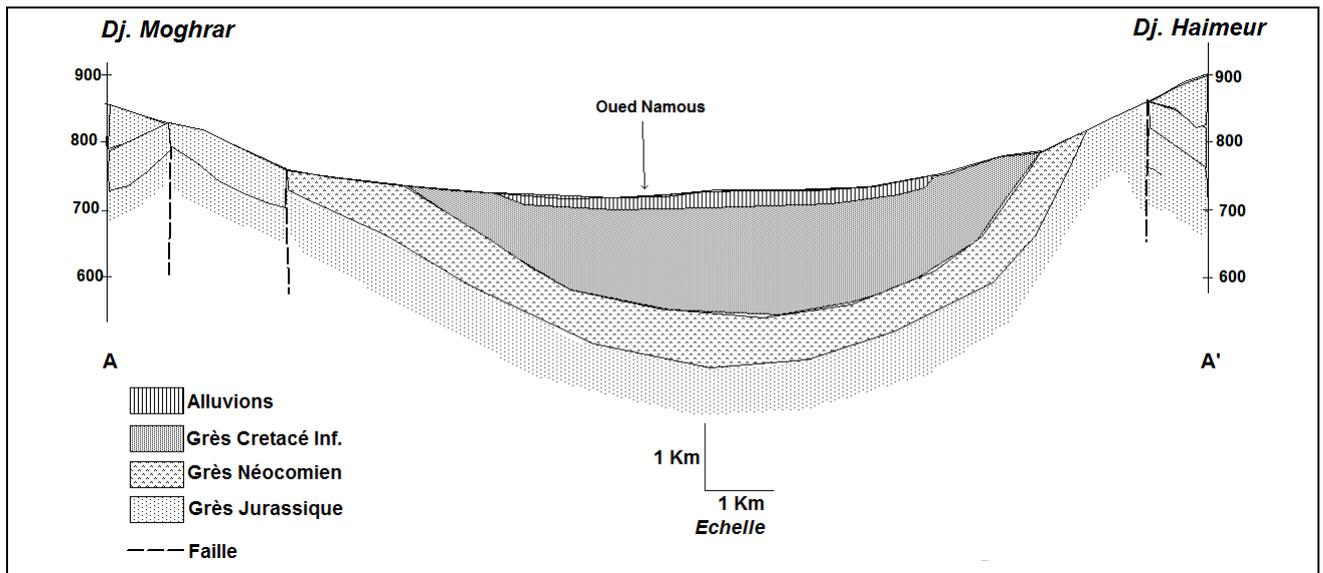


Fig. 31 Coupe géologique AA' au niveau du bassin Sidi Brahim

IV-3) REGION « ROSFA HAMRA – RHOUBA » (Fig. 32):

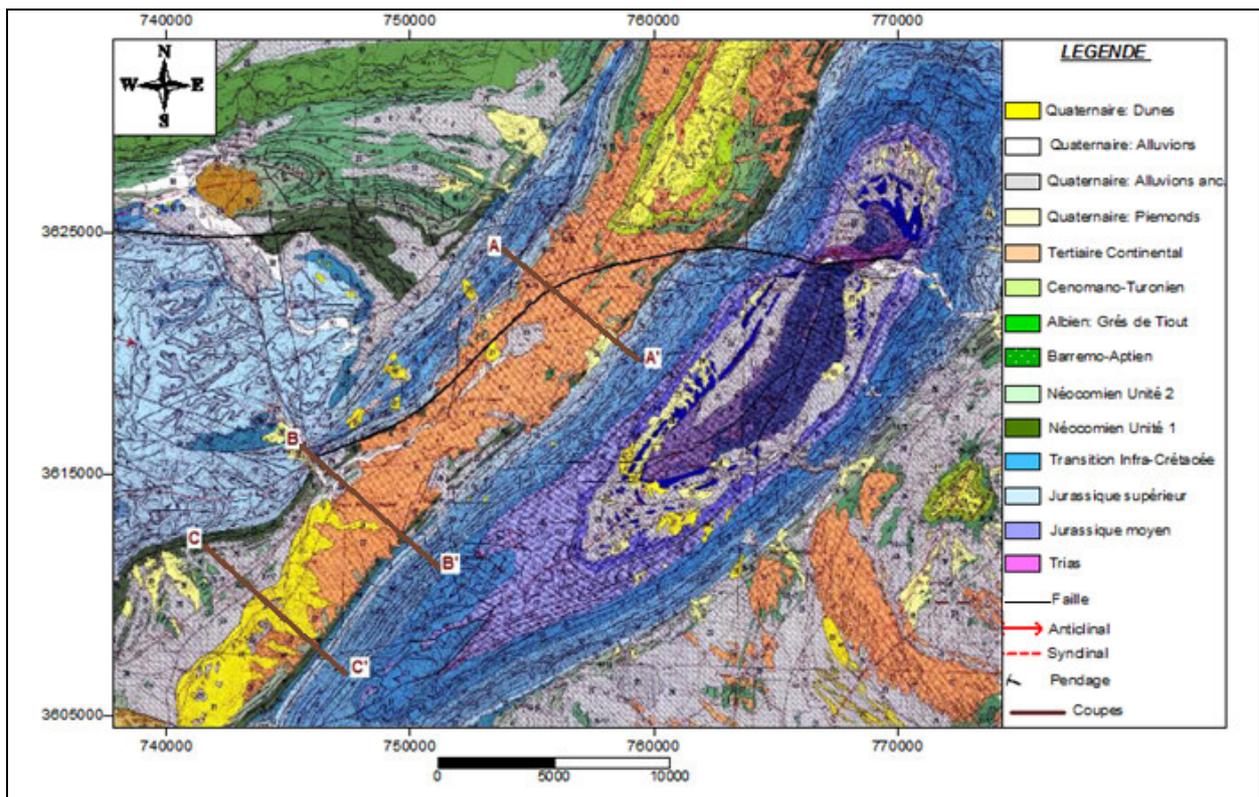


Fig. 32: Carte géologique de la région de Rosfa Hamra - Rhouiba (Galmier 1972)

Les coupes A, et C (fig. 33) sont caractéristiques de la structure du bassin.

- Coupe AA' : le cœur du synclinal est essentiellement représenté par des marnes cénomaniennes. Le niveau résistant sous jacent à ces marnes représente les grès du Crétacé inférieur (membre sup et médian de la formation de Tiout).

Les grès du Jurassique étant donné les forts pendages, ne sont visibles que sur les flancs du synclinal.

Une faille qui est le prolongement de la faille triasique du Nord de Djebel Boulerhfad, semble affecter la structure synclinale.

Au centre le synclinal se resserre, et la formation de Tiout décrite au dessus semble s'épaissir et prendre de l'importance au détriment des niveaux marneux de la formation de Tiout (membre inférieur).

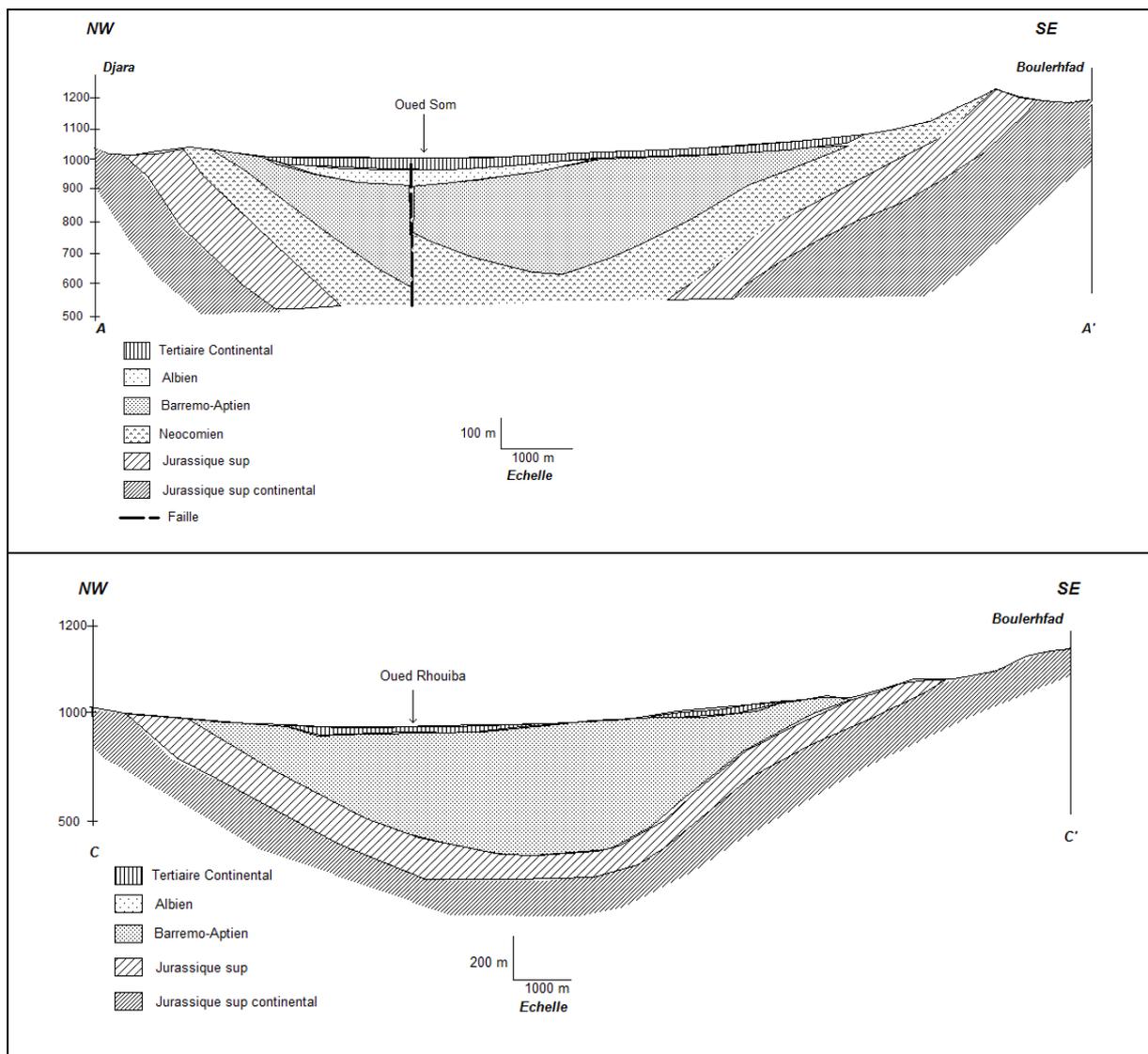


Fig. 33 : Coupes géologiques au niveau du bassin Sam – Rhouiba

- Coupe CC' : La partie au dessus de la formation de Tiout appartient au Tertiaire formé de conglomérats miocènes ou de dépôts de gypse. Tout à fait au Sud Ouest on est en présence du Miopliocène.

I-3-4) REGION « SFISSIFA-BENHANDJIR » (Fig.34-35)

A l'ouest de la zone de fracture de Benhandjir, la plaine de l'oued Sfissifa masque un large synclinal à fond plat.

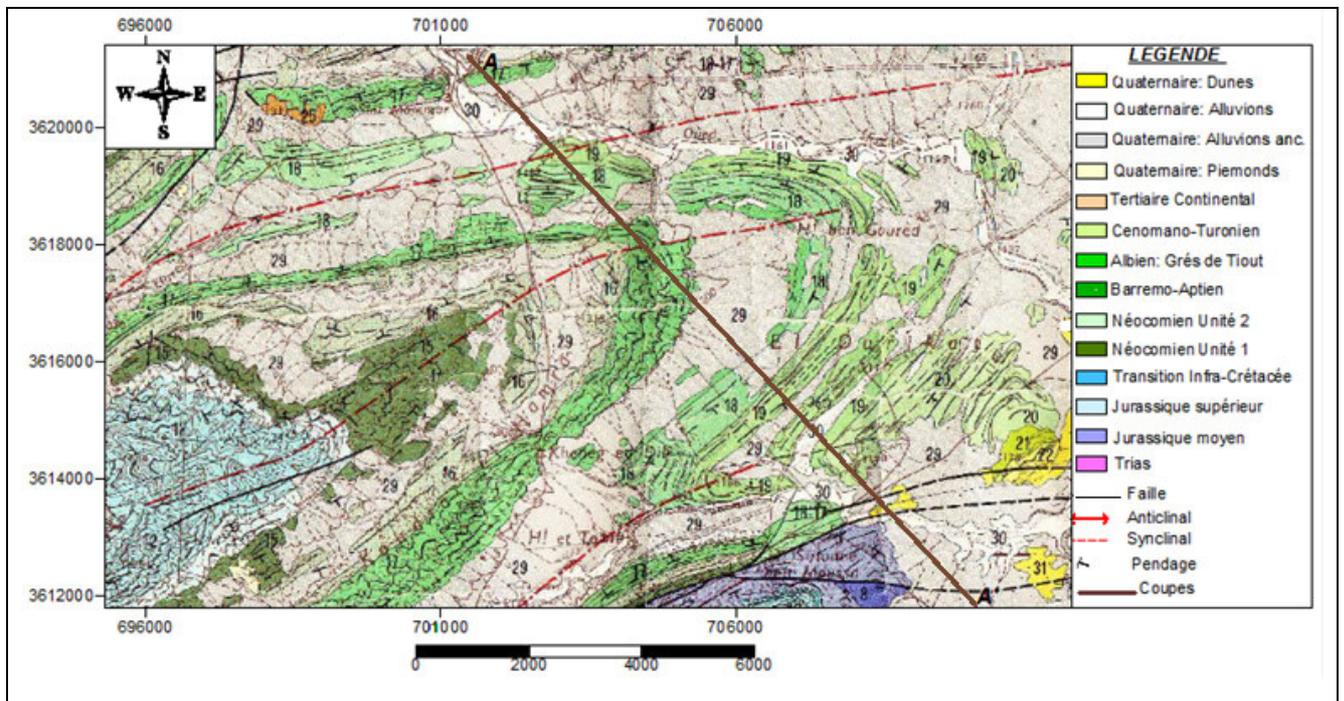


Fig. 34 : Carte géologique de la région de Sfissifa (Galmier 1972)

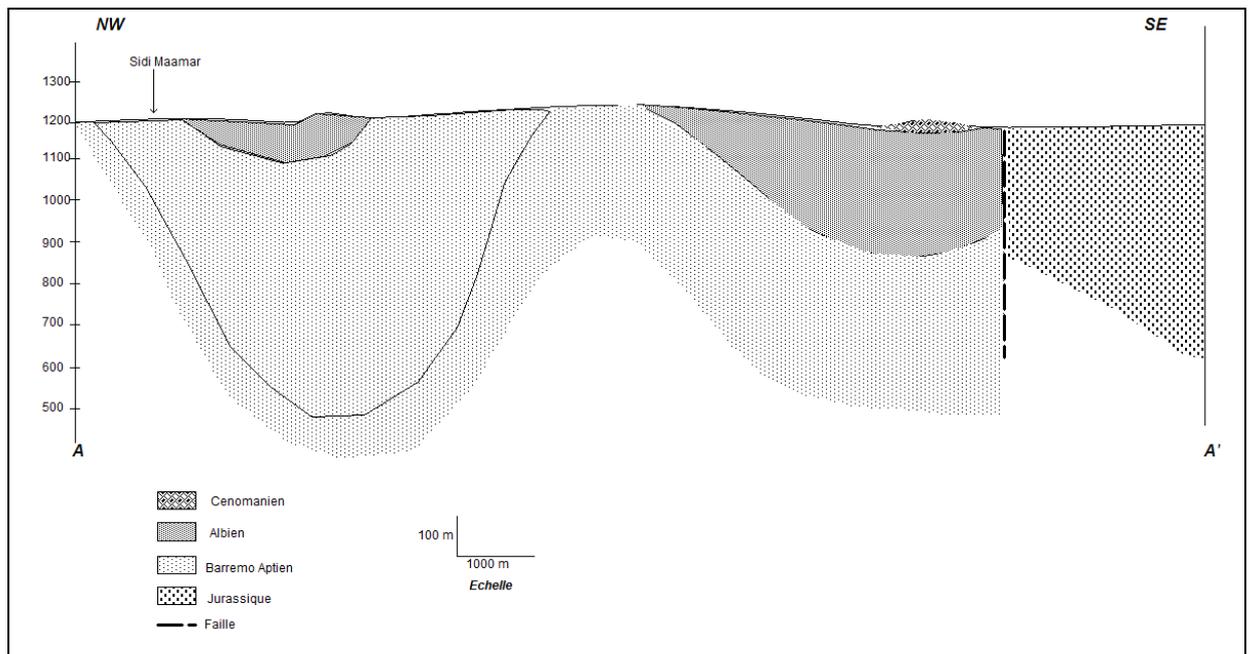


Fig. 35 : Coupe géologique de la zone de Sfissifa passant par Sidi Maamar

I-3-5) REGION « ASLA – REMTHA » (Fig. 36-37)

C'est un prolongement du synclinal de Tiout à fond plat représenté par les grès du Crétacé inférieur.

02 anticlinaux entourent cette gouttière synclinale, Affezouz et Tanout.

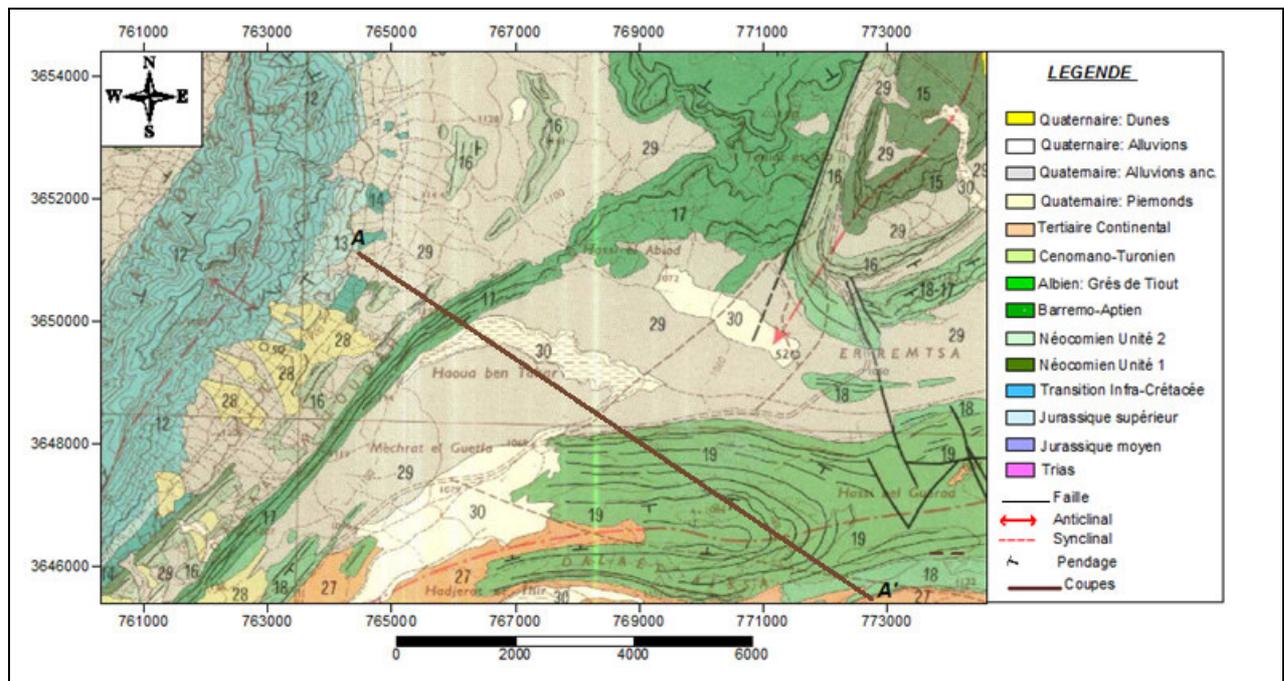


Fig. 36: Carte géologique de la région de Asla - Remtha (Galmier 1972)

On distingue du Nord-Ouest au Sud-Est:

- L'anticlinal jurassique du Djebel Affezouz accidenté sur son flanc sud par une faille orientée SW-NE, qui met en contact anormal le Néocomien et le Barremo-Aptien (membre median et inferieur de Tiout) du flanc sud avec le jurassique supérieur de l'axe anticlinal.
- Le synclinal néocomien de Dalaat Milouda.
- Le synclinal albien (membre sup. de la formation de Tiout) à fond plat de Remtha et Dalaat Aissa.

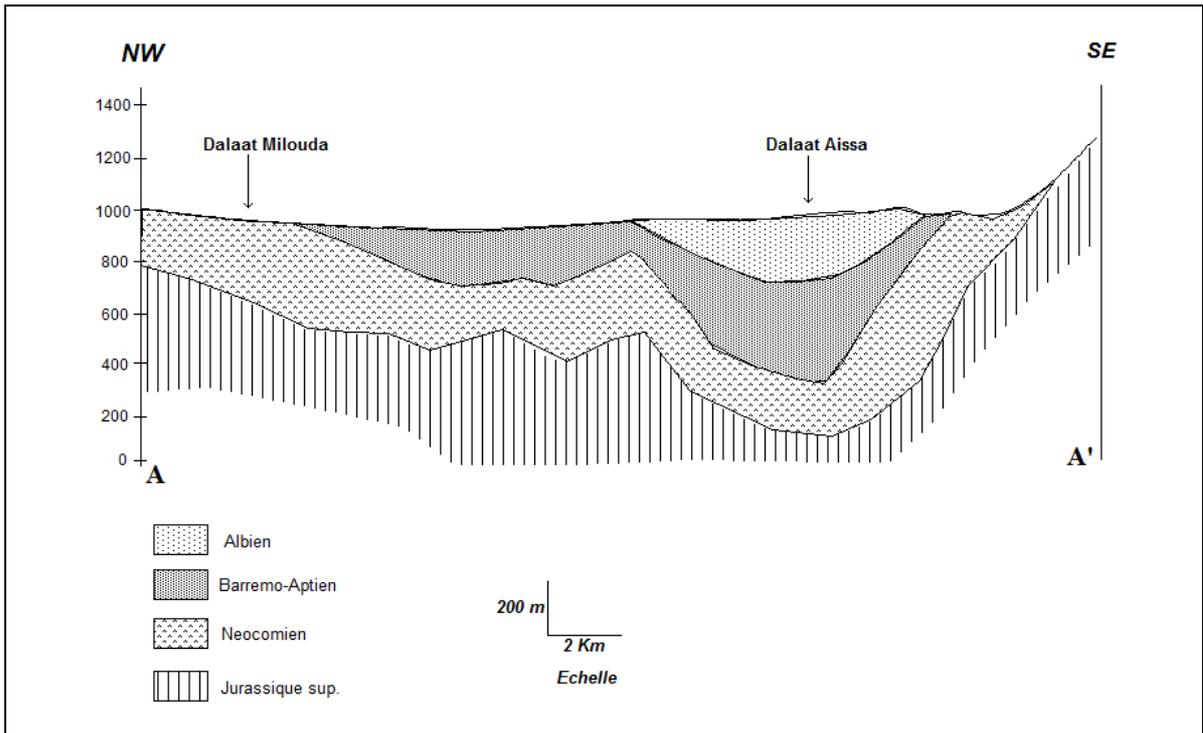


Fig. 37 : Coupe géologique au niveau du synclinal Remtha

I-3-6) REGION « DJENIEN BOUREZG » (Fig. 38-39):

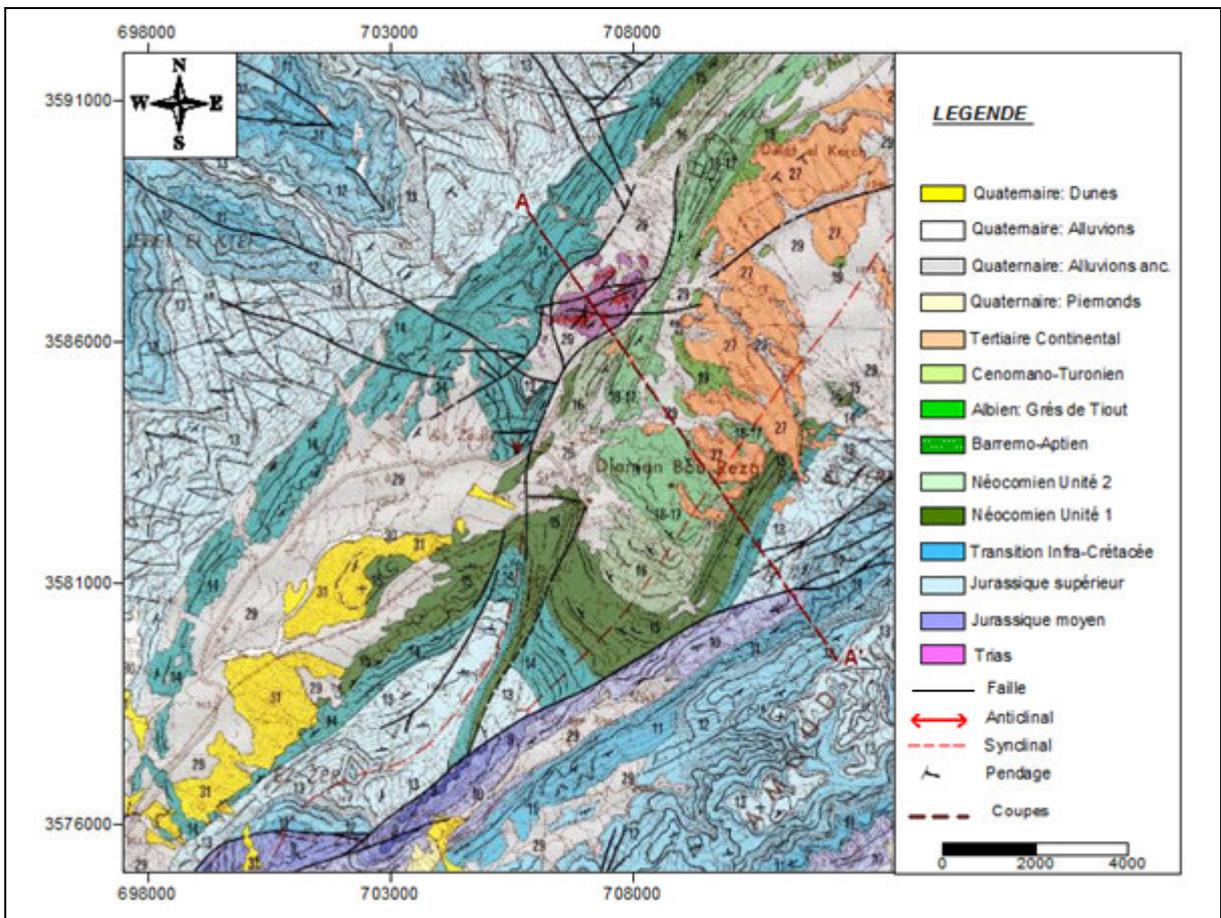


Fig. 38 : Carte géologique de la région de Djenien Bourezg (Galmier 1972)

Elle constitue une structure synclinale à fond plat, affectant le Crétacé inférieur et l'Albien et bordé par des rides Jurassiques.

Au Sud, elle est limitée par une faille affectant le Djebel Bou Amoud. Vers le SW elle est limitée par le synclinal de Hadjerat Lemguil et au NE par la gouttière synclinale des Oglats (Moghrar).

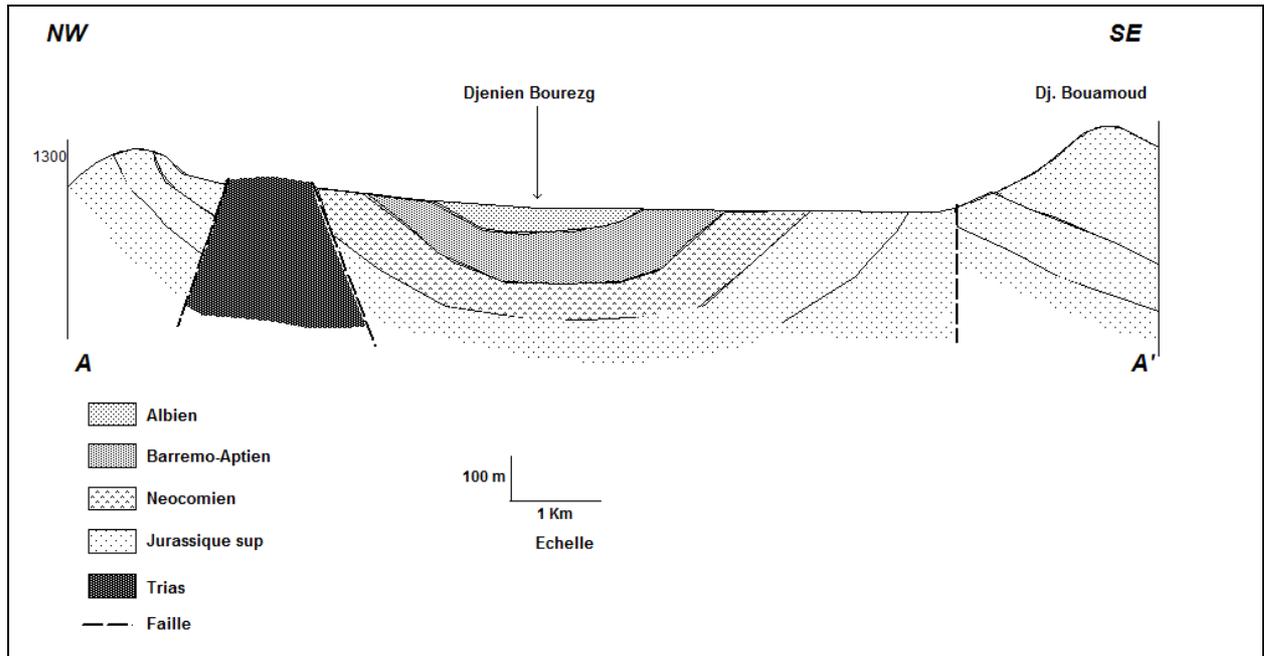


Fig. 39 : Coupe géologique au niveau du synclinal de Djenien Bourezg

II) GEOPHYSIQUE

La géophysique est l'outil d'investigation complémentaire profond de l'hydrogéologie, laquelle apporte des données indispensables sur la géométrie du réservoir possible, sur sa nature lithologique ainsi que sur l'évolution de ces caractéristiques hydrodynamiques.

L'étude géophysique faite par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG 1974) dans la région d'Ain Sefra et de Rhouiba, et une autre en 1971 dans la région de Moghrar Tahtani (Sidi Brahim) consistait à l'étude de l'importance et l'extension des niveaux grossiers, sables, grés et conglomérats des terrains susceptibles d'être aquifère.

La longueur de ligne a été choisie en AB= 4000 m, de façon à atteindre dans la mesure du possible les formations du Jurassiques sup. dans le cœur des bassins.

L'interprétation des résultats de sondages électriques devrait préciser :

- La nature et la géométrie des formations argileux-gréseuses du Crétacé inférieur.
- La continuité et l'allure du niveau argileux-gréseux.

Les résultats de cette analyse montrent la présence de failles majeures qui découpent la zone en compartiments.

II-1) LA REGION « TIRKOUNT- EL HENDJIR »

La carte du toit du Jurassique supérieur de cette région (Fig. 40) met en évidence la faille « Ras Touil – Ain Sefra » et un anticlinal médian au sud qui est le prolongement de Djebel Aissa. Les coupes géoélectriques A et B (Fig.41) montrent un compartiment structural résultant d'un mouvement dextre. Ce phénomène est caractérisé par un déplacement vers le N-W des structures de Djebel Hirech, et un accroissement de résistivité des terrains du Crétacé inférieur vers le S-SW suite à une augmentation des niveaux gréseux.

Dans la partie sud (El Hendjir) les formations gréseuses prennent de l'importance au détriment des formations argileuses qui sont plus importantes dans la partie Nord (Tirkount). Quelque soit l'importance des niveaux gréseux, ceux-ci ne semblent jamais atteindre des résistivités élevées, on a affaire à une succession de niveaux gréseux et argileux.

D'après les coupes, l'épaisseur du crétacé inférieur dans la région atteint 800m.

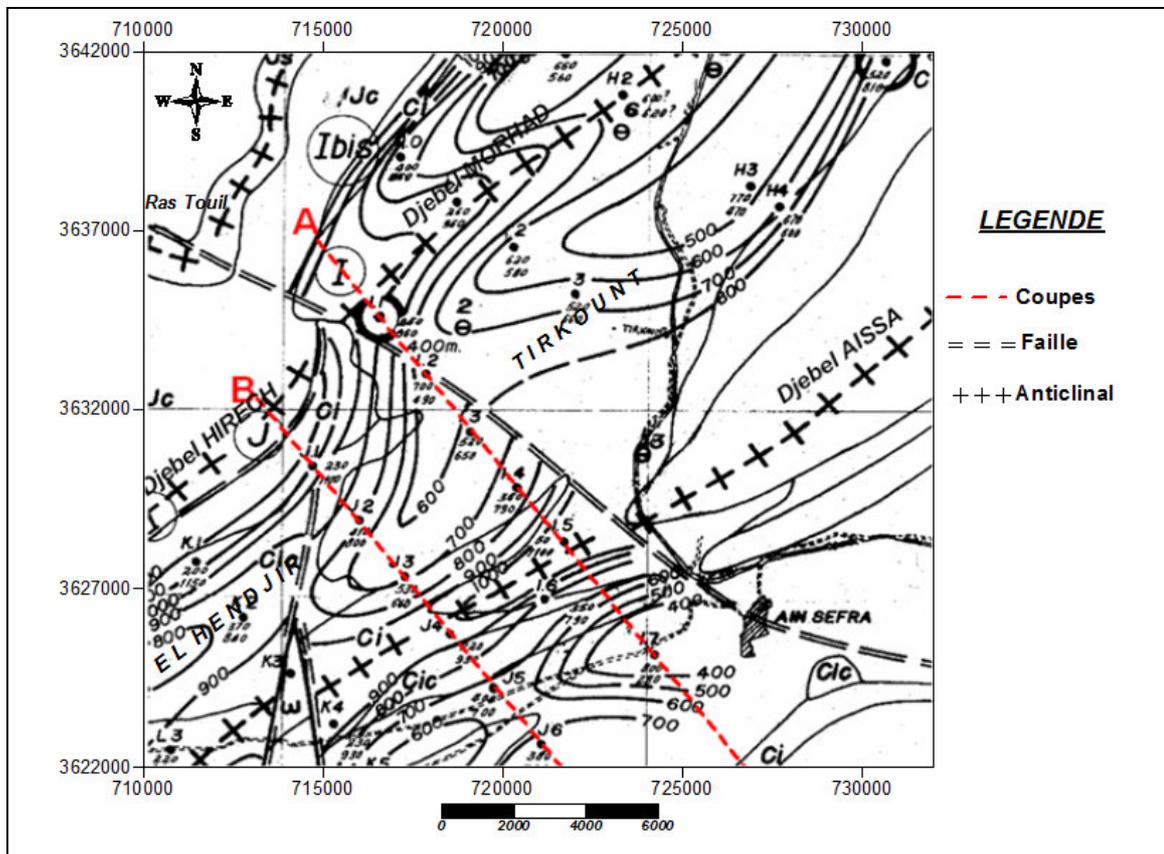


Fig.40 : Carte du toit du Jurassique sup. (Tirkount – El Hendjir) (CGG 1974)

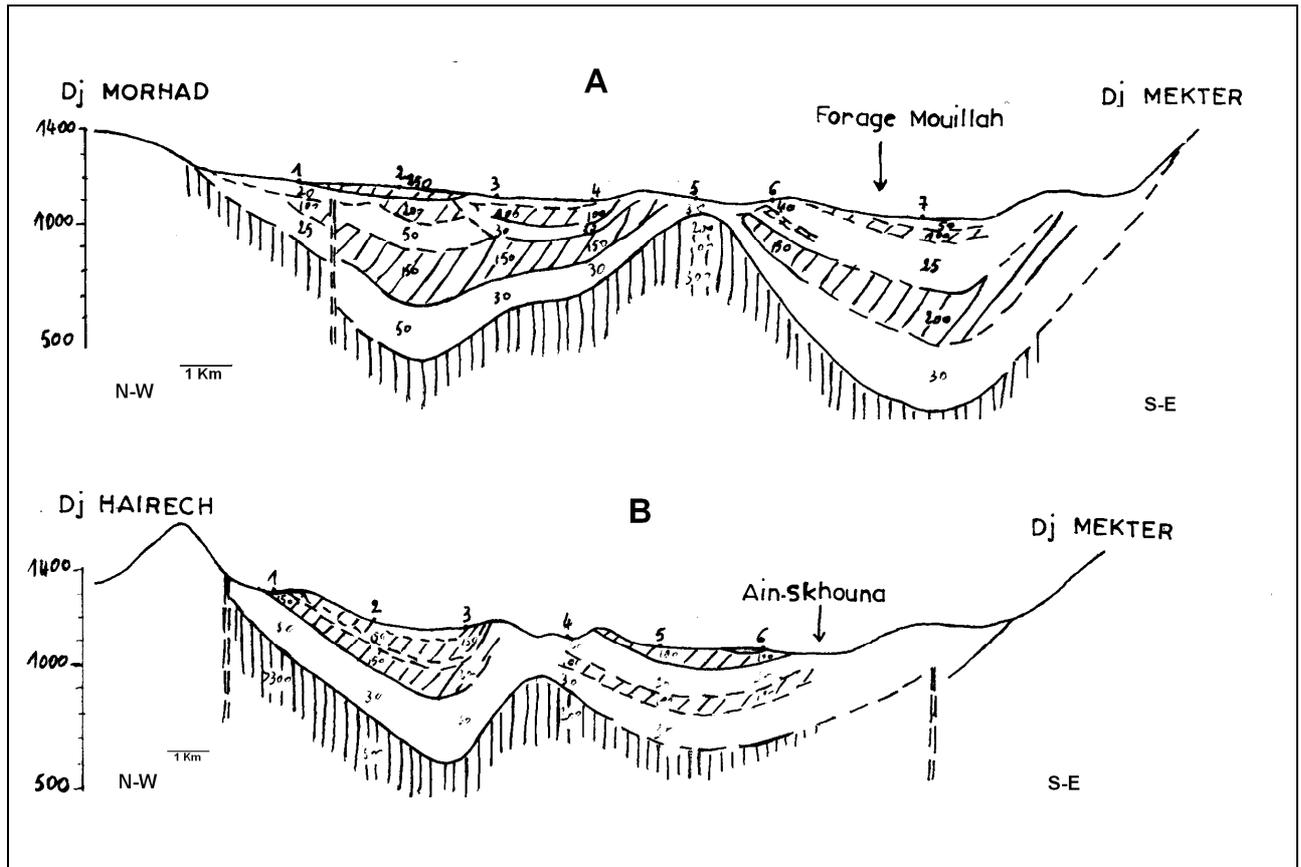


Fig.41 : Coupes géoélectriques (CGG 1974)

II-2) LA REGION « SIDI BRAHIM » (MOGHRAR)

L'interprétation des coupes géoélectriques (fig.42) montre la prédominance des grès de différente compacité, d'argiles, de marnes et d'argilites attribuées au Jurassique supérieur et au Crétacé inférieur.

Dans la partie centrale et Sud-Ouest de la dépression on trouve les formations Quaternaires constituées de sables éoliens et des alluviaux, et du Pliocènes formé par des grès et des argiles.

Les profils électriques permettent de distinguer, en plus de la présence de failles de direction générale correspondant en grande partie à l'extension des structures principales (NE-SW) :

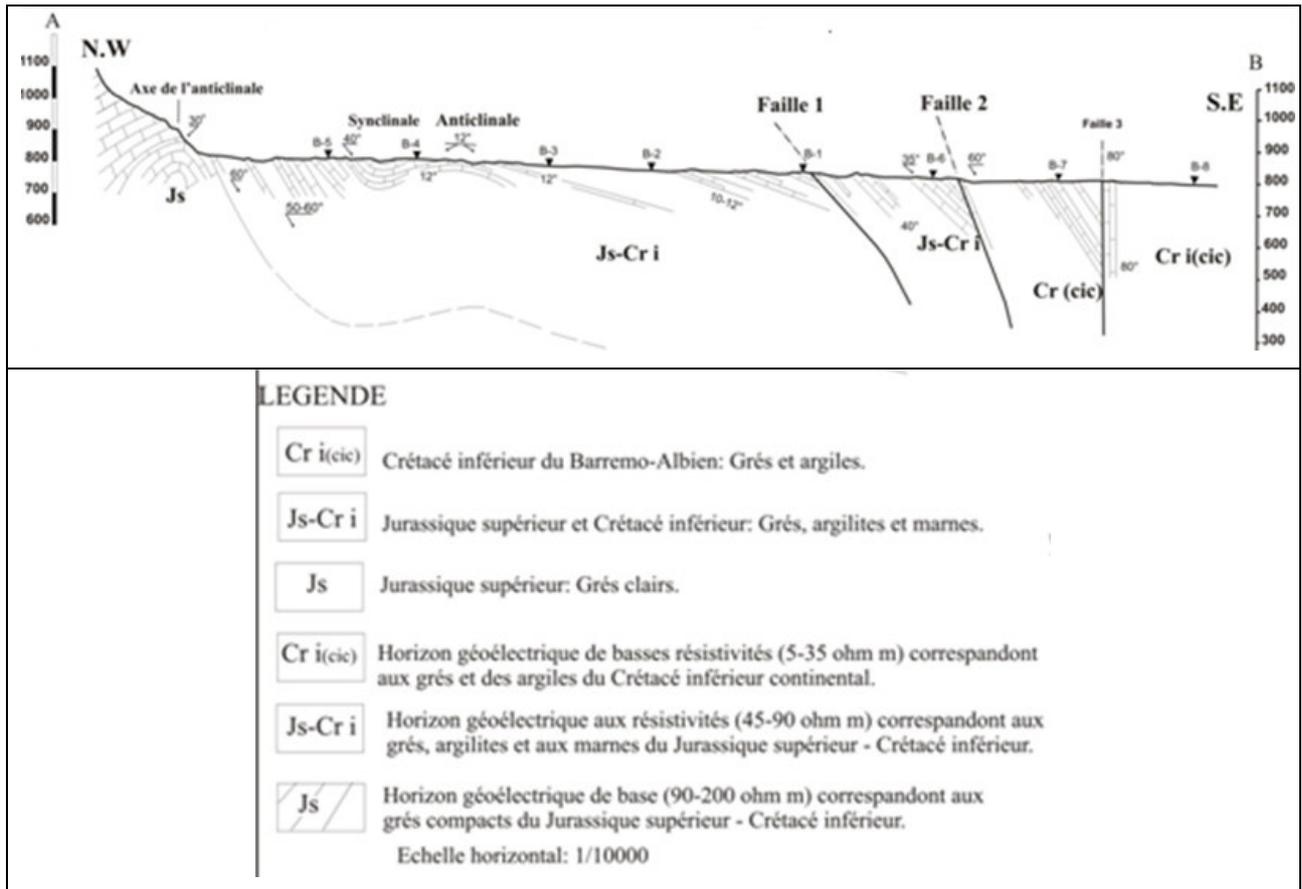


Fig. 42 : Coupe géoélectrique de la région de Sidi Brahim (Belyi 1971)

1. Une zone d'extension de basses résistivités, occupant la partie centrale de la dépression. Cette diminution indique la puissance des argiles par rapport aux grès correspondant au Crétacé inférieur.

2. Une zone avec des résistivités ($\rho=90-200$ ohmm) répandues à différentes profondeurs dans les parties extrêmes de la structure correspondant aux grès du Jurassique supérieur.

Dans les conditions d'extension des couches argileuses et marneuses dans la coupe il est possible que les failles forment un écran imperméable au cheminement du courant souterrain vers le centre de la structure.

III) CADRE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION

L'alimentation en eau potable des localités de la région d'Ain Sefra ainsi que l'irrigation des différents périmètres agricoles, est assurée par une série de forages (Tableau annexe 2) d'une profondeur allant de 100 à 380 m, avec une profondeur du niveau

statique variant entre 02 et 70 m, répartie à travers la région (Fig.43). Leurs débits d'exploitation sont en général très variables. Ils oscillent de 0,15 Hm³/an à 2,52 Hm³/an.

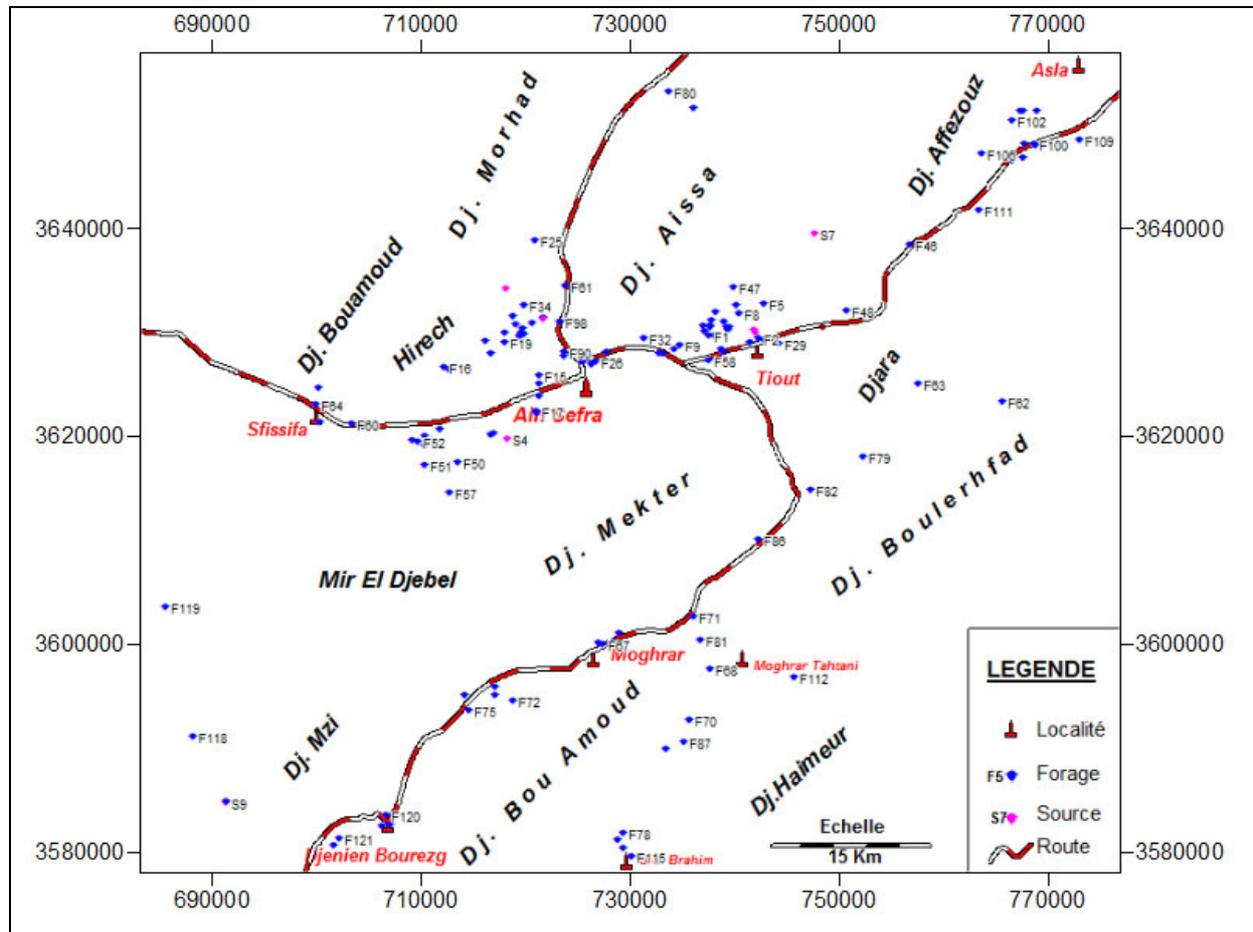


Fig.43 : Carte de localisation des points d'eau.

La coupe hydrogéologique schématique établie sur la base de l'étude géophysique (CGG 1974), montre l'existence, en plus de la nappe Quaternaire, de 02 systèmes aquifères (Fig.44).

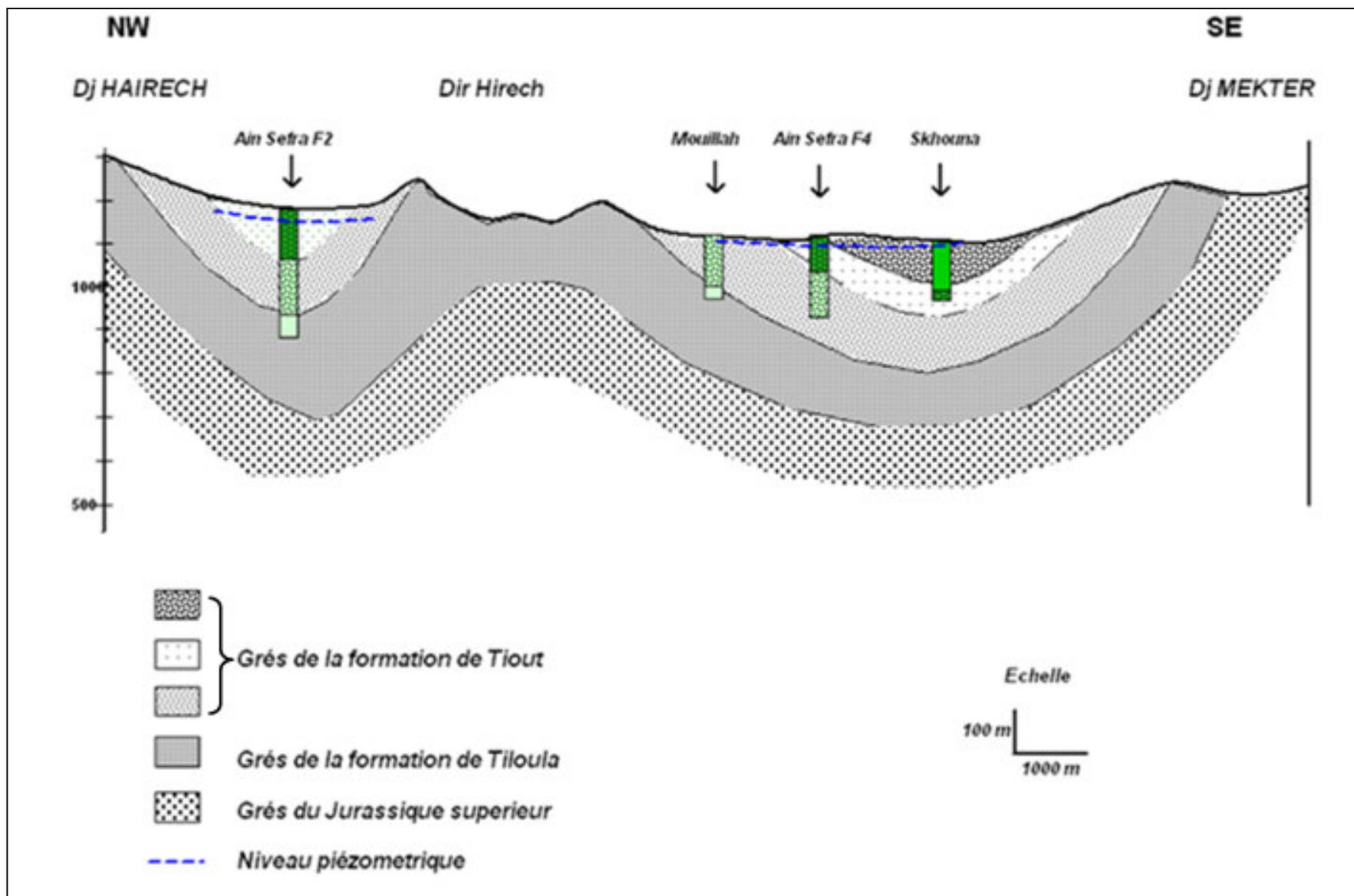


Fig.44: Coupe hydrogéologique schématique Djebel Hairech – Dir Hirech - Djebel Mekter (RAHMANI 2010)

1. *les grès du Jurassique supérieur* : affleurant généralement aux piedmonts des Djebels (Aissa – Mekter – Hirech – Morhad – Moghrar - Bouamoud).

Une nappe importante a été mise en évidence à partir de différents forages d'une profondeur de l'ordre de 150 à 200 m réalisés dans les régions de Sfisifa, Moghrar et Djenien Bourezg, donnant des débits variant entre 07 et 15 l/s pour des minéralisations de l'ordre de 350 à 450 mg/l.

Par contre dans la zone d'Ain Sefra et Tiout, cette nappe se trouve au cœur des cuvettes synclinales à des profondeurs de plus de 500 m (d'après l'étude géophysique CGG 1974).

2. *Les grès massifs du Crétacé inférieur* : C'est dans ces grès aquifères que les ressources en eau sont les plus importantes.

L'interprétation des logs synthétiques des forages (Fig. 45) répartis sur l'ensemble du secteur d'étude ainsi que les coupes de forages (Fig. 46) révèle 02 niveaux aquifères :

- Les grès de la formation de Tiloula (membre supérieur):

Avec intercalations argileuses, cette formation s'est révélée souvent aquifère.

Les sources, les puits et les forages sont généralement de faible débit, avec une eau trop chargée. C'est le cas de la source d'Ain Beida située à 5 Km au Nord -Est d'Ain Sefra, et le forage de la région de Belefoufa à 10 Km au Nord Ouest d'Ain Sefra.

- Les grès massifs de la formation de Tiout: à porosité d'interstices et de fissures, intercalés par des passées argileuses rougeâtres, lui conférant une semi captivité de la nappe.

Appelée le Barremo-Albo-Aptien par quelques auteurs, c'est la plus importante nappe de la région, et de nombreux points d'eau de la région l'exploitent.

Cette formation se divise en 03 membres:

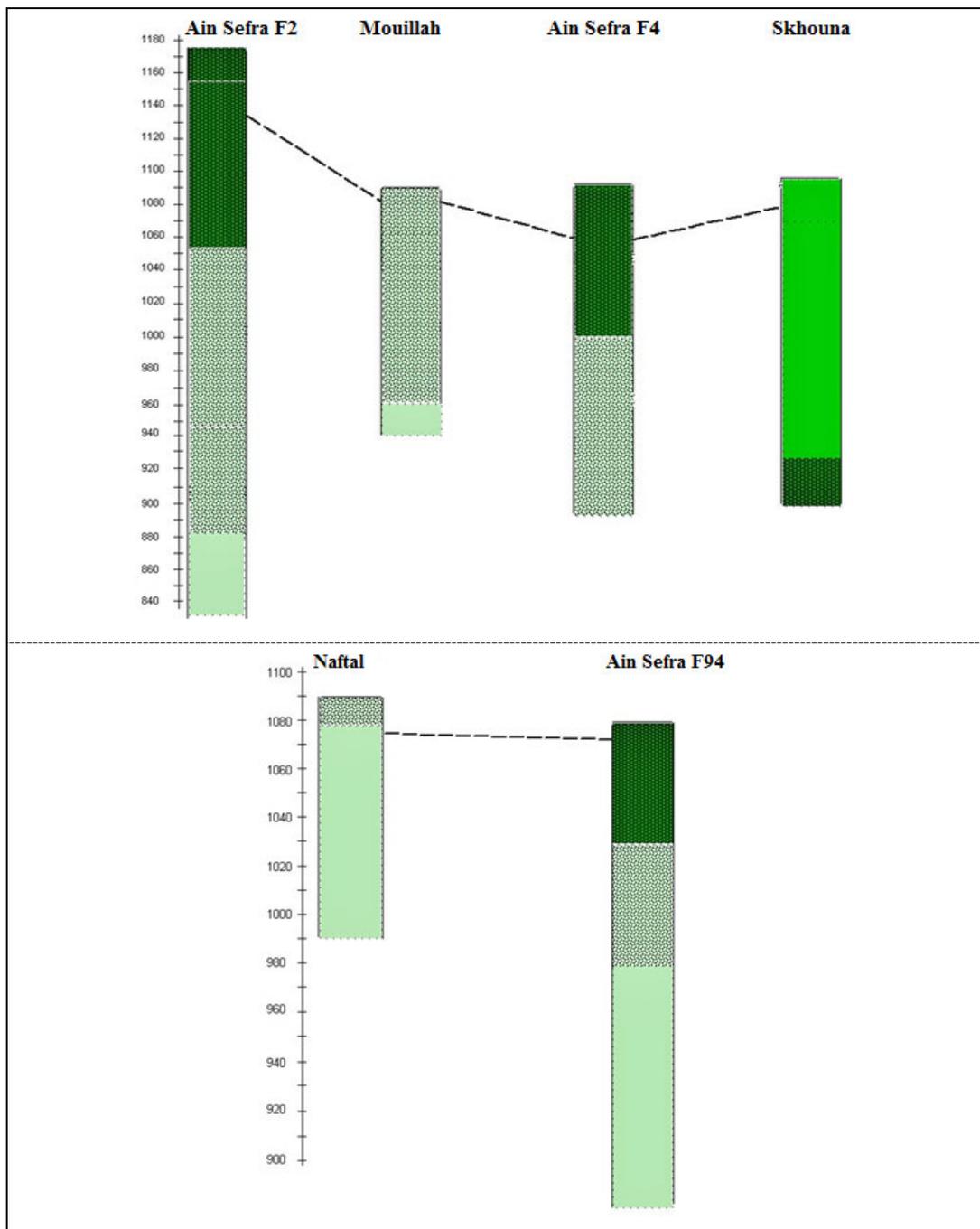
- Inférieur
- Médian
- Supérieur

Les conditions d'émergence des sources dans la région sont liées soit à une origine, structurale donnant naissance à la source thermique d'origine profonde de Ain Ouarka, ou à la fissuration affectant les formations du Jurassique et du Crétacé.

C'est dans les grès de la formation de Tiout (Albien-Aptien-Barremien), que l'on trouve les grosses sources de la région constituant les exutoires naturels de cette nappe (fig.47): (Tableau annexe 2)

- Ain Tirkount : pour Garet Kheil
- Ain Skhouna et Dzira: pour Hammar et Skhouna
- Ain Chaib et Tiout: Matlag et Maader.
- Ain Tiouartalt :

Elles émergent d'un niveau aquifère contenu dans la masse des grés, qui structurellement forment des synclinaux d'une direction SW-NE.



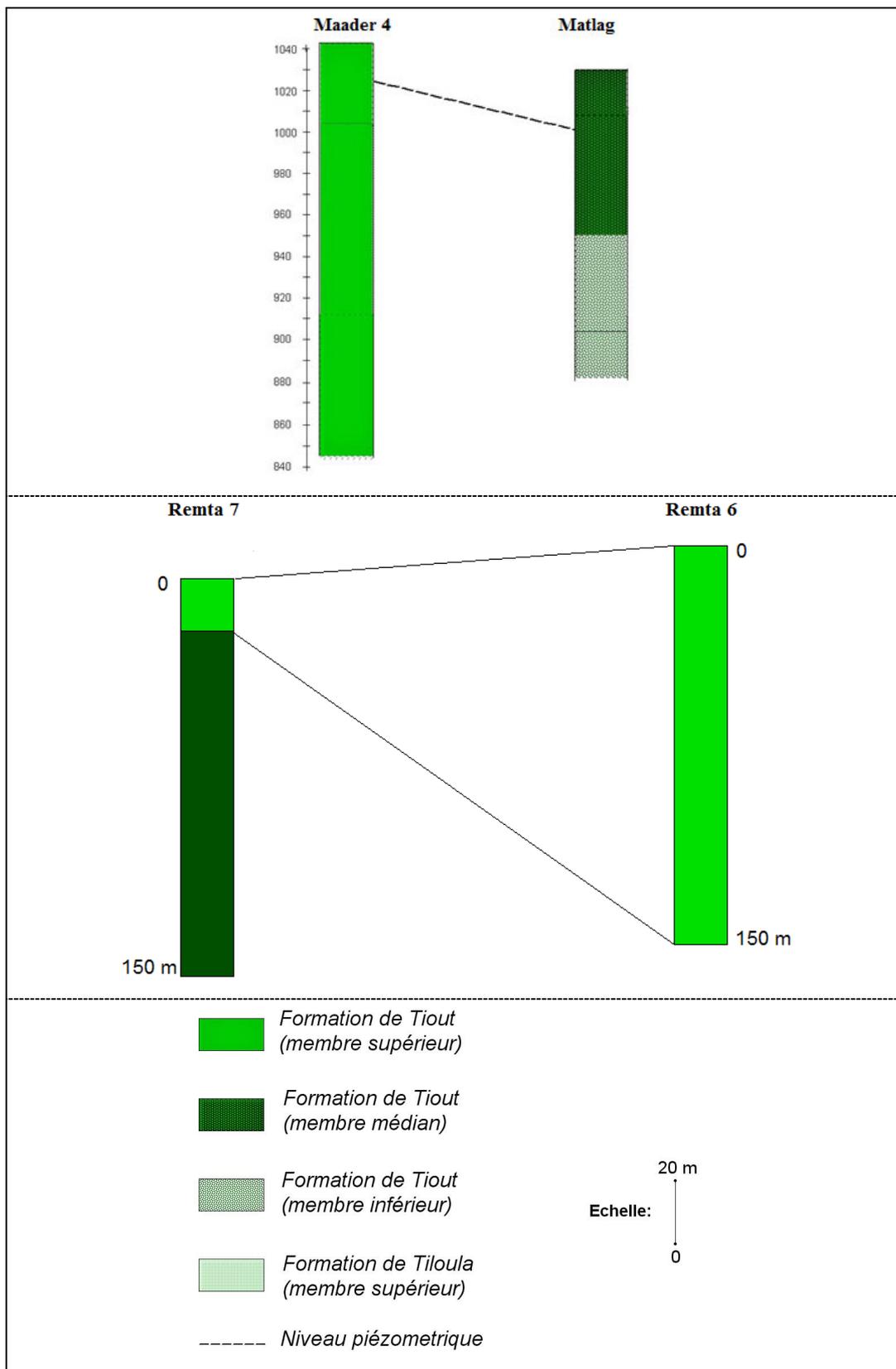


Fig.45: Essai de corrélation des coupes de forages de la région d'Ain Sefra

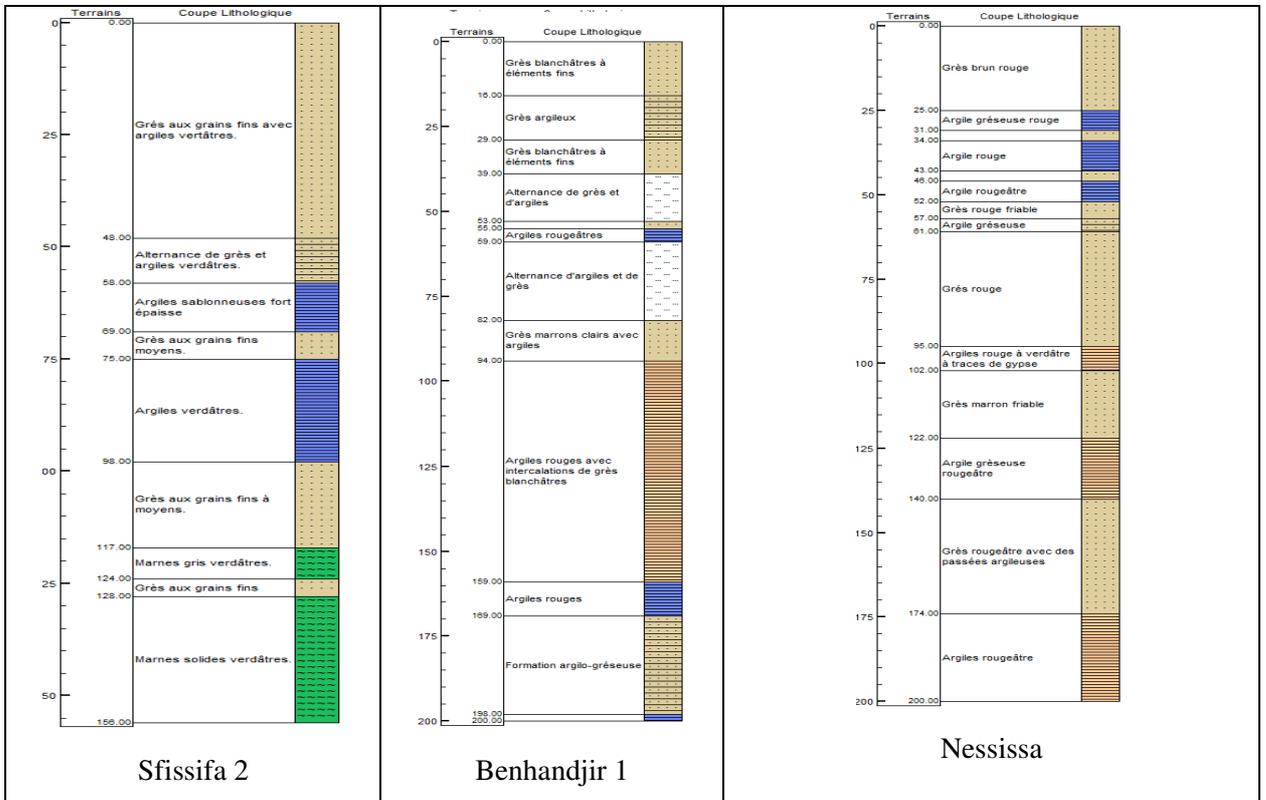
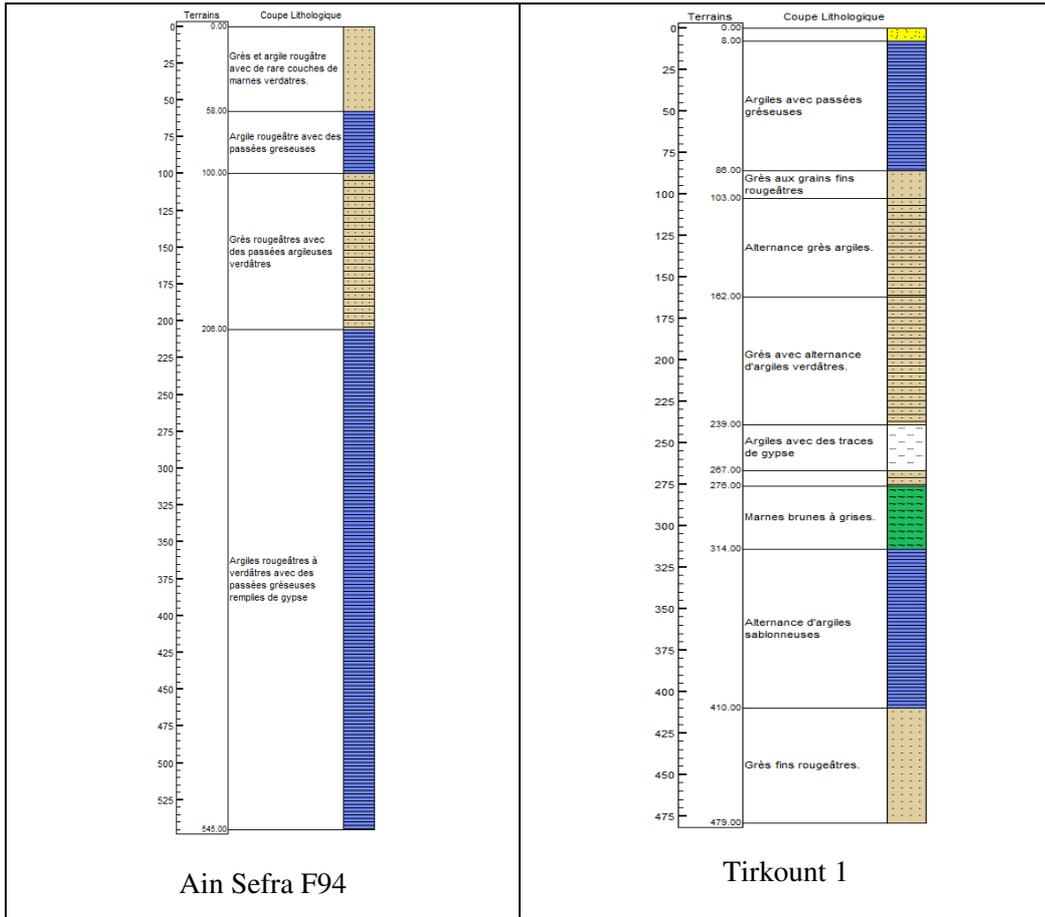


Fig.46 : Coupes lithostratigraphiques de quelques forages de la zone d'étude

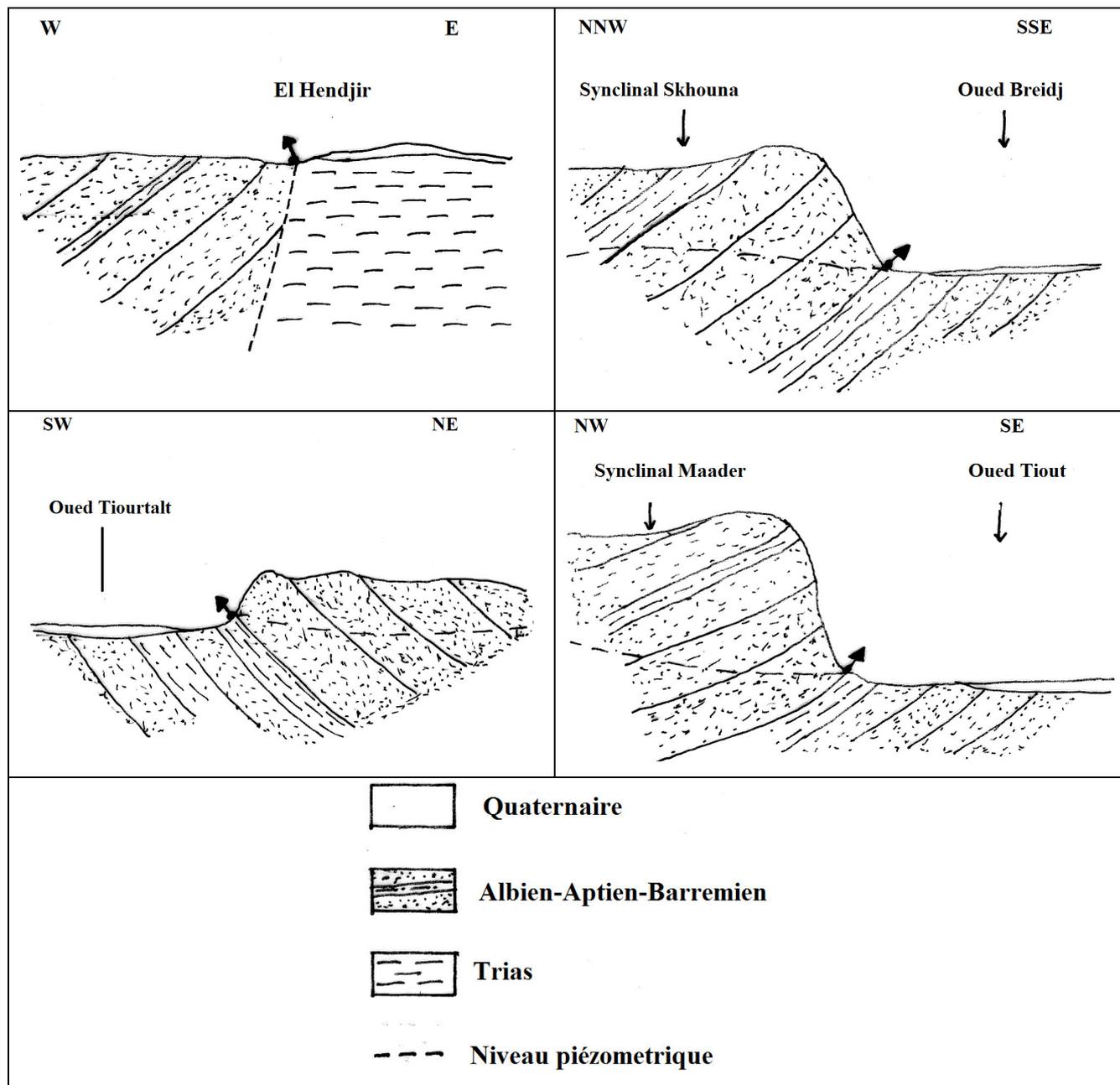


Fig.47: Coupes schématiques montrant les conditions d'émergences des sources de la région

Les émergences apparaissent dans les couches de base sur les flancs des synclinaux, et se présentent comme une multitude de suintements le long des oueds de Tirkount, Breidj et Tiout, Asla.

- **La source thermique de Ain Ouarka**

La complexité de la géologie de la région d'Ain Sefra est à l'origine de toutes les anomalies et les contrastes existants au niveau du site (lac à eau salée, source d'eau chaude...) (Fig.48).



Fig48 : Les pointements triasiques et formations Jurassique à Ain Ouarka

Les eaux de la source d'Ain-Ouarka sont classées comme eaux thermales. Elles ont pour origine d'importantes failles et fractures. Au cœur de l'anticlinal Jurassique de Chemarikh, affleure un pointement Triasique. Cet affleurement, vers le Sud est en contact par faille (Fig. 49). L'eau de la source venant d'une profondeur évaluée entre 1500m à 2000m par gradient géothermique, emprunte la faille pour remonter à la surface au pied de la muraille du Chemarikh à l'extrémité occidentale. Elle est pérenne et affleure à une température constante de 46°C (chapitre hydrochimie). Son débit est d'environ 03 L/s avec une minéralisation très prononcée de l'ordre de 4000 mg/L.

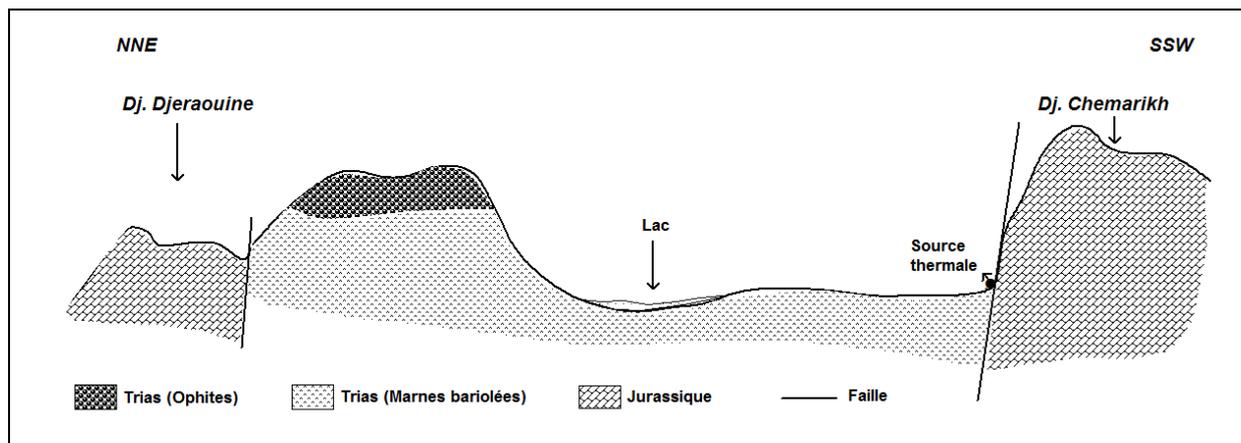


Fig.49 : Coupe schématique montrant les conditions d'émergences de la source de Ain Ouarka

IV) HYDRODYNAMIQUE

De nombreux forages sont exploités dans la région pour les besoins en alimentation en eau potable (AEP), irrigation et pastoralisme. Le volume annuel mobilisable est estimé à

45 Hm³ dont 40 Hm³ pour le système aquifère du Crétacé inférieur et 5 Hm³ pour le Système Jurassique. Quand à la production annuelle, elle est estimée à 25 Hm³ (source -Direction des Ressources en eau Naama-).

L'alimentation du système aquifère se fait par l'infiltration des précipitations efficaces, et par les crues des oueds (Breidj, Tirkount, Tiout, Som, Rhouiba et Moghrar) lorsque celles-ci sont assez importantes et que les eaux arrivent à recouvrir une certaine étendue de terrains perméables. Il n'est malheureusement pas possible de chiffrer cette réalimentation.

Il y a aussi l'alimentation par drainance, du fait que le système aquifère repose directement sur les formations gréseuses du Jurassique supérieur affleurant sur les piémonts des Djebels, Aissa, Morhad, Hirech et Mekter, Affezouz, Boulerhfad, Djara et Mir Djebel.

IV -1) LA PIEZOMETRIE

Le système aquifère de la région est représenté par des eaux circulant dans des terrains hétérogènes gréseux, argileux plissés et affectés par des failles.

A cet effet, un inventaire exhaustif des points d'eau captant les grès du Crétacé inférieur, a été effectué en Septembre 2008 et actualisé en Octobre 2012.

Le logiciel utilisé pour l'établissement des différentes cartes est le « **SURFER 8** » qui est un outil de tracés de contours, de surfaces et de représentation cartographique en 3D.

Il convertit les données en cartes et surfaces, et permet de contrôler toutes les options graphiques et d'obtenir notamment :

- Les courbes de niveaux, surfaces 3D
- L'affichage de points sur une carte
- L'importation de fonds de cartes topographiques et géologiques.
- La superposition de graphiques sur des fonds de cartes

Les mesures ont été interpolées par « Natural Neighbor » au moyen du logiciel Surfer 8.

Avec les mesures des niveaux statiques des 119 forages captant le système aquifère du Crétacé inférieur sur un total de 136 points recensés dans la région (Annexe 3), on a pu établir des cartes piézométriques de chaque gouttière synclinale qui permettent de mettre en relief le comportement hydrodynamique de l'aquifère.

IV-1-1) La zone de Benhandjir – Skhouna – Garet Kheil – Tirkount

La piézométrie montre (Fig. 50)

- dans la partie Nord du secteur : un sens de l'écoulement:
 - Nord-Est – Sud-Ouest dans la dépression de Tirkount.
 - Sud-Ouest – Nord-Est dans la région de Garet Kheil.

Les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent des flancs : Sud de Djebel Hirech et Nord de Djebel Aissa.

A ces niveaux les isopièzes sont espacées au niveau du centre des bassins, avec un gradient hydraulique de 10 à 20 ‰ pour se rétrécir, avec un gradient hydraulique de l'ordre de 25 à 35 ‰.

Cette variation du gradient peut être expliquée par des variations latérales des perméabilités. Notons que dans cette zone l'Oued Tirkount draine la nappe.

- Une ligne de partage des eaux séparant les synclinaux de Garet Kheil et Skhouna.
- Dans la partie Sud:
 - L'écoulement souterrain global se fait de l'Est vers l'Ouest, avec une dépression piézométrique au niveau de Skhouna qui correspond à une zone de captage.

Les eaux sont drainées au Nord par Djebel Aissa et au Sud par Djebel Mekter.

Le gradient hydraulique varie en général de 10‰, au centre des bassins, à 35‰ au niveau des piedmonts de la partie Sud de Djebel Aissa.

- Une ligne de partage des eaux structurale séparant les synclinaux de Garet Kheil et Benhandjir correspondant au pointement triasique.
- Dans la partie Sud-ouest :
 - L'écoulement se fait du Nord Ouest au Sud Est vers Oued Breidj.
 - Au Sud Ouest un écoulement est matérialisé au niveau d'oued Sfissifa
 - Une ligne de partage des eaux d'origine structurale qui correspond au prolongement de l'anticlinal de Djebel Aissa.

Notons que les eaux de la région de Benhandjir et Sfissifa enrichissent le synclinal de Skhouna.

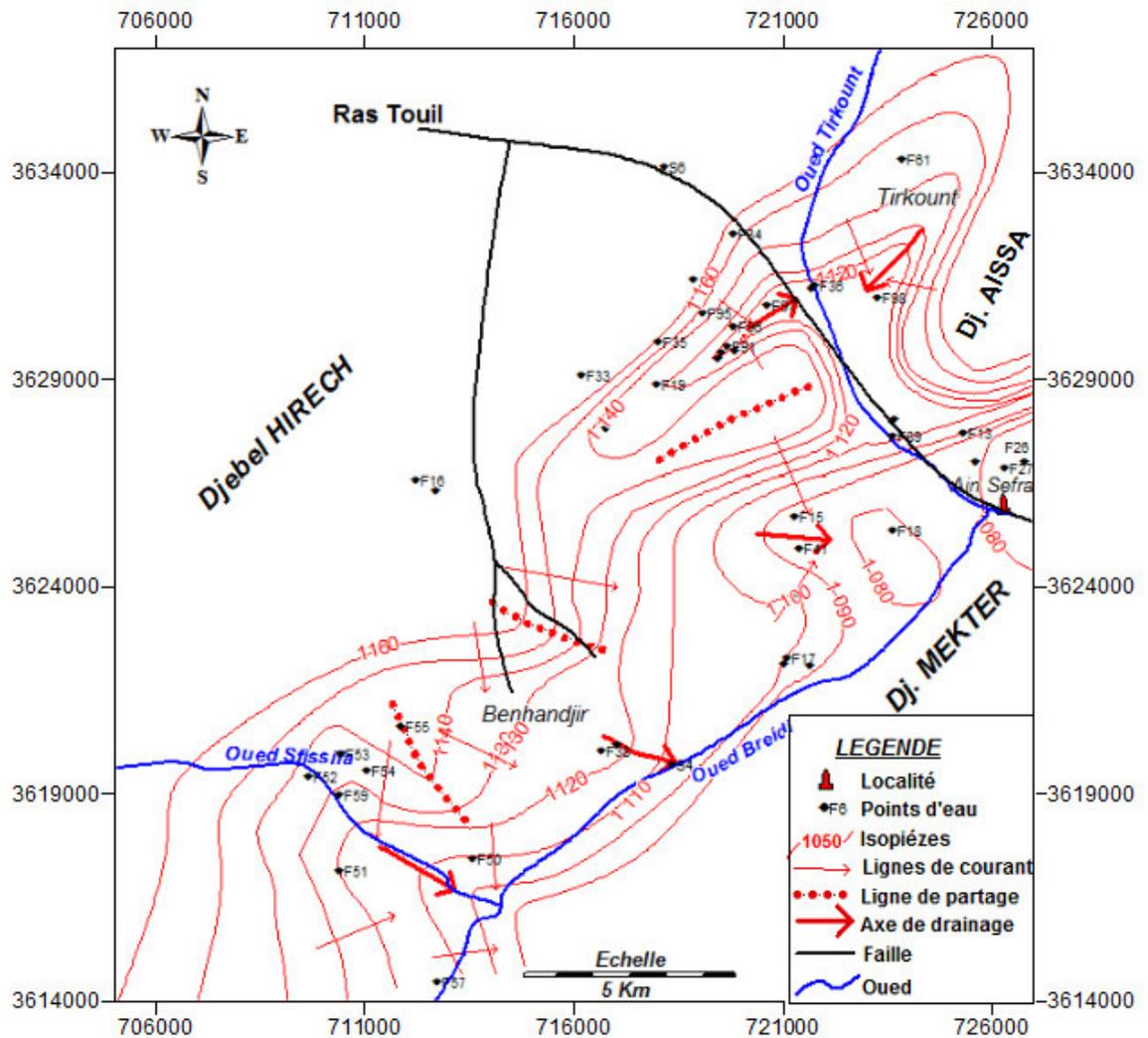


Fig. 50: Piézométrie « Benhandjir – Skhouna – Garet Kheil – Tirkount »
(Octobre 2012)

IV-1-2) La zone de Slih – Maader – Asla (fig. 51)

- Du côté du synclinal de Tiourtalt, l'écoulement de la nappe se fait suivant une direction Nord Est - Sud Ouest. De part et d'autre de cet axe, les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent du Nord-Ouest de Djebel Aissa et du Sud-Est de Djebel Affezouz. A ce niveau, l'oued Tiourtalt draine la nappe.
- Au niveau de la région de Slih-Maader, on observe une cuvette piézométrique dont l'exutoire n'est autre que les sources de Tiout qui émergent le long de l'oued Tiout.
- Au niveau d'Asla l'écoulement souterrain global se fait de l'Ouest à l'Est, l'exutoire de la nappe est la source de Belgourad.

Remarquons que la ligne de partage des eaux structurale correspond à une faille qui limite le synclinal de Maader et Asla.

Pour les gradients hydrauliques, on notera des valeurs de 3 ‰ à 11 ‰ dans la région de Tiout et 30‰ à 40‰ à Asla. Cette augmentation est due à une diminution de la section d'écoulement ainsi qu'au drainage des eaux à partir des formations Jurassiques du Djebel Aissa.

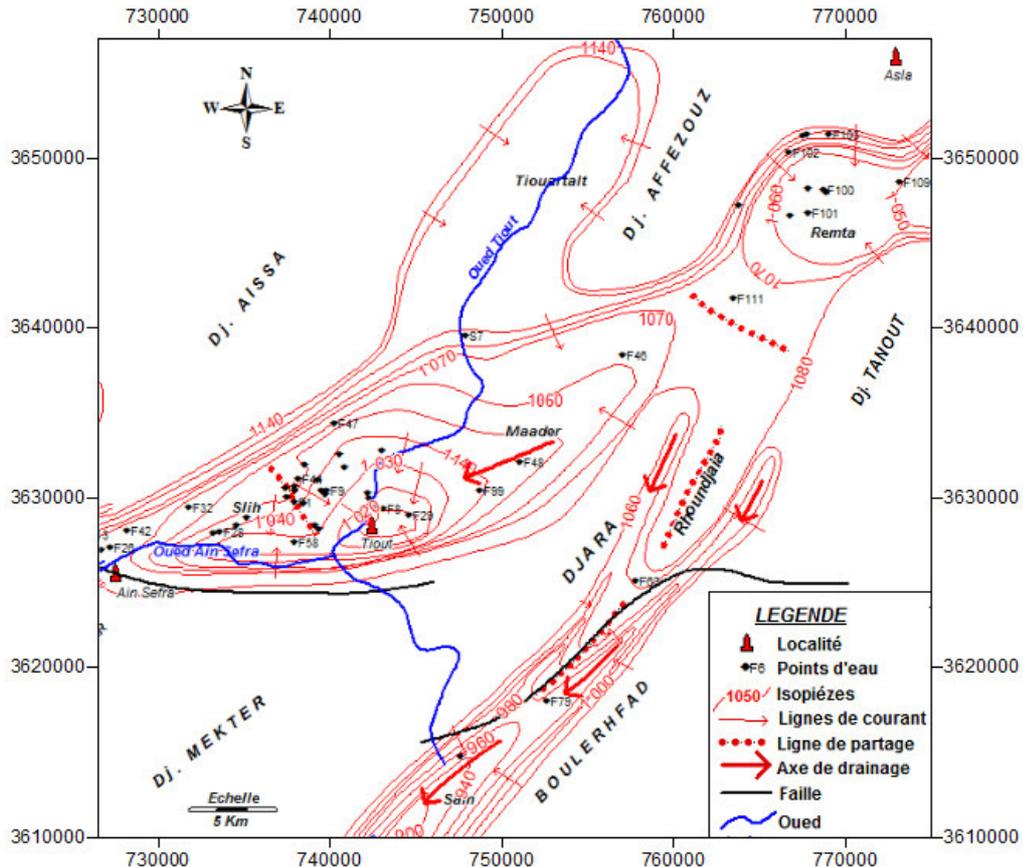


Fig. 51 : Piézométrique « Slih-Maader-Asla » (Octobre 2012)

IV-1-3) La zone de Rosfa Hamra- Djenien Bourezg- Sidi Brahim (fig. 52)

La carte piézométrique établie au niveau de la région de Rosfa Hamra Sidi Brahim et Djenien Bourezg fait ressortir :

- Un écoulement Nord-Est, Sud-Ouest au niveau d'Oued Som qui draine la nappe.
- Un écoulement Sud-Ouest Nord-Est au niveau des Oglats pour se diriger vers la région de Rhouiba.

- Au Niveau de Sidi Brahim nous avons une cuvette piézométrique alimentée par les eaux provenant de la région de Rhouiba au Nord et celles de Djebel Bouamoud au Sud Ouest
- Plus au Sud, sur le tracé de l'oued Namous, nous avons une perte, déchargeant ainsi une bonne partie des eaux souterraines du grand bassin hydrogéologique de Rosfa Hamra-Moghrar, et alimentant la plateforme saharienne (Mansour 2007).
- Au niveau de Djenien Bourezg, au droit de la faille du Djebel Ez Zerga, au niveau d'Oued El Ferd, une ligne de partage des eaux souterraines permet de séparer le synclinal avec celui des Oglats, en lui conférant un écoulement vers le Sud Ouest.

Le gradient hydraulique est de l'ordre de 20‰ à 25‰ dans la région de Moghrar et Djenien Bourezg, 20‰ à 40‰ à Rosfa Hamra – Rhouiba, et 25‰ à 30‰ dans la zone de Sidi Brahim.

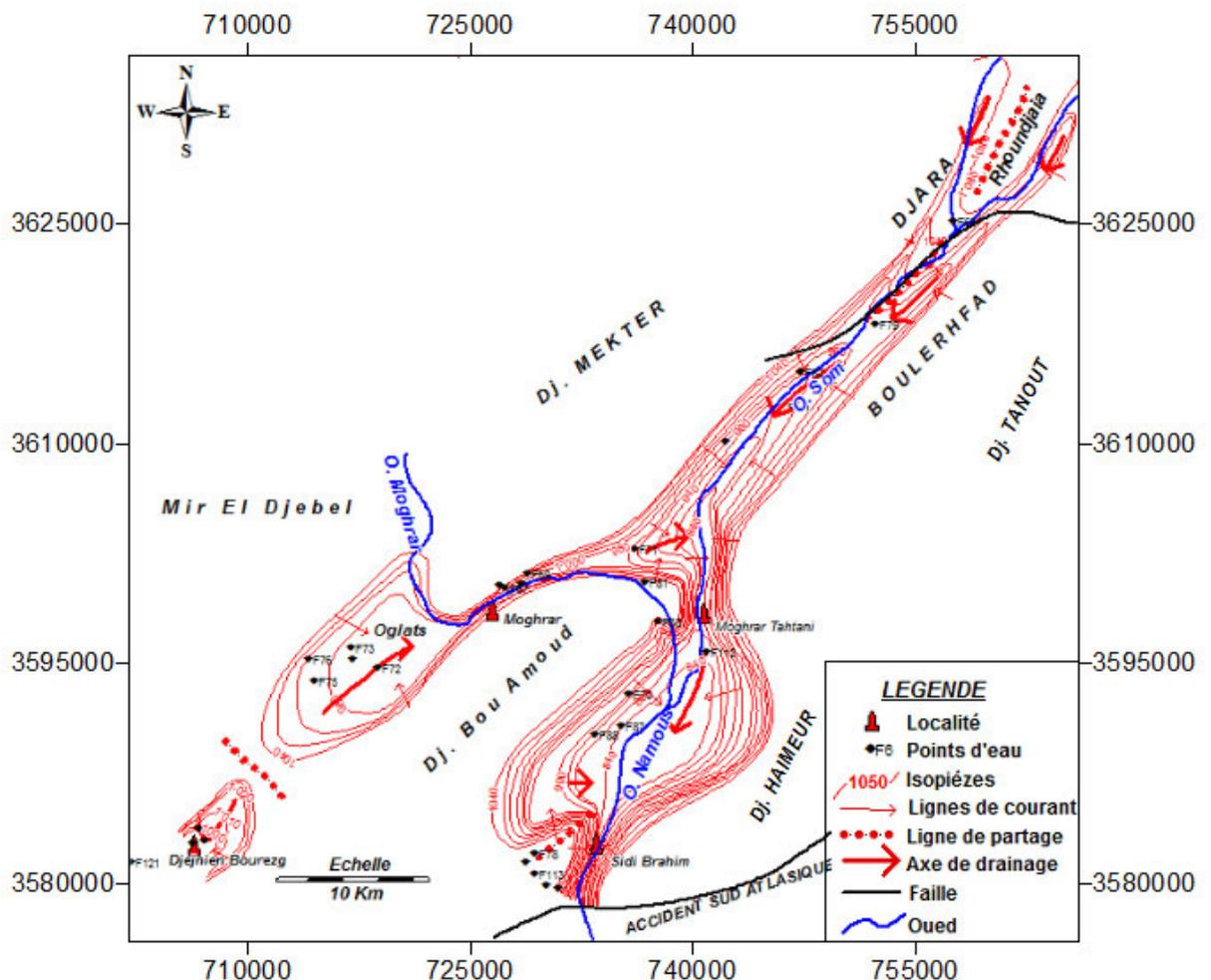


Fig. 52 : Piézométrie « Rosfa Hamra- Djenien Bourezg- Sidi Brahim » (Octobre 2012)

En général il existe une étroite relation entre les écoulements superficiels et souterrains, en particulier le long des principaux axes de drainage.

L'écoulement souterrain suit le plus souvent la pente topographique et ne coïncide pas nécessairement avec un linéament majeur sauf pour l'accident « Ras Touil Ain Sefra ».

IV-1-4) La nappe alluvionnaire : (Fig. 53)

Les dépôts alluvionnaires des différents oueds de la région constituent de bons réservoirs lorsque leur étendue et puissance sont importantes.

C'est le cas d'oued Breidj où les importants dépôts alluvionnaires dans sa rive droite contiennent une nappe exploitée par de nombreux points d'eau.

Les dépôts dunaires d'Ain Sefra contiennent également une nappe qui se manifeste par l'émergence de la source de la dune. Notons l'intercommunication entre la nappe dunaire et celle des alluvions d'Oued Breidj.

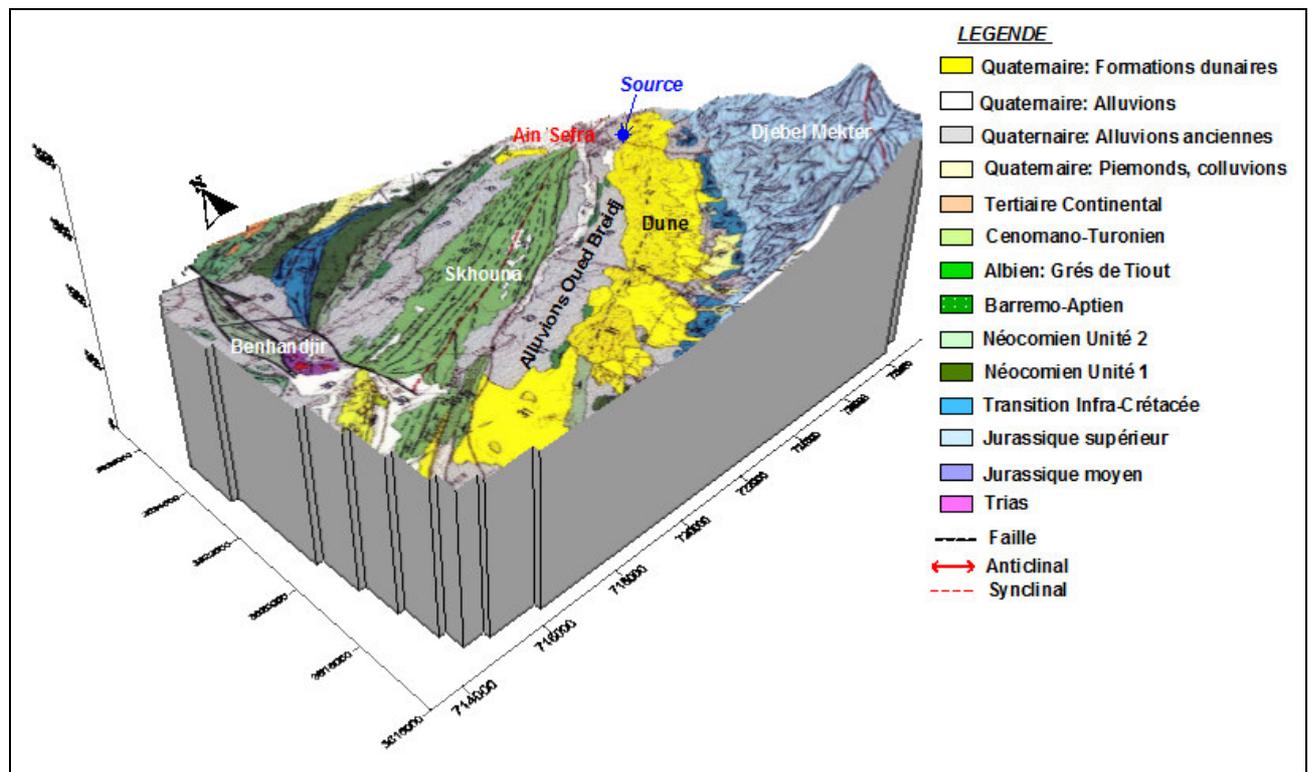


Fig. 53 : Diagramme de la nappe alluvionnaire d'Ain Sefra

La piézométrie de la nappe alluvionnaire d'Ain Sefra (Fig. 54)

Elle présente un écoulement général Sud-Sud Est Nord Nord-Ouest vers l'oued Breidj.

Dans la partie centrale la nappe laisse apparaître une anomalie formant une protubérance causée probablement par une alimentation locale de la nappe par les formations gréseuses sous jacentes du Crétacé inférieur.

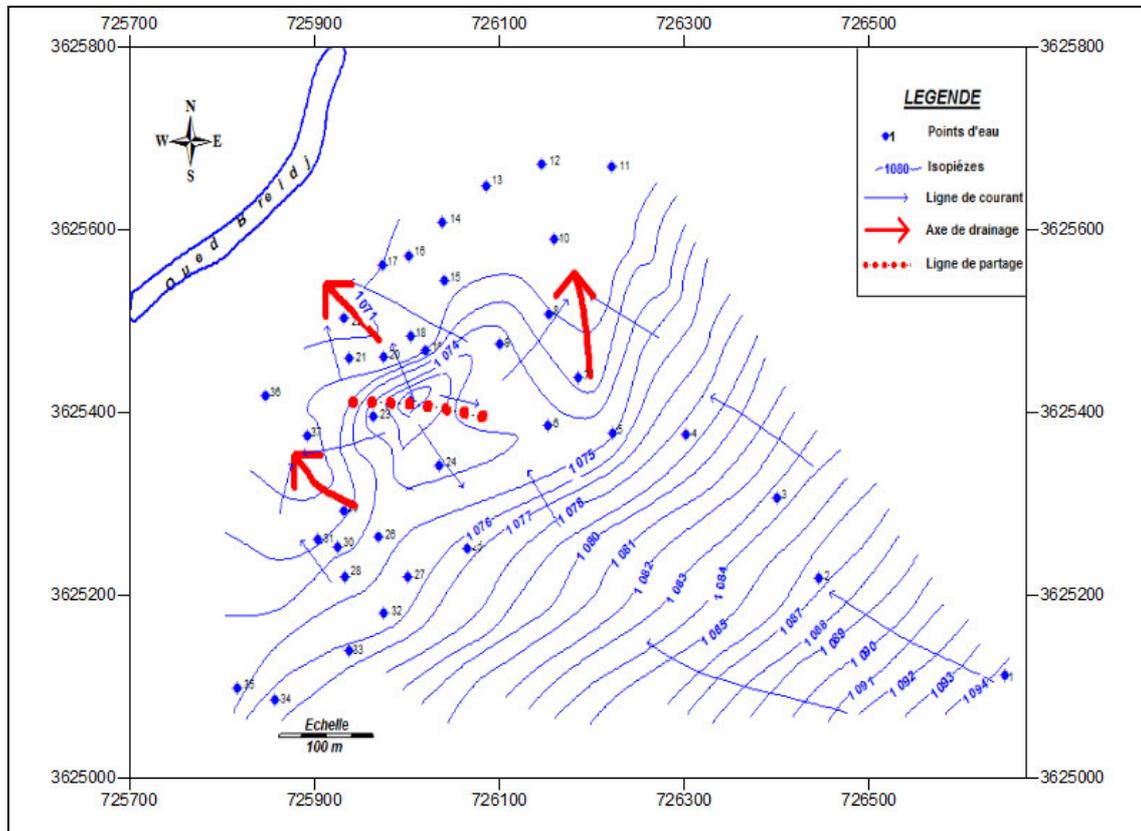


Fig. 54 : Piézométrie nappe alluvionnaire (Saïd 1983)

- Estimation du bilan de la nappe de la dune et des alluvions :

La dune d'une superficie de 25 Km² fait partie du bassin versant Nord-Ouest du Djebel Mekter d'une superficie de 80 Km², dont les ravins aboutissent à la dune.

La pluviométrie annuelle étant de 176 mm, le volume total à l'intérieur de chacune de ces aires est :

- La dune : $4,4 \cdot 10^6$ m³/an
- La partie NW de Djebel Mekter : $14 \cdot 10^6$ m³/an

- Une partie s'infiltré dans la dune avec un coefficient de 6% pour les sables (Banton, 1997 et Castany, 1982 ; modifié) soit un volume de : $2,6 \cdot 10^5$ m³/an.

- La partie ruisselée de Djebel Mekter étant de : $9,8.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ pour un coefficient de ruissellement de l'ordre de 0,7 (ANRH 1989) dépendant principalement de la nature de la zone montagneuse (morphologie, géologie...).
- la partie infiltrée au niveau de Djebel Mekter et qui rejoint obligatoirement la dune serait de : $5,8.10^5 \text{ m}^3/\text{an}$

La somme infiltrée est de : $8,4.10^5 \text{ m}^3/\text{an}$ soit 27 l/s.

La partie Nord de la dune retiendrait donc un peu plus de $840\,000 \text{ m}^3/\text{an}$.

Une partie de ces eaux s'infiltré dans les grès du Crétacé inf. sous jacents, une autre suinte à travers les alluvions vers la berge droite de Oued Breidj, et une autre est exploitée par le captage de la source de la dune avec un débit de l'ordre de 05 l/s d'une très bonne qualité physico chimique (minéralisation de 360 mg/L).

IV-2) LA TRANSMISSIVITE

Des essais de pompage de longue durée (48 h à 72 h) à débit constant ont été effectués sur les différents forages captants les grès crétacés inférieurs.

A partir des courbes de descente et de remontée (Annexe 4a - 4b) nous avons calculé des transmissivités par l'expression de la pente de la droite représentative ΔS , déterminée par l'accroissement des rabattements, au cours d'un cycle logarithmique, à partir de la formule de Jacob.

$$T = \frac{0.183.Q}{\Delta S}$$

Le tableau (Annexe 5) résume les différents résultats obtenus.

Les grès crétacés inférieurs de la région d'Ain Sefra présentent une double perméabilité d'interstices, et par endroit de fissures. Les valeurs importantes de la transmissivité (de l'ordre de 10^{-2} à $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) peuvent s'expliquer par la présence du faciès gréseux du membre supérieur de la formation de Tiout au niveau des axes des synclinaux. Par contre les plus faibles valeurs (de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$ à $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$) s'expliquent par la présence du faciès argileux appartenant au membre médian et inférieur de la formation de Tiout qui prend de l'importance par rapport au grès.

La stabilisation atteinte dans le forage Maader 2, après 30 heures de pompage, dénote ainsi une bonne réalimentation. Pour les autres forages où la stabilisation s'est fait sentir après 04 heures de pompage, elle s'explique par le fait que les essais ont été réalisés avec des débits très inférieurs aux débits critiques.

Le tracé de la droite représentative des forages (Benhandjir2, Slih2, Tirkount1 et Tiout1) dessine une ligne brisée avec dédoublement de la pente, suggérant l'hypothèse d'un aquifère à limite latérale étanche.

Pour Benhandjir2, l'anomalie est provoquée par une structure hydrogéologique identifiée, qui est la faille d'El Hendjir. L'influence de la limite se fait sentir à partir de 05 heures de pompage. Pour les autres, c'est une limite étanche imperméable stratigraphique représentée par les fréquentes intercalations argileuses

V) HYDROCHIMIE

L'analyse de la chimie des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, ainsi que la potabilité des eaux. L'étude comparative de 02 nappes (Crétacé inf. et Jurassique sup.) proches soumise aux mêmes conditions climatiques, mais possédant chacun certains caractères géologiques propres, est une démarche originale qui pourrait s'avérer fructueuse pour une meilleure connaissance des nappes.

La caractérisation d'une ressource en eau requiert l'obtention de données physico-chimiques diverses obtenues à partir des analyses d'échantillons prélevés à différents points d'eau situés dans le même secteur d'étude.

Cette étude hydrochimique est basée sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés par la Direction des ressources en eau de la wilaya de Naama au niveau de 86 points d'eau (forages et sources).

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de chimie des eaux de l'ANRH d'Oran (Agence Nationale des Ressources Hydriques), et ont porté sur les éléments chimiques majeurs suivants:

- Les cations: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+ .
- Les anions: HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- et NO_3^- .

ainsi que le PH, la conductivité et la minéralisation.

Les résultats des ions en mg/L, et de la conductivité mesurée sur terrain, sont reportés au Tableau (Annexe 6).

V-1) INTERPRETATION DES RESULTATS

Afin de caractériser les deux nappes sur le plan hydrochimique, une analyse statistique des valeurs des paramètres chimiques a été réalisée (fig. 55). Les données collectées et traitées sont exposées ci-après (tableau 20).

Nappe du Crétacé inf. : 77 analyses

Nappe du Jurassique supérieur : 09 Analyses

Tableau 20 : les teneurs moyennes en éléments majeurs de la nappe exprimées en meq/L.

Ion	Nappe	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Cl⁻	SO₄⁻⁻	HCO₃⁻	NO₃⁻	Total
Teneur	Crétacé	8,6	6,3	7,8	0,2	8,4	9,7	3,9	0,4	45,4
	inf.	19%	13,8%	17,2%	0,5%	18,6%	21,4%	8,5%	1%	100%
	Jurassique	3,4	3,8	2,9	0,2	3,4	2,7	4,7	0,1	21,3
	sup	16,2%	17,8%	13,7%	0,9%	16,1%	12,7%	22 %	0,6%	100%

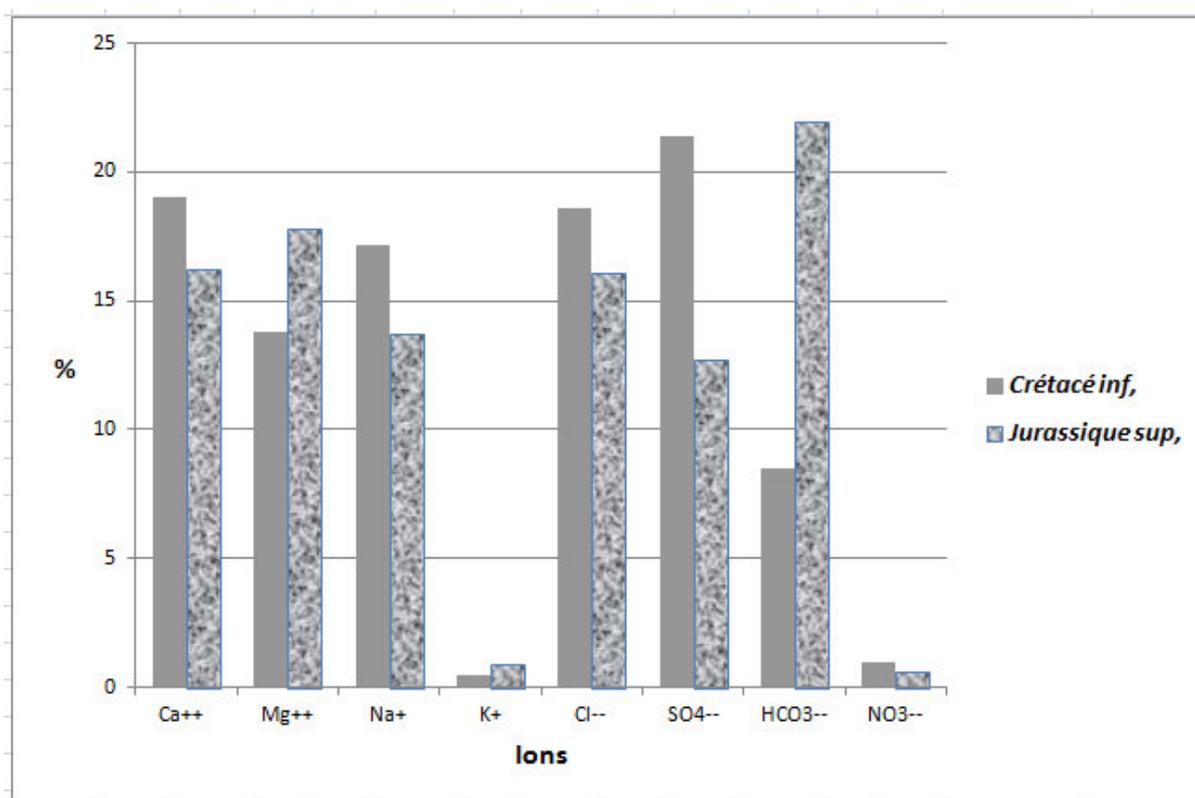


Fig 55 : Teneurs moyennes en éléments majeurs des nappes (Crétacé inf. et Jurassique sup.)

La concentration des ions diffère d'une nappe à l'autre. On remarque que les eaux de la nappe du Crétacé inf. sont beaucoup plus chargées que celles du Jurassique sup.

Pour la nappe du Crétacé inf. (tableau 21) quatre ions de presque la même importance dominant : les sulfates et les chlorures pour les cations, le calcium et le sodium pour les anions ; par contre, les eaux de la nappe du jurassique supérieur se caractérisent par la prédominance des bicarbonates, le calcium et le magnésium.

La différenciation hydrochimique mise en évidence entre les deux nappes peut s'interpréter par des influences majeures, qui sont particulièrement d'ordre géologique,

Alors que la nappe du Crétacé inférieur se développe dans les formations gréseuses avec des passées argileuses, les eaux de la nappe du Jurassique sup, circulent dans des formations gréseuses à ciment calcaire.

Tableau 21 : Répartition des ions (max – moy – min)

	<i>Nappe</i>	<i>Ion</i>	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^{--}	NO_3^{--}
Teneur en mg/L	Crétacé inf.	min	41	24	9	2	27	58	73	0
		moy	172	75	179	8	300	467	236	28
		max	832	560	1115	30	2477	2255	300	97
	Jurassique sup	min	46	5	21	2	57	38	189	1
		moy	69	46	67	7	121	130	286	8
		max	94	84	190	15	250	231	360	17

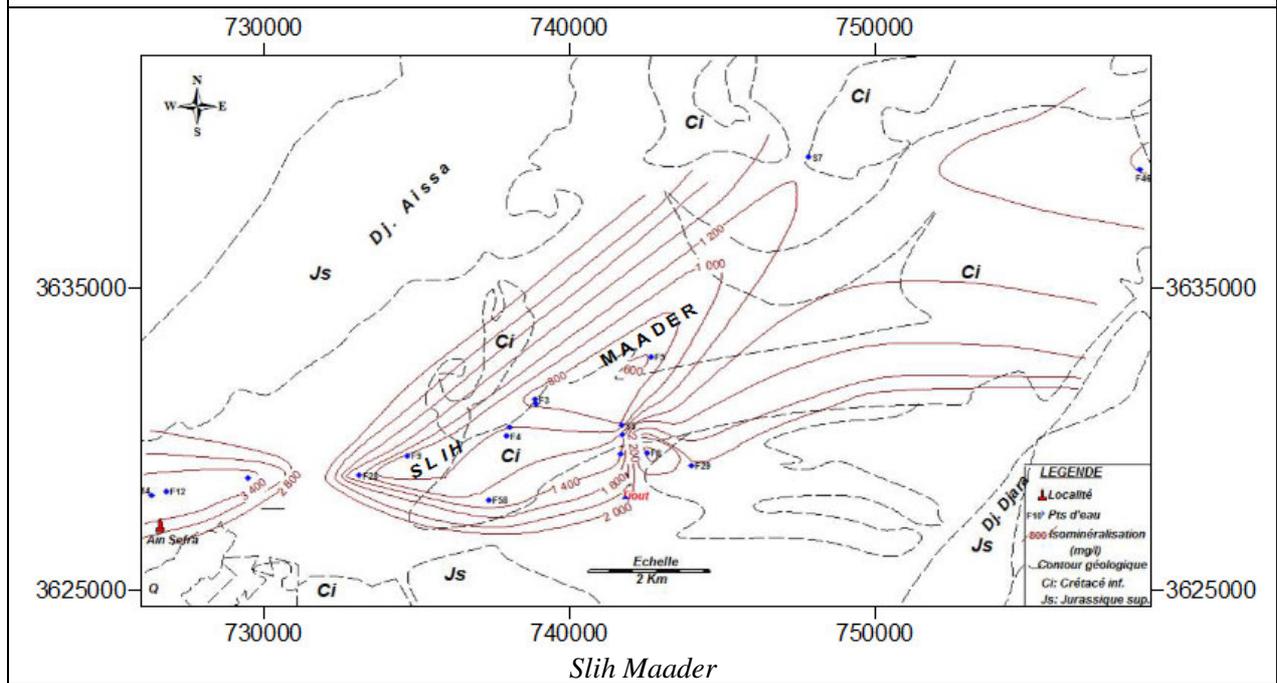
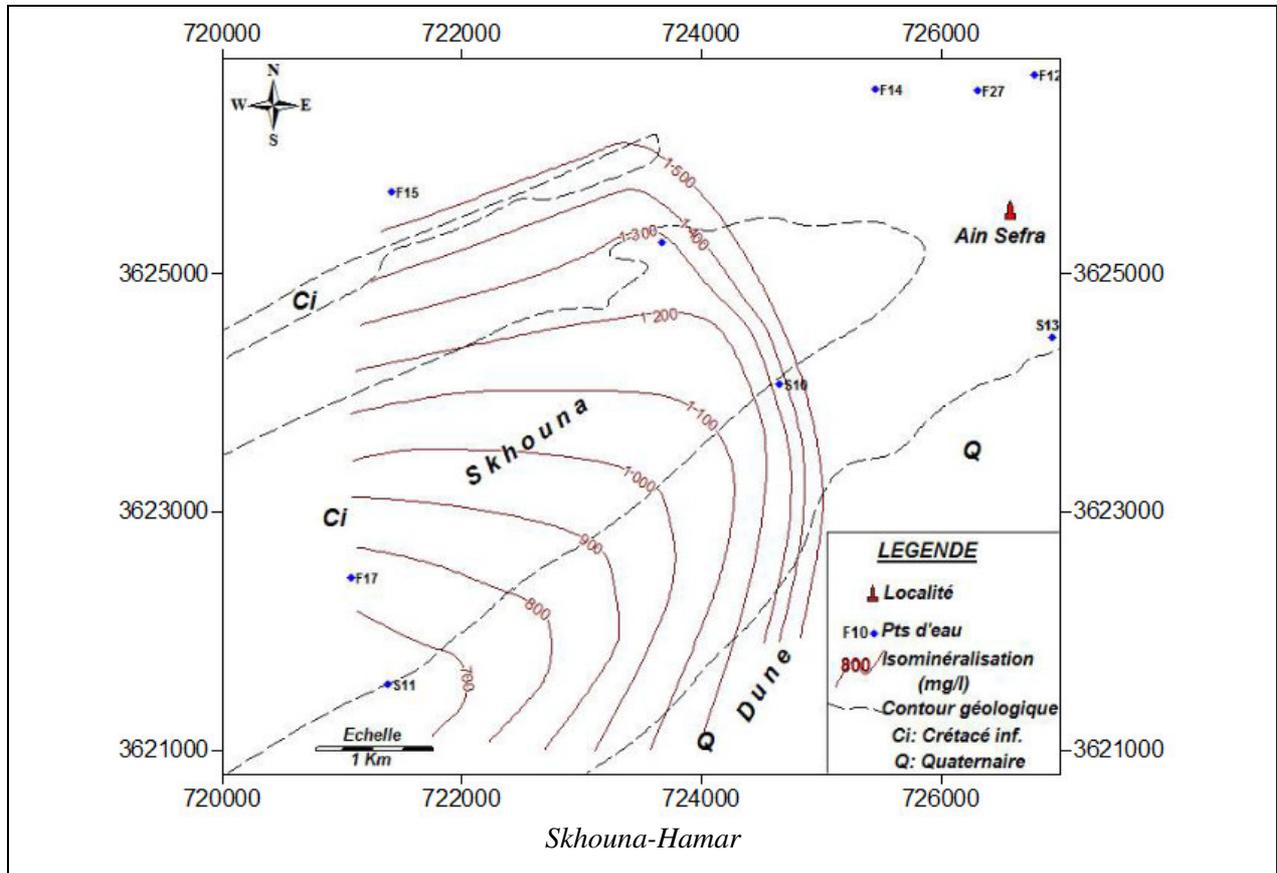
V-2) LA MINERALISATION

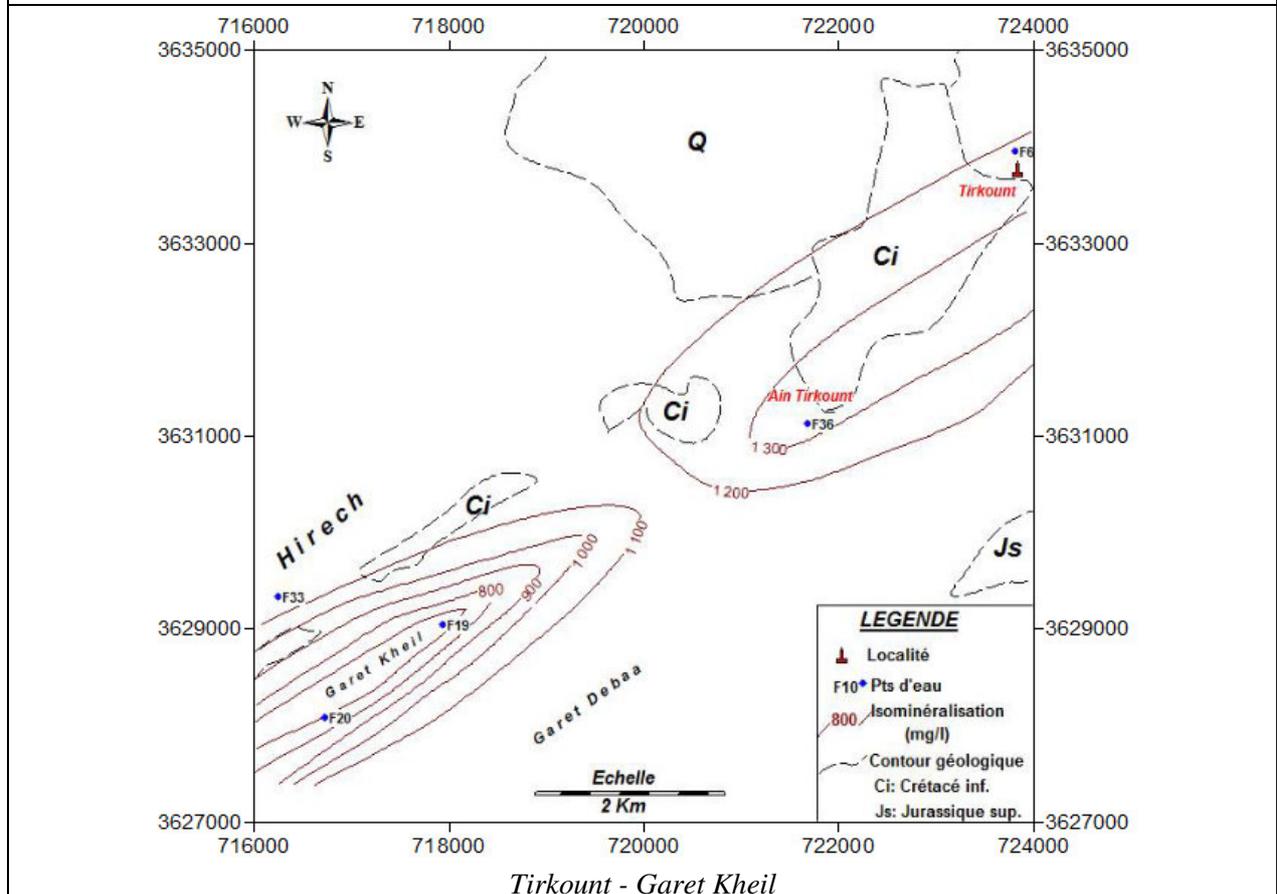
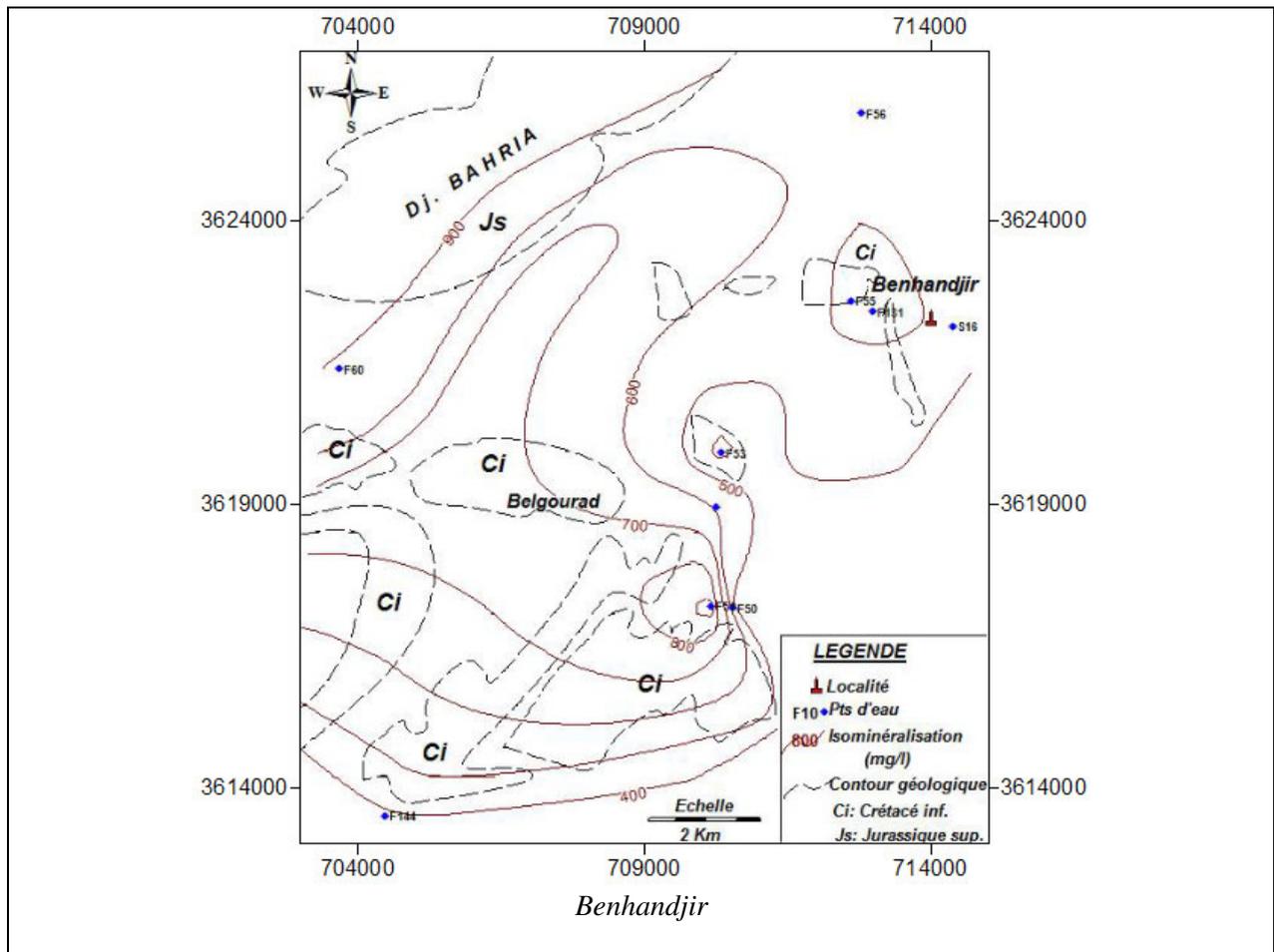
Au cours de son cheminement souterrain, l'eau se charge d'un certain nombre d'éléments minéraux en liaison avec les terrains traversés.

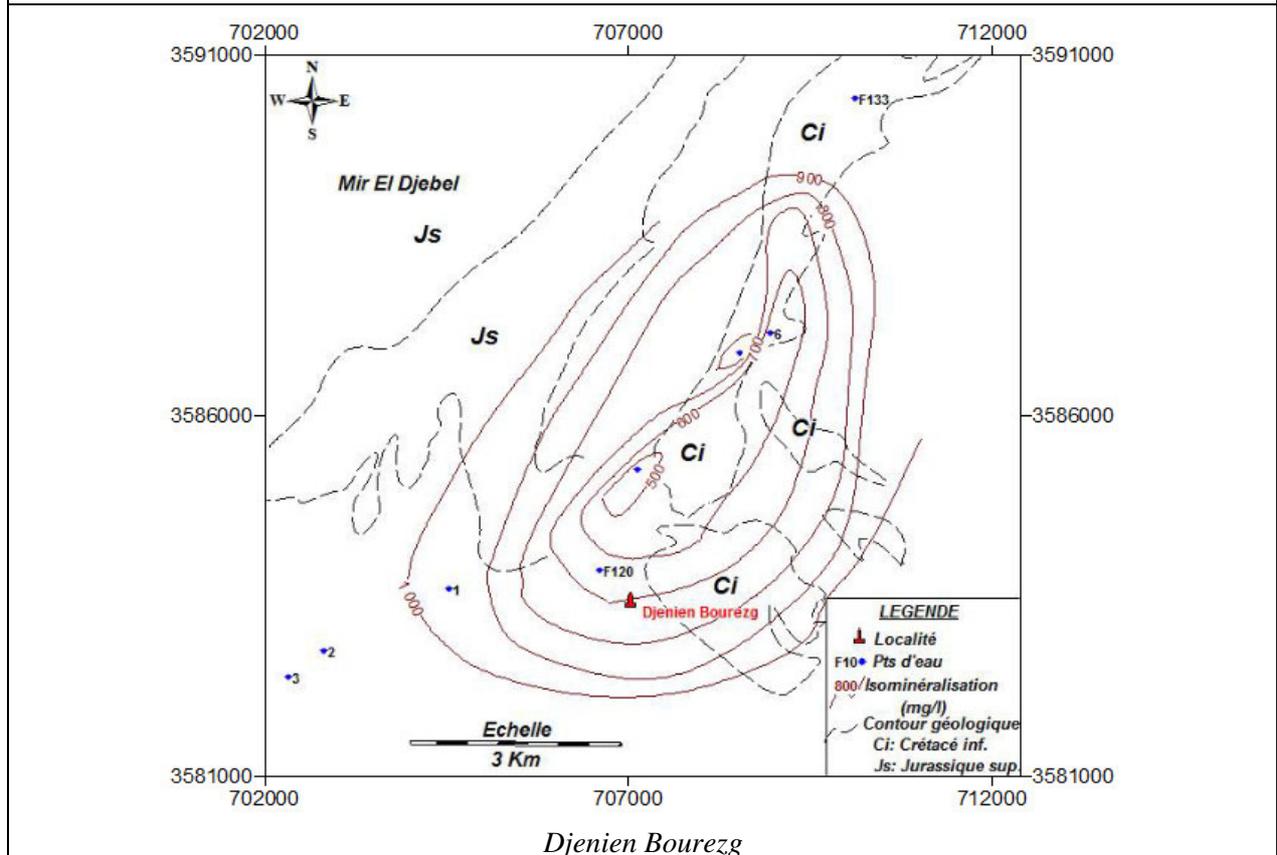
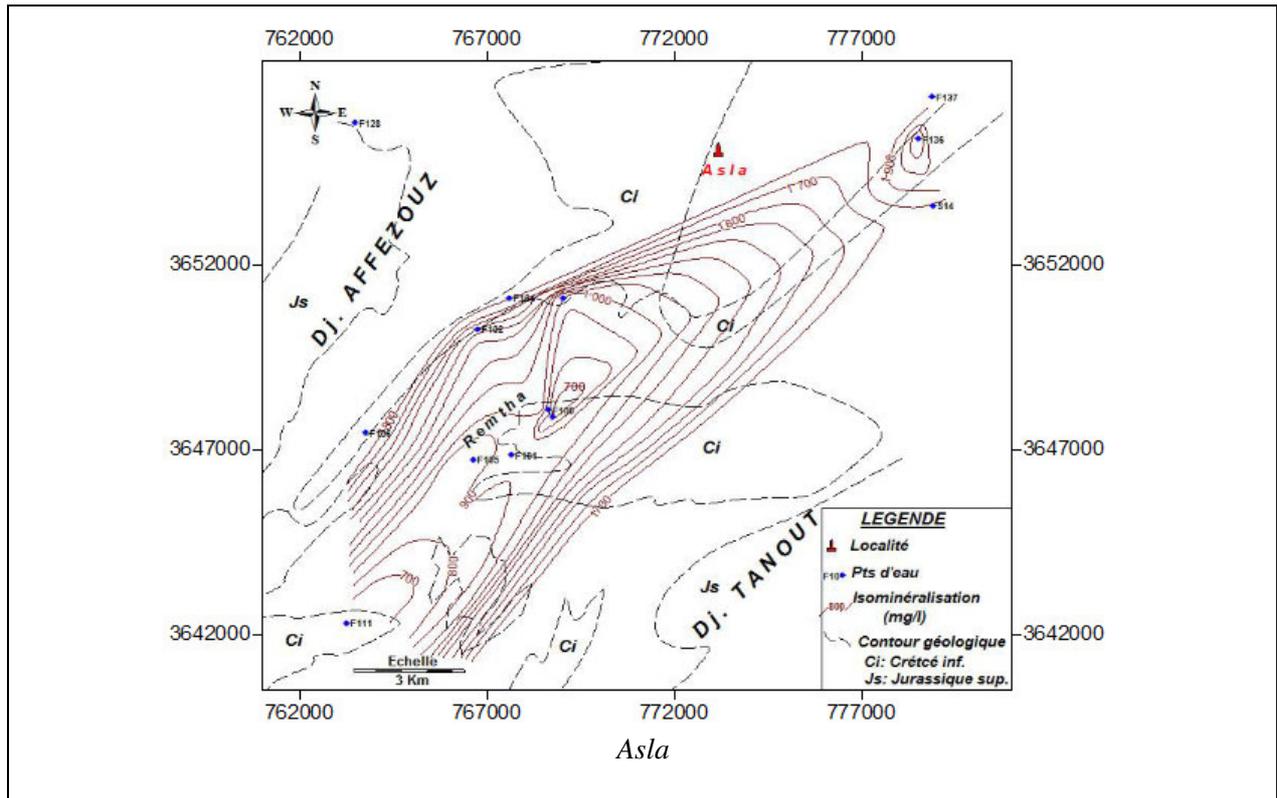
A partir de ces données, des cartes de minéralisation des eaux de la région des points d'eau appartenant aux grès crétacés inférieurs (Fig.56) ont été établies montrant des teneurs allant de :

- 500 mg/L à 1000 mg/L aux cœurs des synclinaux de Garet Kheil - Skhouna - Benhandjir - Maader - Remta (Asla) - Rosfa Hamra et Djenien Bourezg.

- 1000 mg/L à 2000 mg/L au Nord de Garet Kheil (région de Tirkount), la région de Hammar (Ain Sefra), au Sud de Maader, le Nord de Remta.
- 2000 mg/l à 4500 mg/l à Ain-Sefra même, et au Sud Est de Tiout, la région de Rhouiba (Nord de Draa Saa), au cœur du synclinal de Sidi Brahim et au Nord Est de Asla.







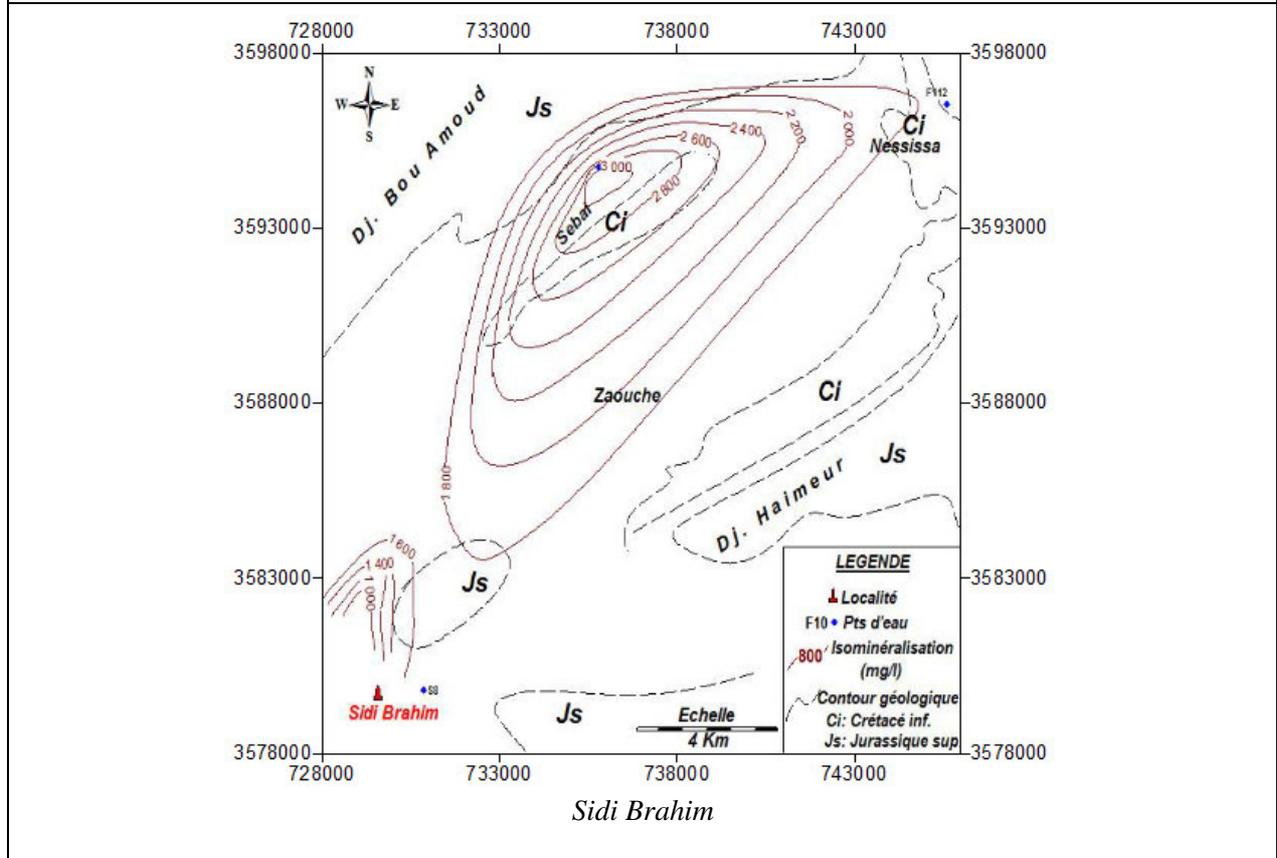
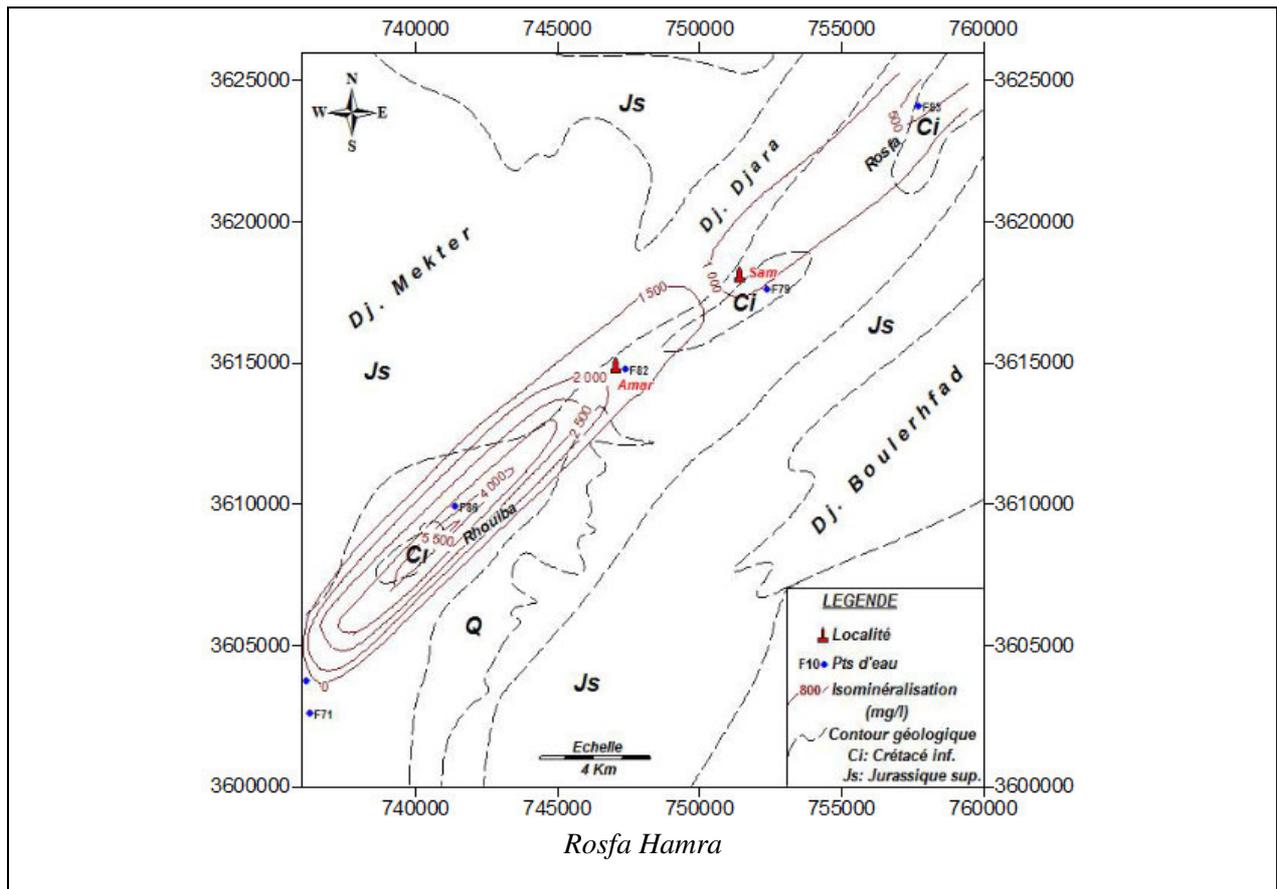


Fig. 56: Carte d'iso minéralisation des différentes gouttières synclinales

V-3) LES FACIES CHIMIQUES

Les nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une eau induisent l'utilisation des représentations graphiques.

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 et de la comparer à d'autres eaux de compositions physico-chimiques différentes, et appartenant à un même contexte géologique.

Les représentations graphiques par les diagrammes de SCHÖELLER-BERKALOFF, et PIPER (Annexe 8), qui sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes, ont permis de représenter les différents résultats des analyses physico-chimiques, et d'en déterminer, pour la nappe des grès Crétacés inférieurs et Jurassiques supérieurs, les principaux faciès chimiques des eaux de la région qui sont au nombre de 09:

- Bicarbonaté Calcique, Magnésien, Sodique
- Chloruré Calcique, Magnésien, Sodique
- Sulfaté Calcique, Magnésien, Sodique

L'étude des faciès hydrochimiques des eaux souterraines de la région, montre que celles-ci sont de manière générale, de nature Sulfaté Calcique à Magnésienne et Chlorurée Sodique à Calcique.

Les anions dominants sont les Sulfates et les Chlorures pour la nappe du Crétacé inférieur, et les bicarbonates pour celle du Jurassique supérieur.

Ces résultats révèlent que les faciès rencontrés sont essentiellement contrôlés par la dissolution du gypse et l'halite malgré la différence de nature des roches rencontrées.

Tableau 22 : Fréquences des faciès chimiques des nappes

<i>Faciès</i>	<i>Nappe</i>	SO ₄ Ca	SO ₄ Mg	SO ₄ Na	Cl Na	Cl Ca	Cl Mg	HCO ₃ Ca	HCO ₃ Mg	HCO ₃ SO ₄
%	Crétacé inf.	34,2	10,5	5,3	15,8	10,5	1,3	15,8	5,3	1,3
%	Jurassique sup	0	0	0	0	0	11,1	44,4	33,3	11,1

Le tableau 22 résume la fréquence des faciès chimiques mis en évidence à travers l'aquifère. Il regroupe pour la nappe du Crétacé inf. 03 faciès chimiques relativement importants Sulfaté Calcique, Chloruré Sodique et bicarbonaté calcique représentent 66% des

échantillons analysés. Tandis que 77% représente 02 facies chimiques prédominant pour la nappe du jurassique sup, Bicarbonaté Calcique et Bicarbonaté Magnésien (Fig. 57).

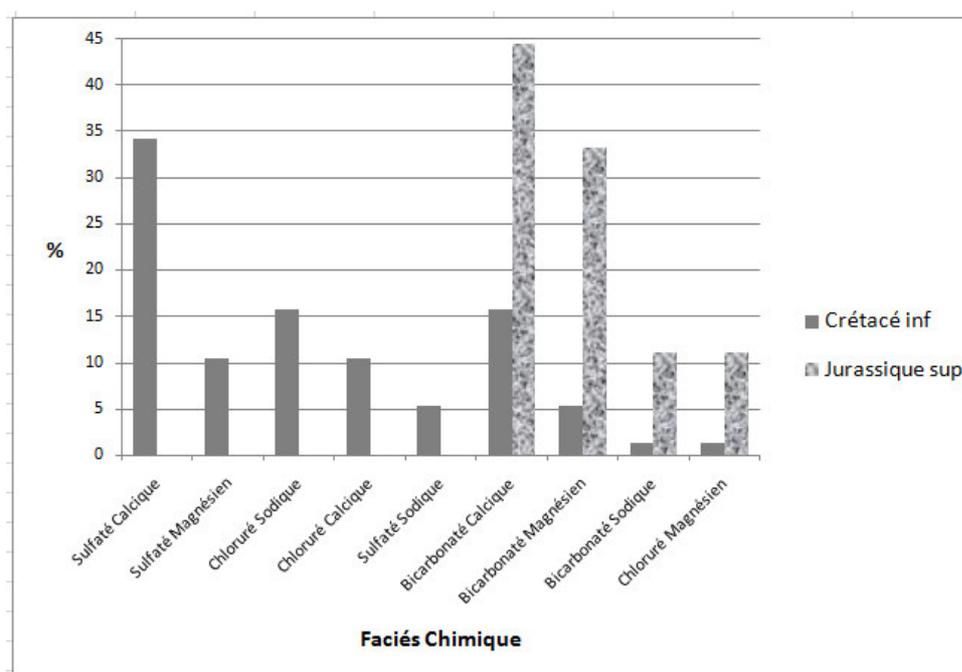


Fig 57: Histogramme comparatif des faciès chimiques des nappes (Crétacé inf. et Jurassique sup)

Ils caractérisent les eaux des terrains gypsifères, c'est à dire la majorité des terrains lagunaires et continentaux et les eaux des terrains sédimentaires marins.

V-4) TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES HYDROCHIMIQUES :

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physico-chimiques, nous avons effectué une étude statistique par Analyse en Composante Principale (ACP) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur les échantillons prélevés. Nous avons pris en considération les éléments majeurs. : Ca^{++} Mg^{++} Na^+ K^+ Cl^- HCO_3^{--} NO_3^{--} , ainsi que la conductivité (CE) et le résidu sec.

Le traitement de nos données a été réalisé à l'aide du logiciel XLSTAT.

L'approche est basée sur l'établissement de corrélation entre l'ensemble de ces variables à partir d'une analyse statistique.

V-4-1) Etude statistique en composante principale

a- Statistique élémentaire :

Le calcul des minimums, maximums, moyennes et des écarts types de la série des différents éléments chimiques sont présentés au tableau 23.

Tableau 23 : Données de la série

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Ca ⁺⁺	41	832	159,97	122,67
Mg ⁺⁺	5	560	71,72	63,86
Na ⁺	9	1115	165,91	198,37
K ⁺	0	30	8,10	5,78
Cl ⁻	27	2477	278,17	366,94
SO ₄ ⁻⁻	38	2255	426,88	455,25
HCO ₃ ⁻⁻	73	360	240,67	51,27
NO ₃ ⁻⁻	0	97	25,86	21,07
CE	390	6000	1649,88	1210,77
Résidu sec	310	7540	1278,90	1152,19

b- Coefficient de corrélation :

Il exprime le niveau de corrélation entre les variables. Selon Mangin A. (1974, le coefficient de corrélation critique est de 0,658.

L'examen du tableau 24, où figurent les valeurs des coefficients de corrélation entre les différents paramètres physico-chimiques majeurs, montre qu'il existe une forte corrélation entre la conductivité électrique et le résidu sec et les éléments majeurs. Ces corrélations montrent que les variations des charges ioniques dissoutes sont entièrement ou en partie liées à des variations de teneurs de ces différents ions. Ceci indique également que ces différents paramètres ont tendance à évoluer concomitamment, par concentration sous l'effet de la lithologie, et leurs concentrations évoluent dans le même sens

Tableau 24: Matrice de corrélation des éléments physico-chimiques

Variabes	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻⁻	NO ₃ ⁻⁻	CE	R.S
Ca ⁺⁺	1									
Mg ⁺⁺	0,81	1								
Na ⁺	0,77	0,76	1							
K ⁺	0,66	0,68	0,82	1						
Cl ⁻	0,78	0,82	0,94	0,75	1					
SO ₄ ⁻⁻	0,90	0,76	0,77	0,73	0,64	1				
HCO ₃ ⁻⁻	-0,07	0,02	-0,05	-0,07	0,01	-0,15	1			
NO ₃ ⁻⁻	0,15	0,12	0,10	0,07	0,09	0,13	-0,20	1		
CE	0,82	0,72	0,95	0,78	0,90	0,79	-0,07	0,13	1	
Résidu Sec	0,88	0,85	0,95	0,81	0,93	0,84	-0,03	0,16	0,94	1

Les meilleures corrélations positives se retrouvent entre la conductivité et les ions Na⁺ et Cl⁻. Une bonne corrélation entre les alcalino-terreux (Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺). Ca⁺⁺ est bien corrélé avec les ions SO₄⁻⁻(0,90), ce qui montre que les ions SO₄⁻⁻ proviendraient de formations

gypseuses. Par contre l'ion Na^+ est fortement corrélé avec les ions Cl^- (0,94). Ces liaisons témoignent l'influence salifère et gypsifère sur le chimisme de l'eau de la région.

V-4-2) Analyse en composante Principale (ACP) :

La méthode d'A.C.P utilisée pour cette étude est basée sur l'interprétation des différents facteurs de même que la matrice de corrélation obtenue à la suite du traitement des données. Le nuage de points résultant de ce traitement a été projeté dans les différents plans factoriels qui sont déterminés dans l'espace des variables et dans celui des unités statistiques.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (A.C.P) pour l'étude globale des eaux souterraines permet une différenciation sur leurs particularités chimiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de la minéralisation. Dans les études hydrogéologiques, l'ACP constitue une des techniques statistiques de plus en plus employées, portant sur plusieurs variables, dans le but d'identifier les facteurs contrôlant la variabilité des données géochimiques (Mudry 1987).

Les matrices de données physico-chimiques comportent un nombre de points d'eau échantillonnés sur des paramètres mesurés. Cette méthode, en cherchant les directions référentielles d'allongement d'un nuage de point multidimensionnelle, permet de résumer l'information en projetant le nuage de point sur des directions préférentielles (axes factoriels). On sélectionne les premiers axes afin d'atteindre un cumul de l'inertie des axes significatif.

a) Analyse des plans factoriels F1xF2:

- *Analyse de l'espace des variables*

Le tableau 25 des valeurs propres donne le pourcentage exprimé par chaque facteur. Il permet de connaître le nombre de facteurs nécessaires pour l'interprétation de ces phénomènes à partir du pourcentage cumulé de ces différents facteurs.

Tableau 25 : Valeurs propres des axes et leurs contributions

Axes	F1	F2
Valeur propre	6,72	1,20
Variabilité (%)	67,19	12,02
% cumulé	67,19	79,22

Le calcul a été arrêté à deux axes, à savoir les axes F1 et F2. Ainsi, le facteur **F1** exprime **67,19 %** de la variance, le facteur **F2 : 12,02 %**. Ces deux facteurs expriment donc **79,22 %** de la variance totale. Ces facteurs regroupent le maximum de la variance exprimée et sont suffisants pour traduire l'information recherchée.

Le tableau 26 permet de voir la corrélation entre les facteurs et les variables :

Tableau 26 : Corrélation entre les variables et les axes

Variable	Composantes principales			
	F1		F2	
Ca ⁺⁺	0,90	0,82	-0,04	0,00
Mg ⁺⁺	0,87	0,76	0,07	0,00
Na ⁺	0,95	0,91	0,06	0,00
K ⁺	0,85	0,72	0,04	0,00
Cl ⁻	0,92	0,85	0,11	0,01
SO ₄ ⁻	0,88	0,77	-0,09	0,01
HCO ₃ ⁻	-0,07	0,00	0,80	0,63
NO ₃ ⁻	0,15	0,02	-0,73	0,54
CE	0,94	0,89	0,02	0,00
Résidu Sec	0,98	0,97	0,02	0,00

1ere colonne : corrélation entre les variables et les axes

2eme colonne : corrélation au carré

L'analyse des variables de l'ACP normalisée dans le plan factoriel F1-F2 (tableau 26) est représentée dans la figure 58. Ce graphe met en évidence deux groupes parmi les paramètres étudiés. Le premier groupe autour de l'axe F1 (67,19 % de l'inertie totale du nuage) qui prend en compte la conductivité CE, le résidu sec, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻ montre une minéralisation de l'eau par le phénomène de dissolution de la roche. Le facteur F1 apparaît comme un axe de minéralisation globale de l'eau. Les différentes variables présentent des coefficients de corrélation élevés entre elles.

Le facteur F2 explique à lui seul 12,02 % de l'inertie totale du nuage, il est caractérisé par le HCO₃⁻, qui est bien corrélé avec cet axe, ainsi que le NO₃⁻. Ces ions sont plus proches de l'origine de l'axe, ce qui indique leur moindre corrélation avec les autres éléments. Le pic des bicarbonates trouve son origine dans les bancs carbonatés jurassiques.

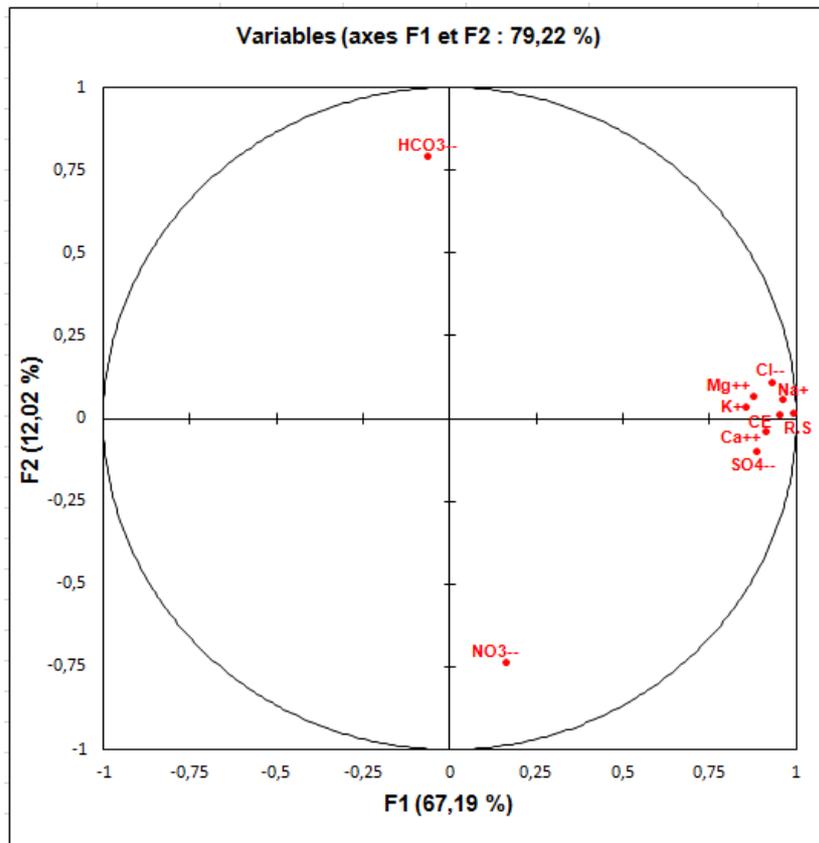


Fig.58 : Cercle de corrélation : axe F1, F2 et variables.

b) Projection dans l'espace des individus :

À l'observation de la projection des individus (points d'eau) sur le plan factoriel F1xF2 (Fig. 59), nous pouvons regrouper les points d'eau en quatre groupes :

- Groupe 1 : regroupe un seul point d'eau (F12), d'une profondeur de 500 ml et ayant une minéralisation de l'ordre 4700 mg/L, et des teneurs très élevées en Sodium (1115 mg/L), en Chlorures (2477 mg/L) et en Sulfates (2255 mg/L).
- Groupe 2 : est constituée des eaux très chargées et ayant des teneurs élevées en Sulfates, Chlorures et Sodium dépassant les normes en vigueur, avec des valeurs de minéralisation élevées entre 1900 mg/l à 3900 mg/L. Cette famille regroupe 14 points d'eau c'est-à-dire 17,5 % du total des points d'eau échantillonnés.
- Groupe 3 : est constituée des eaux moyennement chargées et ayant des valeurs de minéralisation comprises entre 1200 et 1800 mg/L, provenant de 22 points d'eau c'est-à-dire 25,50 % du total des points d'eau échantillonnés.
- Groupe 4 : est constituée des eaux faiblement chargées avec des valeurs de minéralisation comprises entre 300 et 1000 mg/L. Ces eaux proviennent de 49 points d'eau c'est-à-dire 57 % du total des points d'eau échantillonnés appartenant au Crétacé inférieur et Jurassique supérieur.

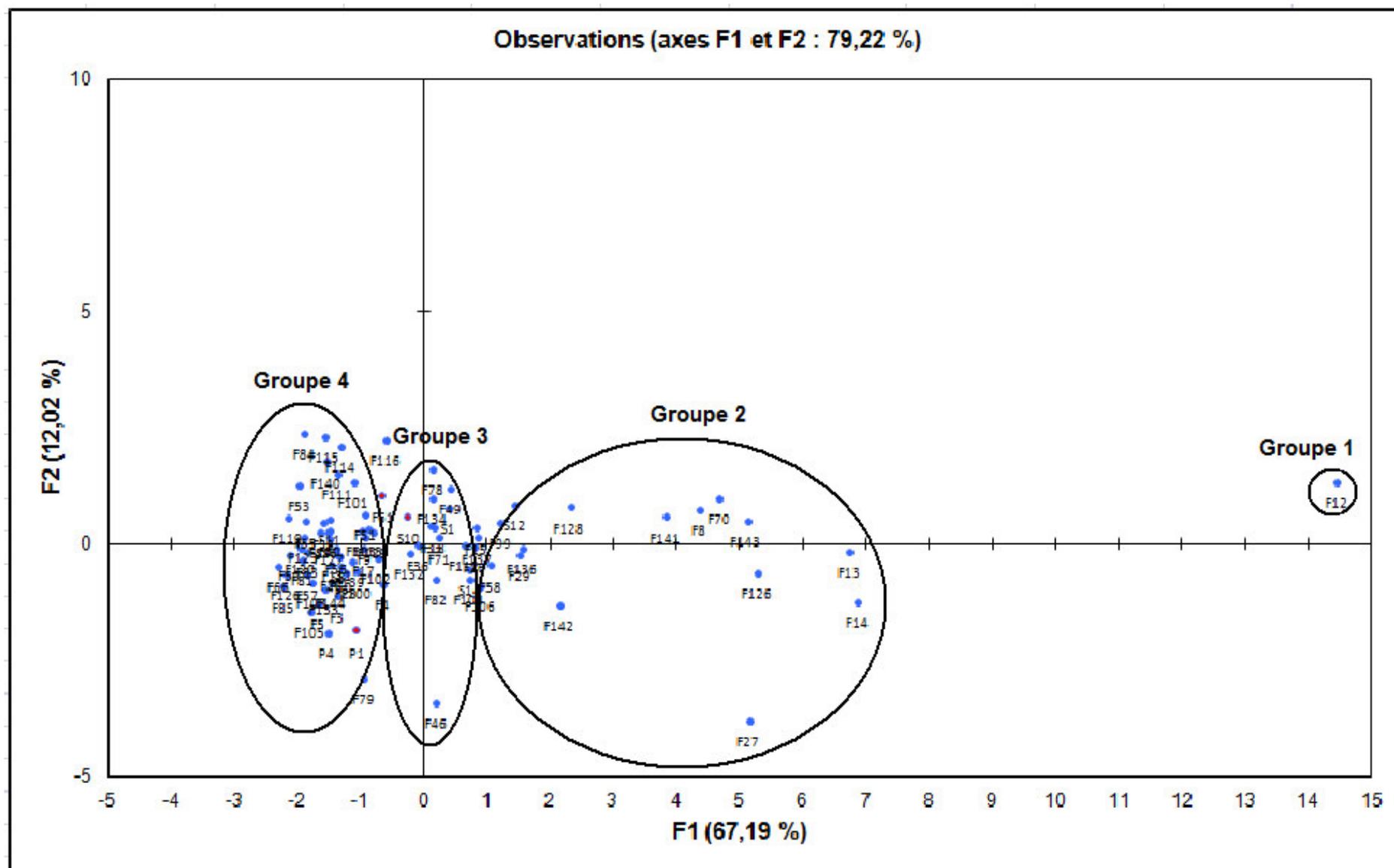


Fig.59 : Projection des individus (points d'eau) sur le plan factoriel (F1 x F2)

V-4-3) Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

a) Principes de la classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification itérative dont le principe est simple.

1. On commence par calculer la dissimilarité entre les N objets.
2. Puis on regroupe les deux objets dont le regroupement minimise un critère d'agrégation donné, créant ainsi une classe comprenant ces deux objets.
3. On calcule ensuite la dissimilarité entre cette classe et les N-2 autres objets en utilisant le critère d'agrégation. Puis on regroupe les deux objets ou classes d'objets dont le regroupement minimise le critère d'agrégation.

On continue ainsi jusqu'à ce que tous les objets soient regroupés.

Ces regroupements successifs produisent un arbre binaire de classification (dendrogramme), dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus.

Ce dendrogramme représente une hiérarchie de partitions. On peut alors choisir une partition en tronquant l'arbre à un niveau donné, le niveau dépendant soit des contraintes de l'utilisateur (l'utilisateur sait combien de classes il veut obtenir), soit de critères plus objectifs.
(Site : www.xlstat.com)

Avantages de la classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification qui présente les avantages suivants :

- On travaille à partir des dissimilarités entre les objets que l'on veut regrouper. On peut donc choisir un type de dissimilarité adapté au sujet étudié et à la nature des données.
- L'un des résultats est le dendrogramme, qui permet de visualiser le regroupement progressif des données. On peut alors se faire une idée d'un nombre adéquat de classes dans lesquelles les données peuvent être regroupées.

b) Résultats pour la CAH dans la région d'étude :

Le but est de créer des groupes homogènes d'observations à partir des paramètres physico-chimiques des eaux des points échantillonnés.

L'application de la méthode CAH au moyen du logiciel XLSTAT nous a permis d'analyser les dendrogrammes.

Le graphique de la classification des variables (Fig.60) montre la participation de tous les paramètres physico-chimiques

On remarque le regroupement de ces paramètres selon deux tendances :

- Un premier groupe représentant une étroite liaison entre les sulfates et les chlorures.
- Un deuxième groupe est constitué par les autres paramètres, la liaison se fait comme suit : une dépendance entre le calcium et le sodium qui sont tout deux en relation étroite avec les bicarbonates. Le tout est en relation avec le potassium, le magnésium et les nitrates.

Ces deux groupes sont en liaison avec la conductivité électrique et le résidu sec comme il a été démontré par les régressions

Le premier groupe montre une minéralisation liée aux roches évaporitiques. Le second groupe explique le phénomène de dissolution de la roche réservoir.

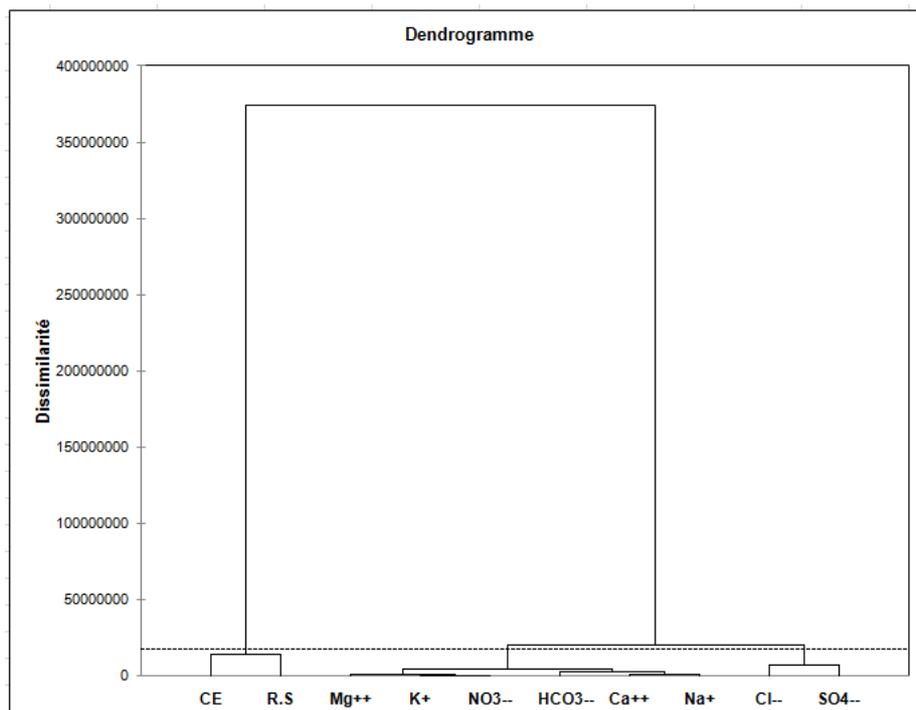


Fig.60 : Classification ascendante hiérarchique des variables

Parmi les résultats de la classification CAH, on a les deux dendrogrammes qui permettent de visualiser le regroupement progressif des individus (Fig.61), ainsi que la composition des points d'eau en 04 classes. Les résultats par classes, après troncature du dendrogramme (Fig. 62), sont indiqués au tableau (Annexe 9).

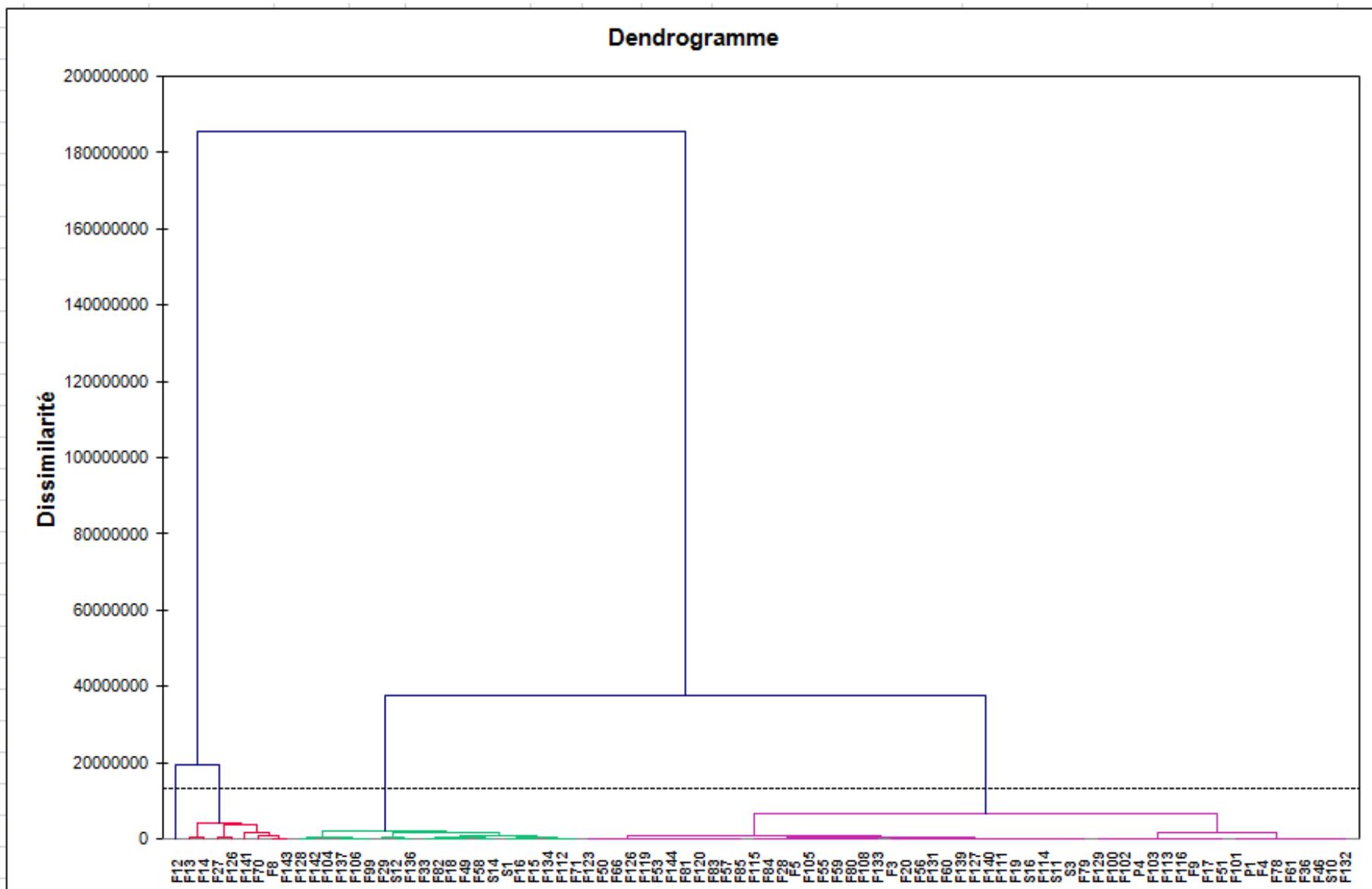


Fig.61 : Dendrogramme visualisant le regroupement progressif des observations

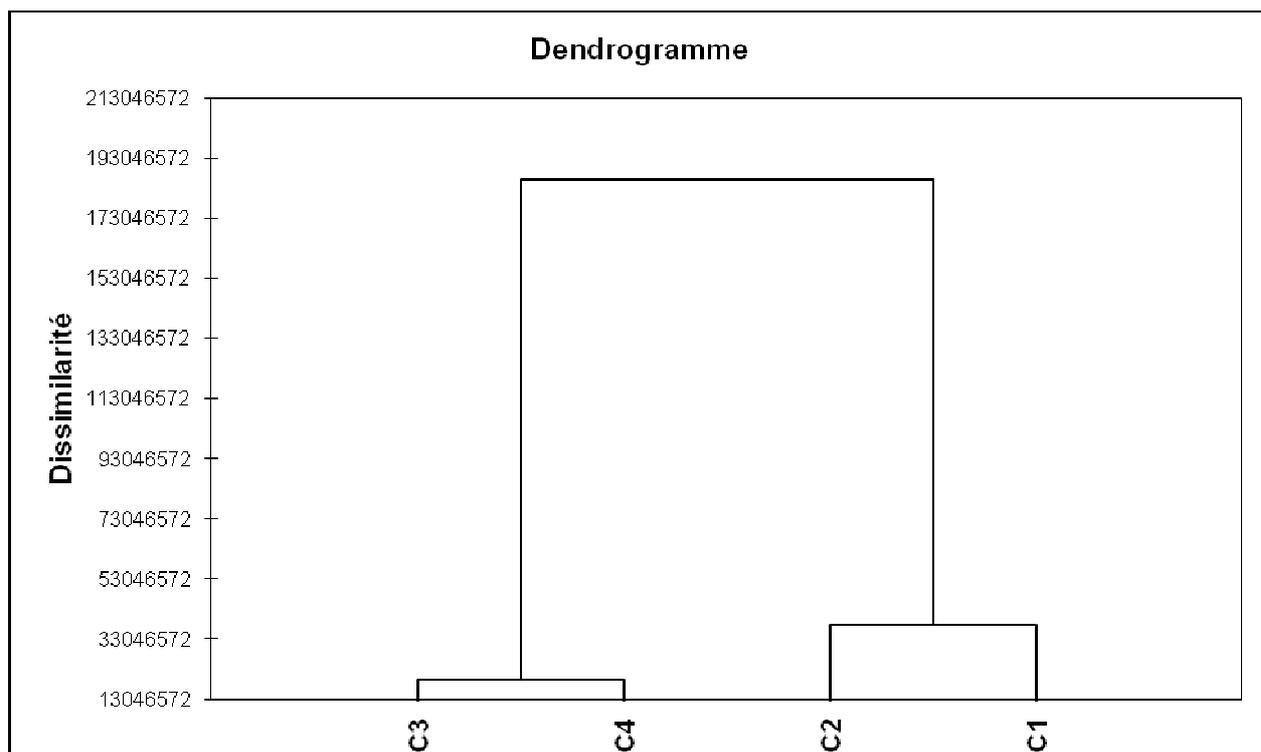


Fig.62 : Dendrogramme après troncature

Le résultat obtenu semble indiquer que les quatre regroupements se sont établis sur la base de la conductivité électrique (CE) donc de la minéralisation :

- *Classe 1* : $1100 \text{ mg/L} \leq \text{Minéralisation} \leq 1970 \text{ mg/L}$. Elle regroupe les forages captant les grès barrémo-aptiens (le membre médian et inférieur de la formation de Tiout).
- *Classe 2* : $279 \text{ mg/L} \leq \text{Minéralisation} \leq 910 \text{ mg/L}$. Elle regroupe majoritairement les forages captant les grès de l'albien (membre supérieur de la formation de Tiout), et les grès jurassiques supérieurs.
- *Classe 3* : $\text{Minéralisation} = 4551 \text{ mg/L}$. Elle regroupe un forage (F12) d'une profondeur de 500 m, captant en plus des grès barrémo-aptiens, les formations néocomiennes (membre supérieur de la formation de Tiloula).
- *Classe 4* : $2500 \text{ mg/L} \leq \text{Minéralisation} \leq 4170 \text{ mg/L}$. Elle regroupe uniquement les forages qui captent la formation aptienne.

V-5) HYDROCHIMIE DE LA NAPPE ALLUVIONNAIRE D'AIN SEFRA

Les différentes analyses physico-chimiques effectuées sur 06 échantillons (Tableau Annexe 7) indiquent que le faciès chimique de la nappe alluvionnaire est Bicarbonaté Calcique à Sulfaté Calcique (Fig.63).

La minéralisation augmente dans le sens de l'écoulement (Fig. 64) avec des valeurs de 440 à 3500 mg/L. Cette augmentation ainsi que celle des valeurs élevées des sulfates et les chlorures respectivement de 3595 et 745 mg/L, trouve en grande partie son explication dans la lithologie des terrains sous jacents appartenant au membre inférieur de la formation de Tiout, qui influe fortement sur la composition chimique des eaux.

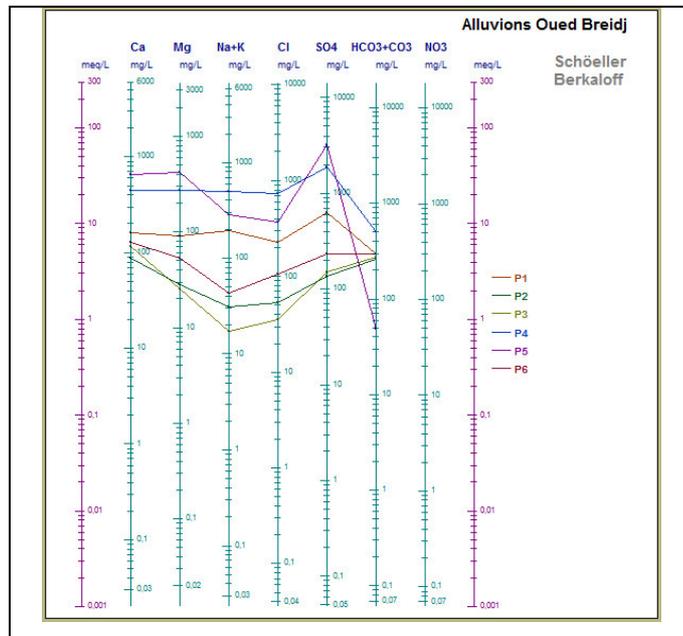


Fig.63: Classification de Schöeller et Berkallof des points d'eau de la nappe alluvionnaire (Ain Sefra)

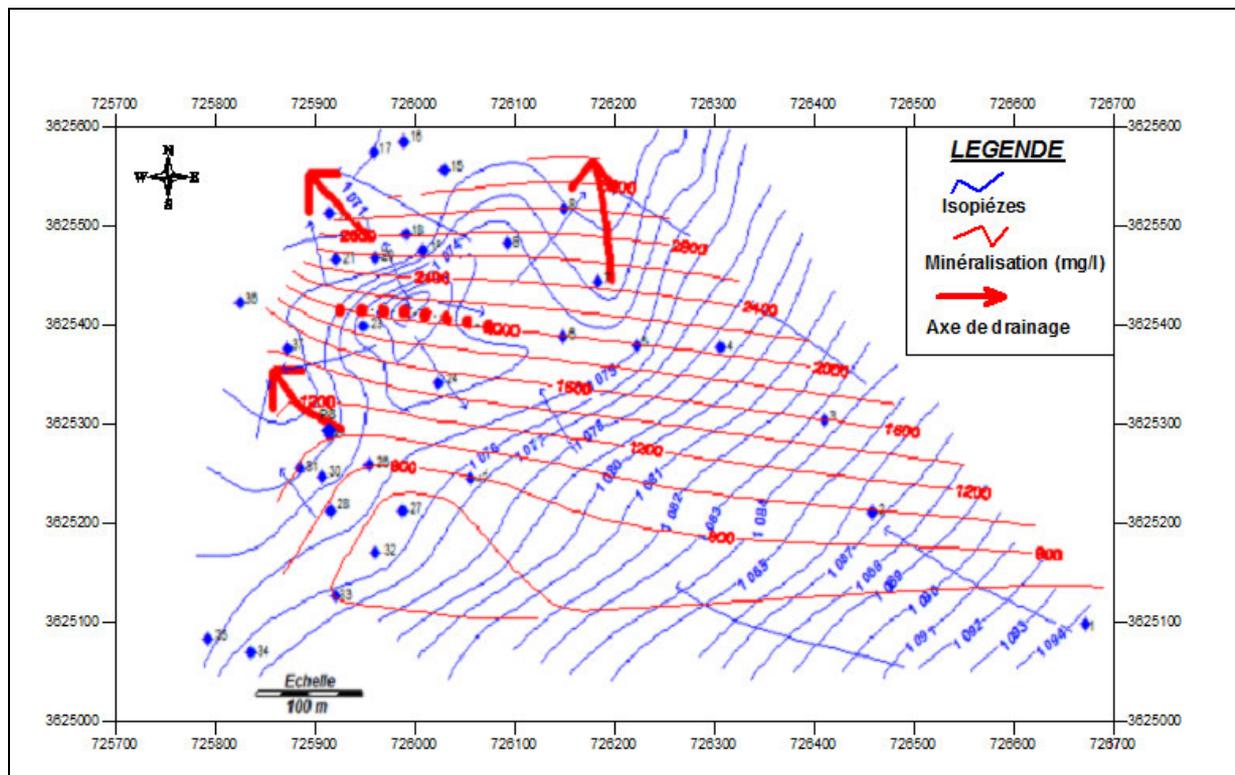


Fig. 64 : Carte de minéralisation (nappe alluvionnaire)

V-6) HYDROCHIMIE DE LA SOURCE THERMALE D'AIN OUARKA

La température de l'eau (46°C) de la source thermique, permet de déduire que cette eau provient de grandes profondeurs. La comparaison des résultats des différentes analyses chimiques (tableau 27) effectuées montrent une stabilité physico-chimique ainsi que la température, sur une durée de 50 années, car les faciès chimiques: principal et secondaire, sont restés respectivement Chloruré Sodique et Sulfaté Calcique (Fig. 65).

Tableau 27: Analyse physico-chimique de la source de Ain Ouarka

Date d'analyse	1942 (1)	Juillet 1983 (2)	Juillet 1992 (2)
Ca ⁺⁺ (mg/l)		420	451
Mg ⁺⁺ (mg/l)		73	95
Na ⁺ (mg/l)		1380	1277
K ⁺ (mg/l)		28	38
Cl ⁻ (mg/l)	1925	2201	2000
SO ₄ ⁻ (mg/l)		998	1320
HCO ₃ ⁻ (mg/l)		183	127
NO ₃ ⁻ (mg/l)		0.1	1
PH		7.1	8.1
Conductivity mho/cm		7.45	6.4
Résidu sec (mg/l)	5705	5560	6300
Minéralisation (mg/l)		4619	3968
Température °C	46	46	46
Faciès chimique		Chloruré Sodique	Chloruré Sodique

- (1) : Service des analyses chimiques (Institut Pasteur d'Algérie) (Mai 1942)
 (2) : Direction des ressources en eau de la wilaya de Naama.

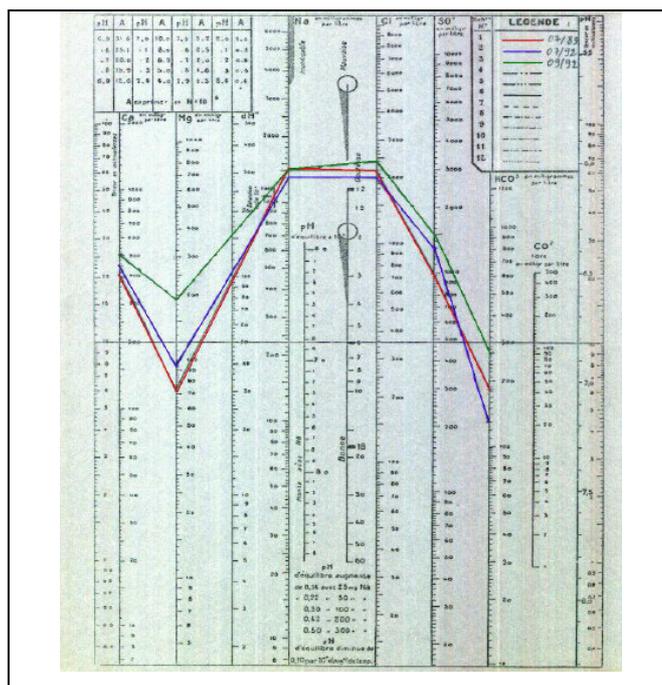


Fig. 65: Classification de Schöeller et Berkhalof « Source de Ain Ouarka »

Le faciès chimique étant *Chloruré Sodique et Sulfaté Calcique*, donc il y a corrélation entre la composition physico-chimique de ces eaux, et la nature du terrain où l'on rencontre du sel gemme et du gypse.

V) CONCLUSION :

Les différents synclinaux à fond plats de la région d'étude sont d'âge crétacé inférieur constitués de grès massifs intercalés avec des lentilles argileuses, compris entre les anticlinaux, qui font apparaître les formations jurassiques gréseuses.

Les accidents qui ont affecté les synclinaux ont provoqué la remontée du Trias formé d'ophites et d'argiles bariolée salifères, dans la zone d'El Hendjir, Djenien Bourezg et Ain Ouarka. D'importantes fractures, dont plusieurs ont une orientation NE-SW, ont affecté les terrains. A la fracturation et aux plissements s'ajoutent un certain nombre d'alignements qui se manifestent par arrêts de structures et des anomalies tectoniques. Aux principaux alignements de directions N90° à N110° et N70° à N90°, s'ajoute la faille normale « Ras Touil – Ain Sefra », de direction moyenne N150° (NW – SE), qui recoupe transversalement, d'une part les anticlinaux de Djebel Hirech et Morhad, et d'autre part ceux de Dir Hirech–Garet Deba et Djebel Aissa.

Du point de vue hydrogéologique, l'étude géophysique ainsi que l'interprétation des logs lithostratigraphiques des forages, ont mis en évidence, en plus de la nappe alluvionnaire, 02 systèmes aquifères à porosités d'interstices et de fissures: les grès du Jurassique sup. et ceux des grès du Crétacé inférieur dans lesquelles s'intercalent des lentilles argileuses.

Les valeurs de transmissivité varient de 10^{-2} m²/s pour les forages captant le membre supérieur de la formation de Tiout présentant un faciès gréseux, à 10^{-5} m²/s s'expliquent par la présence du faciès argileux appartenant au membre médian et inférieur de la formation de Tiout qui prend de l'importance par rapport au grès.

L'étude hydrochimique a permis de mettre en évidence, d'une part, les processus d'acquisition de la minéralisation des eaux suivant les principales directions d'écoulement, et d'autre part, des faciès hydrochimiques complexes sur la base de la dominance respective des cations et anions. Trois faciès hydrochimiques sont prédominants, à savoir : Bicarbonaté Calcique à Magnésien caractéristique des eaux à faible minéralisation (moins de 750 mg/L), Sulfaté Calcique et Chloruré Sodique représentant les eaux à minéralisation modérée, et à

forte minéralisation (plus de 1000 mg/L). La dissolution de l'halite et le gypse contribuerait à la minéralisation des eaux de l'aquifère étudié.

Les deux techniques statistiques l'ACP et la CAH confirment les résultats obtenus par l'approche hydrochimique.

Ainsi l'étude hydrochimique et statistique, met en évidence des familles d'eau ayant une origine commune et une minéralisation bien distincte.

TROISIEME PARTIE

**APPORT DES SYSTEMES D'INFORMATION
GEOGRAPHIQUES
(S.I.G.)**

D) DEFINITION ET FONCTIONNALITES D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG).

Un Système d'Information Géographique (S.I.G.) est un outil informatique de représentation et d'analyse de données géographiques référencées.

C'est un outil pour générer dans les délais raisonnables, des produits cartographiques, cartes, tableaux, graphes pouvant permettre de répondre à certaines questions essentielles et pratiques de gestion et de planification.

Il comprend des outils de saisie, de stockage, d'analyse et d'affichage de données spatiales. Il permet de répondre à des questions relevant de domaines très variés comme la gestion des eaux, la protection de la nature, etc. Ceux-ci-peuvent également constituer une base d'aide aux décisions administratives, économiques ou scientifiques (Laurini et Milleret-Raffort 1993)

Le principe du SIG est de mettre en relation des informations (par le biais d'attributs) afin d'identifier, de structurer, de simuler et de cartographier les résultats ayant pour objectif de les visualiser, et les comprendre. Il constitue en fait un outil puissant d'aide à la prise de décision par la qualité et la rapidité des réponses qu'il fournit aux requêtes formulées par l'utilisateur.

Le choix des différentes couches d'information dépend de l'utilisation envisagée du SIG et des données disponibles. Ainsi, lors d'un SIG relatif à l'hydrogéologie et à l'hydrologie d'une zone, les variables suivantes sont essentielles :

- Le climat
- La géologie
- La topographie
- L'hydrogéologie
- L'hydrographie
- L'hydrochimie.

Les fonctions des SIG peuvent se résumer aux éléments suivants :

- enregistrer l'information.

- représenter l'information.
- interroger l'information.
- analyser l'information.
- effectuer des simulations.
- globalement, aider à la prise de décision.

On peut identifier 03 axes permettant de caractériser les projets de S.I.G. :

- Le 1er est l'axe organisationnel, incluant sa mise en œuvre.
- Le 2eme est l'axe territorial : quelle région est concernée ? Quel rôle joue-t-elle dans le projet de S.I.G ? Quels sont les phénomènes que l'on souhaite étudier avec le S.I.G ? Quels sont les objectifs poursuivis sur la région d'étude par la mise en œuvre du S.I.G ?
- Le 3eme est l'axe thématique.

Les SIG s'appliquent dans plusieurs domaines dont les études et la gestion des ressources en eaux souterraines, objet de notre étude. Dans le cadre de ce travail de recherche, un Système d'Information Géographique (SIG) a été élaboré pour le système aquifère Crétacé inférieur de la région d'Ain Sefra. Cet aquifère s'étend sur environ 5500 km² et dispose d'une banque de données extrêmement riche. Les informations spatiales et/ou temporelles stockées portent sur les aspects suivants : la géologie, l'hydrologie, le climat, la géophysique, la qualité des eaux, les données de forages, la piézométrie ... Une synthèse actualisée de l'ensemble des données portant sur la ressource en eau souterraine nous a permis, en plus de la constitution d'une base de données géoréférencée, une recherche rapide et précise de l'information sur ce réservoir d'eau relativement riche.

Un certain nombre de documents cartographiques a été élaboré, en vue d'une meilleure identification de la géométrie du réservoir et des modalités d'écoulement. L'exploitation de ce SIG conduira également à:

- L'optimisation des résultats des futurs travaux de reconnaissance de la nappe.
- L'implantation des futurs forages.
- La réponse aux requêtes des différents utilisateurs de l'eau souterraine.
- L'orientation du choix des sites des activités soit d'exploitation, soit de rejet (décharges, industries, eaux usées..).
- La rationalisation de la gestion des ressources en eau en général.

II) LOGICIEL S.I.G. UTILISE.

Confrontés aux nombreux systèmes d'information géographique adaptés au monde de la micro informatique, notre choix s'est porté sur le système d'information géographique « *MAPINFO PROFESSIONNEL V6.5* » pour bénéficier d'un produit performant, évolutif, largement diffusé auprès des utilisateurs.

Ce logiciel permet de créer, d'afficher, de modifier toutes formes d'informations géographiquement référencées.

On peut résumer ses principales caractéristiques comme suit :

- Opérations de superpositions : superposition de couches thématiques
- Traitements statistiques.
- Types de sortie : représentations cartographiques, valeurs numériques ou textuelles, histogrammes, graphiques ...
- Disponibilité d'une bibliothèque de symboles, de traits, de trames et de légendes modifiables de façon interactive.
- Echange de données avec les autres S.I.G (ARCGIS, ARCINFO ...) et les logiciels de CAO et DAO tels que AUTOCAD (format DXF).

Doté d'un langage SQL (Structured Query Language) étendu pour la gestion des données descriptives.

Parmi ses fonctionnalités, on peut citer :

- Son efficacité dans la gestion des bases de données.
- Ses fonctionnalités graphiques sont importantes.
- Son puissant langage de requêtes permet de mixer les entrées graphiques et non graphiques.
- Son indépendance vis à vis du choix du matériel.
- Sa capacité à intégrer des données externes et à exporter des données vers d'autres systèmes.

MAPINFO est considéré comme un S.I.G très conviviale du fait qu'il est un logiciel S.I.G de Bureautique.

L'autre logiciel utilisé est le « *VERTICAL MAPPER* », le module d'analyse spatial de MapInfo, qui est un outil de création et d'exploitation de l'Information Géographique sous forme de grilles.

III) METHODOLOGIE DE TRAVAIL.

La méthodologie adoptée consiste à élaborer un SIG pour le traitement des différentes informations organisées dans une base de données. Il englobe l'essentiel des données acquises depuis plusieurs décennies concernant les ressources en eau de la région.

Ce SIG est constitué par deux grandes bases de données qui sont liées et qui se complètent mutuellement :

- Une base des données spatiales contenant les documents cartographiques : fonds topographiques, carte géologique, carte géophysique.
- Une base des données thématiques relative à un inventaire de 136 points d'eau dont les 90% captent les grès du Crétacé inférieur.

La démarche appliquée dans ce cadre nécessite une compilation des données spatiales géographiques relatives à la topographie, la géologie, l'hydrogéologie et l'hydrochimie.

Après la mise en place de la base de données, des requêtes ont été réalisées. Ainsi, un Modèle Conceptuel des Données (MCD) a été conçu (fig.66) qui résume la démarche méthodologique pour la réalisation des cartes de synthèse qui représentent les sites favorables à l'implantation de forage et les zones de recharge.

En effet le modèle conceptuel des données, est la partie fondamentale dans l'architecture d'un système de base de données. Son but est de décrire en termes abstraits mais fidèles une certaine réalité concernant une région ou un phénomène physique.

III-1) COLLECTE DE DONNEES

Les données de sources diverses sont inventoriées sur terrain, à partir de plusieurs organismes dont la Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Naama (DRE Naama), et par numérisation des cartes existantes (Tableau 28).

Tableau 28 : Les composantes thématiques de la géodatabase.

Paramètres	Topologie	Mode d'acquisition	Origine
Topographie	Polylignes	Numérisation	Cartes topographiques
Hydrographie	Polylignes	Numérisation	Cartes topographiques
Géologie	Polygone	Numérisation	Cartes géologiques
Tectonique	Polylignes	Numérisation	Cartes géologiques
Points d'eau	Points	Interpolation	Inventaire DRE Naama
Piézométrie	Polylignes	Interpolation et digitalisation	Inventaire DRE Naama
Transmissivité	Polylignes	Interpolation et digitalisation	Inventaire DRE Naama
Cartes d'isoteneurs	Polylignes	Interpolation et digitalisation	Inventaire DRE Naama

III-2) LA GEODATABASE

La géodatabase (géographic database) est le cœur de tout Système d'Information Géographique, qui organise les données SIG en couches thématiques et en représentations spatiales. Les données sont des observations ou des mesures brutes, et de leur traitement, sortent des informations utiles aux décideurs. Ces dernières présentent une information et une utilité importante durant la conception d'une base de données.

D'après PORNON (1991) un système d'information fonctionne grâce à l'interaction de trois composantes :

- un ensemble d'outils matériels et logiciels qui supportent l'information et qui doit faciliter son exploitation.
- un ensemble d'administrateurs, d'opérateurs et d'utilisateurs qui agissent sur le système en définissant, vérifiant ou demandant de l'information.
- un ensemble de données dont les deux acteurs précédents doivent garantir la validité.

La base de données élaborée est à trois composantes :

- une composante descriptive sous M. Excel
- une composante descriptive sous M. Access.
- une composante Cartographique spatiale sous MapInfo 6.5

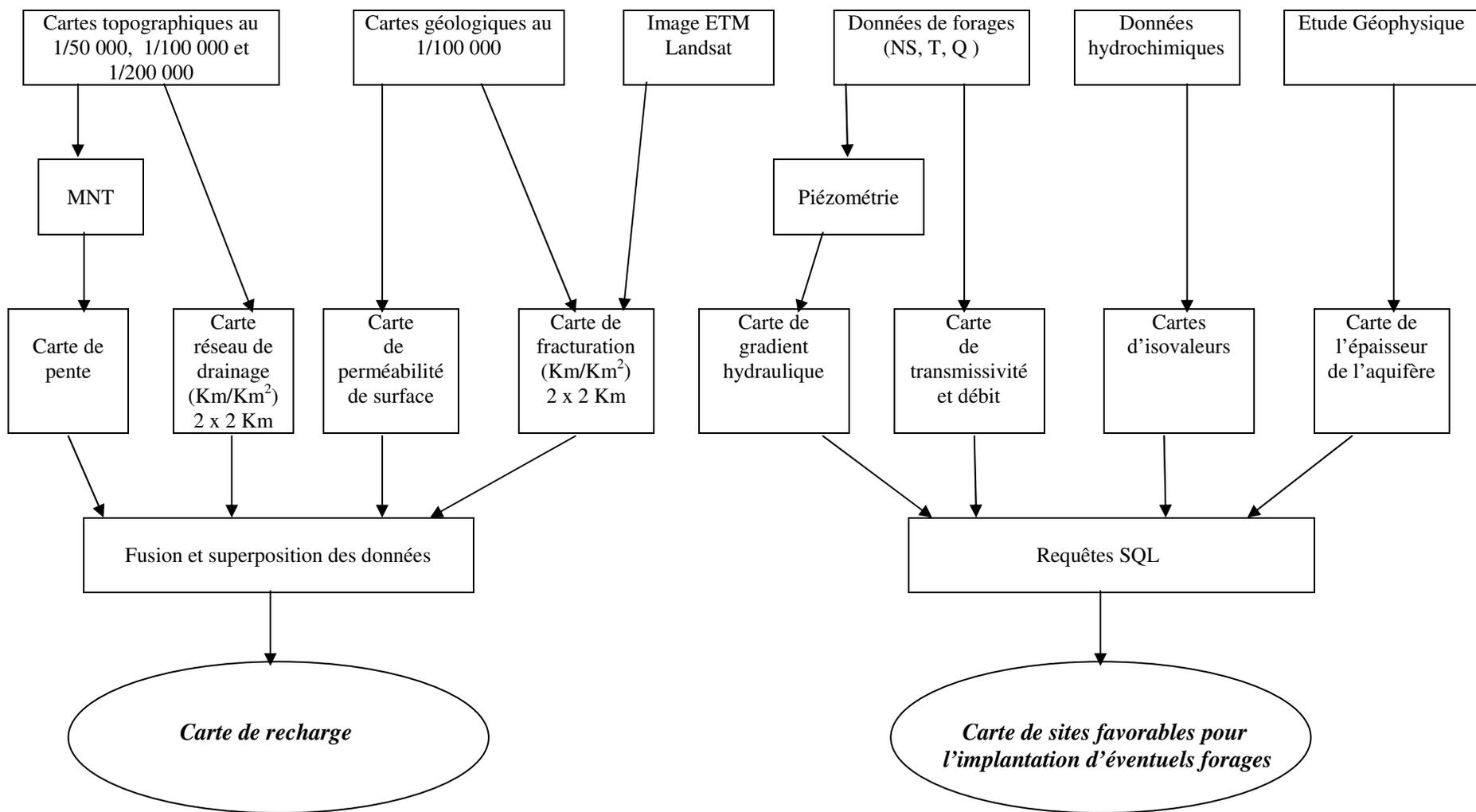


Fig. 66 : Synthèse de la méthode de réalisation des cartes.

Les données essentielles relatives à tous les points d'eau inventoriés dans la région d'étude ont été incorporées, pour qu'elles soient, ensuite, importées par MapInfo 6.5 afin d'être combinées avec les données cartographiques.

Ces données sont :

- Les coordonnées (X, Y, Altitude)
- Le niveau piézométrique
- Le débit (m^3/j)
- La transmissivité (m^2/j)
- La minéralisation (mg/L)
- Les paramètres physico-chimiques
- La qualité de l'eau

III-3) LE GEOREFERENCEMENT ET LA NUMERISATION DES CARTES

La numérisation des différentes cartes topographiques et géologiques de la région a été faite sous MapInfo 6.5 sur des cartes scannées au format A4 et A0.

La dimension spatiale de la région d'étude conditionne le choix de l'échelle de travail. La zone d'étude d'une superficie de plus de 5800 Km² s'étale sur 02 cartes topographiques à l'échelle 1/200 000 (Ain Sefra et Beni Ounif), et 06 cartes à l'échelle 1/100 000 (Ain Sefra - Mekalis -Forthassa Gharbia - Moghrar Foukani - Djenien Bourezg- Djebel Arar). Ainsi notre choix de numérisation s'est porté sur les cartes au 1/100 000 et au 1/200 000.

Si nous souhaitons travailler à l'échelle 1/50 000, le nombre de cartes passe à 16, ce qui influence la durée du travail et augmente le coût d'acquisition des données.

Pour la géologie, les cartes numérisées ont été produites à partir des cartes géologiques d'Ain Sefra, Forthassa-Gharbia, Djenien Bourezg, Moghrar Foukani, Mekalis et Djebel Arar (Galmier 1972), échelle 1/100 000, scannées au format A0.

Afin d'avoir une seule couverture de toute la zone en question pour tous les thèmes, on a attribué les coordonnées géographiques réelles à toutes les cartes de chaque thème.

Cette étape est connue sous le terme « géoréférencement », qui est un processus visant l'établissement d'une relation entre les entités affichées dans le système d'information géographique et leur position dans le monde réel.

Le choix du système de géoréférencement est une étape importante dans notre travail car il garantit éventuellement l'intégration des données d'une façon cohérente dans la base de données. Les S.I.G. exigent que ces données soient dans un même système de référence pour quelles puissent être assemblées et/ou superposées. Sous un SIG il n'est pas possible de faire superposer sur une image des fichiers vectoriels, si ces derniers ne sont pas référencés dans le même système de projection que celui de l'image.

Le choix pour géoréférencier notre support cartographique, s'est porté sur le système de coordonnées géographiques UTM (Universel Transverse Mercator) WGS 84 (World Global System 1984) Fuseau 30, pour l'ensemble des cartes de la zone d'étude, conformément au système de référence géographique utilisé en Algérie, défini par « l'Arrêté du 24 Dhou El Hidja 1423 correspondant au 25 février 2003 fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national » (tableau 29). Cette étape nous a permis d'assembler les différentes couvertures en question (Fig. 67).

Tableau 29 : Système de référence géographique et planimétrique

Zone	Système Géodésique	Ellipsoïde associé	Projection
Territoire national	Nord Sahara	Clarke 1880	UTM Fuseaux 29, 30, 31 et 32
	WGS-84	IAG - GRS 80	UTM Fuseaux 29, 30, 31 et 32

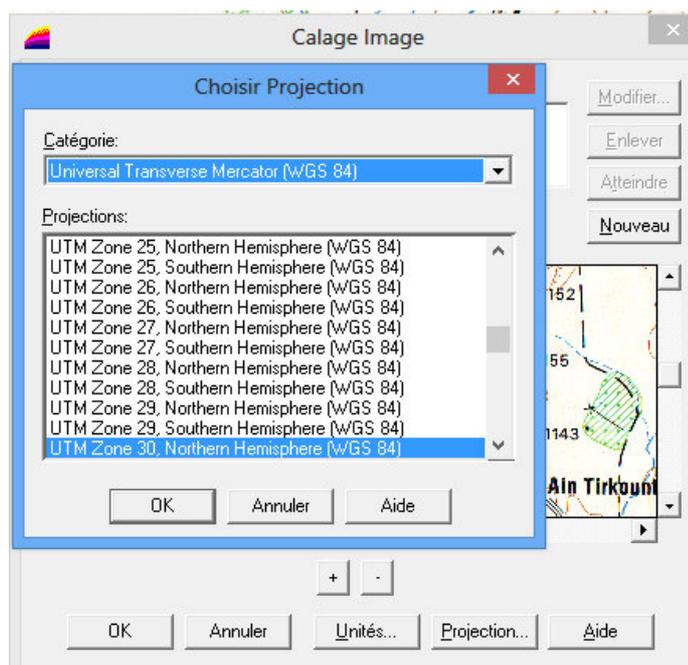


Fig.67: Choix du système de projection

Ce système de géoréférencement permet d'établir la relation qui existe entre une couverture et sa localisation sur la surface terrestre définie par des couples de coordonnées X et Y de référence nommés points de calage *tics*.

Pour obtenir une meilleure précision, c'est-à-dire minimiser l'erreur entre le document original ou de référence et le produit numérisisé, afin que cette marge d'erreur soit acceptable, on a pris en compte des points de calage. Ces derniers au nombre de quatre, ont été définis pour permettre à MapInfo V6.5 de faire la relation entre les coordonnées réelles du terrain et celles des cartes scannées (topographique et géologique) (Fig. 68 –69).

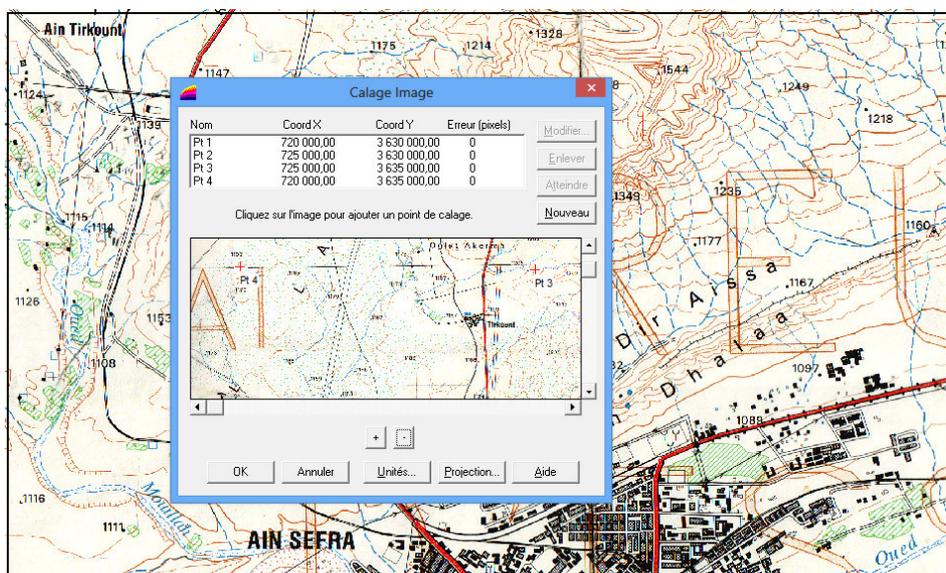


Fig.68 : Calage de la carte topographique

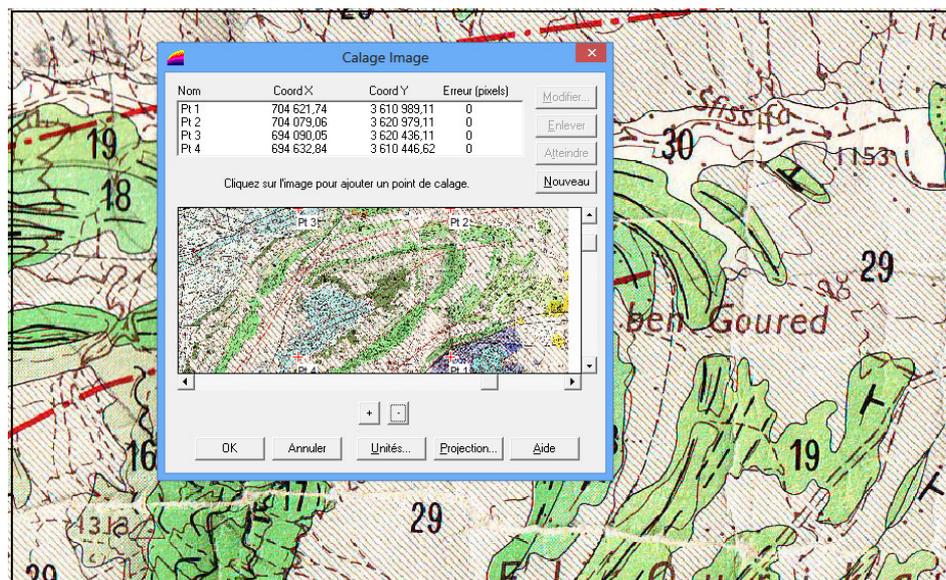


Fig.69: Calage de la carte géologique

III-4) LA VISUALISATION DES DONNEES SOUS MAPINFO 6.5 (fig. 70):

Elle est utile pour:

- l'accès à l'information par la visualisation et la navigation géographique ;
- la recherche en se basant sur un moteur de recherches géographiques ;
- la production des cartes interactives selon le besoin de l'utilisateur ;
- la visualisation des données de forages (coordonnées, caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques.) et hydrographiques.

Elle a pour objectif de constituer un point de recherche des principales données géographiques et alphanumériques concernant les ressources en eaux superficielles et souterraines.

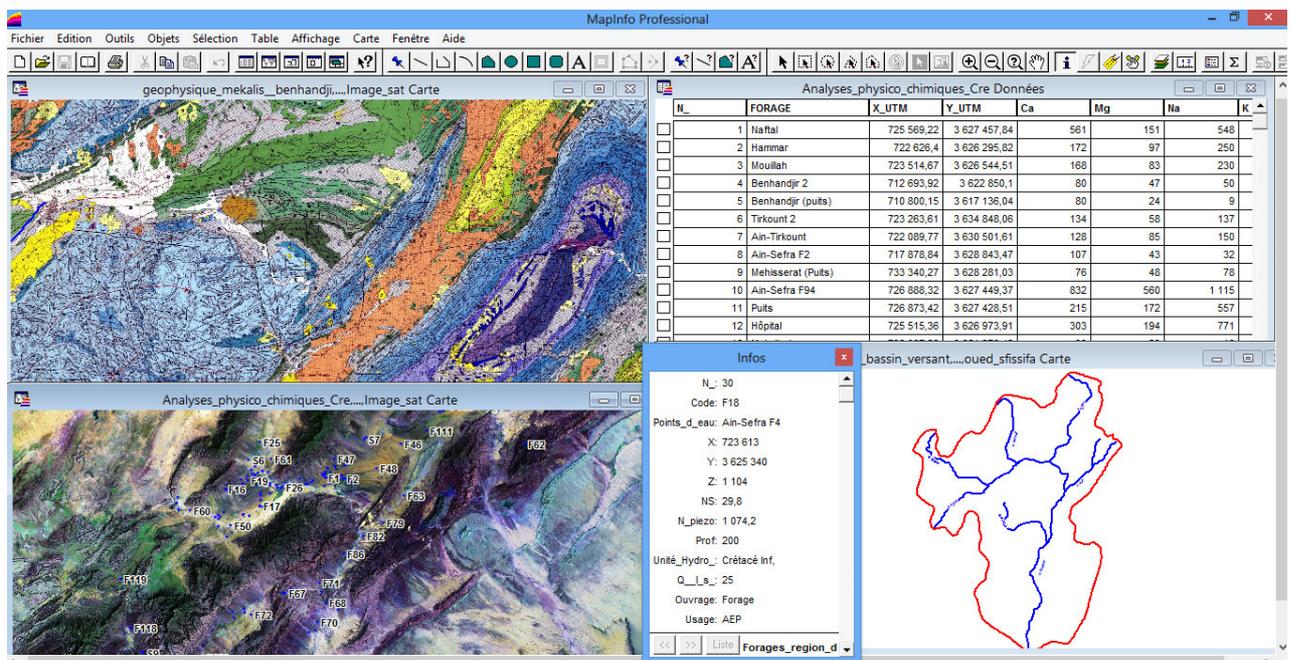


Fig. 70 : Interface de la visualisation des données

IV) ELABORATION DES RESULTATS.

Les résultats seront obtenus en analysant toutes les données du système, en allant de la surface en profondeur

IV-1) TOPOGRAPHIE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La représentation tridimensionnelle des cartes thématiques et des modèles numériques de terrain (MNT) formant la composante cartographique de la base de données, avec les logiciels SIG, permettent d'avoir une visualisation globale des zones à grande échelle.

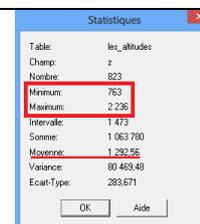
Le modèle numérique de terrain constitue l'élément de base du SIG, il facilite la délimitation des bassins versants, et donne un aperçu sur le relief, qui est l'un des premiers critères conditionnant l'emplacement d'un forage. La détermination de la forme des reliefs est très utile pour déterminer les zones hautes et basses, ainsi que les sites favorables de réservoirs de rétention et de stockage des eaux de surface.

Le modèle topographique du relief de la zone d'étude, a été obtenu par interpolation et digitalisation des courbes de niveaux équidistantes de 10 et 20m, ainsi que les points cotés saisis sur les cartes topographiques au 1/50 000 et au 1/200 000 numérisée et calée, et a été construit sur la base de 27500 valeurs (4,7 points par km² en moyenne).

Avec l'outil « *Vertical Mapper* », qui a la capacité de transformer les lignes en points, associé au « *SURFER 8* », on a pu établir un modèle numérique de terrain en trois dimensions pour mieux visualiser la région (Fig. 71). Cette vue tridimensionnelle sera utilisée comme support sur lequel on projettera les autres couvertures telles que l'hydrographie, la géologie, la piézométrie ainsi que la minéralisation.

En analysant la variable « *Z* » dans la table « *Altitude* » obtenue après l'extraction des coordonnées, on remarque :

- L'altitude minimum : 763 m
- L'altitude Maximum : 2236 m
- L'altitude Moyenne : 1292.56 m



Statistiques	
Table:	lin_altitudes
Champ:	z
Nombre:	823
Minimum:	763
Maximum:	2 236
Intervalle:	1 473
Somme:	1 063 780
Moyenne:	1 292,56
Variance:	80 469,48
Ecart-Type:	283,671

C'est un relief qui favorise l'infiltration. Du fait de la présence de nombreux massifs, les oueds sont canalisés dans les dépressions contournant les monts des Ksour pour se diriger vers le Sud.

La zone d'étude fait partie d'un grand bassin-versant, le bassin d'Oued Namous, qui couvre une superficie de l'ordre de 5749 km². Le bassin-versant de la région d'Ain Sefra correspond en réalité à un ensemble formé de plusieurs sous-bassins et qui sont, du nord au sud : le sous-bassin de l'oued Breidj, le sous-bassin de l'oued Tirkount, le sous-bassin de l'oued Tiout le sous-bassin de l'oued Namous.

Les principaux oueds sont (Fig. 72):

- Oued Breidj qui draine les versants Nord du Djebel Mzi et Mekter et reçoit les eaux d'Oued Sfissifa et d'Oued Benikrou.
- Oued Tirkount qui draine les eaux du Djebel Morhad et Aissa.
- Les deux oueds se rencontrent au centre d'Ain Sefra , qui en se dirigeant vers l'Est reçoivent les eaux d'Oued Tiout et Sam, pour former à la fin Oued Namous qui se perd au Sud dans le grand Erg occidental.

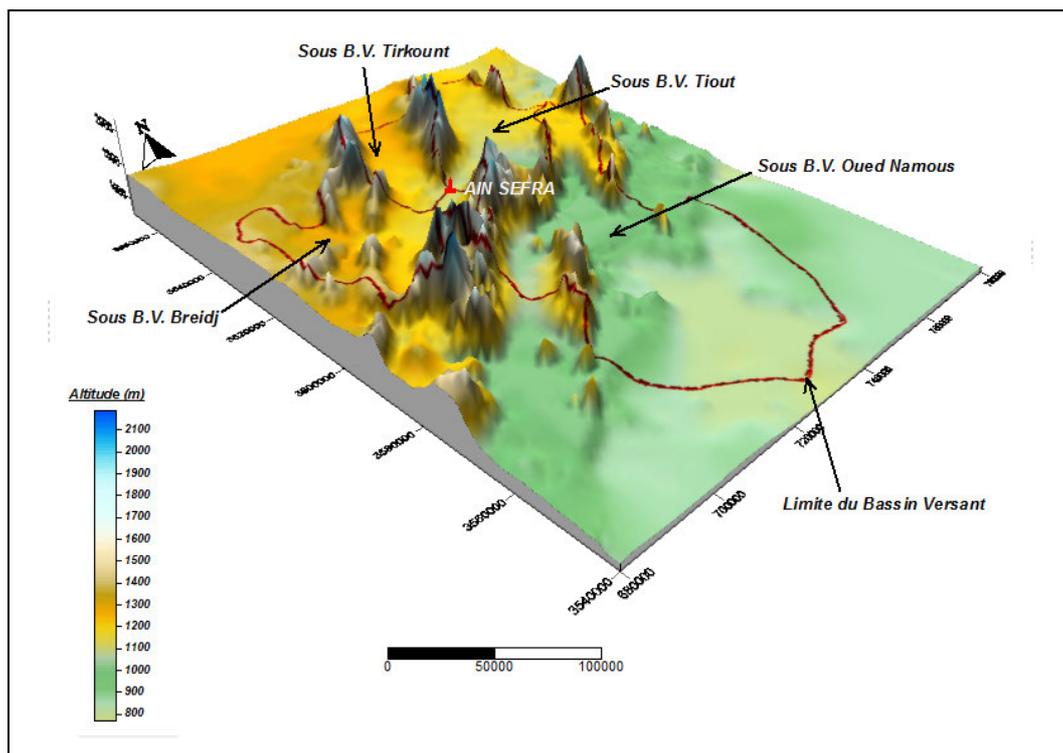


Fig. 71:Modèle topographique de la région d'étude avec les bassins versants

Malgré la rareté des précipitations, on remarque l'importance des cours d'eau, notamment, Oued Tirkount, Breidj, Ain Sefra et Tiout, dont les crues sont assez violentes et causent souvent des dégâts assez importants, toutefois elles jouent un rôle important dans la réalimentation de la nappe

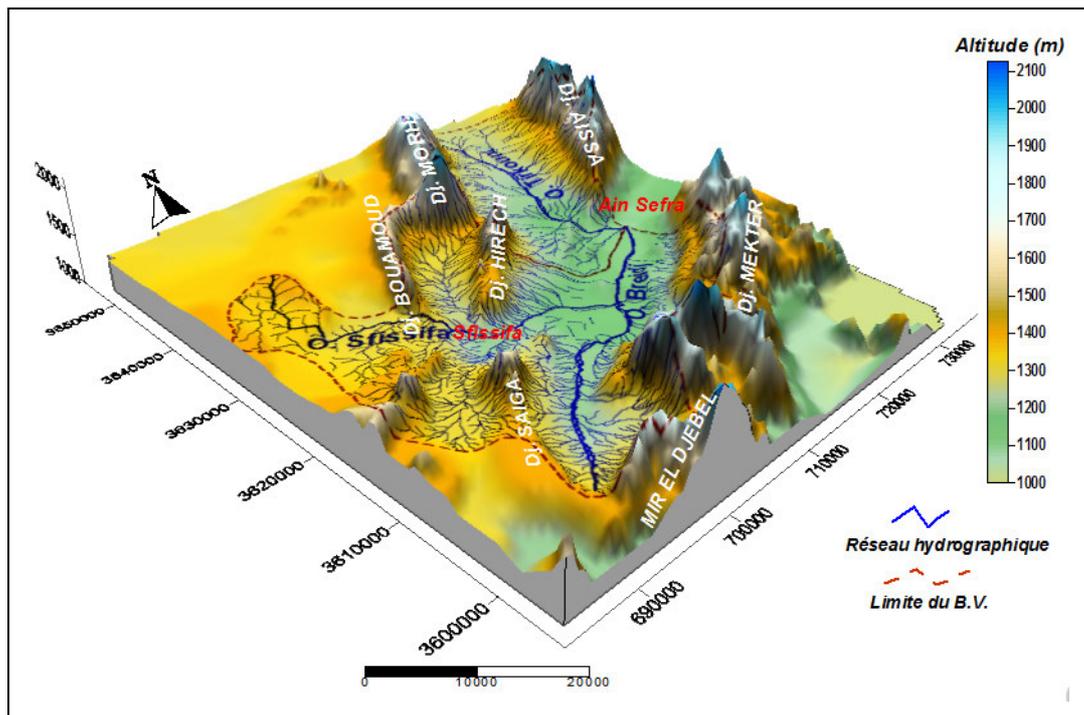


Fig. 72: Carte du réseau hydrographique (Breidj -Tirkount)

IV-2) ELABORATION D'UN MODELE GEOLOGIQUE

Il est très utile pour la délimitation des bassins hydrogéologiques. En superposant les cartes, topographique et géologique, numérisées et digitalisées, un modèle géologique tridimensionnel délimitant les gouttières synclinales a été réalisé (Fig. 73).

- « Tirkount - Gare Kheil » (A) limitée :
 - Au Nord- Est la gouttière synclinale de Naama.
 - A l'Ouest l'anticlinal de Morhad.
 - A l'Est l'anticlinal de Aïssa et Gare Deba.
 - Au Sud –Ouest la faille Hirech - pointement triasique d'El Hendjir.

- « Skhouna - Maader » (B) limitée :
 - Au Nord par l'anticlinal de Djebel Aïssa.
 - A l'Ouest par la faille bordant le flanc Est de Djebel Hirech et l'alignement triasique d'El Hendjir.
 - Au Sud l'anticlinal de Djebel Mekter. et Djara
 - A l'Est la gouttière synclinale de Tiouartalt.

- « Sfisifa-Benhandjir » **(C)** limitée :
 - Au Nord par les anticlinaux Hairech et Bahria.
 - Au Sud la gouttière synclinale de Benikrou.
 - A l'Ouest l'anticlinal de Saiga.
 - A l'Est l'alignement triasique d'El Hendjir et la gouttière synclinale de Skhouna.

- « Djenien bourezg – Moghrar » **(D)** limitée :
 - Au Nord-Est par l'anticlinal de Mekter.
 - A Nord-Ouest l'anticlinal de Mzi.
 - Au Sud-Est l'anticlinal de Bouamoud.
 - Au Sud-Ouest la gouttière synclinale de Hadjerat Lemguil.

- « Sidi Brahim » **(E)** limitée :
 - Au Nord-Ouest l'anticlinal de Moghrar et Bouamoud.
 - Au Sud-Ouest l'anticlinal Sidi Brahim.
 - A Nord-Est l'anticlinal El Himer et Boulerhfad.
 - Au Sud-Est l'accident Sud Atlasique.

- « Rosfa Hamra – Rhouiba » **(F)** limité :
 - Au Nord la gouttière synclinale de Botma – Asla.
 - A l'Ouest l'anticlinal de Mekter.
 - A l'Est l'anticlinal de Boulerhfad.
 - Au Sud-Ouest l'anticlinal de Moghrar.

- « Asla - Remta » **(G)** limitée :
 - Au Nord- Ouest par l'anticlinal Affezouz
 - Au Sud Est l'anticlinal Tanout.
 - A l'Est l'Anticlinal Bram.
 - A l'Ouest la gouttière synclinale de Tiouartalt.

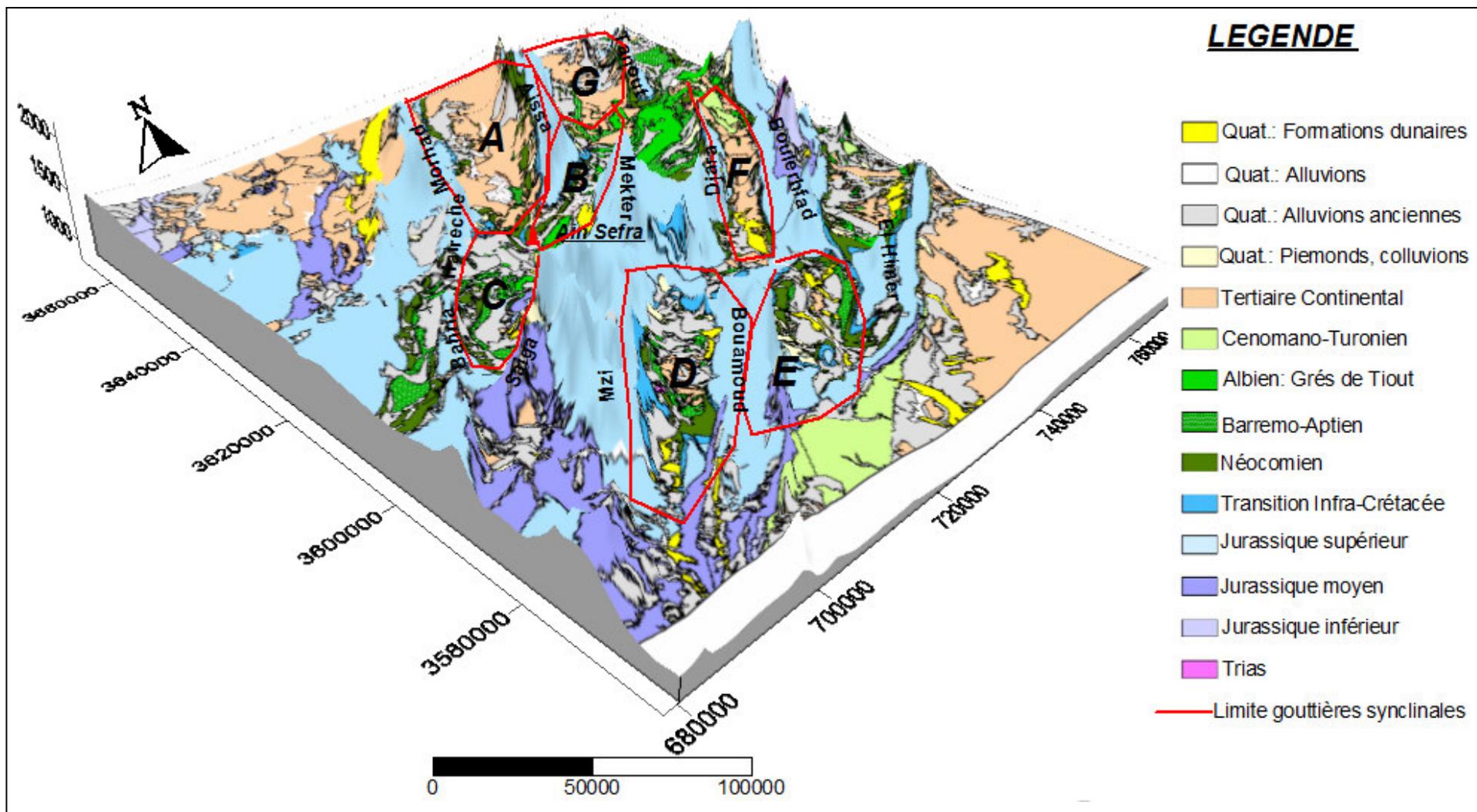


Fig.73: Modèle géologique tridimensionnel

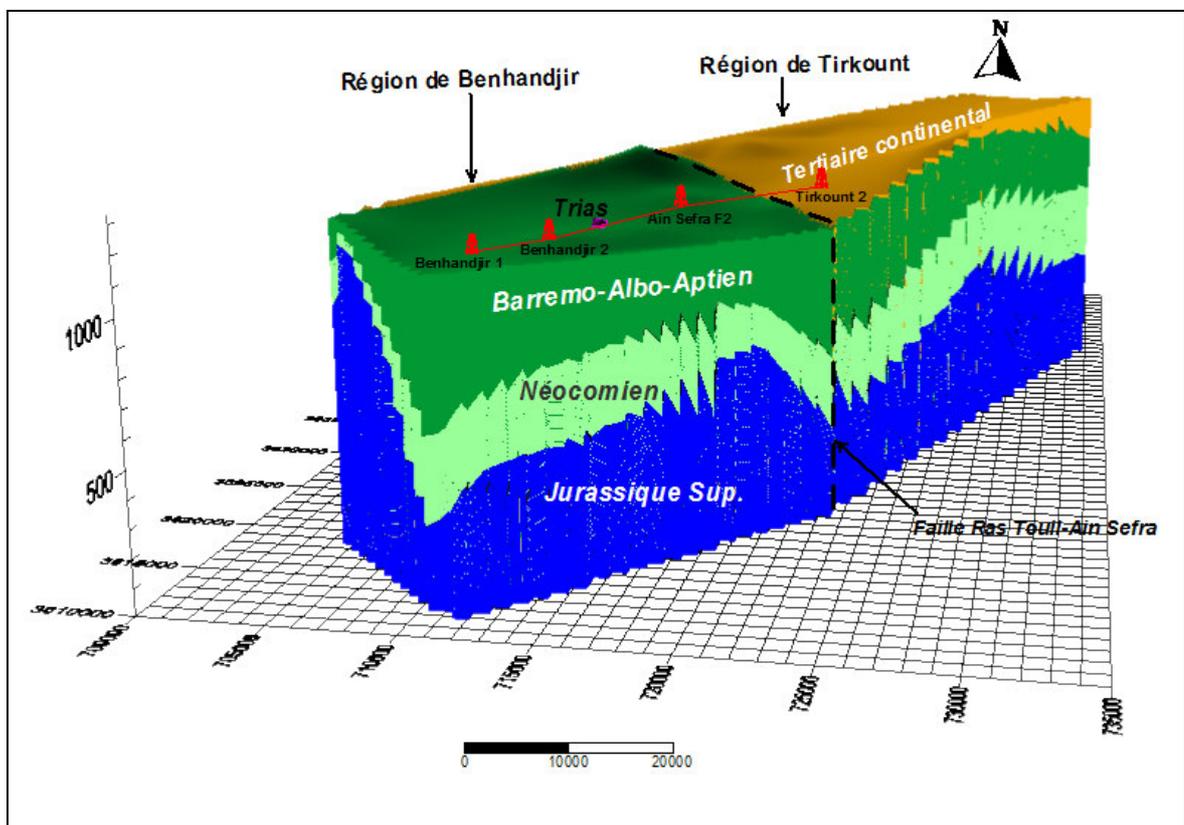
IV-3) GEOMETRIE DE L'AQUIFERE

Pour établir la géométrie de l'aquifère, des blocs diagrammes géologiques ont été réalisés à partir des données de l'étude géophysique et lithologique de quelques forages réalisés dans la région. L'examen du modèle montre l'aspect du réservoir et que le substratum a été identifié comme étant des formations argileuses avec quelques passées gréseuses du Néocomien.

IV-3-1) Région Benhandjir - Tirkount: (Fig.74 a-b)

Nous sommes en présence de 02 domaines séparés par la faille Ras Touil-Ain Sefra, l'un au Nord où apparait le recouvrement du tertiaire continental et où les formations crétacées arrivent fréquemment à l'affleurement, l'autre au Sud de la faille, dont la majorité des formations Crétacées sont gréseuses.

La série gréseuse garde une épaisseur homogène dans la zone de Tirkount attribuée *au membre médian et inférieur de la formation de Tiout*, et une variation importante dans la zone de Benhandjir attribuée *au membre supérieur*. C'est dans cette partie que la reconnaissance de cet aquifère est recommandée (Rahmani et al. 2017).



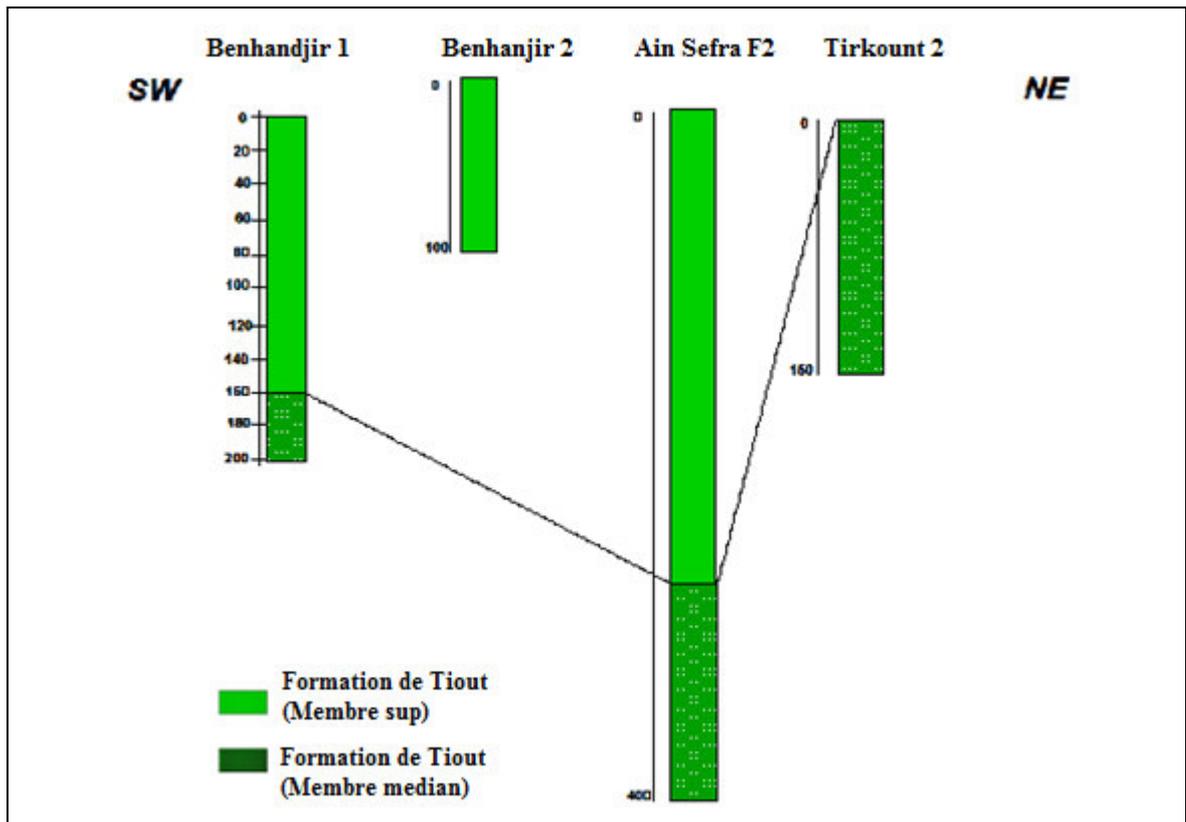


Fig. 74 a – b : un bloc diagramme géologique et corrélation lithostratigraphique de direction NW-SE
 « Benhandjir-Tirkount »

IV-3-2) Région de Remta (Asla) (Fig. 75 a-b)

Les limites du bassin sont bien définies et dessinent bien les structures synclinales.

Les formations gréseuses de l’Albien et le Barremo-Aptien, dont le diagramme montre un approfondissement dans la zone de Remta contrairement à la partie Nord, sont bien connues dans la région car elles sont portées à l’affleurement.

Ainsi, un ouvrage (Remta 6) d’une profondeur de 150 m exploitant la nappe a donné un débit de 80l/s, par contre un autre (Remta7) implanté dans la partie Nord de même profondeur a donné un débit de 07 l/s.

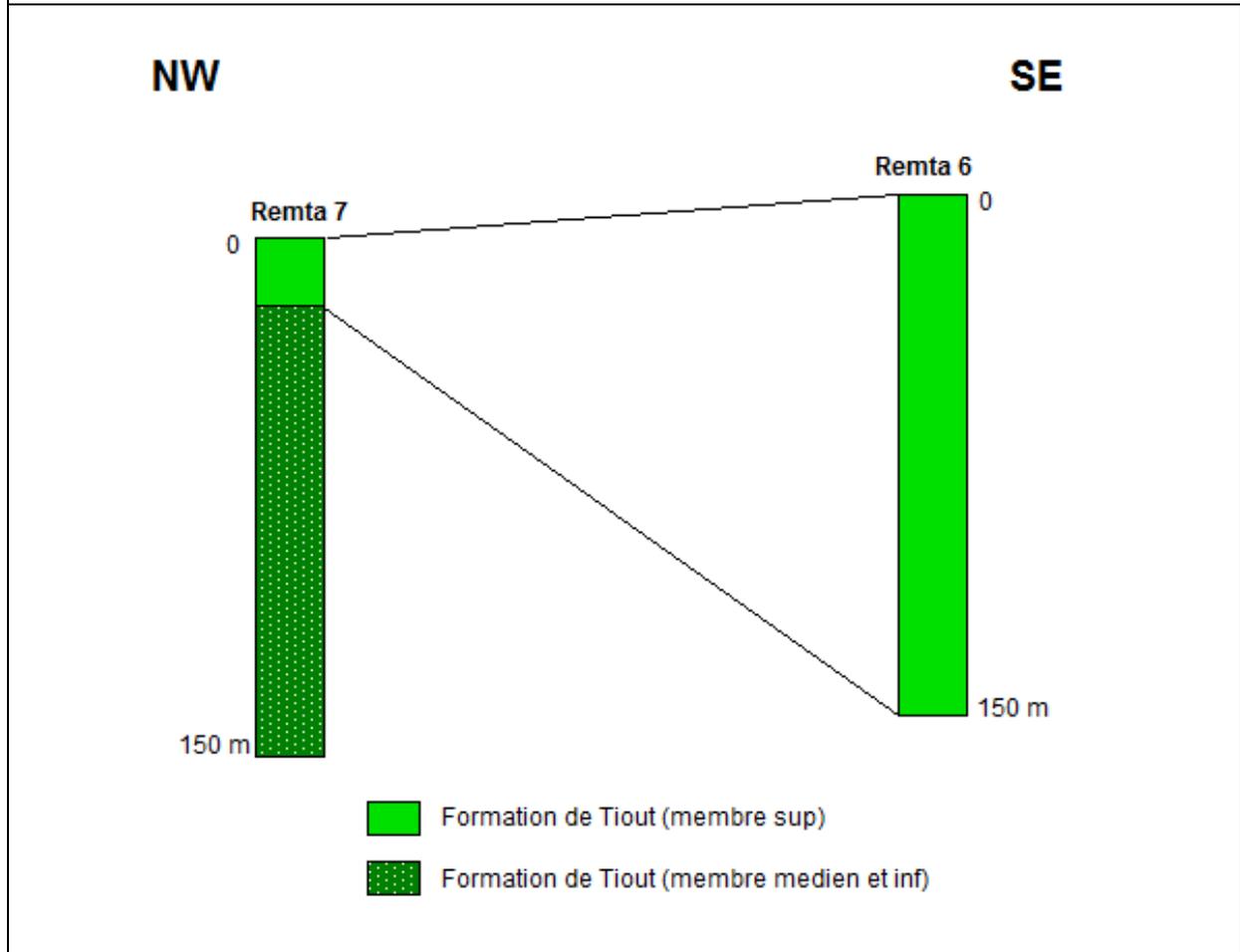
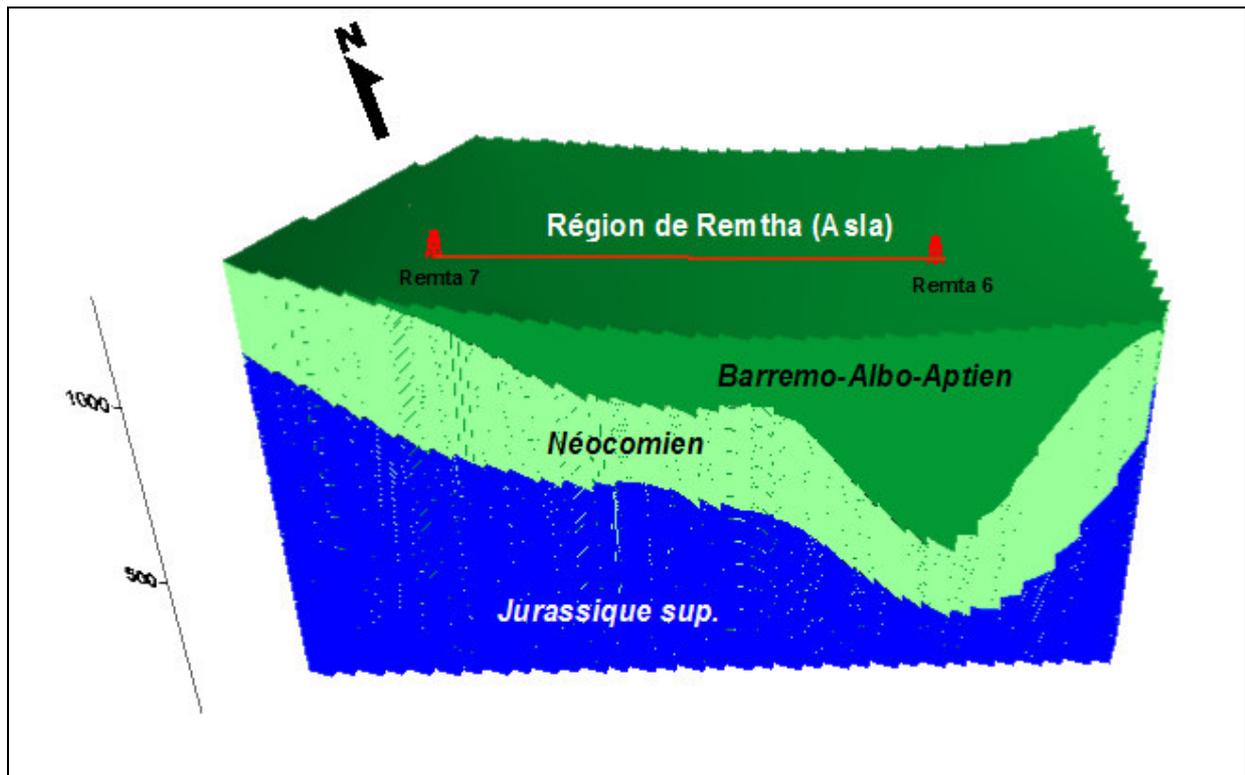


Fig. 75a – b : un bloc diagramme géologique et corrélation lithostratigraphique « Remta »

IV-3-3) Région de Rosfa Hamra - Rhouiba:(fig 76 a-b)

Dans la partie Nord le cœur du synclinal est bien représenté par les grès de l'Albien et du Barremo-Aptien. Une faille semble affecter la structure synclinale au niveau d'Amar. Dans la zone de Rhouiba, on note la disparition des formations gréseuses de l'Albien et le Barremo-Aptien, et la plaine formée du Tertiaire continental repose directement sur le Néocomien.

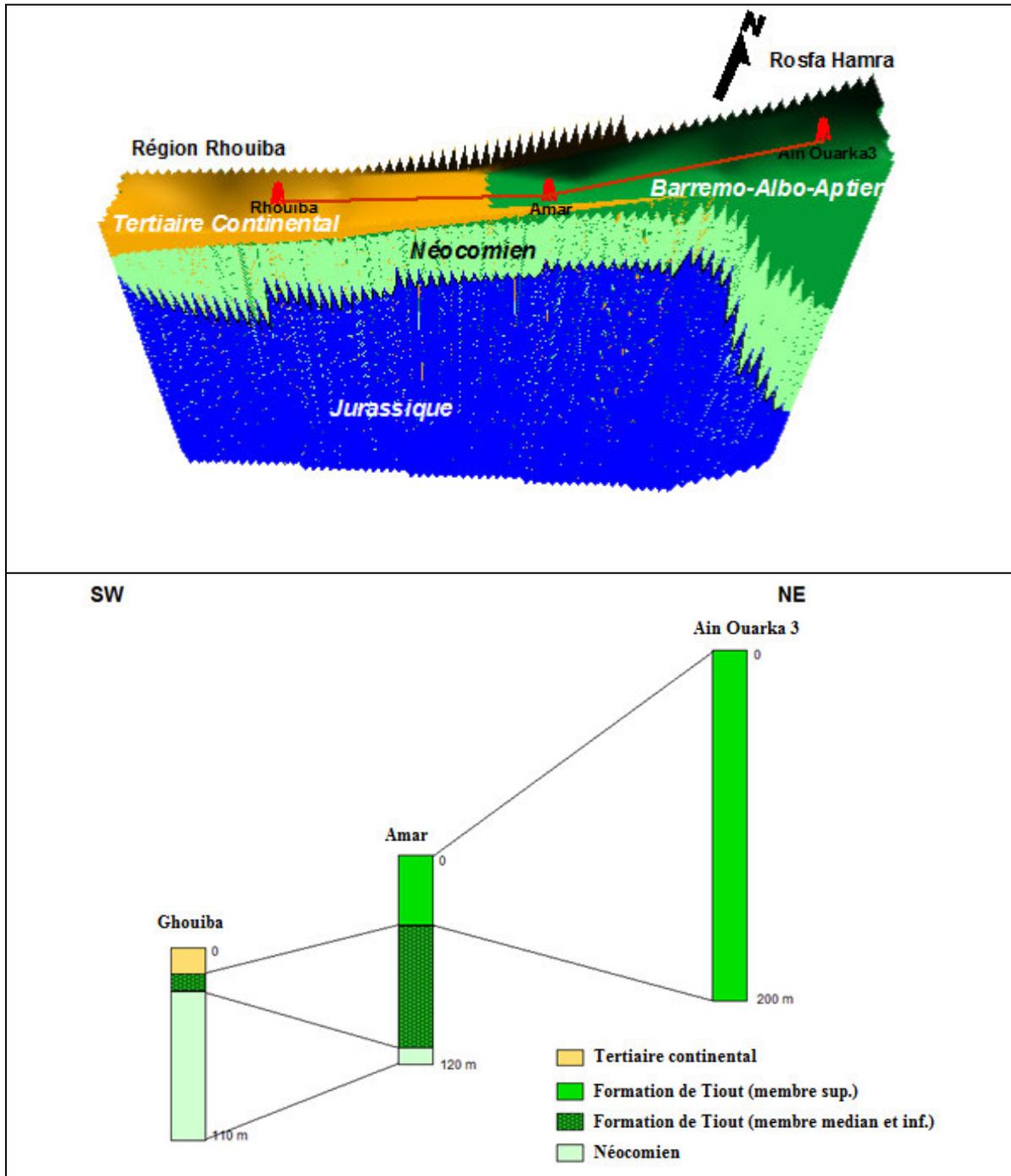


Fig. 76a – b : un bloc diagramme géologique et corrélation lithostratigraphique « Rosfa Hamra-Rhouiba

Cette évolution irrégulière de la profondeur de l'aquifère à travers les différents bassins est la conséquence des accidents tectoniques ayant engendré un compartimentage de l'aquifère profond en zones soulevées ou affaissées selon les endroits.

IV-4) ELABORATION DES CARTES HYDRODYNAMIQUES

IV-4-1) Carte piézométrique MNT (Fig. 77)

L'élaboration de la carte piézométrique (Octobre 2012) nous a permis de marquer les grands axes d'écoulement et les zones d'alimentations latérales. Les écoulements souterrains sont intimement liés aux écoulements superficiels. Les lignes de partage des eaux s'apparentent aux crêtes des anticlinaux ceinturant les cuvettes piézométriques.

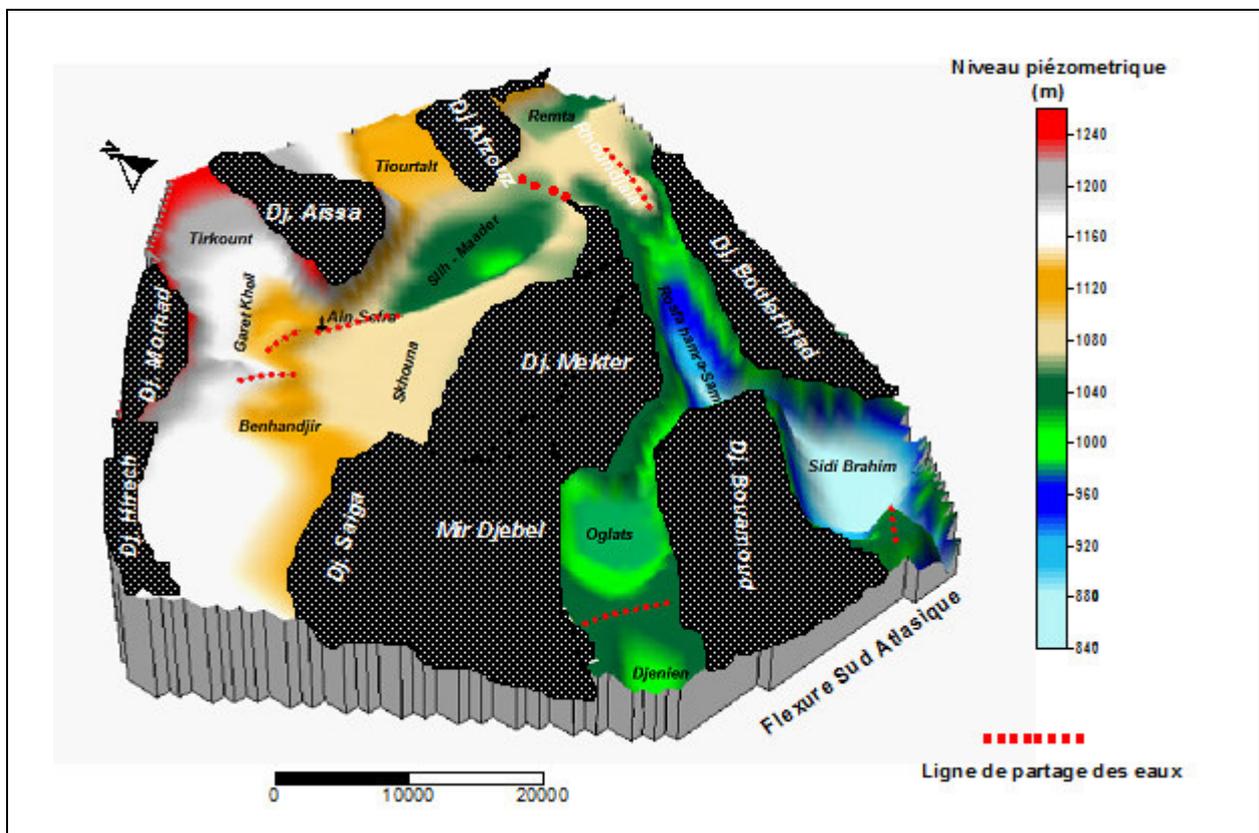


Fig. 77 : Piézométrie tridimensionnelle de la région d'étude

- Dans la partie de Tirkount – Benhandjir :

L'écoulement s'opère de part et d'autre Nord-Est Sud-Ouest et Sud-Ouest Nord Est vers l'accident tectonique Ras Touil - Ain Sefra qui tient du point de vue hydrogéologique une place importante.

On remarque que les eaux de Tirkount et Benhandjir enrichissent la nappe de Skhoua et Ain Sefra.

Les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent des flancs : Sud de Djebel Hirech et Morhad, et Nord de Djebel Aissa.

Les lignes de partage des eaux s'apparentent aux crêtes des anticlinaux ceinturant les cuvettes piézométriques.

Le module d'espacement des isopièzes dans le sens de l'écoulement général décroît, entraînant un accroissement du gradient hydraulique.

On remarque des valeurs différentes appréciables du gradient hydraulique de part et d'autre de la faille « Ras Touil - Ain Sefra » variant entre 5‰ au Sud-Ouest et 80‰ au Nord-Est. Cette variation s'explique par des variations des perméabilités des réservoirs confirmant la lithostratigraphie, où dans la zone Sud les grès prennent de l'importance au détriment des formations argileuses. La variation du gradient hydraulique peut aussi s'expliquer par le dénivelé topographique qui conditionne la dénivellation de la nappe.

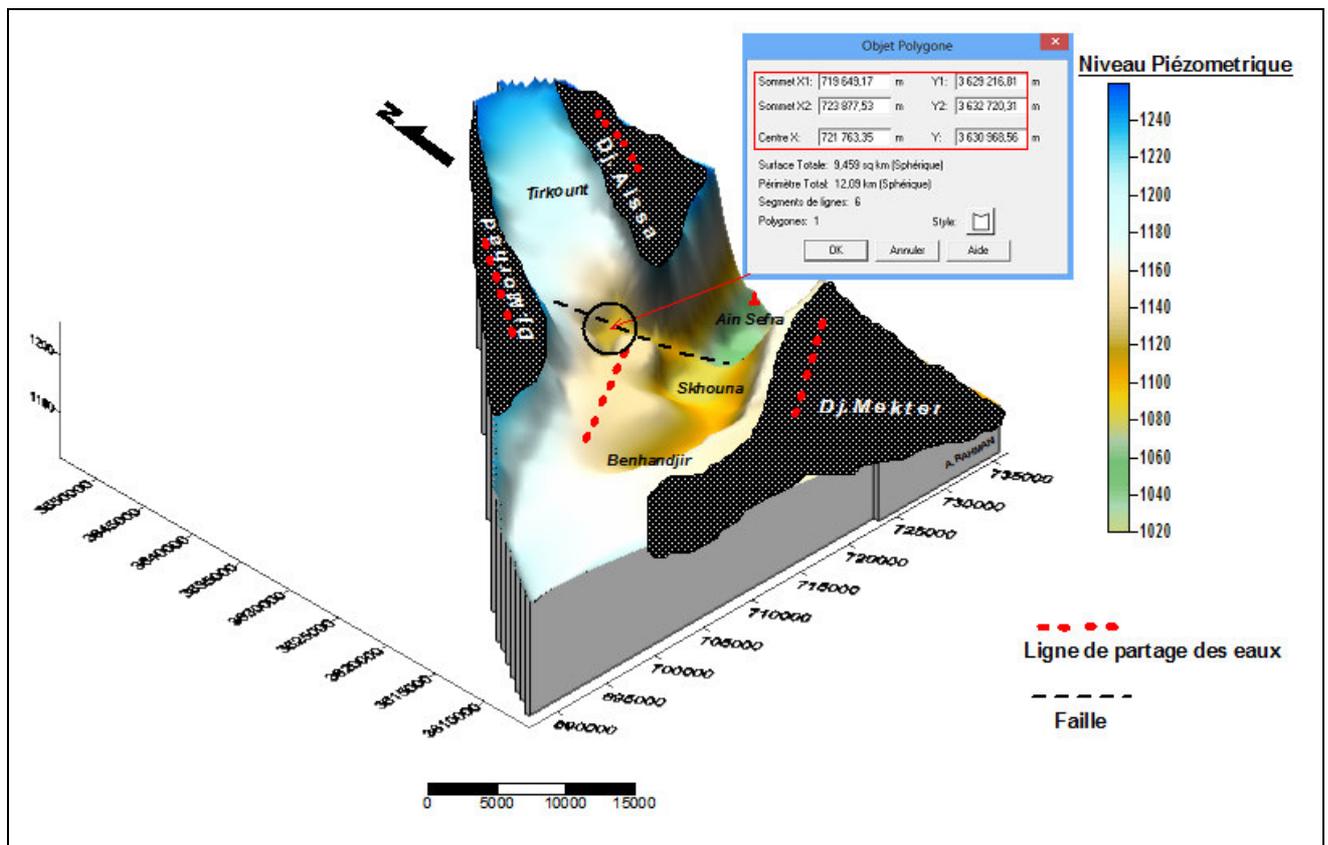


Fig. 78 : Piézométrie tridimensionnelle (Région Tirkount)

La présentation de la piézométrie tridimensionnelle de la région de Tirkount (Fig.78) (Rahmani et al. 2017), nous renseigne sur l'écoulement global de la zone d'étude, où on remarque une zone de captage privilégiée, coïncidant avec la faille, jouant le rôle d'un barrage souterrain naturel, où ses coordonnées géographiques sont définies sous MapInfo.

- *Dans la partie de Slih – Maader - Remta :*

L'écoulement souterrain global se fait de l'Est vers l'Ouest, avec une dépression piézométrique au niveau de Skhouna qui correspond à une zone de captage.

Les eaux sont drainées au Nord par Djebel Aissa et au Sud par Djebel Mekter.

Une ligne de partage des eaux structurale séparant les synclinaux de Skhouna et de Slih-Maader ainsi que ce dernier avec la structure synclinale de Remta.

- *Dans la partie de Rosfa Hamra – Rhouiba- Moghrar:*

L'écoulement souterrain se fait, d'une part à partir du Nord Est alimentant la zone de Rhouiba et d'autre part Sud-Ouest Nord-Est à partir de la région de Moghrar, drainant les eaux du synclinal des Oglats séparé de celui de Djenien dont l'écoulement se fait vers le Sud Ouest, par une ligne de partage des eaux structurale.

On est donc en présence d'un bassin hydrogéologique dont les limites englobent les cuvettes piézométriques de Rhouiba, Sid Brahim et les Oglats.

Au droit de Sidi Brahim, nous avons une perte, déchargeant ainsi une bonne partie des eaux souterraines du grand bassin hydrogéologique de Rosfa Hamra-Moghrar, vers les piémonts de l'Atlas Saharien par le biais d'un satellite de la flexure Sud Atlasique.

IV-4-2) Carte de transmissivités

Tous les forages n'ont pas fait l'objet d'essais de pompage. Une analyse thématique de la transmissivité a été effectuée pour les 32 valeurs à travers le secteur d'étude réparties d'une manière non uniforme. Les données ont été regroupées en quatre classes, où on peut délimiter des secteurs à faible ou à forte transmissivité.

La répartition statistique des transmissivités (Fig. 79) montre que 87,5 % des valeurs varient entre 10^{-4} et 10^{-2} m²/s. Cette grande dispersion des valeurs dépend d'une part, des variations de l'épaisseur de la nappe et d'autre part, de la perméabilité des formations gréseuses fissurées.

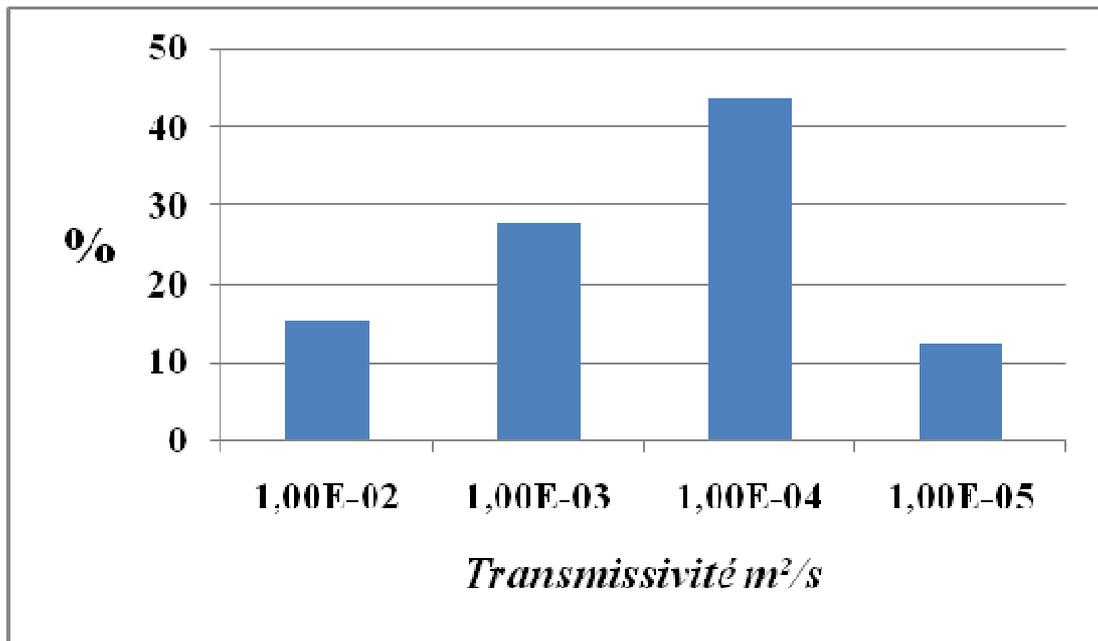


Fig 79 : Répartition statistique des transmissivités

On estime généralement qu'un aquifère est très intéressant à exploiter si sa transmissivité est supérieure à $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Mabillot 1971).

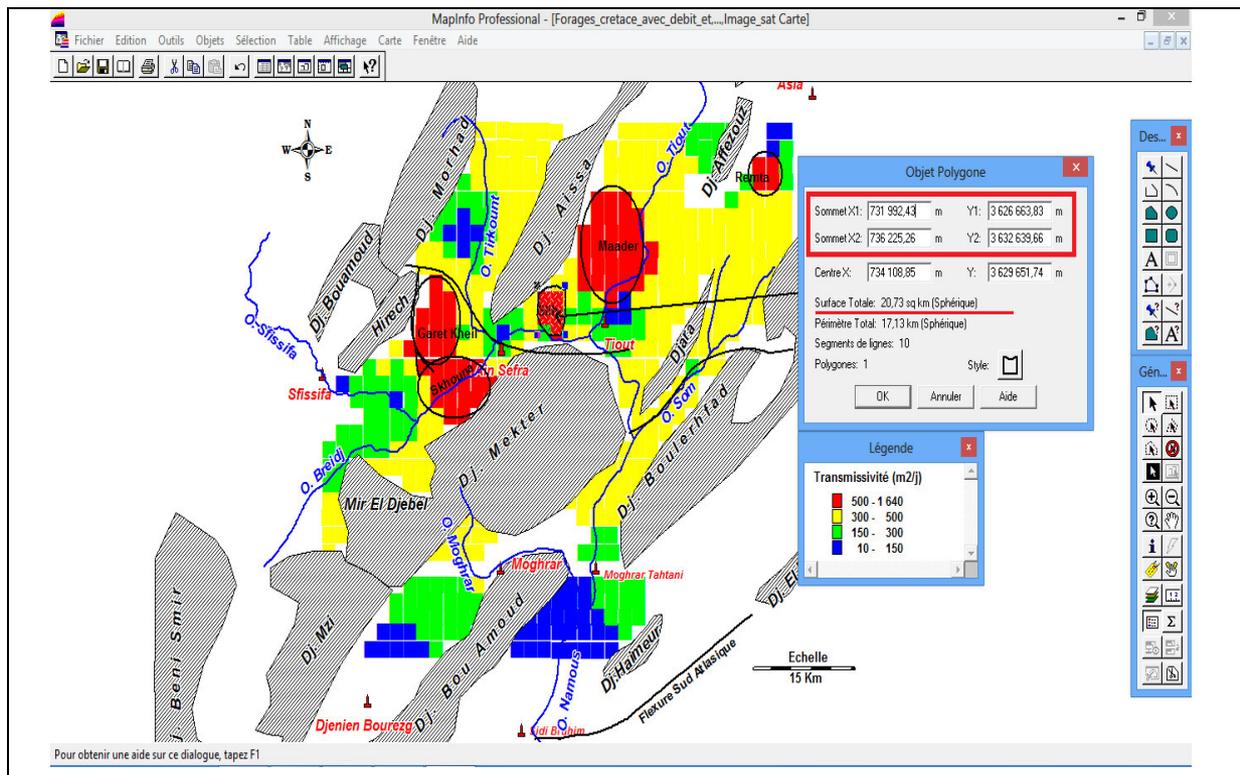


Fig. 80 : Analyse thématique de la transmissivité

Bien que l'on ne dispose pas de valeurs de la transmissivité à travers tout le secteur d'étude, à partir d'une analyse thématique (Fig. 80) on peut avancer que les zones de Remta, Garek Kheil et Skhouna ainsi que celle de Slih-Mader, dont leur coordonnées et superficies

sont définies par MapInfo 6.5, sont relativement productives. Par contre, quelques zones au Nord de Tiout et à l'Ouest d'Ain Sefra, sont peu transmissives. Elles correspondent à l'endroit du membre inférieur de la formation de Tiout relativement argileuse.

IV-4-3) Le gradient hydraulique

La carte thématique (fig. 81) du gradient hydraulique qui est assimilable à la pente de la carte piézométrique, montre des valeurs qui varient dans l'ensemble entre 4 ‰ et 9 ‰, et décroît dans la zone de Tirkount de l'amont vers l'aval.

Cette variation des pentes peut être expliquée par des variations latérales connues des perméabilités des réservoirs et aussi par le dénivelé topographique qui conditionne la dénivellation de la nappe. Quand aux importantes pentes hydrauliques supérieures à 11 ‰, elles se situent au niveau des piémonts des Djebels.

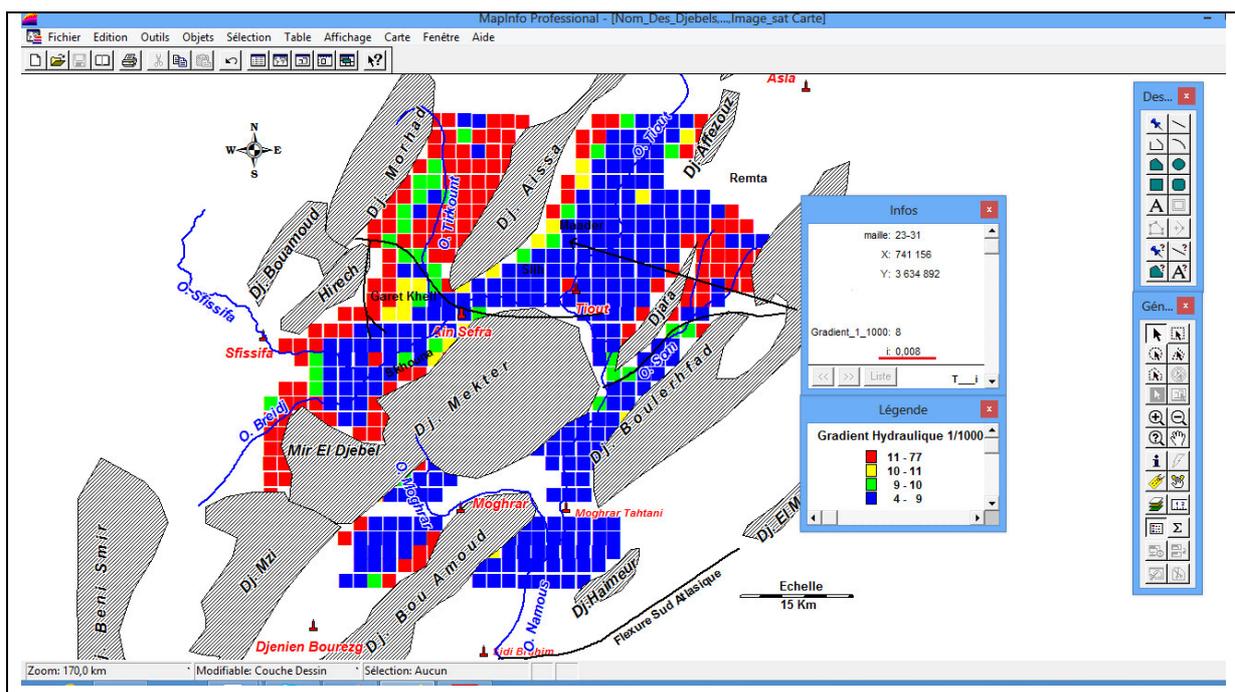


Fig. 81 : Carte thématique du gradient hydraulique

V) METHODE DE MODELISATION SPATIALE DES POTENTIALITES EN RESSOURCES EN EAU

La méthodologie adoptée pour la cartographie des zones à potentialité en ressources en eau consiste à la définition des critères favorisant une bonne accumulation des eaux superficielles et souterraines:

- La pente (%)
- La perméabilité (m/s)
- La densité de drainage (Km/Km²)
- La densité de fracturation (Km/Km²)
- L'épaisseur de la nappe (m)

Toute la zone d'étude a été discrétisée suivant un maillage de 2 km x 2 km. Les données concernant les critères définis sus dessus ont été transférées sous Mapinfo 6.5 pour générer des cartes de densité par maille correspondantes.

V-1) ELABORATION D'UNE CARTE DE PENTE :

La pente a été déterminée à partir des cartes topographiques. Les courbes de niveau numérisées ont servi à la réalisation du Modèle Numérique du Terrain et l'élaboration de la carte des pentes (fig. 82). Cette dernière définira permettra d'identifier les zones d'accumulation des eaux de surface, favorisant ainsi la recharge des nappes.

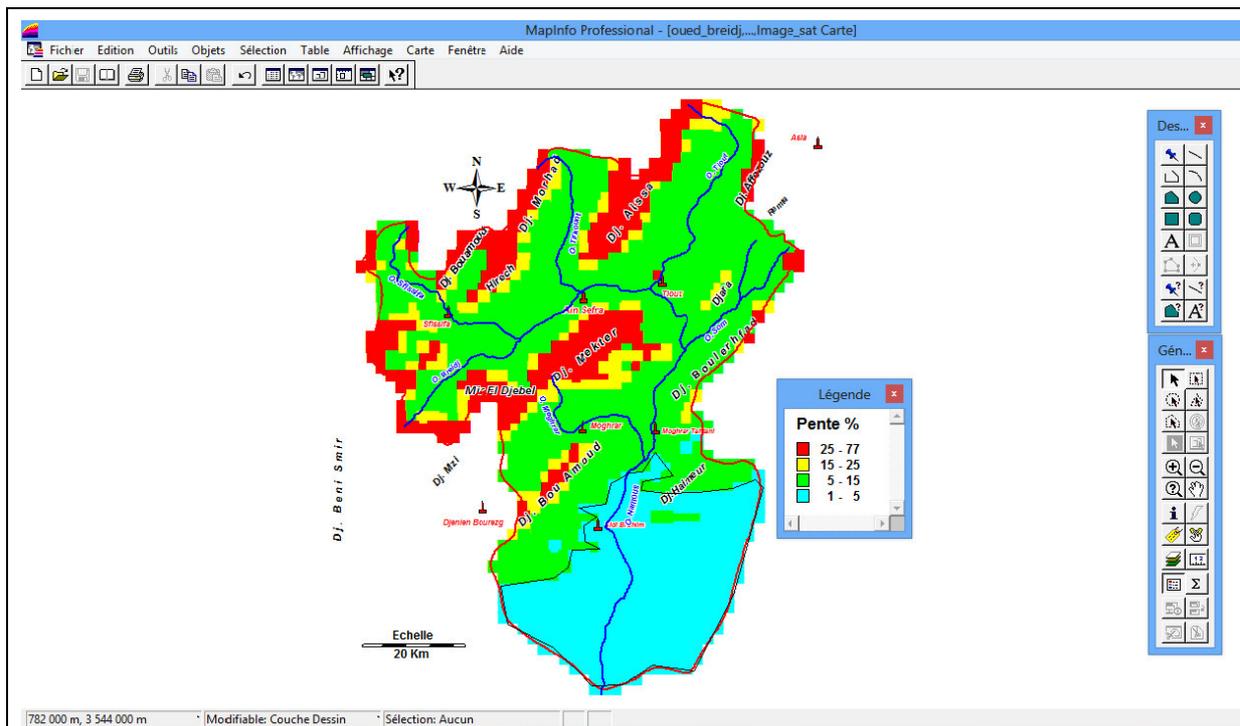


Fig. 82 : Interface de visualisation de la carte pente

Les pentes au niveau du bassin sont en majorité moyenne, 52% de la superficie est à pente comprise entre 5% et 15 % correspondant aux cuvettes synclinales.

Au Sud, la plateforme saharienne représentant 23% de la superficie est caractérisée par des pentes faibles de 1% à 5%. Les pentes fortes entre 25% et 77%, sont représentées par les zones montagneuses qui occupent 16% de la surface totale.

V-2) ÉLABORATION D'UNE CARTE DE PERMEABILITE DE SURFACE POUR LA ZONE D'ETUDE

La carte de perméabilité a été élaborée à partir de la carte géologique digitalisée, en attribuant un coefficient de perméabilité pour chaque faciès lithologique d'après la classification de Banton, 1997 et Castany, 1982. (Tableau 30).

Tableau 30 : Porosité, perméabilité et coefficient d'infiltration de certaines roches réservoirs (Banton, 1997 et Castany, 1982 ; modifié)

Roche	Porosité totale (%)	Porosité efficace (%)	Perméabilité log(K, m/s)	Coefficient d'infiltration (%)	Infiltration
Gravier	25 à 35	20 à 30	-3 à 0	6	Forte
Alluvion des oueds	15 à 25	10 à 20	-3 à 0		
Grès	0 à 30	0 à 25	-5 à -4	4	Moyenne
Sable	25 à 40	20 à 35	-7 à -4		
Sable limoneux	35 à 45	25 à 35	-8 à -4		
Limon	35 à 45	15 à 25	-9 à -5		
Limon argileux	45 à 55	5 à 10	-11 à -8		
Sable argileux	35 à 45	25 à 35	-8 à -5		
Marne	0 à 10	0 à 5	-10 à -8		
Argile sableuse	45 à 55	5 à 10	-10 à -6	2	Faible
Calcaire encroûté	10 à 25	2 à 10	-11 à -9		
Dolomie	10 à 20	5 à 10	-11 à -9		
Gypse	10 à 25	2 à 10	-12 à -10	1	Très faible
Argile	45 à 55	0 à 5	-12 à -9		
Silt	45 à 55	2 à 5	-9 à -6		
Sols de sebkhas	10 à 40	2 à 10	-12 à -8		

Elle sera destinée à visualiser dans la région d'étude les zones perméables et les plus favorables à l'infiltration.

La carte (fig.83) montre les variations des valeurs de perméabilité. Les zones à fortes valeurs ($5 \cdot 10^{-1}$ et 10^{-4} m/s) représentant 32 % du bassin versant, sont les plus favorables à l'infiltration des eaux de surface et donc à l'alimentation de l'aquifère. Un couloir principal orienté Nord Est - Sud Ouest est identifiable. Il concerne la zone Sud au niveau d'Oued Namous d'une superficie estimée à 420 Km² et dont les coordonnées sont définies par MapInfo 6.5. Quatre autres axes secondaires de bonne perméabilité sont reconnaissables, ces

zones longent les oueds d'Ain Sefra et Breidj. Les zones moyennement favorables (K entre 10^{-4} et 10^{-9} m/s) représentent 67% de la zone d'étude. Le reste soit 1% représente des terrains défavorables à l'infiltration (K inf. 10^{-9} m/s).

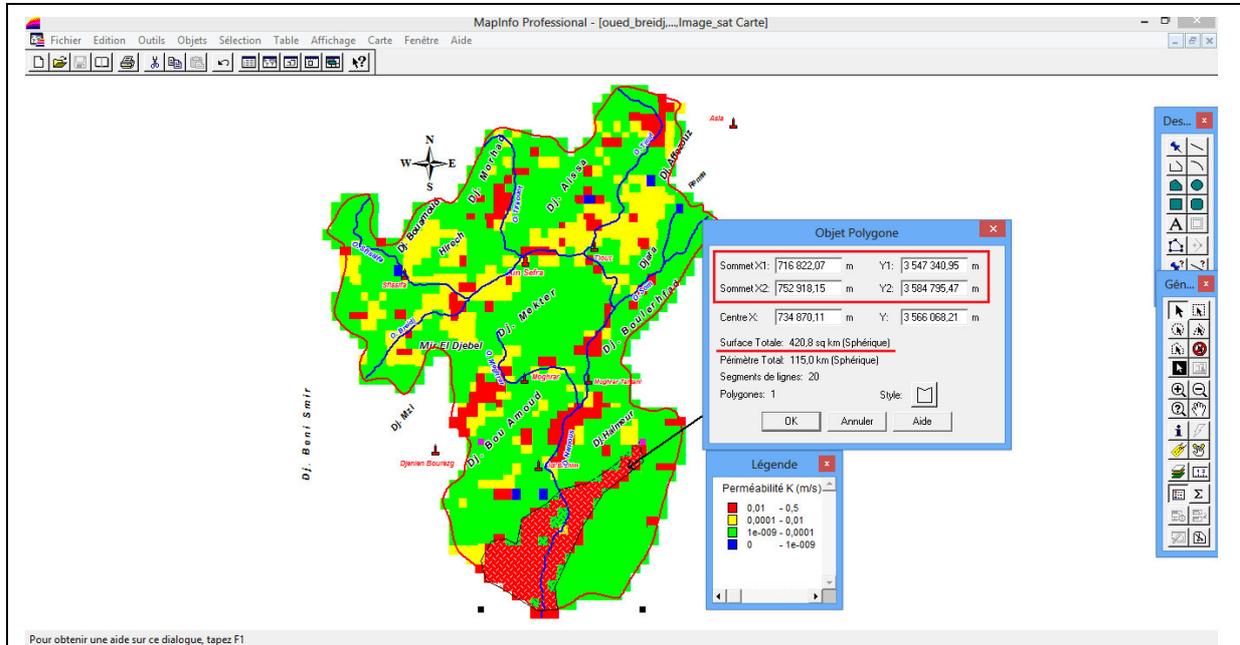


Fig. 83 : Interface de visualisation de la carte de perméabilité de surface

V-3) REPRESENTATION TRIDIMENSIONNELLE DE LA CARTE D'INFILTRATION

L'étape de fusion et de superposition des données constitue l'objectif principal et primordial de chaque SIG. Le but est d'obtenir de nouvelles informations qui se traduisent par la représentation des divers résultats sur un seul support afin de pouvoir effectuer une analyse plus globale.

A partir des cartes, de densité de drainage, de perméabilité et de pente, nous avons élaboré une carte des zones d'infiltration, en trois dimensions pour déterminer les zones les plus perméables.

L'apport du SIG, dans ce travail, consiste à représenter des thèmes de type polygone en trois dimensions.

En effet, la carte topographique digitalisée et transformée en modèle numérique, a été utilisée comme support pour superposer les autres couvertures polygonale tel que la géologie et la perméabilité ainsi que linéaire notamment le réseau hydrographique.

Vu la densité de l'information spatiale, qui ne peut pas être représentée clairement sur une seule carte, nous avons établi une carte, pour chaque bassin versant, sous forme d'un modèle numérique de terrain.

Cette carte peut servir comme une base de données à partir de laquelle on peut trouver l'information complète tel que la localisation géographique, la superficie et la lithologie.

Pour les bassins de Breidj et Tirkount (fig. 84), les zones favorables se trouvent au niveau d'Oued Breidj, ainsi que dans la région de Tirkount. Quand au bassin de Tiout et Oued Namous (fig. 85) les zones favorables se situent au niveau de la confluence entre Oued Tiout et Sam, ainsi que la zone d'Oued Tiouartalt.

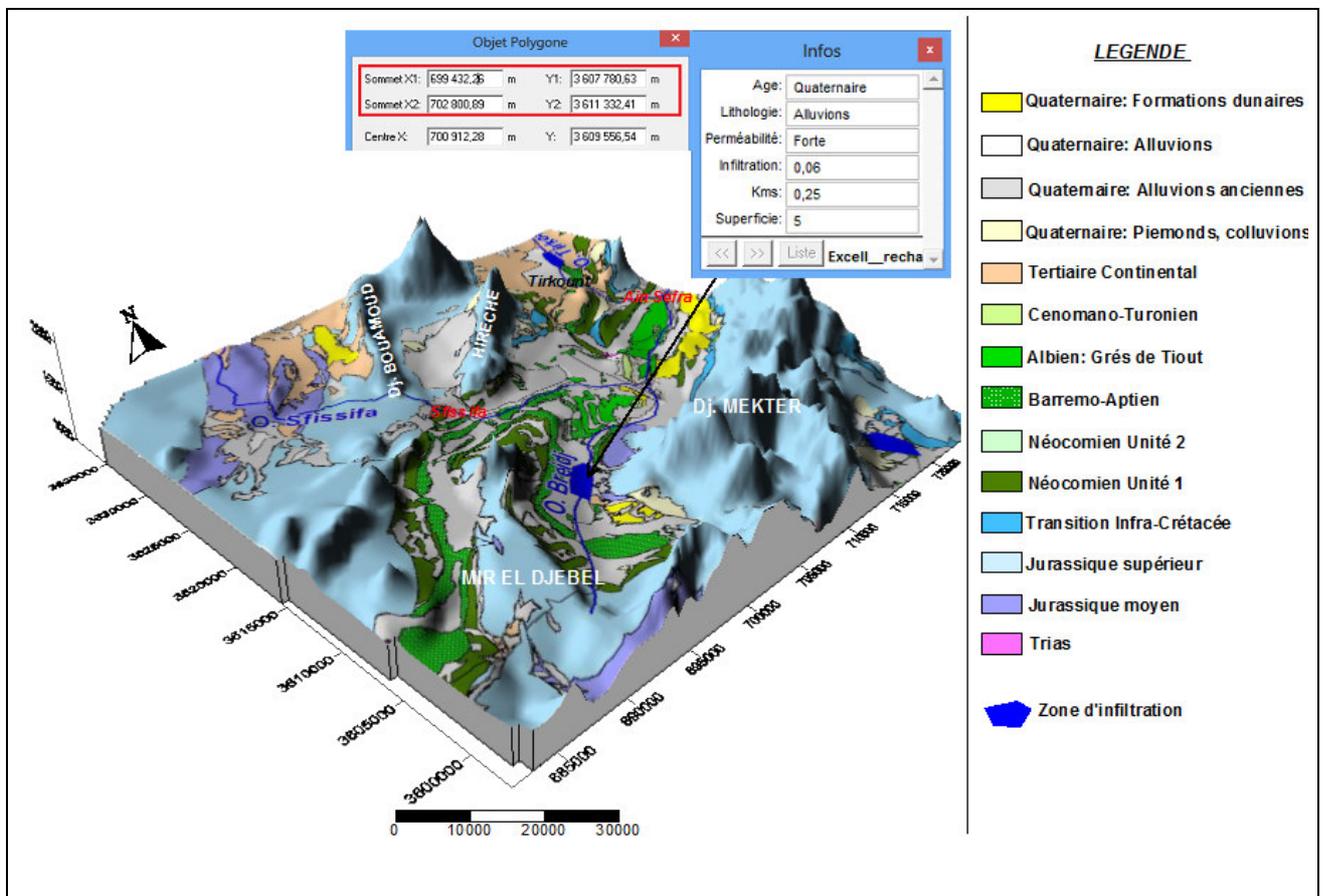


Fig. 84 : Vue tridimensionnelle des zones d'infiltration (Bassin Oued Breidj et Tirkount)

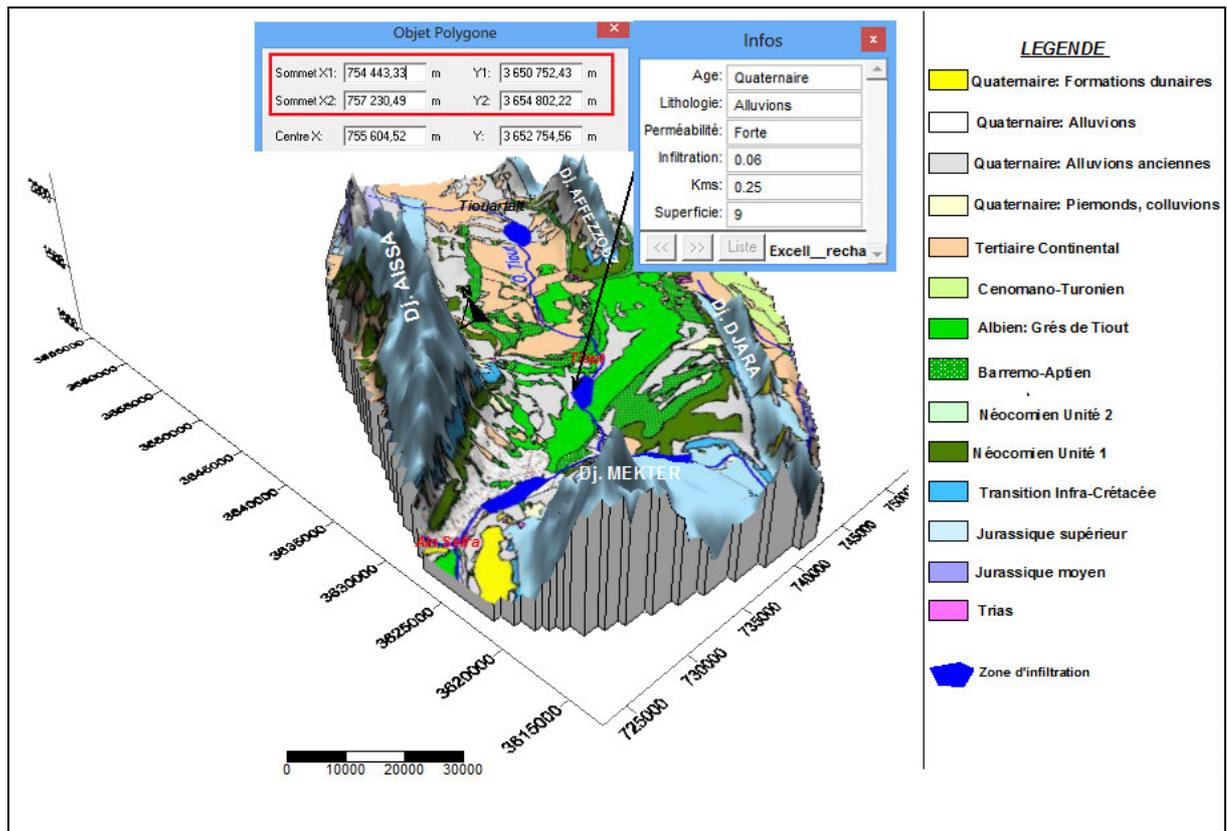


Fig. 85 : Vue tridimensionnelle des zones d'infiltration (Bassin Oued Tiout)

Ainsi, sur les différentes cartes élaborées, on a pu identifier plusieurs zones d'une superficie globale de l'ordre de 90 Km², correspondant à des cuvettes susceptibles de constituer des terrains favorables à l'infiltration donc de recharge des nappes alluvionnaires.

V-4) ELABORATION D'UNE CARTE DE DENSITE DE DRAINAGE

Elle a été obtenue après un relevé du réseau hydrographique à partir des cartes topographiques. À partir de cette carte du réseau de drainage, une carte de densité de drainage a été réalisée. Toute la zone d'étude a été discrétisée suivant un maillage de 2 km x 2 km et le nombre de drains par maille a été compté. Les données ont été transférées sous Mapinfo 6.5 où elles ont été interpolées pour générer une carte de densité de drainage par maille (fig. 86).

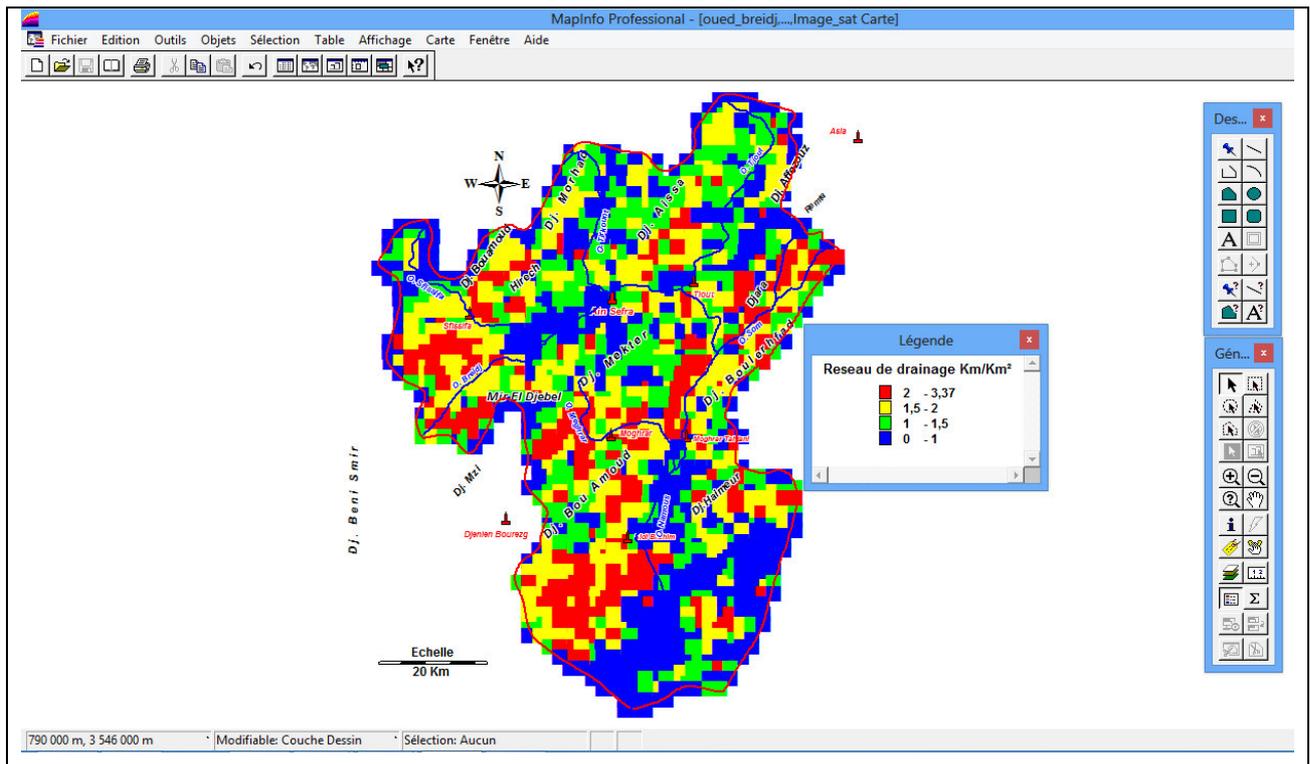


Fig. 86 : Interface de visualisation de la carte de densité de drainage (km/km^2)

V-5) ELABORATION D'UNE CARTE DE DENSITE DE LINEAMENTS

L'interprétation du linéament dans un but hydrogéologique est basée sur l'idée qu'une intensité de linéaments beaucoup plus élevée engendre probablement des zones faillées conductrices d'eau souterraine. Les zones de très forte densité de linéaments constituent le pôle favorable à l'existence d'un réservoir potentiel, par contre les zones de densité nulle ou très faible augurent très défavorablement de la présence d'un réservoir. Deux classes intermédiaires (densité forte et densité faible) s'inscrivent entre les deux pôles et constituent des zones de moins en moins privilégiées.

Sachant que l'alimentation des nappes dans la région se fait par 02 modes, soit direct quand l'affleurement est au sol ou indirectement dans une zone à forte densité de linéaments, idéale pour l'infiltration des précipitations, il est opportun d'établir une carte de densité de linéaments pour faire ressortir les zones de recharge indirecte.

Cette carte est tirée de celle détaillée du secteur d'étude établie par Kacemi (2013), issue du traitement des images satellitales et les cartes photogéologiques existantes. Les données ont été validées sur la base des données de terrain. La longueur de linéament par maille a été comptée. Les données ont été transférées sous Mapinfo 6.5, et une carte de

densité de linéament a été générée (fig.87), où la densité de la fracturation qui dépasse les 0,6 km/km² représente 41 % de la zone d'étude.

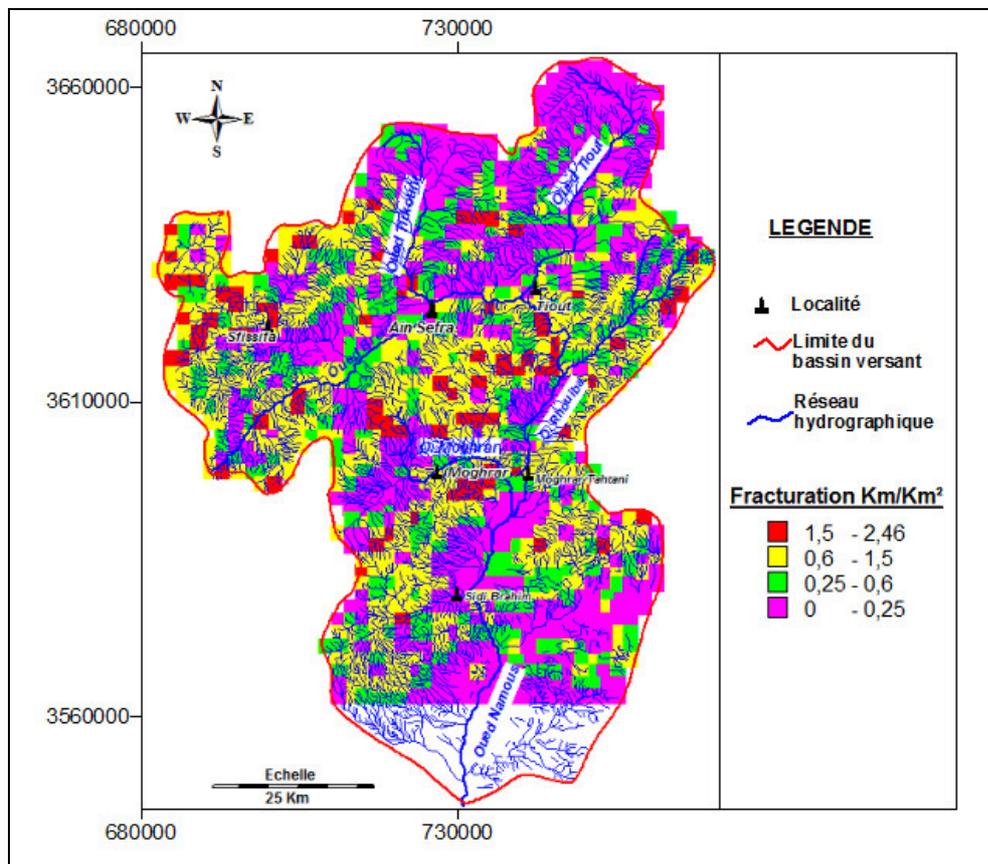


Fig. 87 : Carte de densité de linéaments (km/km²)

V-6) DEBIT DE LA NAPPE

L'écoulement de l'eau souterraine est déterminé par 03 paramètres hydrodynamiques :

- La transmissivité
- Le gradient hydraulique
- Le débit de la nappe à travers une section transversale passant par une ligne équipotentielle. Il est calculé par application de la loi de Darcy.

$$Q = K.S.i \text{ et comme } T = K.e \text{ donc } Q = T.L.i$$

Q : débit de la nappe en L/s

L : la largeur de l'aquifère en m.

i : Le gradient hydraulique

La carte du débit de la nappe (Fig 88) a été élaborée en prenant pour chaque maille la transmissivité et le gradient hydraulique. La largeur de la section passant par une ligne équipotentielle étant celle de la maille de 2000 m.

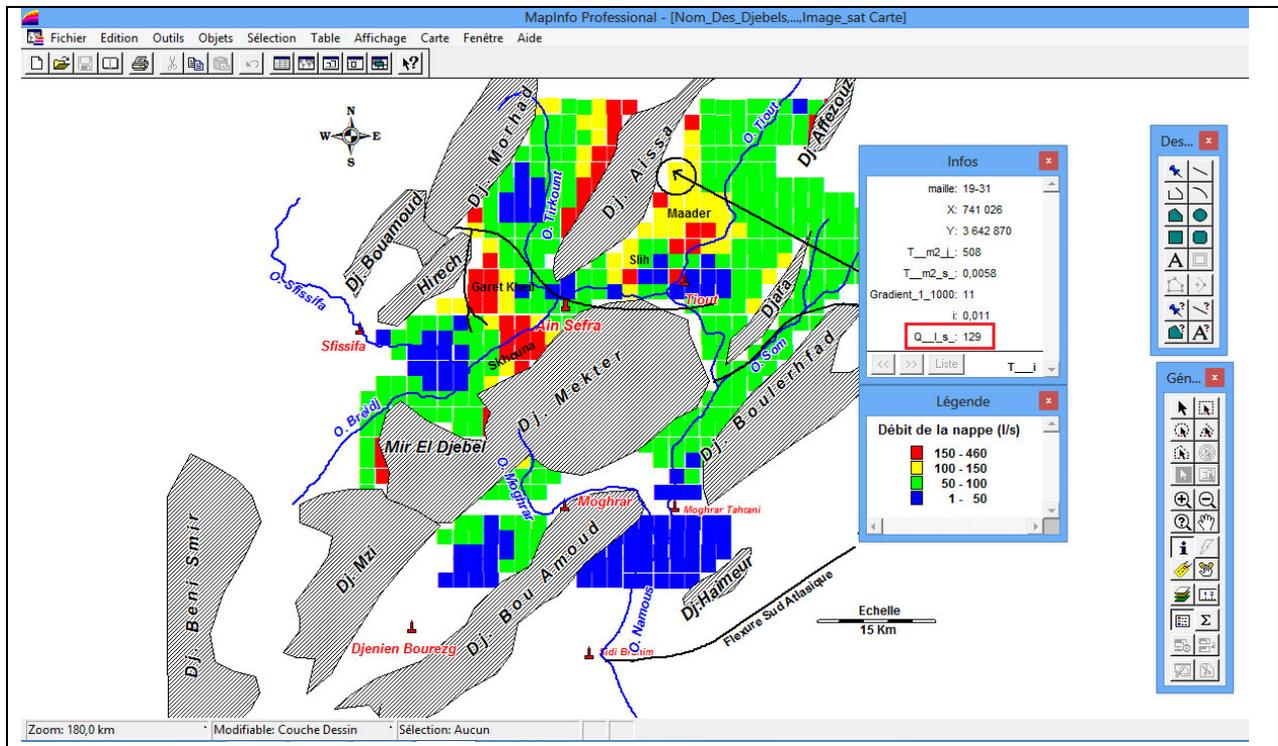


Fig. 88 : Interface de visualisation de la carte du débit de la nappe

Les valeurs de débits par gouttière synclinale sont représentées au tableau 31 :

Tableau 31 : Les valeurs de débits de la nappe

Synclinal	Tirkount	Garet Kheil	Skhouana	Benhandjir	Slih Maader	Matlag	Rosfa Hamra Rhouiba	Oglats Moghrar	Sidi Brahim
Débit L/s	115	155	128	105	410	70	77	60	20

Le débit global étant 1140 L/s, la quantité prélevée par pompage dans les forages productifs dans toute la région d'étude pour l'Alimentation en Eau Potable ainsi que l'eau d'irrigation est estimée à 450 L/s (source Direction des Ressources en Eau – Naama-). Ce qui correspond à 39 % du débit global de la nappe ; valeur qui dénote l'importance des ressources en eau dans les synclinaux de la région.

VI) ANALYSES THEMATIQUES ET REQUETES.

VI-1) ANALYSES THEMATIQUES

Faire une analyse thématique, c'est donner du sens à une représentation cartographique. Elle met en évidence un ou plusieurs phénomènes de la carte et participe grandement au rendu final d'une carte. Elle joue un rôle dans la perception de la carte et répond aux règles principales de la sémiologie graphique.

Les grands types de cartographie thématique se résument :

- par symboles proportionnels.
- par valeurs individuelles.
- par plages de valeurs.
- Par coloration continue, comme la cartographie par nuage de point et par teintes continues.

A partir de la base de données (Annexe 3 et 5), des analyses thématiques ont été établies.

Les variables essentielles concernées sont :

- Le débit (L/s)
- La minéralisation (mg/L)
- Les éléments physico-chimiques (Ca^{++} , SO_4^{-} , Na^{++} , Cl^{-} et NO_3^{+})
- La potabilité (suivant les normes algériennes)

VI-1-1) *Le débit*

La productivité correspond aux débits fournis par les forages de profondeur de moins de 250 ml, lors des pompages d'essai.

L'établissement d'une analyse thématique sur l'attribut relatif au débit d'exploitation a permis de définir 04 classes (Fig.89), entre 02 L/s et 80 L/s, où celle entre 10 L/s et 30 L/s représente 60%. En outre cette analyse indique que les secteurs les plus productifs de la nappe sont situés dans les régions de Garet Kheil, Skhouna, Slih, Maader, Remta et Djenien Bourezg, . Alors que les moins productifs se trouvent, dans la dépression de Tirkount,

au Sud de Tiout, Ain Sefra et la région de Rhouiba, caractérisées par la prédominance du faciès argileux par rapport aux grès dans la formation captée qui n'est autre que le membre médian et inférieur de la formation de Tiout.

Les débits supérieurs à 30 L/s au niveau de Slih, Maader Djenien Bourezg, Remta et le Sud Ouest de Sfisifa, qui captent le membre supérieur de la formation de Tiout, peuvent s'expliquer, d'une part par l'étendue de la surface de leur impluvium plus importante par rapport aux autres zones, et d'autre part par la présence de grès fissurés, notamment au forage Slih qui débite 82 L/s.

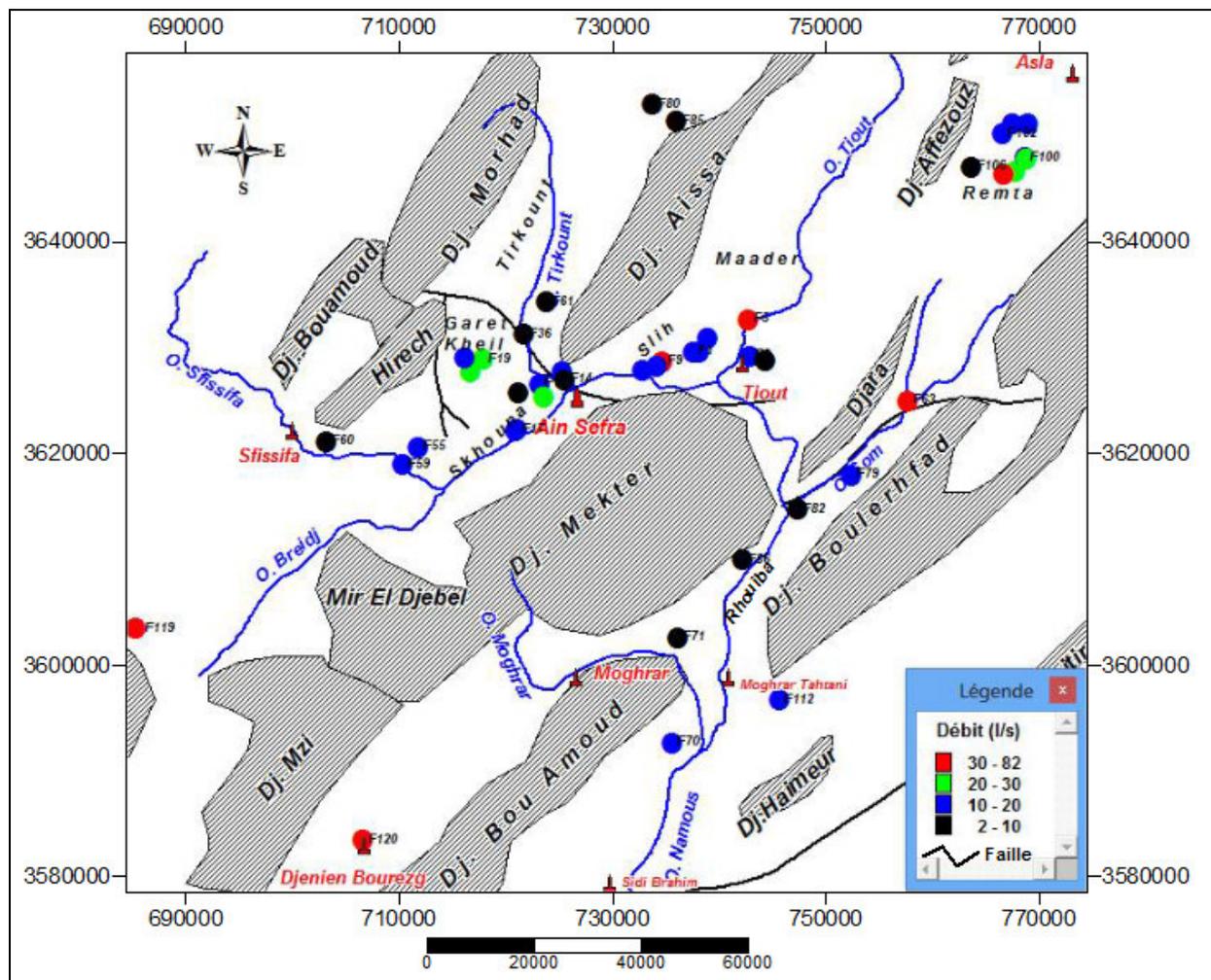


Fig.89: Répartition spatiale des valeurs de débit (l/s)

VI-1-2) La minéralisation

Les eaux des forages contrôlés ont des valeurs de minéralisation qui oscillent entre 370 et 7200 mg/L avec 50% de moins de 1000 mg/L.

Les valeurs de moins de 1500 mg/L séparent les eaux douces et celles les plus chargées, surtout du point de vue de l'alimentation en eau potable. Il est donc utile de représenter les zones de concentrations supérieures.

La carte thématique par zone (Fig.90) fait ressortir la répartition géographique des eaux de faibles minéralisations (< 1000 mg/l) se situant au cœur des synclinaux de Garet Kheil-Skhouna- Benhandjir, Slih – Maader, Remta et Djenien Bourezg. Par contre les plus fortes minéralisations (supérieures à 1500 mg/l) se situent à Ain Sefra même, dans la région de Tirkount et au Sud de Tiout, la région de Sidi Brahim et Rhouiba. Cette variation des valeurs de minéralisation est en effet surtout fonction des conditions géologiques, structurales (Faille Ras Touil-Ain Sefra et celle de Rosfa Hamra) et lithologiques (membre médian et inférieur de la formation de Tiout).

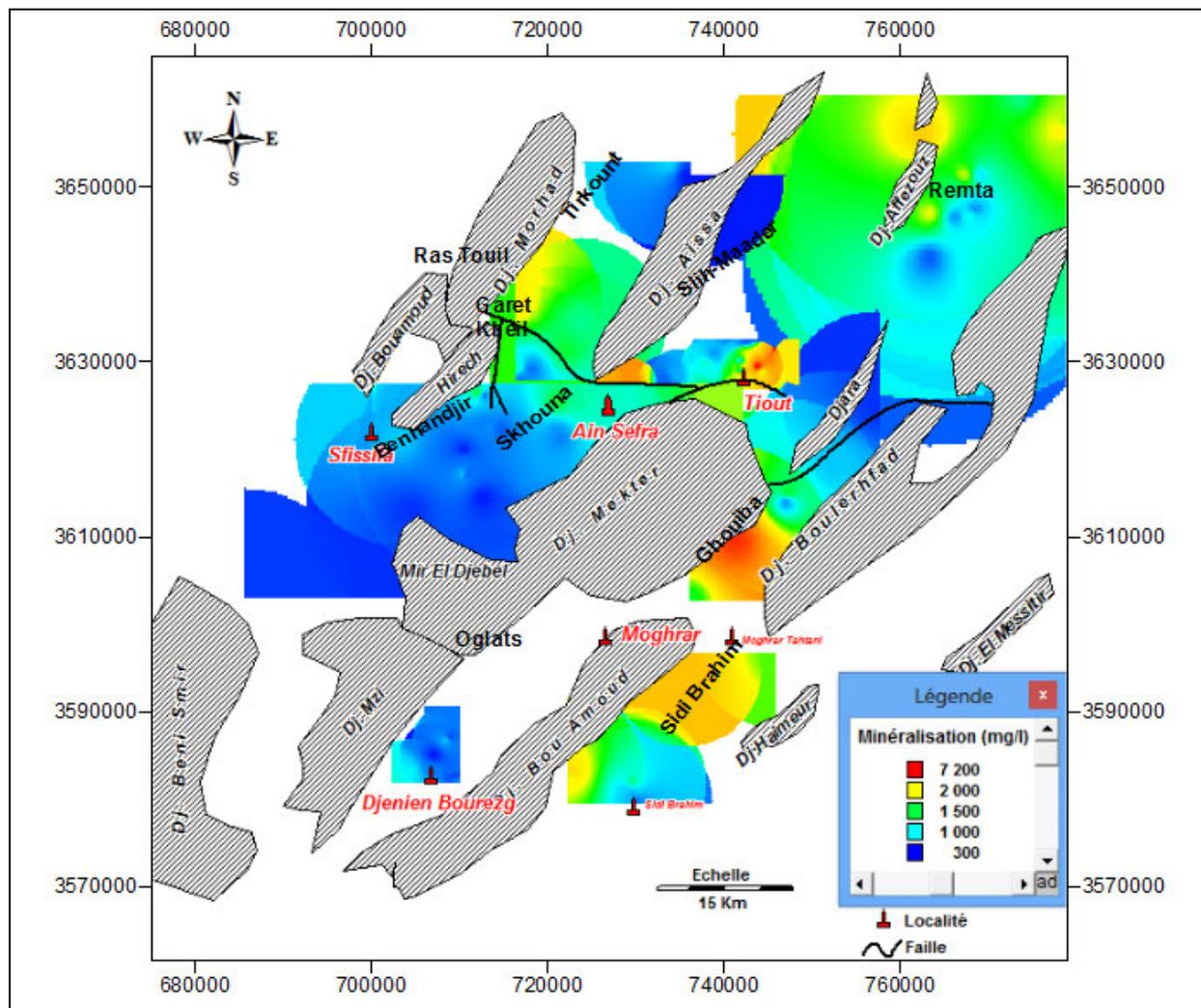


Fig.90: Répartition spatiale de la minéralisation (mg/L)

VI-1-3) Les éléments physico-chimiques

➤ **Calcium, Sodium, Chlorures et Sulfates** : Les faciès dominant des eaux étant sulfaté calcique magnésien, et chloruré sodique un diagramme Ca^{++} en fonction de SO_4^{--} et Na^+ en fonction de Cl^- semble le plus pertinent, et l'intérêt portera sur les principaux éléments constituant ces faciès à savoir le calcium, le sodium, les sulfates, et les chlorures.

La bonne corrélation entre Na^+ et Cl^- (fig 91) laisse penser à une dissolution de l'halite au cours du déplacement de l'eau.

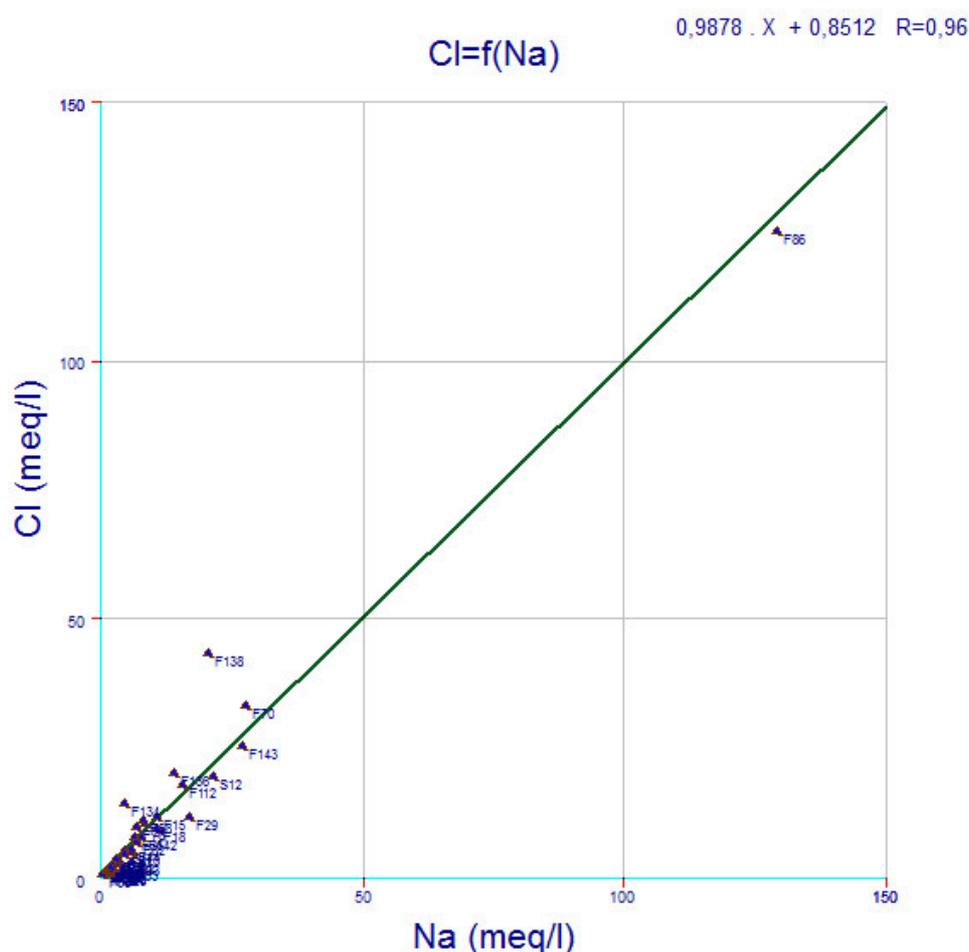


Fig.91: Corrélation entre le Sodium et les chlorures

Les ions sulfates ont présenté une corrélation avec le calcium (fig. 92). Il ressort de cette valeur que les couples ont une origine commune et sont produit par des phénomènes naturels identiques. Ces résultats révèlent le rôle prédominant du gypse dans la détermination des faciès hydrochimiques des eaux de la région.

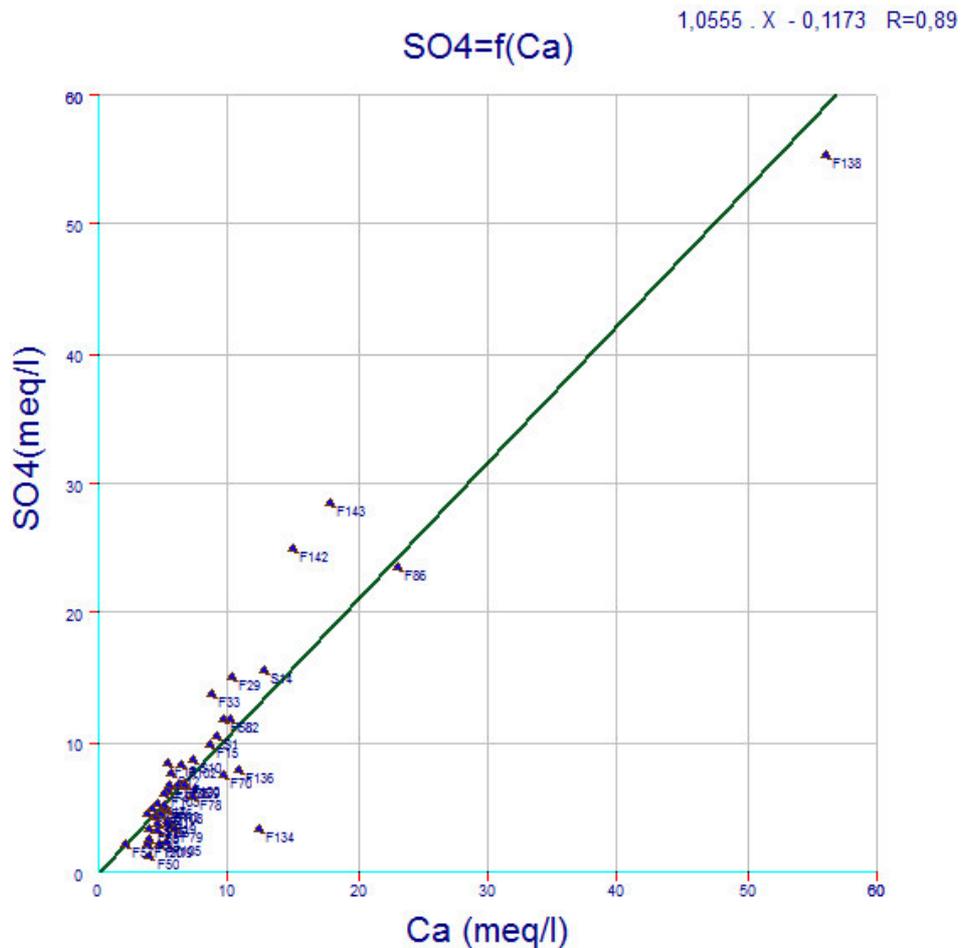


Fig.92: Corrélation entre les Sulfates et le Calcium

Les faciès rencontrés pour la nappe du Crétacé inférieur montrent qu'ils sont essentiellement contrôlés par la dissolution du gypse et l'halite dont des traces ont été trouvées lors de la description des cuttings des forages concernés.

Pour la nappe du Jurassique sup., le faciès prédominant est bicarbonaté magnésien, et peut s'expliquer par le lessivage du ciment calcaire au niveau des formations gréseuses.

➤ **Les Nitrates :**

Une concentration importante indique une pollution des eaux souterraines dont l'origine essentielle semble être liée aux engrais chimiques dans les régions de Slih–Maader, Sud-Ouest de Remta, et Sud de Djara, et probablement à la présence d'anciennes décharges au centre d'Ain Sefra (fig.93).

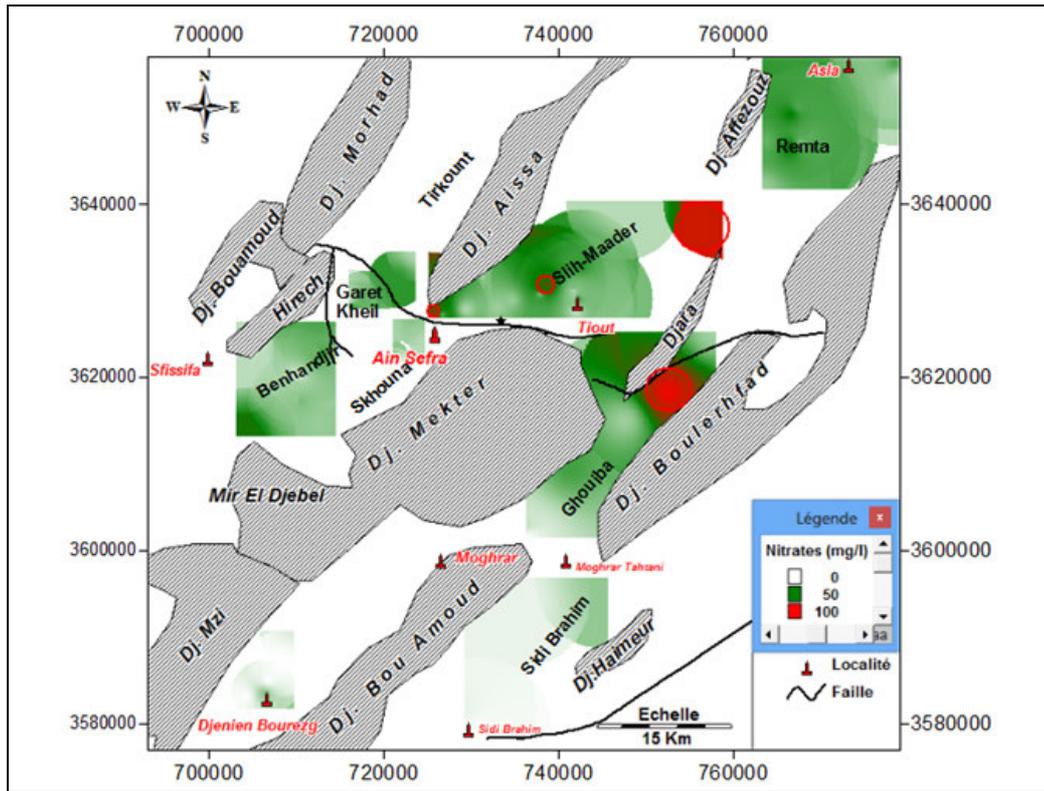


Fig.93 : Carte des nitrates

VI-1-4) La Potabilité

L'appréciation des limites de potabilité est celle des « Normes Algériennes de Potabilité » suivant le Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine (tableau 32).

Tableau 32: Normes Algériennes de Potabilité

PARAMETRES	UNITE	CONCENTRATION MAXIMALE
		ADMISSIBLE
PH		≥ 6.5 et ≤ 9
CONDUCTIVITE	$\mu\text{s}/\text{cm}$	2800
RESIDU SEC	mg/L	1500
DURETE TOTALE	mg/L en CaCO_3	200
CALCIUM	mg/L	200
SODIUM	mg/L	200
POTASSIUM	mg/L	12
SULFATES	mg/L	400
CHLORURES	mg/L	500
NITRATES	mg/L	50

L'appréciation de la qualité des eaux souterraines de la région s'effectue par l'étude des paramètres de pollution, puis par interprétation de la qualité globale sur la base d'une grille simplifiée (Tableau 33) comportant cinq paramètres indicateurs.

- la minéralisation qui renseigne sur la qualité minéralogique des eaux.
- les ions Chlorures, Sulfates et Sodium qui renseignent sur la qualité minéralogique des eaux.
- Les nitrates, principaux indicateurs d'une pollution d'eau souterraine.

L'histogramme (fig.94) indique que 54% des points échantillonnés sont de potabilité bonne à passable, 17% sont de potabilité médiocre et 18% sont mauvaises.

Cet état de potabilité bonne à passable, que l'on trouve dans les régions de Benhandjir - Skhouna – Garek Kheil- Slih –Maader – Djenien, est dû :

- A la minéralisation, avec des valeurs comprise entre 330 mg/L et 1200 mg/L.
- Aux teneurs en sulfates avec des valeurs comprises entre 58 mg/L et 290 mg/L.
- Aux teneurs des chlorures (34 mg/L à 360 mg/L) et du sodium (9 mg/L et 230 mg/L).
- Aux nitrates, qui varient entre un minimum de 1 mg/L et un maximum de 25 mg/L.

La dégradation des eaux dans les régions de Tiout Matlag –Rhouiba et au centre de Ain Sefra, sont dus en plus des teneurs élevées de minéralisation (2400 mg/L à 7200 mg/L), à celles des nitrates (53 mg/L à 97 mg/L).

Tableau 33 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines

Potabilité	Paramètres				
	Minéralisation mg/L	Chlorures mg/L	Sulfates mg/L	Sodium mg/L	Nitrates mg/L
Bonne	< 680	< 170	< 140	< 110	< 5
Passable	680 - 1200	170 -360	140 - 290	110 - 230	5 - 25
Médiocre	1200 - 2100	360 - 700	290 - 580	230 - 430	25 - 50
Mauvaise	2100 - 2300	700 - 1400	580 - 1200	430 - 900	50 - 100
Très mauvaise	>2300	>1400	>1200	>900	>100

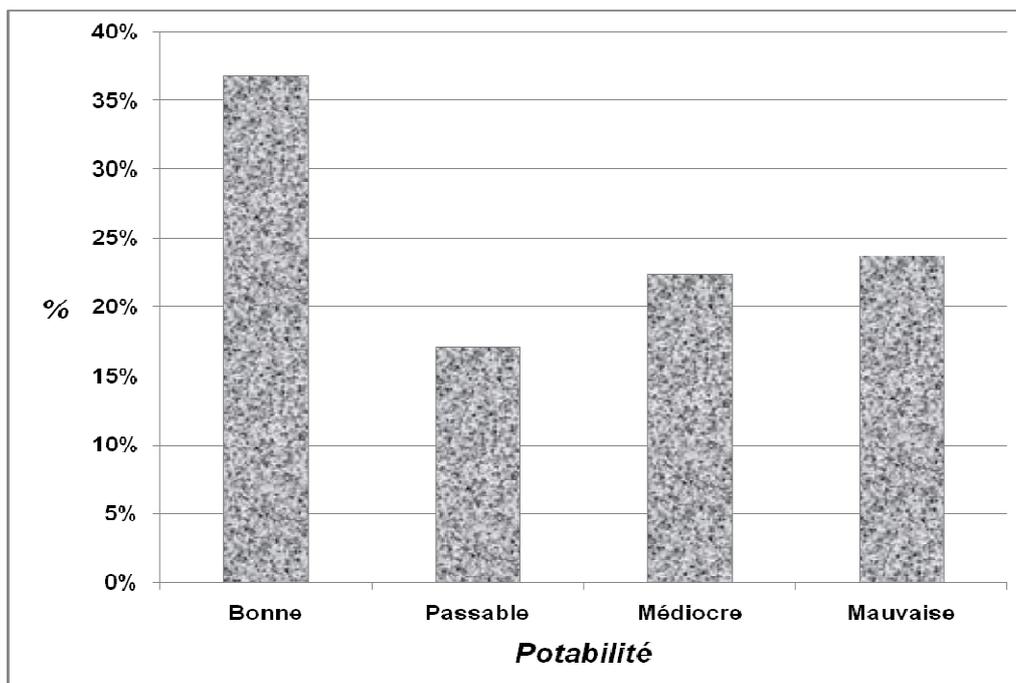


Fig.94 : Histogramme de la potabilité des eaux

VI-1-5) Qualité des eaux à des fins d'irrigation

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. La toxicité la plus courante provient des teneurs en chlorures dans les eaux d'irrigation. Quand aux sulfates certaines plantes montrent une sensibilité aux fortes concentrations (in Moudjib Alrahman 2010).

Tableau 34: Classification des eaux d'irrigation selon les chlorures et les sulfates
(Gunduz et al : 2006)

Paramètres	Classe I Très bonne	Classe II Bonne	Classe III Admissible	Classe IV Médiocre	Classe V Mauvaise
Chlorures (mg/L)	0 - 142	142 - 249	249 - 426	426 – 710	Sup à 710
%	52,33	13,95	18,6	5,82	9,3
Sulfates (mg/L)	0 - 192	192 - 336	336 - 575	575 – 960	Sup à 960
%	37,21	27,91	16,28	5,81	12,79

L'histogramme (fig.95) réalisé à partir de la classification donnée dans le tableau 34 fait ressortir 05 classes d'eau pour l'irrigation, suivant les paramètres des sulfates et des chlorures.

Les classes I et II (très bonne à bonne) représentent 65 % des points d'eau analysés, par contre l'appartenance des eaux aux classes IV et V (médiocre et mauvaise) représentent 12 % captées dans la formation de Tiloula.

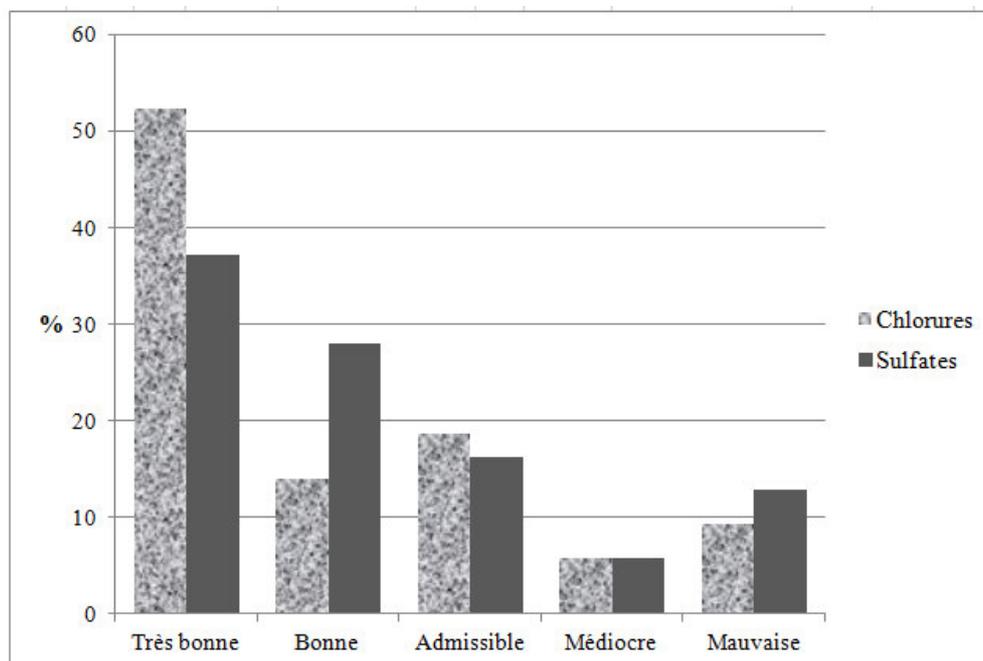


Fig.95: Histogramme des eaux d'irrigation

VI-2) LES REQUETES

Les fonctionnalités de sélection SQL (Structured Query Language) font les véritables puissances des SIG. C'est un langage de requêtes pour les SGBD (Système de Gestion de Bases de Données). Il permet de formuler des requêtes des données par couches univariées ou multivariées.

L'analyse spatiale participe au traitement même des données à partir de requêtes spatiales bien définies ou d'actions qui permettent de répondre à un questionnement précis. Une requête est une opération qui consiste à interroger une partie de la table de données (ou table attributive). MapInfo 6.5 facilite le recours aux requêtes SQL (Structured Query Language) en proposant une interface graphique pour interroger la base de données. Une requête SQL produit une table qui va contenir la ou les réponses.

Les requêtes peuvent porter aussi bien sur des données attributaires que sur des objets géographiques.

L'interface de Mapinfo 6.5 est accessible par le menu « *sélection SQL* » qui permet d'automatiser l'écriture des requêtes à partir d'une interface graphique (fig.96).

On commence par sélectionner les tables (1). On sélectionne ensuite les colonnes des tables (2). On écrit la ou les conditions de sélection (3).

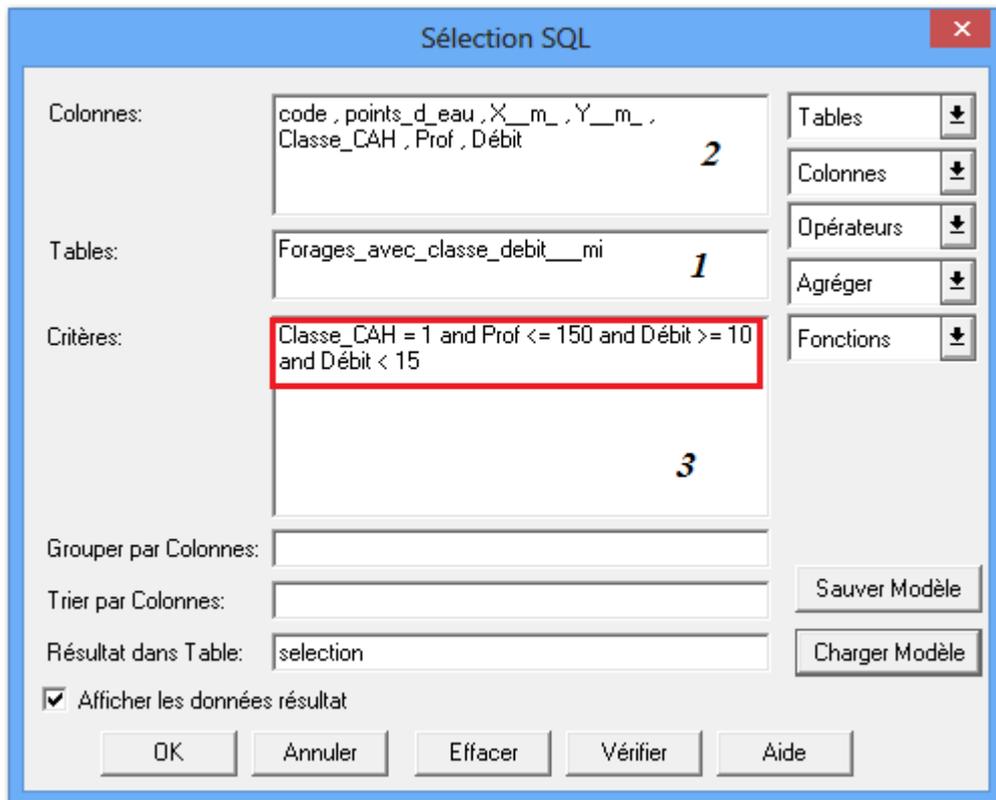


Fig.96 :L'interface SQL de Mapinfo 6.5

L'objectif étant de faire ressortir une carte qui représente le potentiel hydrogéologique de la nappe, ainsi que la sélection de sites potentiels pour l'implantation d'éventuels forages, notamment qui seront destinés à l'alimentation en eau potable.

- A cet effet, des requêtes ont été réalisées à partir d'une table comprenant 53 forages, suivant 03 classes prédéfinies (Tableau 35) :
- La profondeur de chaque ouvrage. Cet indicateur permet de connaître les zones où l'eau souterraine est facilement accessible, ce qui se traduit sur le coût du forage.
- Les valeurs de débit issues des essais de pompage.
- les classes de minéralisation issues du traitement statistique de l'étude hydrochimique par la Classification Ascendante Hiérarchique CAH.

Tableau 35: Classes des requêtes

Profondeur (m)	Débit (l/s)	Classe (CAH)	Nombre de forages	Forages	Formation captée	Sites	
< à 150	< 10	1	8	F29-F61-F106-F36-F71-F82-F132-F137	Barremo-Aptien	Défavorable	
		2	2	F114 - F123	<i>Albien et Jurassique sup.</i>	<i>Favorable</i>	
		3	1	F86	Néocomien	Très défavorable	
		4	1	F14	Barremo-Aptien	Défavorable	
	≥10 et <15	1	2	F104 - F16	Barremo-Aptien	Moyennement favorable	
		2	4	F103 - F55 - F79 - F131	<i>Albien</i>	<i>Favorable</i>	
		4	1	F13	Barremo-Aptien	Défavorable	
	≥15 et <20	2	4	F17-F113-F66-F84	<i>Albien et Jurassique sup.</i>	<i>Très favorable</i>	
		4	1	F8	Barremo-Aptien	Défavorable	
	Sup. 20	2	3	F105-F81-F128	<i>Albien et Jurassique sup.</i>	<i>Très favorable</i>	
	≥ 150 et <200	< 10	1	2	F33 - F60	Barremo-Aptien	Défavorable
			2	2	F80 -F140	Albien et Jurassique sup.	Moyennement favorable
≥10 et <15		1	1	F112	Barremo-Aptien	Défavorable	
≥15 et <20		1	1	F136	Barremo-Aptien	Moyennement favorable	
		2	4	F3-F100-F102-F59	<i>Albien</i>	<i>Favorable</i>	
		4	1	F70	Barremo-Aptien	Défavorable	
Sup. 20		1	2	F18 - F101	<i>Albien</i>	<i>Favorable</i>	
		2	6	F9-F5-F108-F119-F120-F83	<i>Albien</i>	<i>Très favorable</i>	
≥ 200 et <300	<10	1	1	F15	Barremo-Aptien	Très défavorable	
	≥15 et <20	1	1	F4	<i>Albien</i>	<i>Favorable</i>	
	Sup. 20	2	2	F19 - F20	<i>Albien</i>	<i>Favorable</i>	
Sup. 300	< 10	4	1	F126	Barremo-Aptien et Néocomien	Très défavorable	
	Sup. 20	1	1	F118	Jurassique moy.	Défavorable	
		3	1	F12	Barremo-Aptien et Néocomien	Très défavorable	

A partir de ces requêtes, une carte de site favorable pour les implantations de forages destinés à l'Alimentation en Eau Potable (AEP) a été établie (Fig.97), où on remarque que les

L'analyse morphologique grâce à la superposition de la carte piézométrique et structurale (Fig. 99), apporte des informations sur les conditions aux limites.

Ainsi la faille NS d'El Hendjir présente une limite à flux nul. Cette dernière est confirmée par l'interprétation des essais de pompage (Annexe 4a) effectué sur le forage F55 (Benhandjir 2) où on remarque un dédoublement de la droite de pente suggérant l'hypothèse d'un aquifère limité latéralement par une limite étanche qui n'est autre que la faille d'El Hendjir. Par contre la faille « Ras Touil Ain Sefra » est drainante, coïncidant avec l'oued Tirkount.

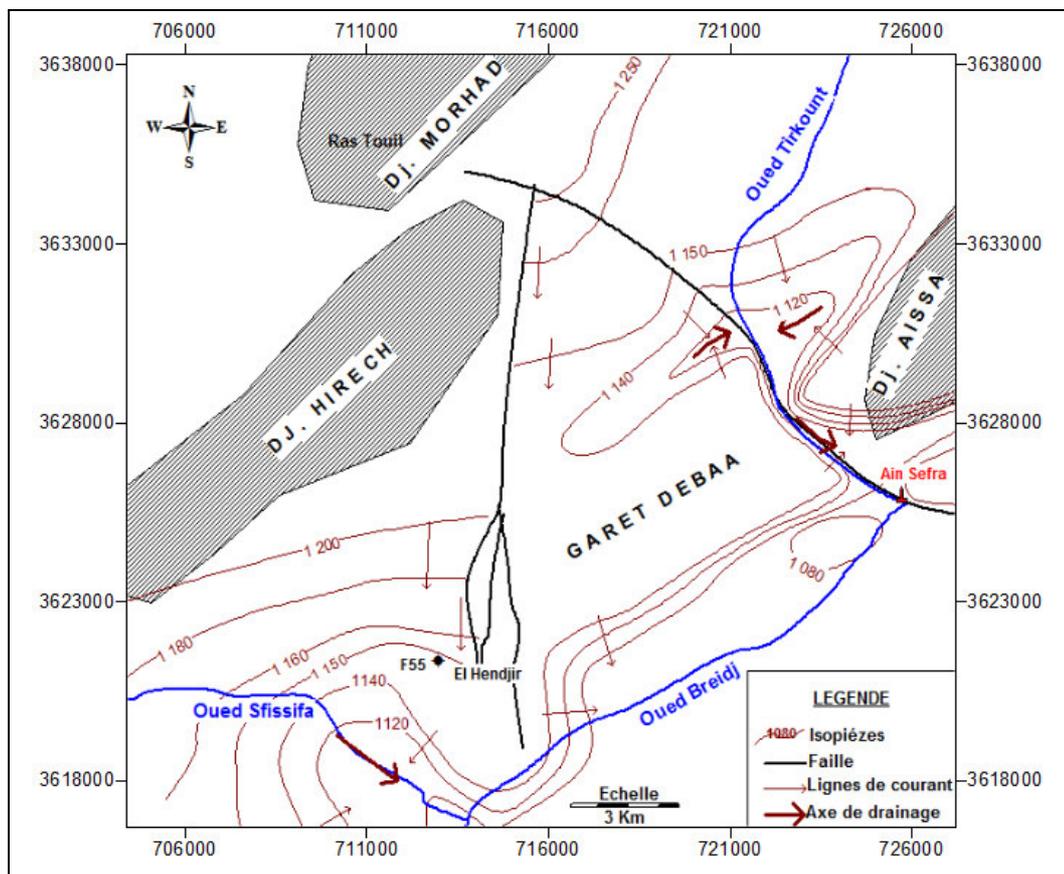


Fig.99 : Superposition piézométrique et structurale

La variabilité hydrochimique du système aquifère gréseux Crétacé inférieur, semble être contrôlée :

- par la structure du réservoir (Fig.100) comme le cas de la faille « Ras-Touil - Ain Sefra » qui a eu pour conséquence l'interruption du membre supérieur de la formation de Tiout au détriment du membre inférieur. Aussi, elle paraît comme une limite de la minéralisation entre le bassin de Tirkount, où la valeur dans les forages

F36 et F61 est de l'ordre de 1200 mg/L et celui de Gareit Kheil (F19, F20) avec des valeurs inférieures à 700 mg/L (Tableau 36).

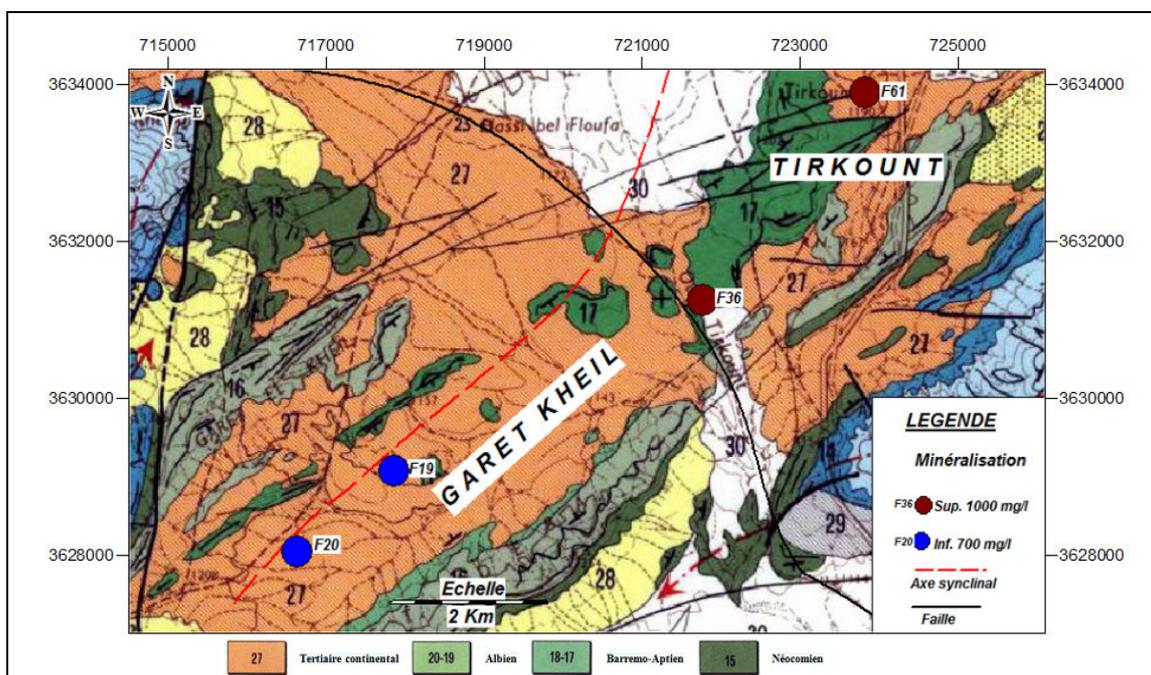


Fig.100 : Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Gareit Kheil – Tirkount »

Tableau 36 : Données hydrochimiques zone « Gareit Kheil-Tirkount »

N°	Points d'eau	X (m)	Y (m)	Profondeur (m)	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Min. (mg/L)	Qualité
1	F19	717968	3628847	300	34	192	618	Bonne
2	F20	716760	3627768	286	41	235	619	Bonne
3	F61	723830	3634277	150	324	250	1224	Passable
4	F36	721755	3631221	75	320	272	1400	Passable

- par la lithologie (fig. 101-102-103), ce dernier résultat est confirmé par la comparaison des résultats hydrochimiques des forages réalisés dans une même zone à Maader , Remtha et Sffissifa.

A Maader les eaux des forages F3, F5 d'une profondeur de 200 ml ont une minéralisation inférieure à 700 mg/L, tandis que celle du forage F4 d'une profondeur de 250 ml a une valeur de 1008 mg/L (Tableau 37).

Tableau 37 : Données hydrochimiques zone « Maader »

N°	Points d'eau	X (m)	Y (m)	Profondeur (m)	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Min. (mg/L)	Qualité
1	F9	734758	3628666	200	198	322	792	Passable
2	F3	738947	3630908	200	102	211	648	Bonne
3	F4	738066	3629548	250	197	302	1008	Passable
4	F5	742737	3632636	200	81	148	567	Bonne

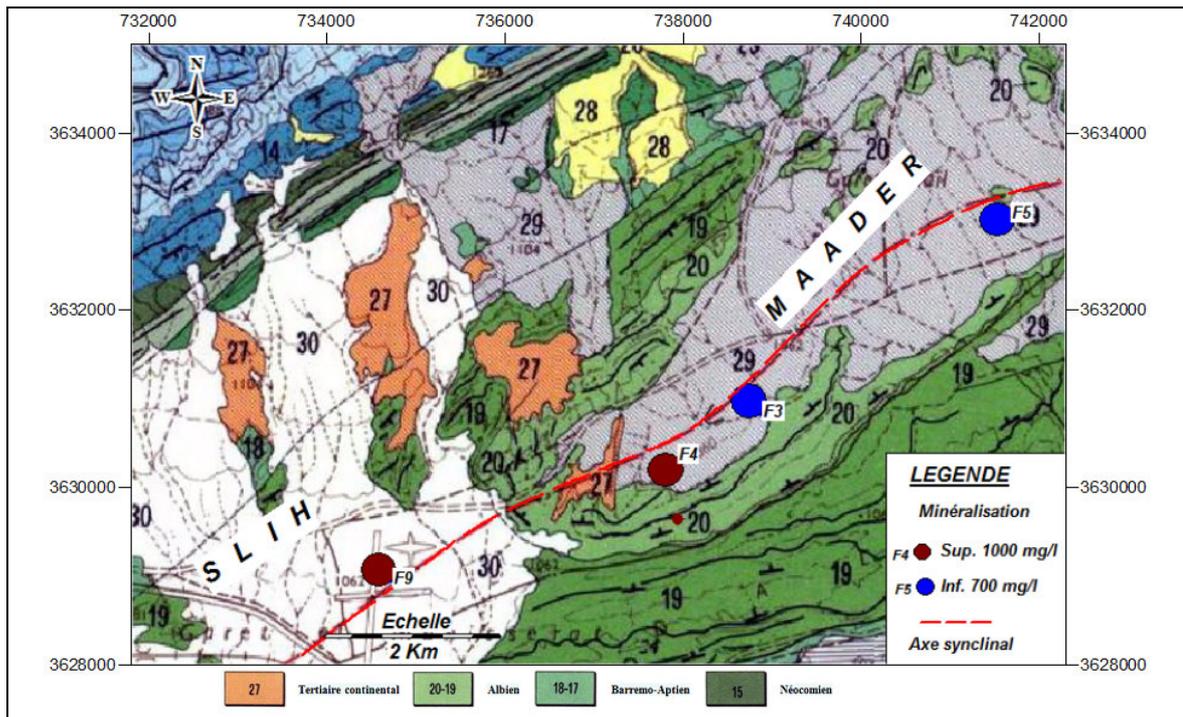


Fig.101: Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Maader »

A Remtha les valeurs de minéralisation des eaux sont inférieures à 700 mg/L pour les forages F105 et F108 d'une profondeur respective de 150 et 180 ml, et plus de 1000 mg/L pour les forages F100 et F101 d'une profondeur de 200 ml (Tableau 38).

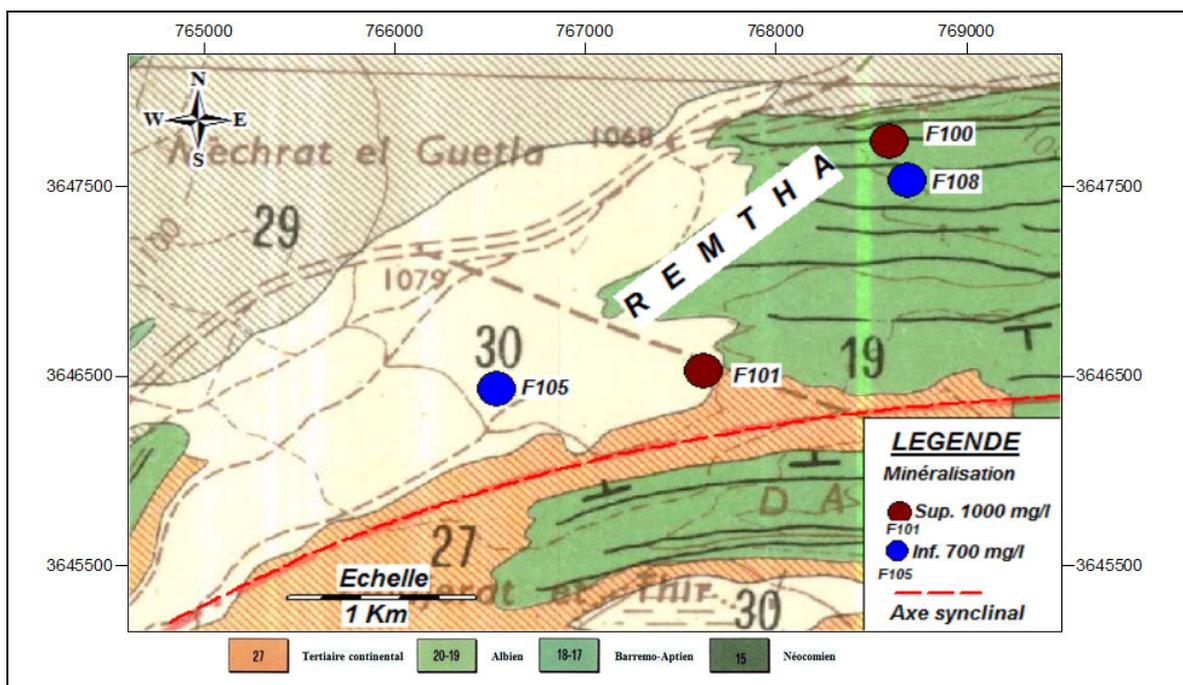


Fig.102 : Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Remtha »

Tableau 38 : Données hydrochimiques zone « Remtha »

N°	Points d'eau	X (m)	Y (m)	Profondeur (m)	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Min. (mg/L)	Qualité
1	F100	768600	3647862	200	324	228	1020	Passable
2	F101	767645	3646525	200	98	333	1060	Passable
3	F105	766586	3646344	150	106	219	680	Bonne
4	F108	768720	3647679	180	224	204	540	Bonne

Dans la région de Sfiisifa, on remarque la variabilité de minéralisation des eaux (Tableau 39). Ainsi leurs valeurs dans les forages F60 et SF2, de profondeur inférieure à 175 m, sont respectivement de 880 mg/L et 570 mg/L. Quand au forage SF1 d'une profondeur de 200 m, la minéralisation est de 1693 mg/L, avec une valeur élevée des Sulfates (1495 mg/L).

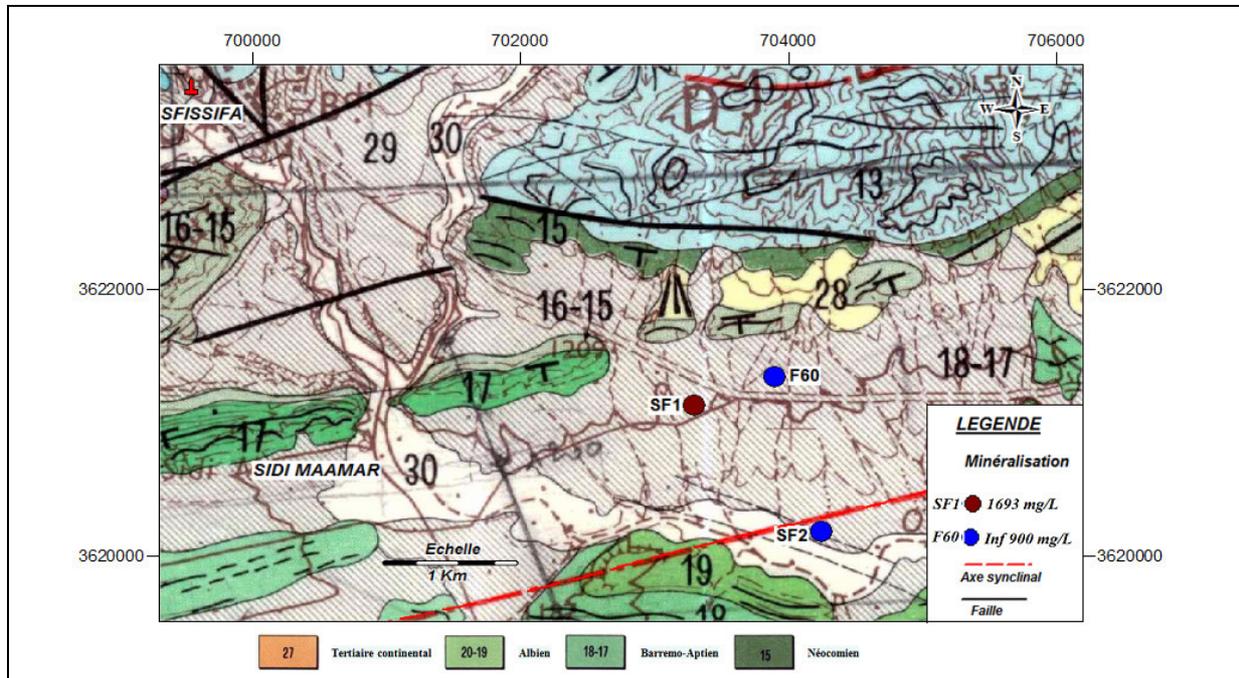


Fig.103 : Repartition spatiale de la minéralisation sur fond géologique « Sfiisifa »

Tableau 39 : Données hydrochimiques zone « Sfiisifa »

N°	Points d'eau	X (m)	Y (m)	Profondeur (m)	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Min. (mg/L)	Qualité
1	F60	703900	3621400	150	62	320	880	Bonne
2	SF2	704358	3620152	175	53	220	570	Bonne
3	SF1	703574	3620152	200	31	1495	1693	Médiocre

Ces résultats obtenus, tableaux (36, 37, 38 et 39) indiquent que la qualité des eaux souterraines se dégrade en profondeur. Les forages ayant une eau de bonne minéralisation (inférieure à 700 mg/L) ont capté uniquement le membre supérieur de la formation de Tiout, tandis que dans les autres forages dont les eaux sont plus minéralisées, les travaux de fonçage sont allés au-delà de cette formation en captant le membre médian de la formation de Tiout.

Cette dernière renferme des traces de gypse et de l'halite, confirmés par les cuttings des forages concernés, et dont la dissolution au contact de l'eau souterraine explique la nature de quelques faciès hydrochimiques.

Il en résulte que « *pour l'Alimentation en Eau Potable* » dans la région d'Ain Sefra, les captages d'eaux souterraines du point de vue quantitatif et qualitatif du système aquifère gréseux Crétacé inférieur se limite au membre supérieur de la formation de Tiout. Ainsi les profondeurs des forages doivent prendre fin au toit du membre médian de la formation de Tiout. Les forages captant les membres médian et inférieur de Tiout peuvent néanmoins servir à l'irrigation et le pastoralisme.

A partir des données géologiques hydrogéologiques, hydrochimiques, ainsi que la description des cuttings issus des différents forages réalisés dans la région, une colonne hydrogéologique (fig. 104) a été élaborée pour visualiser en profondeur le système aquifère Crétacé inférieur.

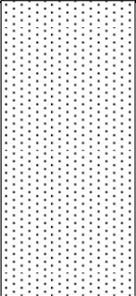
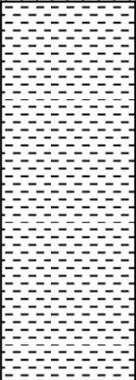
Age	Formation (Tiout)	lithologie	Prof.		Paramètres hydrogéologiques	Paramètres hydrochimiques
Albien	Membre supérieur	Grès rougeâtres à dragées de quartz	160 à 185 m		T= 3.10^{-2} à 2.10^{-3} m ² /s Q= 15 à 85 l/s	Minéralisation : inférieur à 700 mg/L. Sulfates : entre 58 et 230 mg/L. Chlorures : entre 27 et 200 mg/L
Aptien	Membre médian	Alternance grès et dolomies et quelques lits gypseux intercalés dans les argiles	185 à 650 m		T= 5.10^{-4} à 5.10^{-5} m ² /s Q= 03 à 30 l/s	Minéralisation : entre 1000 mg/L et 4300 mg/L. Sulfates : entre 230 et 2255 mg/L. Chlorures : entre 200 et 2477 mg/L
Barrémien	Membre inférieur	Grès grossiers à dragées de quartz à ciment argileux				

Fig.104 : Colonne hydrogéologique du système aquifère Crétacé Inferieur (région d'Ain Sefra)

La carte tridimensionnelle (fig. 105) présente des zones favorables dans la région d'Ain Sefra pour d'éventuelles implantations de forages, destinés à l'Alimentation en Eau Potable.

Les coordonnées déterminées de chaque centre de zone sont indiquées au tableau 40.

Tableau 40: Zones à exploiter pour l'Alimentation en Eau Potable.

Zone	Région	X (UTM) m *	Y (UTM) m *
1	Benhandjir	709150	3619500
2	Garet Kheil	717500	3628500
3	Slih - Maader	738550	3630950
4	Remtha	766750	3646600
5	Rosfa Hamra	757650	3625000
6	Oglats	717200	3594400
7	Djenien Bourezg	707150	3583400
8	Skhouna	720200	3622100

* Les coordonnées du centre de zones.

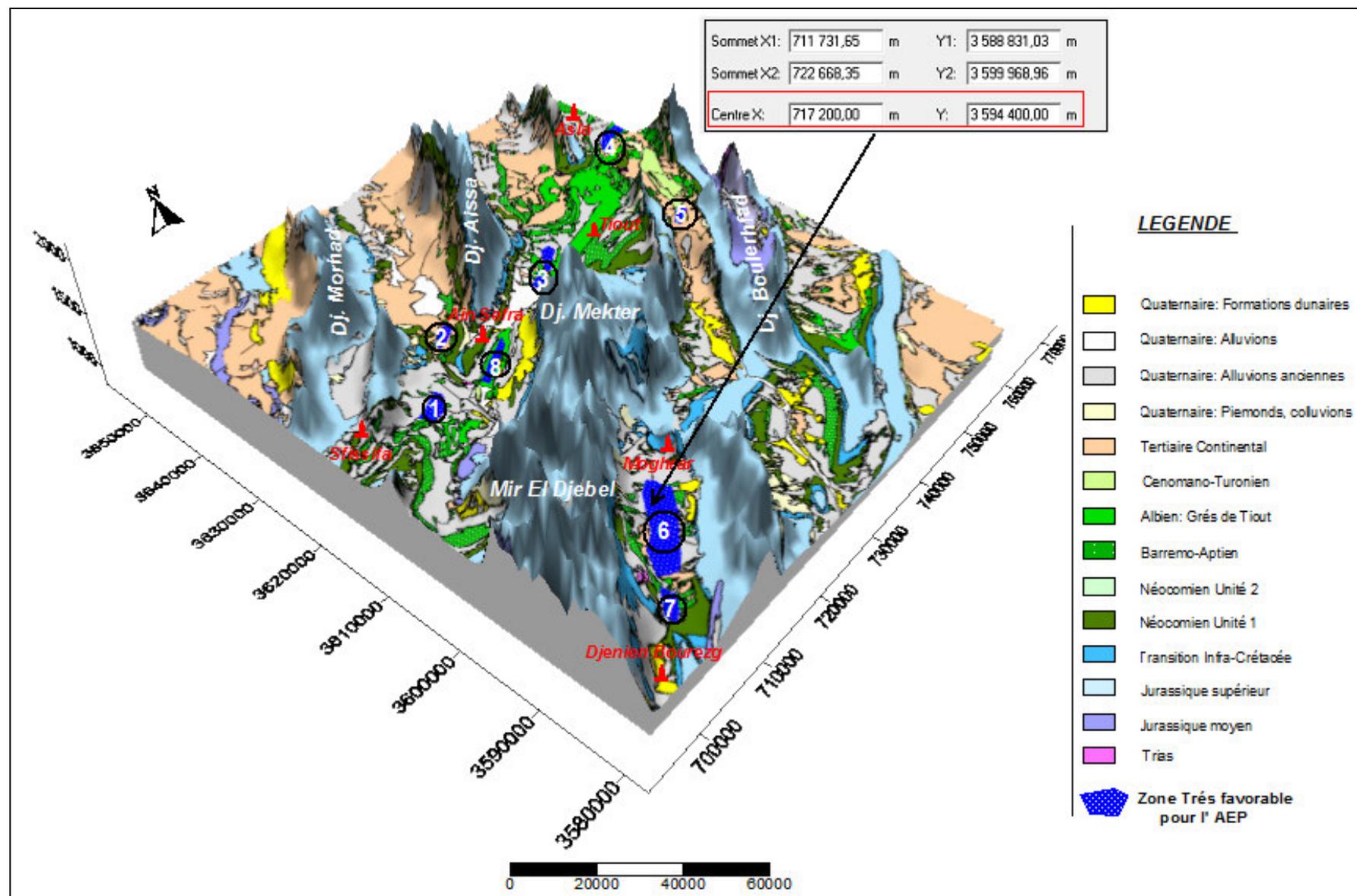


Fig.105: Carte des zones très favorables pour les forages d'AEP - Région d'Ain Sefra -(Vue tridimensionnelle

VII) CONCLUSION

Cette étape de travail a été consacrée à la conception d'un système d'informations géographiques (SIG), qui a permis de faire une caractérisation spatiale de l'information en utilisant conjointement les données en mode raster et en mode vecteur. Les informations rassemblées dans ce SIG tel que les paramètres hydrogéologiques (transmissivité), les données de forage (profondeur, niveau piézométrique, débit, paramètres hydrochimiques), ont été stockées sous forme de base thématiques et sous forme spatialisée contenant les fonds topographiques et géologiques. L'exploitation des différentes données rassemblées, nous a permis d'élaborer des cartes thématiques ainsi qu'une carte de synthèse globale relative aux sites favorables à l'implantation de forages ainsi que les zones de recharge. Le système d'information conçu permet de gérer un nombre important de données acquises depuis plusieurs années et pouvant être actualisées régulièrement.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La méthodologie adoptée dans ce travail de recherche a été appliquée aux bassins versants de la région d'Ain Sefra, zone appartenant au Monts des Ksour. Le secteur d'étude qui couvre une superficie d'environ 5800 km² recèle des ressources en eau relativement importantes, et dispose d'une base de données considérable et variée, acquise durant plusieurs décennies à travers les travaux de forages de reconnaissance et d'exploitation.

La principale ressource importante en eau souterraine de cette région celle des grès crétacés inférieurs est très sollicitée pour satisfaire les besoins, notamment pour la consommation humaine et l'irrigation. Elle constitue un facteur déterminant pour le développement économique et social.

La position géographique, dans un étage climatique aride à semi-aride de la région caractérisée par l'irrégularité dans la répartition saisonnière et mensuelle des pluies et une baisse des précipitations moyennes annuelles passant de 250 mm/an (période 1913 – 1938) à 176 mm/an (période 1981 – 2012), en plus d'une demande croissante de l'eau à usage domestique et ménagère, et une éventuelle création et extension des périmètres irrigués, a rendu nécessaire le recours à une étude et gestion appropriée de cette ressource aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif.

Ceci nécessite au préalable une bonne connaissance du fonctionnement du système aquifère. Ainsi un Système d'Information Géographique (S.I.G.) a été élaboré où l'ensemble des informations concernant la ressource en eau recueillies dans la région d'étude a été stocké. Il est constitué par deux bases de données qui sont liées et qui se complètent mutuellement : une spatiale contenant les documents cartographiques, et une thématique qui repose sur un inventaire de 158 points d'eau. L'exploitation du S.I.G. a été faite avec le logiciel MapInfo , et elle a permis d'élaborer plusieurs supports cartographiques.

Les résultats obtenus au terme de ce travail de recherche ont permis de décrire la zone d'étude en allant de la surface, jusqu'en profondeur.

Morphologiquement, la région se distingue par leurs reliefs très élevés avec certains sommets qui culminent à plus de 2000m d'altitude, comme le Djebel Aïssa (2236m), M'zi

(2167m), Mekther (2053m) et le Mir El Djebel (2109m), parsemés de petites vallées et terrasses alluviales occupées par des oasis à l'image de : Tiout, Moghrar, Sfissifa, Asla.

La mise en évidence d'un réseau hydrographique important avec ses principaux oueds (Breidj, Tirkount, Tiout et Oued Moghrar) dont les crues considérables constituent un apport à la réalimentation de la nappe. Les sous bassins versants, à l'exception de celui de l'Oued Moghrar sont bien hiérarchisés et assez bien drainés. L'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forment les bassins ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants.

A partir de la carte de perméabilité élaborée, nous avons pu identifier des zones à bonne perméabilité de l'ordre de 5.10^{-1} à 10^{-4} m/s, occupant 32% de la superficie du bassin, et représentées par des cuvettes susceptibles de constituer des terrains favorables à la recharge des nappes superficielles. Ces zones longent les oueds Breidj, Tiout et oued Namous caractérisées par des formations alluvionnaires et dont leurs coordonnées géographiques sont définies sous MapInfo.

Le modèle géologique a permis de délimiter les principales gouttières synclinales de la zone d'étude, formant de vastes plaines comblées par des formations du Crétacé inférieur qui sont le siège des écoulements d'eau souterraines.

La synthèse des reconnaissances géophysiques et l'interprétation des coupes lithostratigraphiques des forages a permis de mettre en évidence et situer le système aquifère dans son contexte lithologique et structural régional et d'apporter une bonne connaissance sur la géométrie des divers aquifères potentiels. L'évolution irrégulière de la profondeur de l'aquifère à travers les différentes gouttières synclinales notamment celles de « Benhandjir – Tirkount », « Remta (Asla) » et « Rosfa Hamra – Rhouiba », est la conséquence des accidents tectoniques, comme le cas de l'accident « Ras Touil - Ain Sefra », ayant engendré un compartimentage de l'aquifère profond en zones soulevées ou affaissées selon les endroits.

La surface de la nappe des grès crétacés inférieurs varie entre 1250 m dans la région de Tirkount au Nord d'Ain Sefra et 840 m à l'extrême Sud dans la région de Sidi Brahim au Nord de l'accident Sud Atlasique, avec un gradient moyen de l'ordre de 22 ‰.

La carte piézométrique (en MNT) montre clairement, le sens de l'écoulement global des eaux souterraines de la région qui est intimement lié à l'écoulement des eaux superficielles. Les lignes de partage des eaux sont le plus souvent liées à la structurale, où on remarque une zone de captage privilégiée, coïncidant avec la faille « Ras Touil- Ain Sefra », jouant le rôle d'un barrage souterrain naturel.

La répartition spatiale de la transmissivité montre des valeurs qui varient entre 10^{-2} et 10^{-5} m²/s. Cette grande dispersion des valeurs dépend d'une part, des variations de l'épaisseur de la nappe, et de la perméabilité des formations gréseuses fissurées du membre supérieur de la formation de Tiout, et d'autre part de l'importance du facies argileux appartenant au membre médian de la même formation.

Les débits des ouvrages fournis par les essais de pompage s'échelonnent entre 02 l/s et 80 l/s. Pour les débits supérieurs à 30 l/s, les forages captent le membre supérieur de la formation de Tiout et peut s'expliquer par l'étendue de leur surface d'impluvium et par la présence de grès fissurés.

Les données hydrochimiques des eaux de la région ont permis une caractérisation de la qualité physico-chimique de ces eaux et de son évolution aussi bien spatiale que temporelle. A l'échelle des bassins d'Ain Sefra. La moitié des eaux échantillonnées et analysées sont douces (45 % des eaux présentent une conductivité inférieure à 1000 µs/cm).

Les facies chimiques prédominant étant sulfaté calcique magnésien, et chloruré sodique montrent que les eaux des grès crétacés inférieurs sont contrôlées par la dissolution du gypse et de l'halite.

Pour la nappe du Jurassique supérieur, les eaux sont douces avec une minéralisation de moins de 500mg/L. Le faciès prédominant est bicarbonaté magnésien, et peut s'expliquer par le lessivage du ciment calcaire au niveau des formations gréseuses.

Les deux techniques statistiques l'ACP et la CAH confirment les résultats obtenus par l'approche hydrochimique.

Ainsi l'étude hydrochimique et statistique, a mis en évidence des familles d'eau ayant une origine commune et une minéralisation bien distincte.

L'importance de la minéralisation des eaux de la région trouve en grande partie son explication dans la nature géologique des terrains, qui influe fortement sur la composition chimique des eaux. Les eaux moins minéralisées (inférieur à 700 mg/L) se trouvent au niveau des forages captant le membre supérieur de la formation de Tiout.

D'autres facteurs de moindre importance peuvent être avancés, notamment l'activité humaine pour les teneurs élevées en nitrates (anciennes décharges, pratiques agricoles...).

La superposition des différentes cartes, a permis l'établissement des supports notamment : la carte de potabilité, suivant les normes algériennes, tout en dégagant des zones susceptibles d'être exploitées pour l'alimentation en eau potable de la région et la carte des requêtes, en présentant une meilleure approche pour la sélection de futurs sites potentiels pour l'implantation d'éventuels forages.

Additivement à tous ce qui précède, et avec l'analyse des logs synthétiques des forages, le système aquifère le plus important de la région reste, en plus de l'aquifère Quaternaire, et celui du Jurassique supérieur, celui des grès crétacés inférieurs, formé par les grès massifs de la formation de Tiout, et dont son interprétation révèle 02 niveaux :

- Un niveau appartenant au membre supérieur d'une épaisseur moyenne de 150 m.
- Un niveau du membre médian et inférieur, d'une épaisseur moyenne de 500 m aux cœurs des synclinaux.

Le niveau le plus intéressant à exploiter pour l'alimentation en eau potable, tant qualitativement que quantitativement reste : « *le membre supérieur de la formation de Tiout* ».

Les autres peuvent être utilisés à des fins agricoles, ou même pour l'alimentation en eau potable après une opération de déminéralisation, qui va se solder par une augmentation du coût du m³.

Ainsi le S.I.G. élaboré pour la région d'Ain Sefra constitue un véritable outil d'aide à la prise de décision pour les gestionnaires des ressources en eau de la région.

Il permet la caractérisation spatiale de l'aptitude de la région à la recharge et l'identification des secteurs les plus favorables, valorisant ainsi les ressources en eau superficielles.

Les réponses aux requêtes fréquemment formulées par les différents utilisateurs de l'eau sont immédiates et peuvent être présentées sous forme graphique et/ou cartographique. La base de données pourra être actualisée et alimentée régulièrement avec de nouvelles informations recueillies dans l'avenir.

Ce S.I.G. permettra également de préparer la réalisation d'un modèle de gestion du système aquifère des grès crétacés inférieurs, en fournissant les données nécessaires, notamment celles relatives à la géométrie du réservoir, aux paramètres hydrodynamiques, à la piézométrie et aux données physico-chimiques.

**TABLEAUX
ET
ANNEXES**

Annexe 1 : Précipitations moyennes annuelles

<i>Année</i>	<i>Précipitations annuelles (mm)</i>	<i>Température moyenne annuelle °C</i>
1979/80	172,20	15,95
1980/81	156,80	15,81
1981/82	63,90	15,87
1982/83	218,40	16,45
1983/84	50,30	15,93
1984/85	81,50	16,58
1985/86	163,80	16,71
1986/87	147,30	17,15
1987/88	194,80	17,38
1988/89	147,60	17,25
1989/90	181,10	16,85
1990/91	329,50	17,98
1991/92	376,92	16,45
1992/93	151,60	15,03
1993/94	122,30	16,81
1994/95	106,40	17,07
1995/96	215,70	16,88
1996/97	183,20	17,48
1997/98	157,80	17,28
1998/99	87,30	18,03
1999/00	158,40	16,89
2000/01	39,90	17,41
2001/02	84,10	18,41
2002/03	125,90	17,43
2003/04	163,30	18,42
2004/05	212,70	18,27
2005/06	163,50	17,08
2006/07	212,90	17,64
2007/08	165,10	17,53
2008/09	375,93	18,49
2009/10	224,59	18,98
2010/11	207,52	20,14
2011/12	227,34	18,91
2012/13	298,25	19,02

Annexe 2: Les précipitations moyennes annuelles en terme croissant

R	$P(mm)$	$LogP$	\sqrt{P}	$Fi = \frac{R}{n+1}$	$Fi \%$
1	39,90	3,69	6,32	0,03	3,23
2	50,30	3,92	7,09	0,06	6,45
3	63,90	4,16	7,99	0,10	9,68
4	81,50	4,40	9,03	0,13	12,90
5	84,10	4,43	9,17	0,16	16,13
6	87,30	4,47	9,34	0,19	19,35
7	106,40	4,67	10,32	0,23	22,58
8	122,30	4,81	11,06	0,26	25,81
9	125,90	4,84	11,22	0,29	29,03
10	147,30	4,99	12,14	0,32	32,26
11	147,60	4,99	12,15	0,35	35,48
12	151,60	5,02	12,31	0,39	38,71
13	156,80	5,05	12,52	0,42	41,94
14	157,80	5,06	12,56	0,45	45,16
15	158,40	5,07	12,59	0,48	48,39
16	163,30	5,10	12,78	0,52	51,61
17	163,50	5,10	12,79	0,55	54,84
18	163,80	5,10	12,80	0,58	58,06
19	165,10	5,11	12,85	0,61	61,29
20	172,00	5,15	13,11	0,65	64,52
21	181,10	5,20	13,46	0,68	67,74
22	183,20	5,21	13,54	0,71	70,97
23	194,80	5,27	13,96	0,74	74,19
24	207,34	5,33	14,40	0,77	77,42
25	212,70	5,36	14,58	0,77	77,42
26	212,90	5,36	14,59	0,81	80,65
27	215,70	5,37	14,69	0,84	83,87
28	218,40	5,39	14,78	0,87	87,10
29	224,59	5,41	14,99	0,90	90,32
30	227,34	5,43	15,08	0,94	93,55
31	298,25	5,70	17,27	0,97	96,77
32	329,50	5,80	18,15	0,90	90,32
33	375,93	5,93	19,39	0,94	93,55
34	376,92	5,93	19,41	0,97	96,77

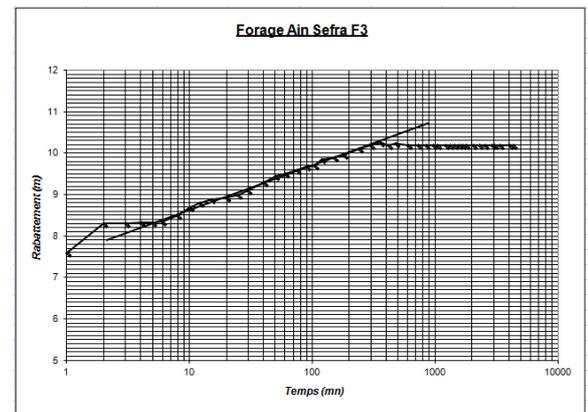
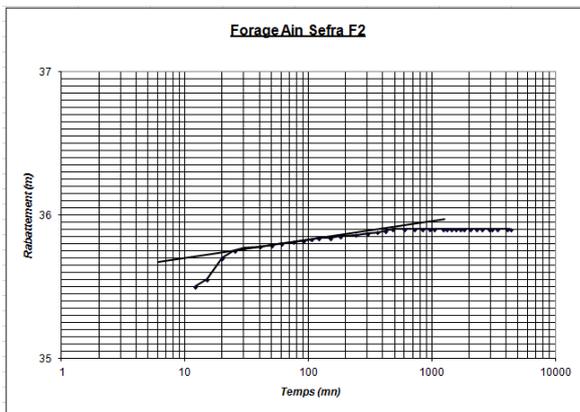
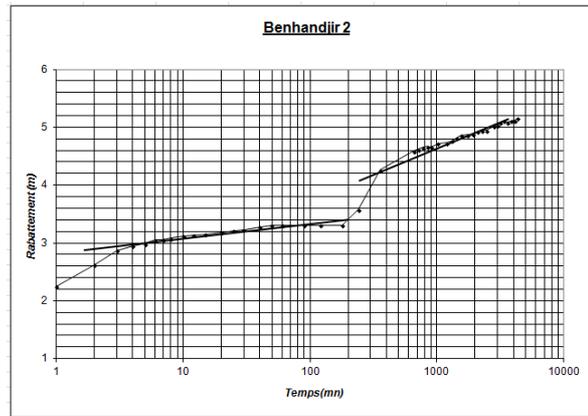
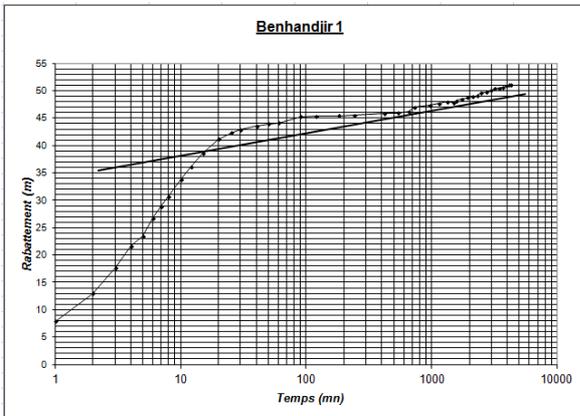
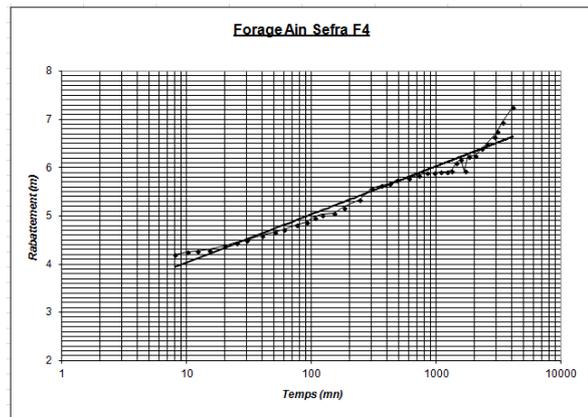
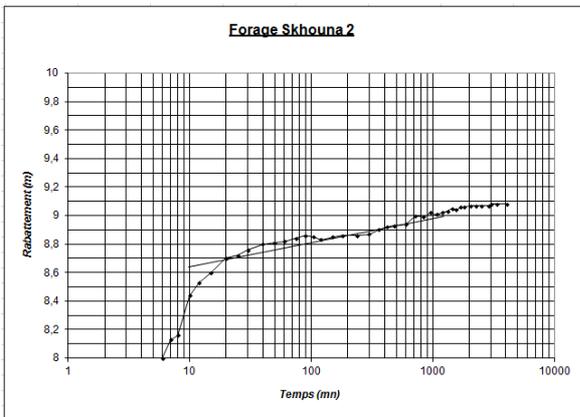
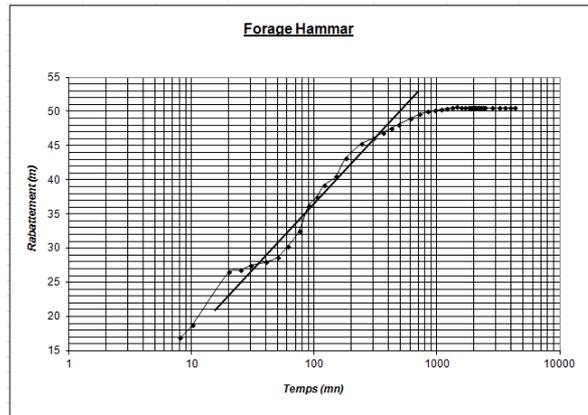
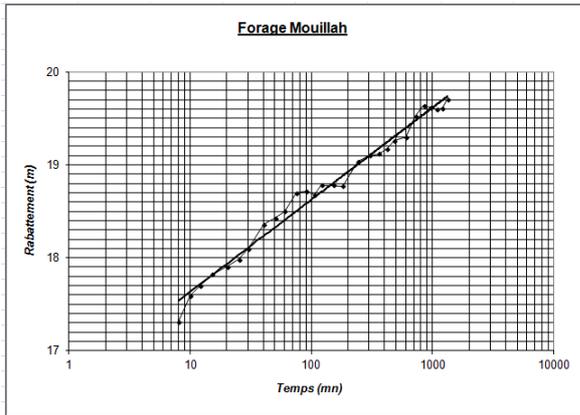
Annexe 3: Inventaire des points d'eau (Coordonnées UTM WGS84 Fuseau 30)

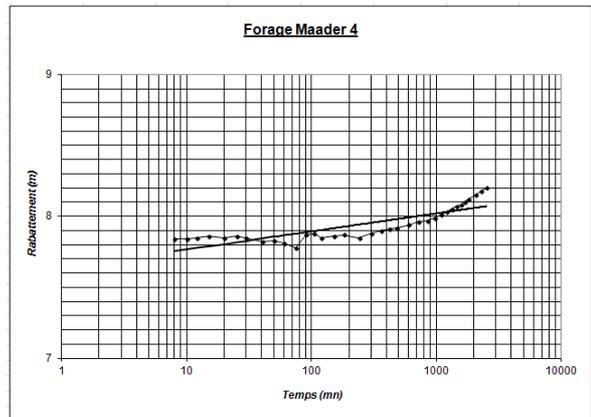
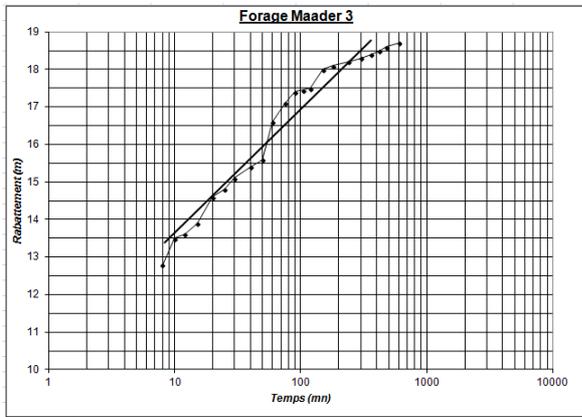
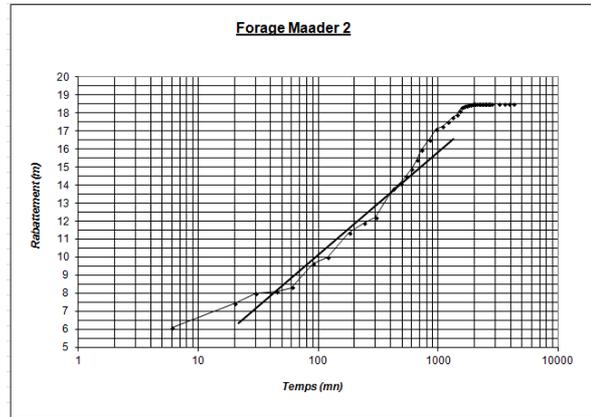
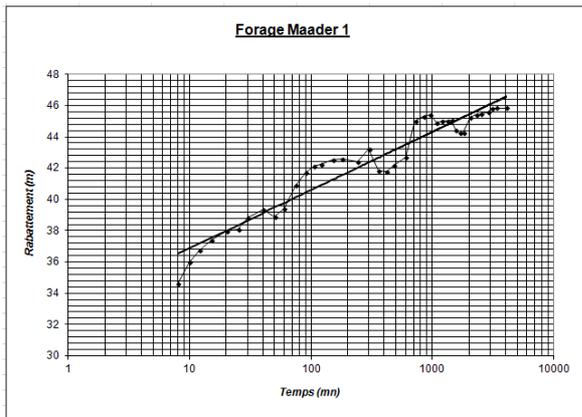
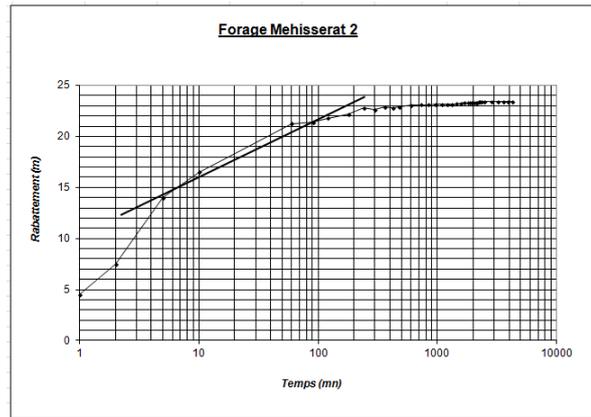
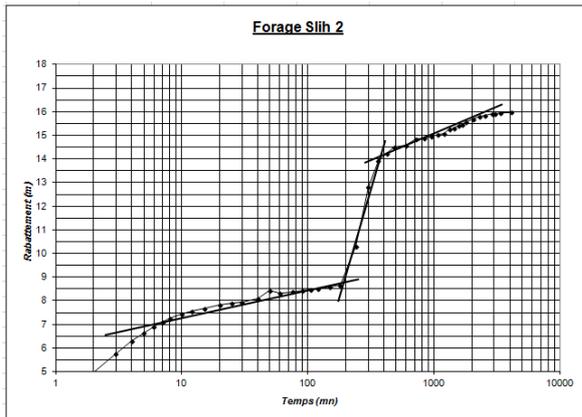
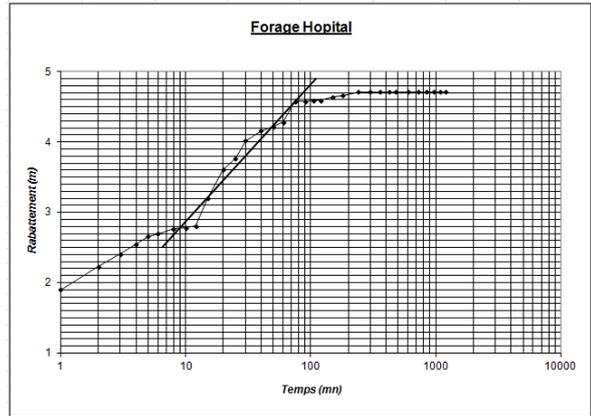
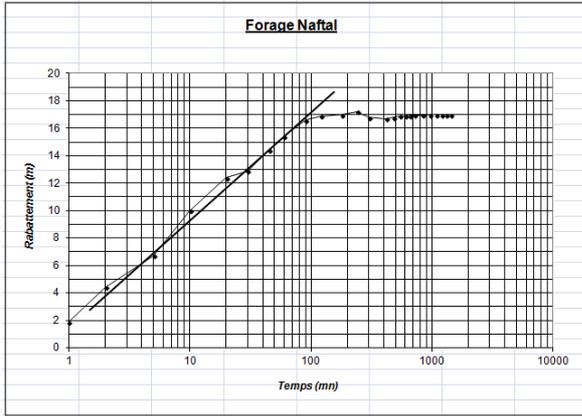
N°	Points d'eau	X(m) UTM	Y(m) UTM	Z(m)	NS(m)	Niveau piézométrique	Profondeur. (m)	Unité Hydrogéologique	Débit Q (l/s)	Ouvrage	Usage
1	F1	737577	3629575	1069	33,00	1036,00	200	Crétacé Inf.	15	Forage	Irrigation
2	F2	742223	3629312	1036	15,96	1020,04	75	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
3	F6	737055	3630404	1076	24,50	1051,50	70	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
4	F7	737601	3630467	1076	20,00	1056,00	70	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
5	F8	740492	3631660	1055	20,41	1034,59	75	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
6	F9	739452	3630310	1058	21,83	1036,17	80	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
7	F11	739192	3630290	1056	22,00	1034,00	85	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
8	F12	739357	3630027	1059	22,00	1037,00	65	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
9	F21	737138	3629902	1066	22,42	1043,58	70	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
10	F23	737604	3630276	1066	23,00	1043,00	65	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
11	S1	741944	3629795	1024	0,00	1024,00	0	Crétacé Inf.	3	Source	Irrigation
12	F17	721072	3622234	1118	18,32	1099,68	188	Crétacé Inf.	15	Forage	AEP
13	F24	721013	3622105	1113	13,30	1099,70	103	Crétacé Inf.	15	Forage	AEP
14	S2	721645	3622072	1099	0,00	1099,00	0	Crétacé Inf.	1	Source	Irrigation
15	F16	712219	3626542	1094	8,30	1085,70	150	Crétacé Inf.	20	Forage	AEP
16	F15	721249	3625661	1095	14,50	1080,50	220	Crétacé Inf.	6	Forage	Irrigation
17	F26	726777	3626986	1081	2,50	1078,50	500	Crétacé Inf.	20	Forage	Abandonné
18	F9	734758	3628666	1055	26,40	1028,60	200	Crétacé Inf.	82	Forage	AEP
19	F13	725292	3627675	1097	13,40	1083,60	100	Crétacé Inf.	10	Forage	Industrie
20	F14	725577	3626973	1096	9,20	1086,80	95	Crétacé Inf.	5	Forage	Abandonné
21	F27	726285	3626825	1079	2,50	1076,50	30	Crétacé Inf.	3	Forage	Abandonné
22	F28	733198	3627892	1050	19,50	1030,50	25	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
23	F19	717968	3628847	1174	40,70	1133,30	300	Crétacé Inf.	20	Forage	AEP
24	F20	716760	3627768	1188	53,80	1134,20	286	Crétacé Inf.	25	Forage	AEP
25	F8	742803	3629186	1033	36,00	997,00	150	Crétacé Inf.	19	Forage	Irrigation
26	F3	738947	3630908	1051	22,47	1028,53	200	Crétacé Inf.	15	Forage	Irrigation
27	F4	738066	3629548	1056	23,40	1032,60	250	Crétacé Inf.	18	Forage	AEP
28	F29	744298	3628816	1033	30,00	1003,00	150	Crétacé Inf.	2	Forage	Irrigation
29	S3	741870	3630123	1021	0,00	1021,00	0	Crétacé Inf.	5	Source	Irrigation
30	F18	723613	3625340	1104	29,80	1074,20	200	Crétacé Inf.	25	Forage	AEP
31	F5	742737	3632636	1050	20,90	1029,10	200	Crétacé Inf.	30	Forage	AEP
32	F30	740191	3632391	1058	21,45	1036,55	75	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
33	F31	738993	3627989	1047	17,40	1029,60	70	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
34	F32	731377	3629287	1076	12,50	1063,50	55	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
35	F33	716181	3629053	1183	36,00	1147,00	180	Crétacé Inf.	8	Forage	Abandonné
36	F22	732800	3627800	1048	23,00	1025,00	200	Crétacé Inf.	13	Forage	AEP
37	F10	734200	3628200	1052	27,00	1025,00	215	Crétacé Inf.	13	Forage	AEP
38	F34	719800	3632453	1150	10,50	1139,50	100	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
39	F35	718000	3629850	1171	24,50	1146,50	95	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
40	S4	718339	3619702	1107	0,00	1107,00	0	Crétacé Inf.	5	Source	Irrigation
41	F36	721755	3631221	1136	8,60	1127,40	75	Crétacé Inf.	5	Forage	AEP
42	S5	721667	3631135	1129	0,00	1129,00	0	Crétacé Inf.	2	Source	Irrigation
43	S6	718169	3634059	1190	0,00	1190,00	0	Crétacé Inf.	2	Source	Pastoralisme
44	F37	718864	3631356	1159	23,00	1136,00	75	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation

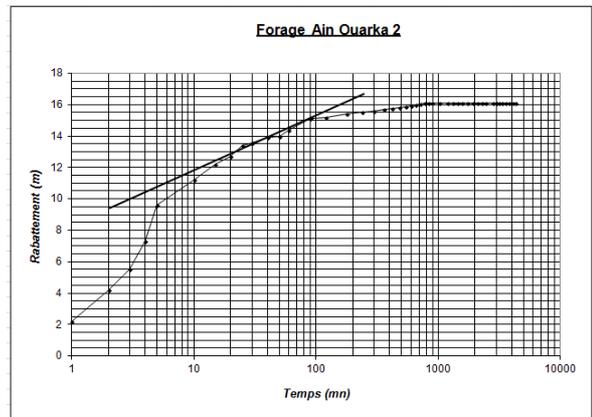
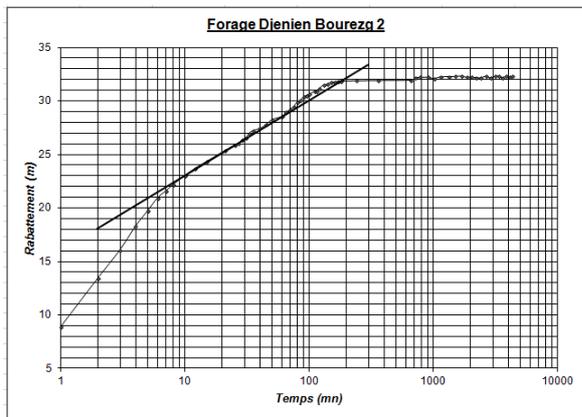
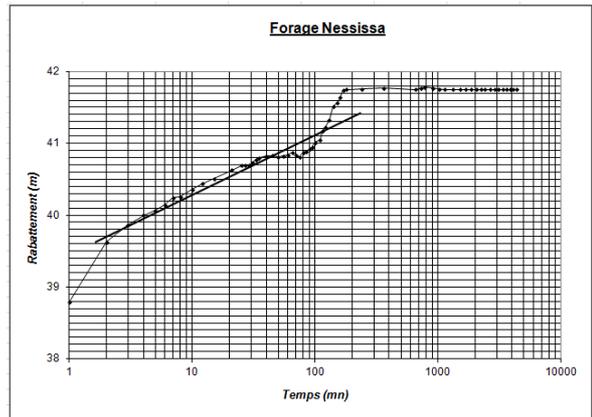
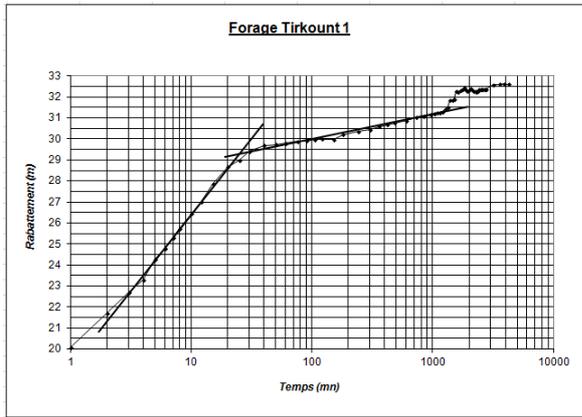
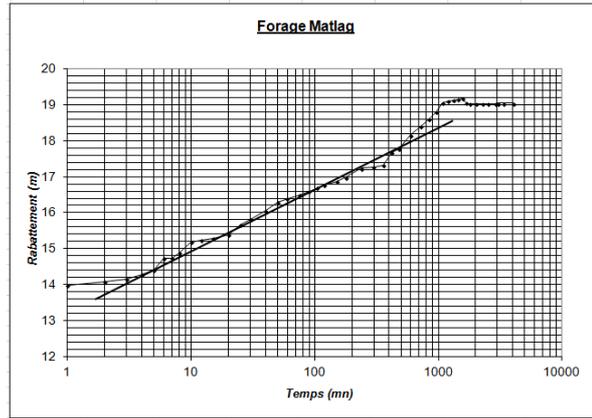
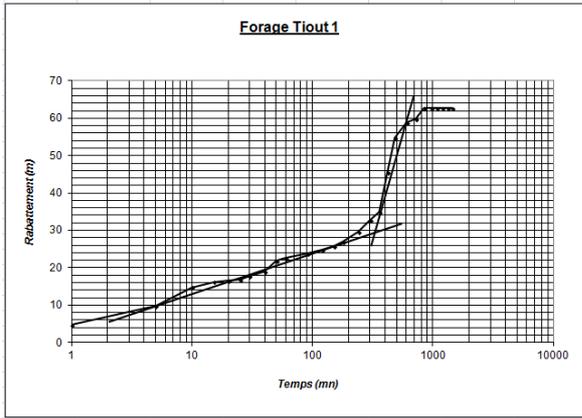
45	F38	716654	3620010	1143	10,80	1132,20	65	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
46	F39	717010	3620176	1141	9,10	1131,90	60	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
47	F40	721297	3623798	1119	16,00	1103,00	60	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
48	F41	721380	3624893	1104	20,00	1084,00	65	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
49	F42	727738	3627965	1082	2,50	1079,50	20	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
50	F43	738765	3628270	1047	17,75	1029,25	85	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
51	F44	737829	3630931	1066	20,35	1045,65	65	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
52	F45	738146	3631816	1072	19,70	1052,30	65	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
53	F46	756805	3638222	1100	40,00	1060,00	70	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
54	F47	739927	3634177	1060	16,10	1043,90	45	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
55	F48	750770	3631960	1100	50,00	1050,00	40	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
56	F49	741459	3628897	1030	23,40	1006,60	40	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
57	F50	713583	3617414	1115	11,15	1103,85	45	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
58	F51	710392	3617141	1130	13,20	1116,80	65	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
59	F52	709667	3619406	1150	7,00	1143,00	50	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
60	F53	710439	3619949	1150	9,00	1141,00	55	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
61	F54	711063	3619532	1148	14,80	1133,20	55	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
62	F55	711875	3620590	1159	32,00	1127,00	100	Crétacé Inf.	10	Forage	Irrigation
63	F56	712700	3626284	1250	33,80	1216,20	110	Crétacé Inf.,	3	Forage	Irrigation
64	F57	712741	3614463	1130	9,15	1120,85	55	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
65	F58	737585	3627228	1040	16,00	1024,00	45	Crétacé Inf.	3	Forage	Irrigation
66	F59	710394	3618944	1135	14,00	1121,00	200	Crétacé Inf.	15	Forage	Irrigation
67	F60	703332	3621126	1210	17,50	1192,50	200	Crétacé Inf.	5	Forage	AEP
68	F61	723830	3634277	1170	27,00	1143,00	150	Crétacé Inf.	8	Forage	AEP
69	F25	720925	3638648	1220	11,00	1209,00	500	Crétacé Inf.	7	Forage	Irrigation
70	F62	765567	3623222	1120	13,00	1107,00	250	Jurassique sup.	2	Forage	AEP
71	F63	757569	3624987	1072	24,00	1048,00	200	Crétacé Inf.	30	Forage	AEP
72	F64	699954	3622985	1240	8,00	1232,00	60	Crétacé Inf.	2	Forage	AEP
73	F65	700346	3621303	1200	5,00	1195,00	156	Crétacé Inf.	7	Forage	AEP
74	F66	700282	3624479	1260	22,00	1238,00	140	Jurassique sup.	15	Forage	AEP
75	F67	727386	3599986	960	60,00	900,00	225	Jurassique sup.	15	Forage	AEP
76	F68	737658	3597702	880	3,00	877,00	250	Jurassique sup.	15	Forage	AEP
77	F69	728901	3601011	955	39,90	915,10	150	Jurassique sup.	5	Forage	AEP
78	F70	735658	3592776	830	15,00	815,00	200	Crétacé Inf.	15	Forage	Irrigation
79	F71	736132	3602678	908	20,00	888,00	80	Jurassique sup.	6	Forage	AEP
80	F72	718831	3594554	998	22,00	976,00	75	Crétacé Inf.	15	Forage	Irrigation
81	F73	717051	3595960	999	13,00	986,00	160	Crétacé Inf.	14	Forage	Irrigation
82	F74	717094	3595161	997	17,00	980,00	200	Crétacé Inf.	20	Forage	Irrigation
83	F75	714567	3593722	998	13,00	985,00	120	Crétacé Inf.	50	Forage	Irrigation
84	F76	714187	3595204	999	15,00	984,00	110	Crétacé Inf.	60	Forage	Irrigation
85	F77	728439	3600285	948	6,00	942,00	65	Jurassique sup.	3	Forage	Irrigation
86	F78	729376	3581913	856	15,00	841,00	90	Jurassique sup.	5	Forage	Irrigation
87	F79	752338	3617988	980	13,50	966,50	100	Crétacé Inf.	15	Forage	AEP
88	F80	733757	3652856	1290	34,00	1256,00	200	Crétacé Inf.	5	Forage	AEP
89	F81	736748	3600435	910	12,00	898,00	135	Jurassique sup.	35	Forage	AEP
90	F82	747302	3614758	955	12,50	942,50	120	Crétacé Inf.	5	Forage	AEP

91	F84	726950	3600177	926	59,00	867,00	156	Jurassique sup.	15	Forage	Irrigation
92	F85	736067	3651278	1260	26,00	1234,00	136	Crétacé Inf.	3	Forage	AEP
93	F86	742258	3610010	910	19,00	891,00	110	Crétacé Inf.	3	Forage	AEP
94	F87	735184	3590612	822	5,00	817,00	150	Crétacé Inf.	10	Forage	Abandonné
95	F88	733454	3590008	820	5,00	815,00	150	Crétacé Inf.	10	Forage	Irrigation
96	F89	723628	3627598	1109	11,00	1098,00	100	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
97	F90	723648	3628009	1120	7,00	1113,00	100	Crétacé Inf.	5	Forage	Irrigation
98	F91	719648	3629773	1161	38,17	1122,83	50	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
99	F92	719853	3629646	1167	30,30	1136,70	70	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
100	F93	719499	3629591	1165	41,18	1123,82	65	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
101	F94	719421	3629452	1165	42,12	1122,88	65	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
102	F95	719067	3630555	1167	23,19	1143,81	80	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
103	F96	719795	3630239	1158	34,15	1123,85	65	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
104	F97	720617	3630733	1162	35,95	1126,05	70	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
105	F98	723253	3630919	1144	17,00	1127,00	80	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
106	S7	747626	3639310	1075	0,00	1075,00	0	Crétacé Inf.	2	Source	Irrigation
107	F99	748462	3630305	1080	5,50	1074,50	25	Crétacé Inf.	3	Puits	AEP
108	F100	768600	3647862	1087	21,00	1066,00	200	Crétacé Inf.	15	Forage	Irrigation
109	F101	767645	3646525	1084	18,60	1065,40	200	Crétacé Inf.	20	Forage	Irrigation
110	F102	766501	3650063	1084	39,50	1044,50	200	Crétacé Inf.	15	Forage	Irrigation
111	F103	768853	3651070	1077	42,50	1034,50	150	Crétacé Inf.	12	Forage	AEP
112	F104	767355	3650984	1085	35,00	1050,00	150	Crétacé Inf.	12	Forage	Irrigation
113	F105	766586	3646344	1084	24,30	1059,70	150	Crétacé Inf.	80	Forage	Irrigation
114	F106	763574	3646952	1108	44,20	1063,80	150	Crétacé Inf.	7	Forage	Irrigation
115	F107	767572	3651092	1084	55,00	1029,00	90	Crétacé Inf.	3	Forage	AEP
116	F108	768720	3647679	1085	22,70	1062,30	180	Crétacé Inf.	20	Forage	AEP
117	F109	773051	3648311	1069	5,00	1064,00	100	Crétacé Inf.	4	Forage	AEP
118	F110	767654	3647890	1080	18,00	1062,00	150	Crétacé Inf.	3	Forage	AEP
119	F111	763326	3641522	1123	71,00	1052,00	90	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
120	F112	745655	3596840	840	24,00	816,00	200	Crétacé Inf.	12	Forage	Irrigation
121	F113	729349	3580535	860	5,95	854,05	125	Jurassique sup.	18	Forage	AEP
122	F114	728818	3581355	856	15,00	841,00	95	Crétacé Inf.	4	Forage	Irrigation
123	F115	730153	3579718	855	1,50	853,50	10	Jurassique sup.	2	Forage	Irrigation
124	S8	730955	3579536	858	0,00	858,00	0	Crétacé Inf.	2	Source	Irrigation
125	F116	691307	3568937	1002	7,00	995,00	200	Jurassique sup.	4	Forage	AEP
126	S9	691408	3584875	1034	1,00	1033,00	0	Jurassique sup.	2	Source	AEP
127	F117	691376	3584996	1037	8,00	1029,00	200	Jurassique moy	2	Forage	Abandonné
128	F118	688228	3591122	1092	16,00	1076,00	320	Jurassique moy	5	Forage	AEP
129	F119	685539	3603555	1267	23,00	1244,00	200	Crétacé Inf.	25	Forage	AEP
130	F120	706707	3583658	1020	22,00	998,00	155	Crétacé Inf.	35	Forage	AEP
131	F121	702197	3581364	1000	8,00	992,00	150	Crétacé Inf.	10	Forage	Irrigation
132	F122	701614	3580812	1000	8,00	992,00	120	Crétacé Inf.	10	Forage	Irrigation
133	F123	695648	3573733	960	25,20	934,80	150	Jurassique sup.	7	Forage	AEP
134	F124	706306	3582659	1005	10,77	994,23	250	Crétacé Inf.	5	Forage	AEP
135	F125	707129	3582786	1010	11,60	998,40	200	Crétacé Inf.	25	Forage	AEP
136	F126	709156	3619537	1157	2,1	1154,9	121	Crétacé Inf.	35	Forage	AEP

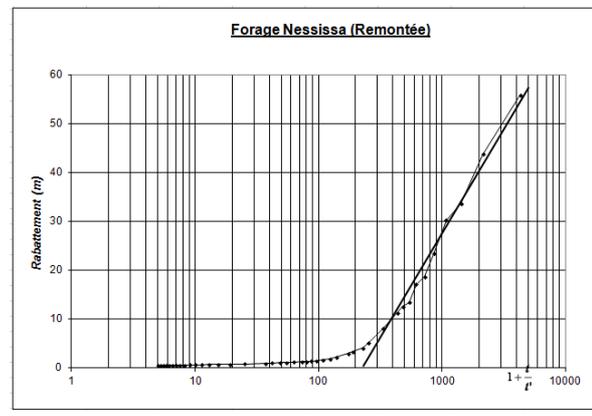
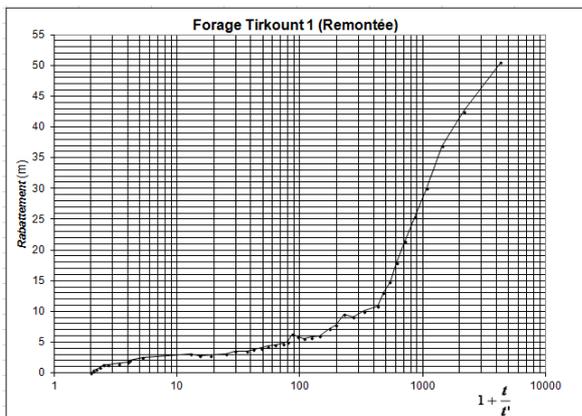
Annexe 4a : Courbes de descente des forages de la région d'étude







Annexe 4b : Courbes de remontée des forages Tirkout 1 et Nessissa



Annexe 5 : Valeurs des transmissivités

N°	Forage	Code	X (m) UTM	Y(m) UTM	ΔS (m)	Débit Q (l/s)	T (m ² /s)	T (m ² /j)
1	Maader 2	F3	738947	3630908	5,6	18	5,8.10 ⁻⁴	50
2	Maader 1	F1	737577	3629575	3,8	18	9,3.10 ⁻⁴	80
3	Mouillah	F16	712219	3626542	0,95	20	4,6.10 ⁻³	400
4	Maader 4	F5	742737	3632636	0,15	40	2,3.10 ⁻²	2000
5	Ain Sefra F4	F18	723613	3625340	1,1	30	6.10 ⁻³	520
6	Hammar	F15	721249	3625661	15	6	7.10 ⁻⁵	6
7	Naftal	F13	725292	3627675	1,9	10	9,3.10 ⁻⁴	80
8	Slih 1 (*)	F9	739452	3630310	0,4	80	3,5.10 ⁻²	3000
9	Tiout 2	F29	744298	3628816	12	2	3,5.10 ⁻⁵	2,5
10	Slih 2	F10	734200	3628200	1,25	13	1,9.10 ⁻³	165
11	Skhouna 2	F17	721072	3622234	0,2	20	1,4.10 ⁻²	1500
12	Matlag	F8	742803	3629186	5,5	19	6,3.10 ⁻⁴	54
13	Ain Ouarka 2	F63	757569	3624987	0,75	80	2,10 ⁻²	1600
14	Ain Sefra F2	F19	717968	3628847	0,4	22	10 ⁻²	870
15	Ain Sefra F3	F20	716760	3627768	0,4	25	1,1.10 ⁻²	900
16	Maader 3	F4	738066	3629548	2,7	15	2.10 ⁻³	170
17	Hopital	F14	725577	3626973	1,1	5	8.10 ⁻⁴	70
18	Tirkount 1	F25	720925	3638648	3,5	7	3,5.10 ⁻⁴	30
19	Mehisserat 2	F22	732800	3627800	4	13	6.10 ⁻⁴	50
20	Djenien Bourezg 2	F125	707129	3582786	7	25	6,5.10 ⁻⁴	56
21	Nessissa	F112	745655	3596840	0,8	12	2,7.10 ⁻³	235
22	Benhandjir 2	F55	711875	3620590	0,7	10	2,5.10 ⁻³	220
23	Benhandjir 1	F59	710394	3618944	3	14	8,5.10 ⁻⁴	74
24	Sfissifa 2 (*)	F65	700346	3621303	4	7	3.10 ⁻⁴	27
25	Sebai (*)	F70	735658	3592776	38	20	9.10 ⁻⁵	8
26	Remta 2 (**)	F101	767645	3646525	5,2	20	7.10 ⁻⁴	60
27	Remta 3 (**)	F102	766501	3650063	15	18	2.10 ⁻⁴	18
28	Remta 4 (**)	F103	768853	3651070	3	12	7,3.10 ⁻⁴	63
29	Remta 5 (**)	F104	767355	3650984	5,8	20	6,3.10 ⁻⁴	55
30	Remta 6 (**)	F105	766586	3646344	1,1	84	1,4.10 ⁻²	1200
31	Remta 7 (**)	F106	763574	3646952	14	6	8.10 ⁻⁵	7
32	Redjimmat 2 (**)	F108	768720	3647679	1,8	20	2,10 ⁻³	175

(*) : Source Direction des Ressources en Eau de la wilaya de Naama.

(**) : Derdour -2010-

Annexe 6 : Données des analyses physico-chimiques (Nappe Crétacé inférieur et Jurassique sup.)

N°	Code	X (m) UTM	Y (m) UTM	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	R.S (mg/l)	Conductivité mhos/cm	Minéralisation. (mg/l)	PH	Dureté °F	Facès chimique	Qualité
1	P1	738131	3629871	150	31	105	0	142	212	227	75	1036	1,6	1152	6,6	51	Sulfaté Calcique	Bonne
2	P4	738986	3630741	116	29	70	0	73	182	220	72	773	1,2	864	6,5	41	Sulfaté Calcique	Bonne
3	S1	741944	3629795	182	94	194	3	365	503	270	14	1663	2,4	1728	6,5	85	Sulfaté Calcique	Médiocre
4	F17	721072	3622234	90	76	109	6	184	250	227	22	880	1,0	720	8,5	54	Sulfaté Magnésien	Passable
5	F16	712219	3626542	168	83	230	11	390	523	228	23	1533	2,20	1584	7,6	77	Chloruré Sodique	Médiocre
6	F15	721249	3625661	172	97	250	9	422	470	240	17	1680	2,20	1584	8,5	83	Chloruré Sodique	Médiocre
7	F12	726777	3626986	832	560	1115	30	2477	2255	268	30	7540	6,0	4320	8,0	440	Sulfaté Sodique	Mauvaise
8	F9	734758	3628666	116	56	130	4	198	322	242	20	1000	1,10	792	8,4	52	Sulfaté Calcique	Passable
9	F13	725292	3627675	561	151	548	20	1160	1440	309	70	4960	4,40	3168	7,8	203	Chloruré Calcique	Mauvaise
10	F14	725577	3626973	303	194	771	20	1165	1440	260	87	4660	5,20	3744	7,5	156	Chloruré Sodique	Mauvaise
11	F27	726285	3626825	215	172	557	27	641	1475	73	77	3200	3,73	2686	7,5	125	Sulfaté Sodique	Mauvaise
12	F28	733198	3627892	76	48	78	9	123	211	187	19	680	0,80	576	8,4	39	Sulfaté Magnésien	Bonne
13	F19	717968	3628847	107	43	32	4	34	192	278	30	660	0,86	618	7,03	45	Bicarbonaté Calcique	Bonne
14	F20	716760	3627768	83	59	37	5	41	235	242	37	740	0,86	619	7,1	46	Sulfaté Magnésien	Bonne
15	F8	742803	3629186	401	92	557	10	855	1104	278	24	3460	4,80	3456	8,0	139	Chloruré Sodique	Mauvaise
16	F3	738947	3630908	112	46	60	4	102	211	231	53	720	0,90	648	7,8	47	Sulfaté Calcique	Bonne
17	F4	738066	3629548	108	51	138	7	197	302	175	22	1080	1,40	1008	8,4	48	Sulfaté Sodique	Passable
18	F29	744298	3628816	208	75	390	7	416	720	222	26	2200	2,70	1944	8,0	83	Sulfaté Sodique	Médiocre
19	S3	741870	3630123	108	47	78	5	129	178	230	27	680	1,0	720	8,0	47	Bicarbonaté Calcique	Bonne
20	S10	724744	3624028	146	71	138	9	170	413	257	14	1200	1,6	1152	7,9	66	Sulfaté Calcique	Passable
21	F18	723613	3625340	108	80	244	8	341	399	248	19	1500	1,75	1260	7,26	60	Chloruré Sodique	Passable
22	F33	716181	3629053	176	79	136	9	102	656	235	8	1500	1,62	1166	7,02	77	Sulfaté Calcique	Médiocre
23	F49	741900	3629100	166	73	143	15	228	499	310	19	1480	1,7	1224	8,1	72	Sulfaté Calcique	Médiocre
24	S11	721408	3621373	88	46	104	3	161	202	227	0	739	0,9	648	8,5	41	Chloruré Sodique	Passable
25	S12	742143	3627510	112	41	497	13	695	365	247	9	2080	2,5	1800	8,0	45	Chloruré Sodique	Mauvaise
26	F5	742737	3632636	91	29	53	4	81	148	196	42	660	0,78	567	7,29	35	Bicarbonaté Calcique	Bonne
27	F126	716400	3636550	495	117	435	25	369	2150	167	8	3500	3,3	2376	7,05	172	Sulfaté Calcique	Mauvaise
28	F61	723830	3634277	134	58	145	2	324	250	290	15	1280	1,7	1224	7,9	58	Chloruré Calcique	Passable
29	F100	768600	3647862	134	51	69	5	100	324	228	35	744	1,2	1020	8,3	55	Sulfaté Calcique	Passable
30	F101	767645	3646525	126	66	67	2	290	98	333	24	930	1,5	1060	8,0	59	Chloruré Calcique	Passable
31	F102	766501	3650063	130	94	81	5	116	398	280	50	744	1,2	1280	7,8	71	Sulfaté Magnésien	Passable

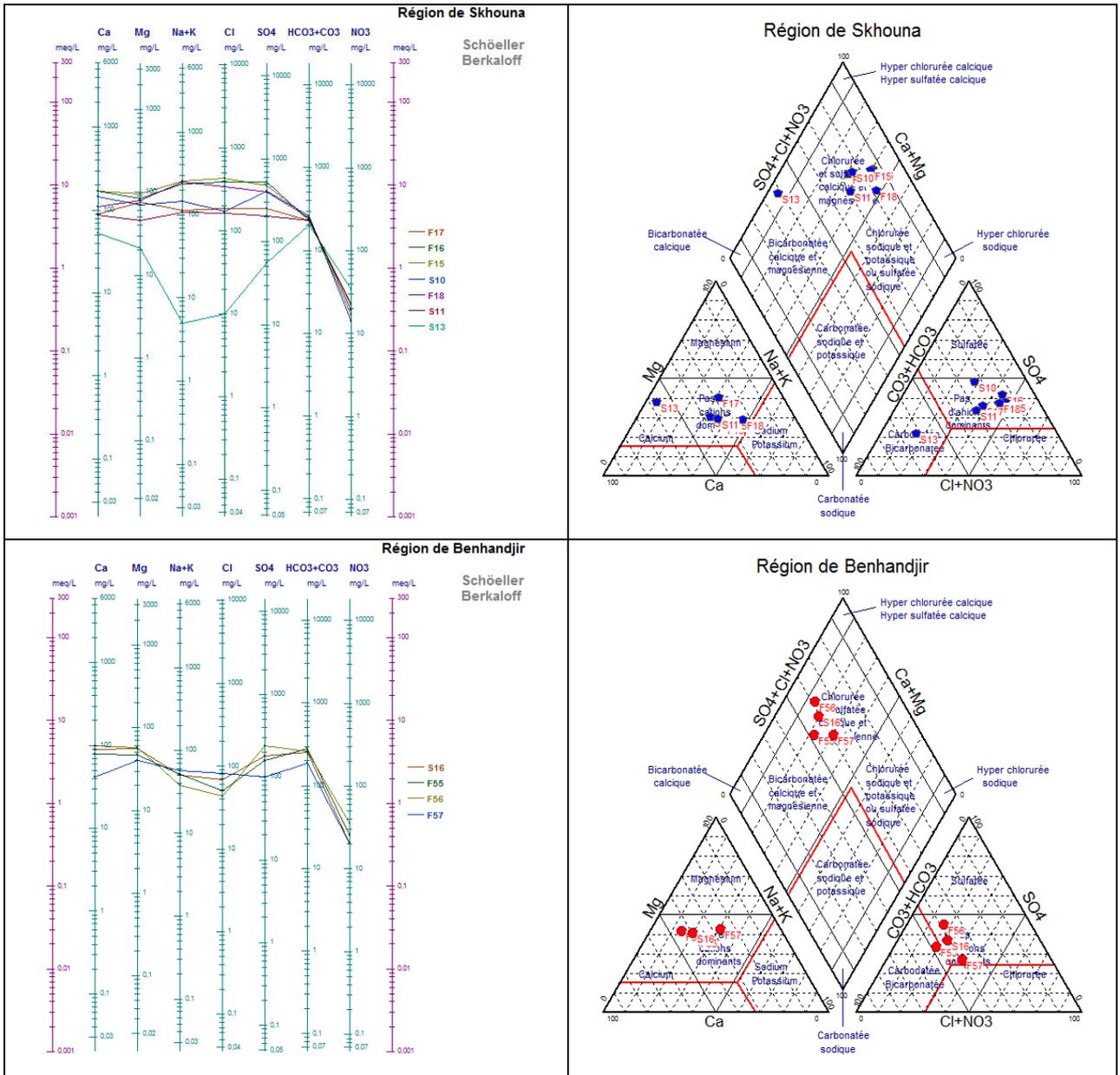
32	F103	768853	3651070	100	49	99	10	65	288	290	36	682	1,1	900	7,6	45	Sulfaté Calcique	Passable
33	F104	767355	3650984	285	88	113	9	94	1008	221	34	1178	1,9	2000	7,9	108	Sulfaté Calcique	Médiocre
34	F105	766586	3646344	104	25	39	3	61	106	219	57	496	0,8	680	7,5	36	Bicarbonaté Calcique	Bonne
35	F106	763574	3646952	224	107	173	6	277	816	193	30	1488	2,4	2000	8,0	100	Sulfaté Calcique	Passable
36	F108	768720	3647679	107	35	41	2	48	224	204	30	547	0,8	540	7,3	41	Bicarbonaté Calcique	Bonne
37	F111	763326	3641522	96	64	53	7	65	211	340	20	660	0,9	558	8,0	50	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
38	F112	745655	3596840	104	61	360	10	631	235	216	21	2100	2,1	1659	8,0	51	Chloruré Sodique	Médiocre
39	F113	729349	3580535	46	84	101	9	250	137	224	10	888	1,2	780	7,0	46	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
40	F114	728818	3581355	82	73	41	8	122	125	351	8	756	1,0	880	7,3	51	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
41	F115	730153	3579718	83	42	92	7	129	128	356	3	567	0,8	640	7,4	38	Bicarbonaté Calcique	Bonne
42	F116	691307	3568937	46	52	190	15	197	231	342	2	908	1,2	1000	6,6	33	Bicarbonatée Sodique	Passable
43	F119	685611	3603243	93	29	16	2	33	97	278	20	454	0,6	460	7,0	35	Bicarbonatée Calcique	Bonne
44	F120	706707	3583658	76	27	44	4	41	97	246	27	488	0,7	660	7,3	30	Bicarbonaté Calcique	Bonne
45	F123	695648	3573733	70	47	21	6	68	142	215	6	312	0,5	440	7,7	37	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
46	F36	721755	3631221	128	85	150	8	320	272	271	41	1268	1,7	1400	7,2	67	Chloruré Magnésien	Passable
47	F46	713583	3617414	269	48	87	9	312	280	149	90	1054	1,7	1560	8,2	87	Chloruré Calcique	Passable
48	F50	710800	3617136	80	24	9	5	27	58	237	27	310	0,5	440	8,2	30	Bicarbonaté Calcique	Bonne
49	F51	710392	3617141	110	76	51	9	75	317	279	20	880	1,0	945	8,4	59	Chloruré Sodique	Passable
50	F53	710439	3619949	56	49	21	5	31	139	298	8	480	0,6	372	7,9	34	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
51	F55	712694	3622850	80	47	50	2	51	158	282	25	496	0,8	640	7,8	39	Bicarbonaté Calcique	Bonne
52	F56	712700	3626284	100	57	32	6	44	240	263	35	700	0,9	558	8,0	49	Bicarbonaté Calcique	Bonne
53	F57	712741	3614463	42	40	51	6	82	101	188	20	480	0,6	372	8,4	27	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
54	F58	737585	3627228	192	97	184	12	392	566	226	35	1900	2,0	1240	8,2	88	Sulfaté Calcique	Médiocre
55	F59	710394	3618944	90	71	42	4	72	192	264	19	496	0,8	620	8,5	52	Bicarbonaté Calcique	Bonne
56	F60	703332	3621126	121	59	30	5	62	320	188	13	713	0,9	880	7,4	55	Sulfaté Calcique	Passable
57	F66	700282	3624479	52	32	21	2	61	38	189	14	310	0,5	360	8,3	26	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
58	F70	735659	3594776	192	105	633	23	1179	360	222	4	3472	5,5	3220	7,9	91	Chloruré Sodique	Mauvaise
59	F71	736132	3602678	200	66	159	6	595	174	188	1	1389	2,2	1460	7,4	77	Chloruré Calcique	Passable
60	F78	729376	3581913	147	87	161	13	350	278	300	4	1176	1,6	1240	7,4	73	Chloruré Calcique	Passable
61	F79	752338	3617988	117	40	71	9	136	156	203	97	689	0,9	860	7,5	46	Bicarbonaté Calcique	Bonne
62	F80	733757	3652856	41	39	83	10	96	127	212	2	570	0,8	660	7,2	26	Bicarbonaté Sodique	Bonne
63	F81	736748	3600435	89	21	28	5	57	103	207	17	466	0,7	500	7,1	31	Bicarbonaté Calcique	Bonne
64	F82	747302	3614758	205	58	159	8	239	564	179	19	1374	1,8	1420	7,7	75	Sulfaté Calcique	Passable
65	F63	757570	3624987	80	34	30	5	54	120	220	18	520	0,7	437	7,9	34	Bicarbonaté Calcique	Bonne

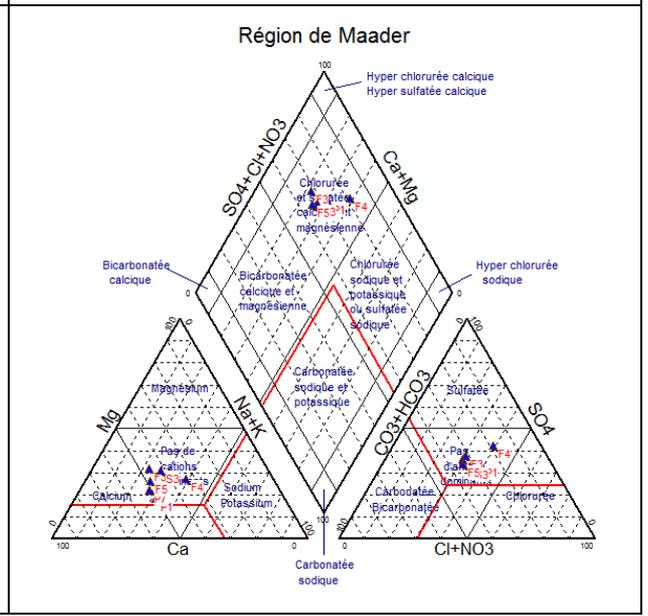
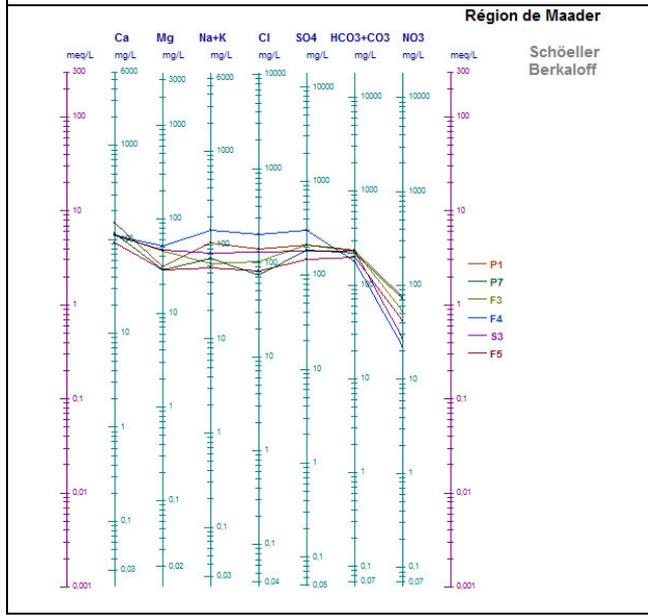
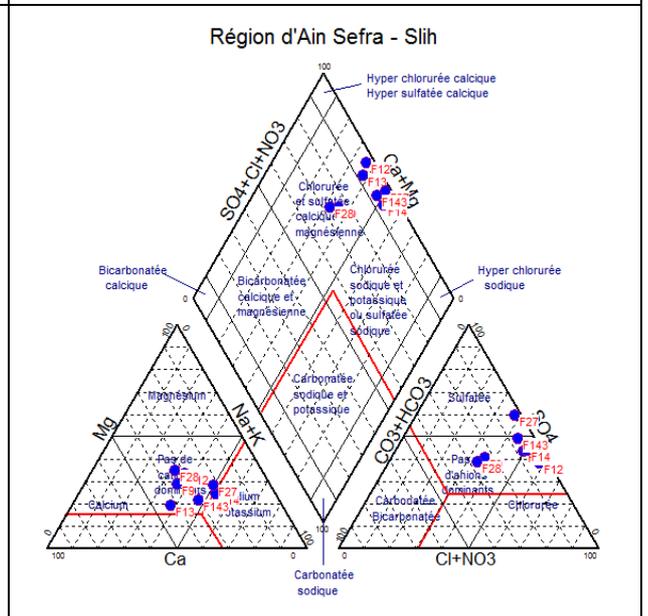
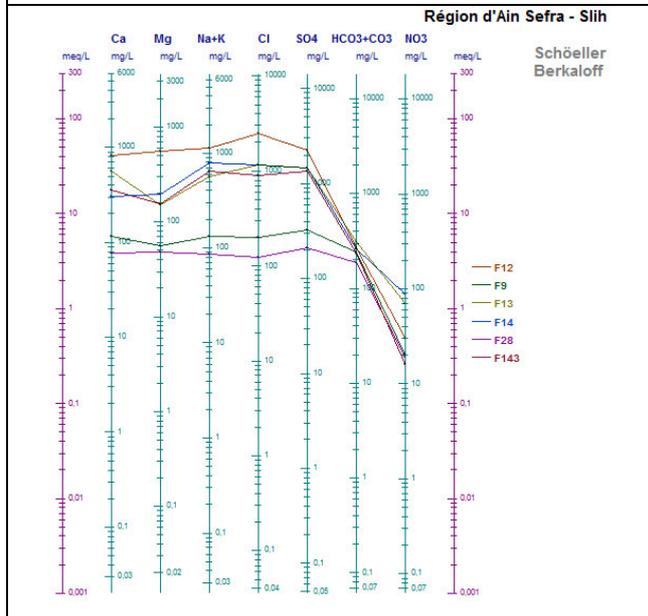
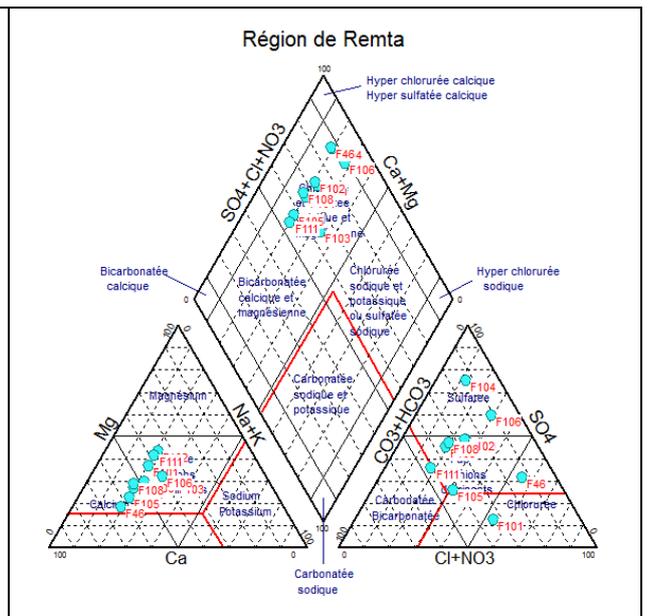
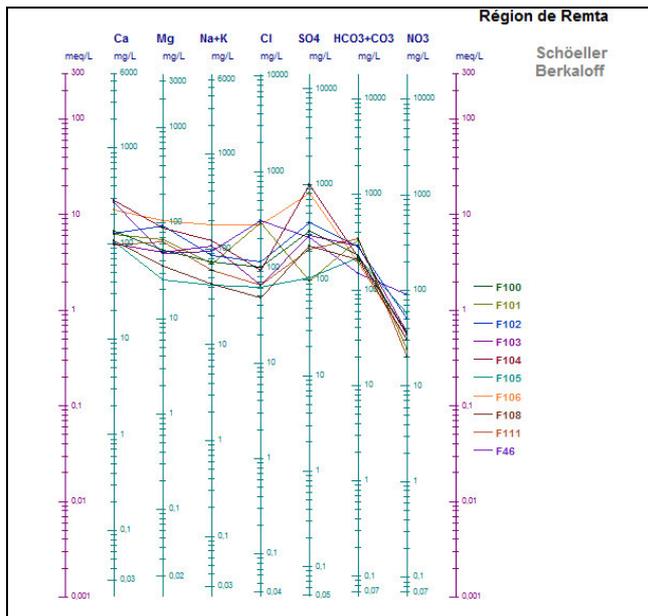
66	F84	726950	3600177	57	5	70	8	93	142	360	1	510	0,7	730	7,2	16	Bicarbonaté Calcique	Bonne
67	F85	736067	3651278	93	23	16	0	52	70	130	0	486	0,7	370	7,5	33	Bicarbonaté Calcique	Bonne
68	F99	748462	3630305	281	50	306	9	313	998	248	11	1426	2,3	2380	8,1	91	Sulfaté Calcique	Médiocre
69	F127	747054	3613793	125	37	58	5	114	156	254	25	577	0,9	720	7,3	47	Bicarbonaté Calcique	Bonne
70	F128	762813	3655742	369	119	285	11	195	1536	262	4	1612	2,6	2960	7,3	141	Sulfaté Calcique	Médiocre
71	F129	709667	3619406	128	87	71	6	136	307	262	25	806	1,3	1120	8,5	68	Sulfaté Magnésien	Passable
72	F131	713104	3622672	93	46	69	6	68	234	269	42	706	0,9	700	7,1	42	Bicarbonaté Calcique	Bonne
73	F132	773599	3660139	221	73	76	5	187	482	234	25	1097	1,8	1240	7,9	85	Sulfaté Calcique	Passable
74	F133	709974	3590820	126	19	34	7	102	138	141	8		0,8	621	7,8	39	Bicarbonaté Calcique	Bonne
75	F134	736132	3602678	250	70	106	7	506	154	273	11	1240	2,0	1400	7,3	91	Chloruré Calcique	Passable
76	F136	778430	3656092	216	107	317	10	715	379	241	35	1612	2,6	2220	8,2	98	Chloruré Sodique	Médiocre
77	F137	778764	3657313	264	89	145	7	199	930	232	13	1632	2,2	1800	7,4	103	Sulfaté Calcique	Passable
78	S14	778933	3654215	257	90	133	9	196	744	183	14	1054	1,7	1820	8,0	101	Sulfaté Calcique	Médiocre
79	F139	733757	3652856	132	61	35	6	54	322	233	30	748	1,0	900	7,6	58	Bicarbonaté Calcique	Bonne
80	F140	673613	3625784	94	54	41	6	116	124	333	9	662	0,9	680	7,6	46	Bicarbonaté Calcique	Bonne
81	F141	722564	3583106	262	69	607	21	1119	538	218	10	2492	4,0	2860	7,3	94	Chloruré Sodique	Mauvaise
82	F142	742521	3628980	301	160	175	12	272	1200	176	36	1612	2,6	2380	8,4	141	Sulfaté Calcique	Médiocre
83	F143	729478	3627592	358	155	626	14	906	1370	237	16	3458	4,6	4200	7,5	154	Sulfaté Sodique	Mauvaise
84	S16	714571	3622472	90	55	46	5	68	178	253	20	660	0,9	558	8,4	45	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
85	F144	704603	3613014	74	46	28	9	65	115	251	54	580	0,7	434	7,9	38	Bicarbonaté Magnésien	Bonne
86	F126	709156	3619537	45	26	28	3	40	60	223	34	390	0,6	388	7,35	22	Bicarbonaté Calcique	Bonne

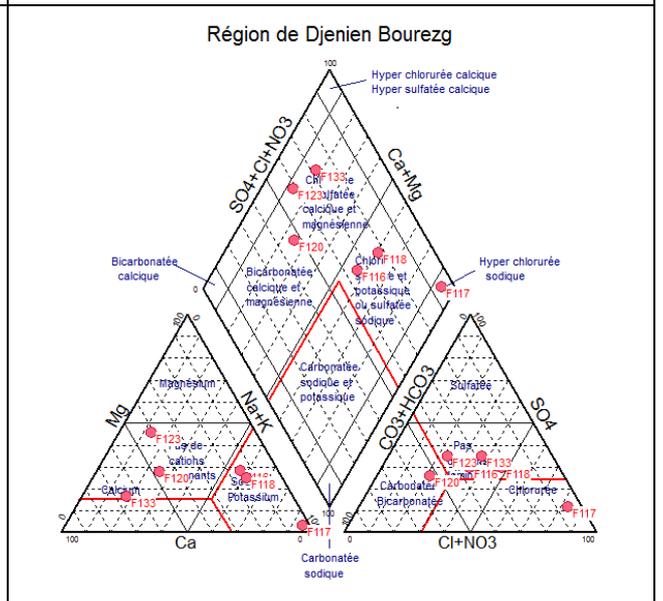
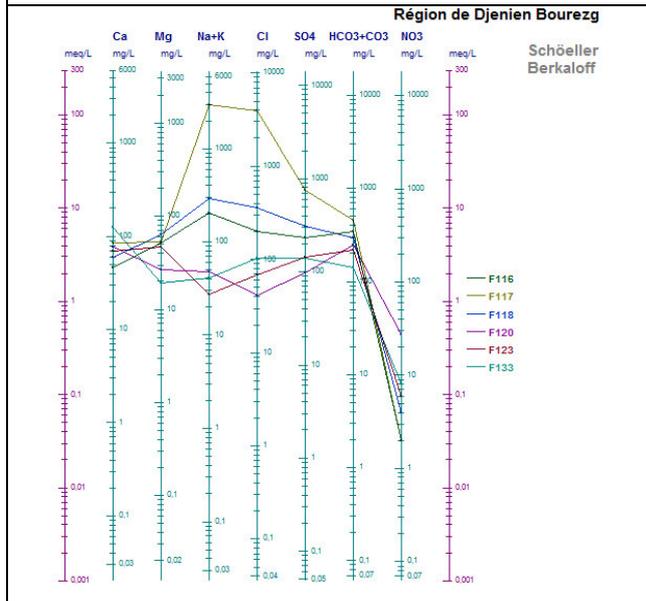
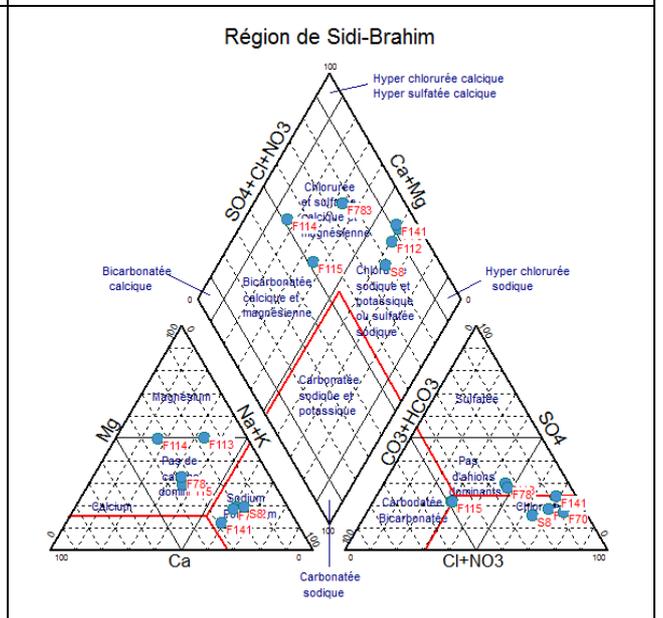
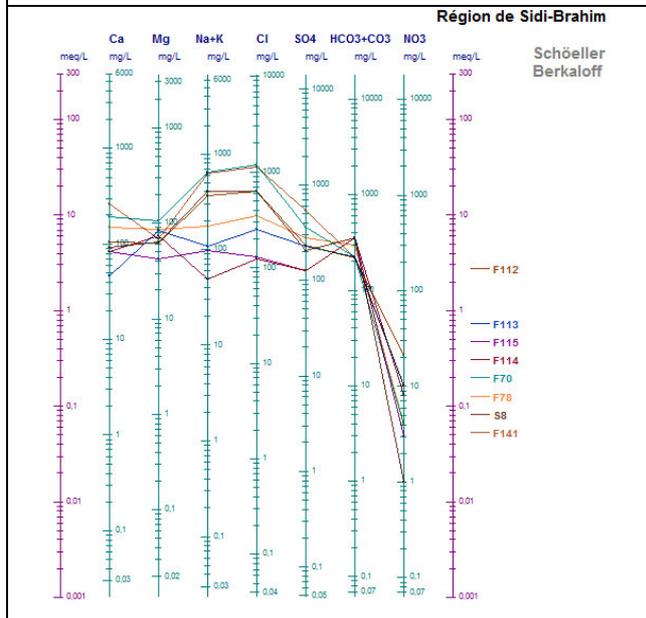
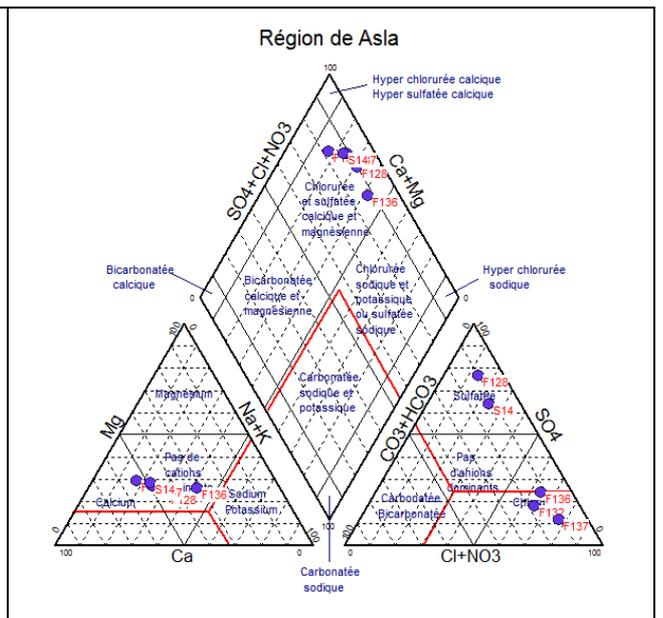
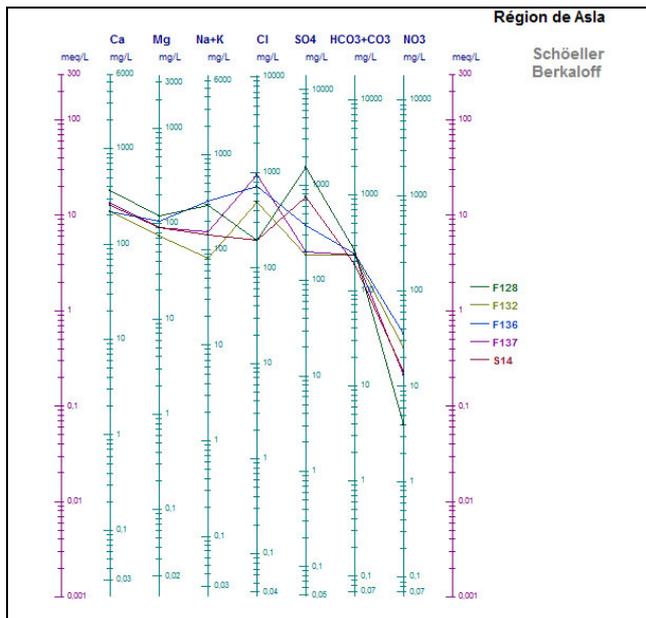
Annexe 7: Données des analyses physico-chimiques (Nappe alluvionnaire d'Ain Sefra)

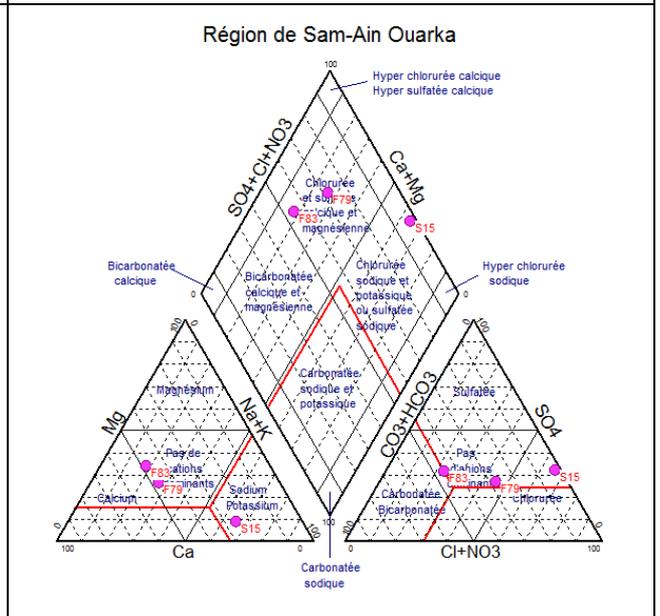
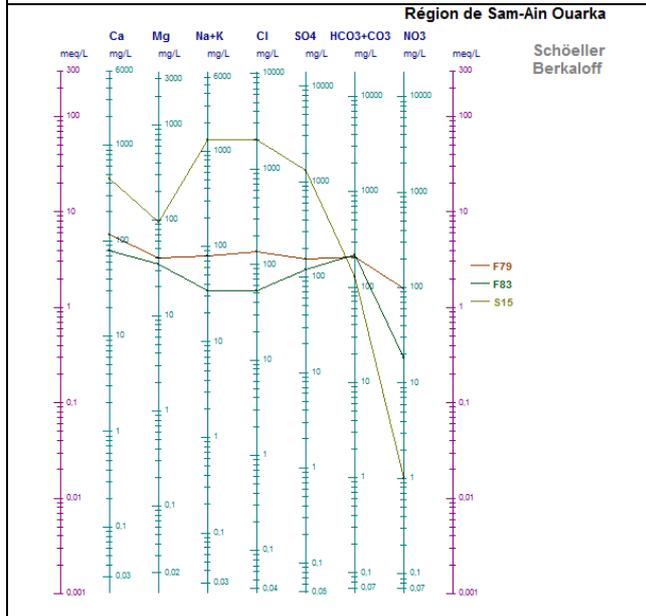
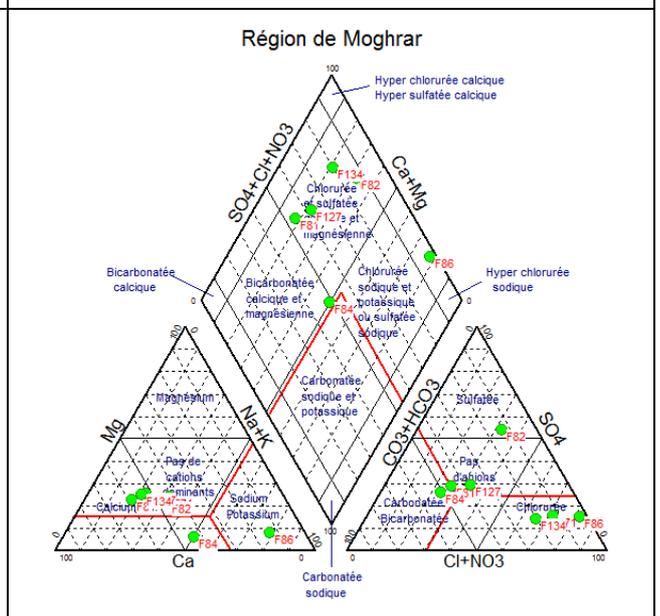
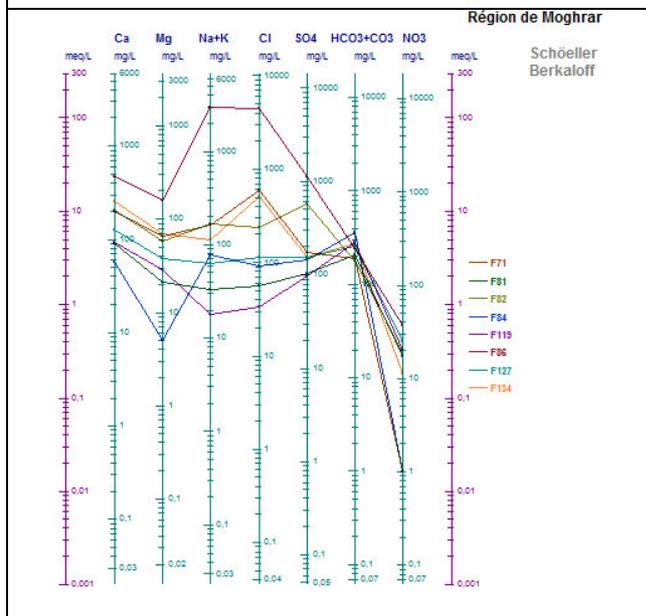
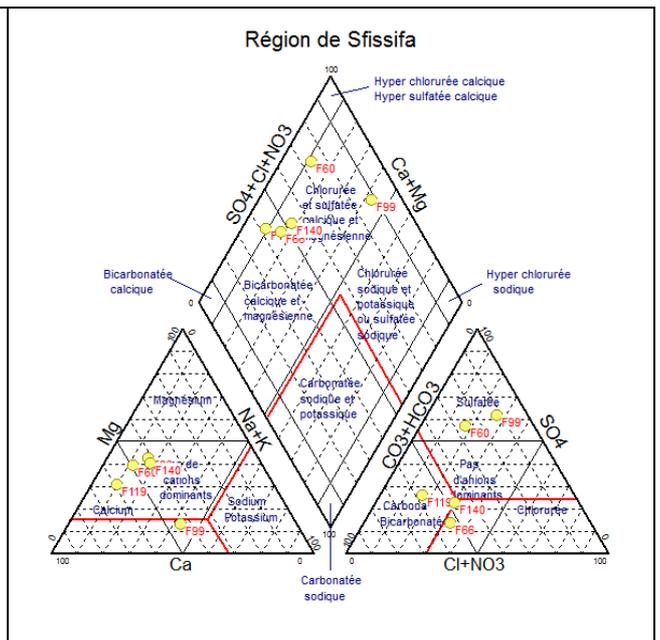
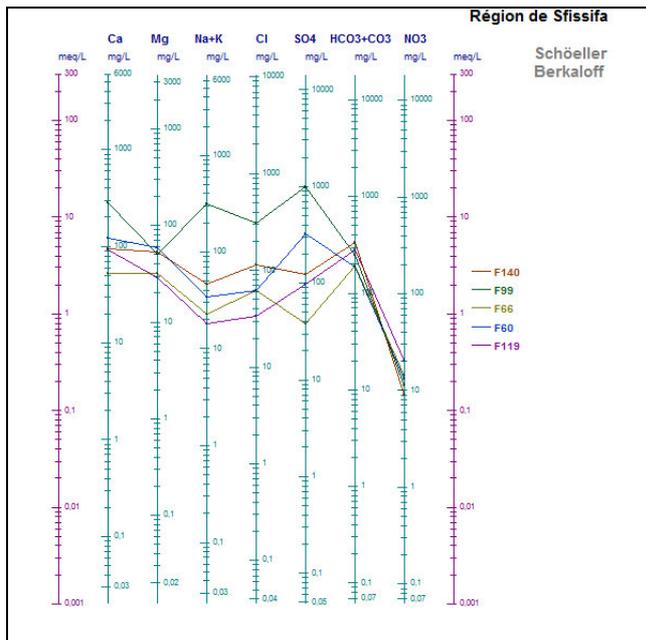
N°	Code	points d'eau	X (m) UTM	Y (m) UTM	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Conductivité mhos/cm	Minéralisation (mg/l)	PH	Dureté °F	Faciès chimique
1	1	1	725865	3625413	161	89	171	25	231	628	293	2,0	1525	6,7	77	Sulfaté Calcique
2	2	2	726004	3625218	88	28	27	4	53	137	256	0,6	442	6,6	34	Bicarbonaté Calcique
3	3	3	726657	3625124	115	25	15	23	36	150	275	0,6	451	6,8	39	Bicarbonaté Calcique
4	4	4	725926	3625510	445	273	445	48	745	1853	500	4,2	3178	6,2	225	Sulfaté Magnésien
5	5	5	726153	3625584	649	416	230	52	373	3239	49	4,7	3596	5,6	335	Sulfaté Magnésien
6	6	6	725879	3625095	127	54	41	19	107	232	293	0,9	679	6,5	54	Sulfaté Calcique

*Annexe 8 : Représentations graphiques des eaux sur les diagrammes
Schöeller et Berkloff et Piper*









Annexe 9 : Classe des observations (points d'eau)

Classe	1	2	3	4
Observations	P1	P4	F12	F13
	S1	F17		F14
	F16	F9		F27
	F15	F28		F8
	F4	F19		F126
	F29	F20		F70
	S10	F3		F141
	F18	S3		F143
	F33	S11		
	F49	F5		
	S12	F100		
	F61	F102		
	F101	F103		
	F104	F105		
	F106	F108		
	F112	F111		
	F36	F119		
	F46	F120		
	F58	F50		
	F71	F51		
	F78	F53		
	F82	F55		
	F99	F56		
	F128	F57		
	F132	F59		
	F134	F60		
	F136	F79		
	F137	F80		
	S14	F83		
	F142	F85		
		F127		
		F129		
		F131		
		F133		
		F139		
		S16		
		F144		
		F113		
		F114		
		F115		
		F116		
		F123		
	F66			
	F81			
	F84			
	F140			
	F126			

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **BANTON O. et BANGOY L. M. (1999) :** Hydrogéologie. Multiscience environnementale des eaux souterraines. *Presses de l'Université du Québec/ AUPELF*. 460 p.
- **BARBIER P. (2002):** MAPINFO V6.5 Volume 1 Fonctionnalités de base - *Ecole Nationale des Sciences Géographiques – Paris*- 60 p.
- **BASSOULET J.P. (1973):** Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas Saharien Occidental (Algérie) – *Thèse Fac Science PARIS VI*- 497 p., 50 fig., 32 Pl.
- **BELHADJ L. & ARDALLAH A. (2008):** Lithostratigraphie sédimentologie et structurologie de la région de Belefoufa (Ain Sefra) Atlas Saharien Occidental *Mémoire d'Ingéniorat- Université de Tlemcen*- 75 p., 27 fig., 3 Pl.
- **BELYSI V. (1971) :** Rapport préalable sur les résultats des prospections hydrogéologiques et géophysiques dans la région de Moghrar Tahtani -*Rapport inédit*-
- **BENHABI M. (1973):** Alimentation en eau potable- Description des travaux de géophysiques - Implantation d'un forage d'exploitation- *Rapport inédit*- (DEMRH).
- **BENKADDOUR Y. & AHMED RAHMANE R. (2012):** Contribution à l'étude hydrogéologique de la cuvette synclinale de Moghrar Tahtania (Atlas Saharien Occidental) *Mémoire d'Ingéniorat- Université d'Oran* - 78 p., 51 fig., 16 Tab.
- **BOUANANI A., RAHMANI A., BABA-HAMED K. & ABDELBAKI C. (2010):** Apport des SIG dans la caractérisation hydrochimique de la nappe d'Aïn Sefra (Atlas saharien occidental) -Algérie- *Integrated Water Resources Management And Challenges of the Sustainable Development Second International Conference Agadir, 24–26 March 2010* 77- 83
- **CASTANY G. (1982):** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. *Edition Dunod Paris* -238 p.
- **CHAIR A. (2008):** Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal d'El Maader. Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental- Algérie-) – *Mémoire d'Ingéniorat- Université de Tlemcen*. 91 p., 35 fig.,
- **COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE (CGG) (1974) :** Etudes géophysiques dans la région d'El Bayadh –Zone Mekalis –Tirkount-El Hendjir- *Rapport inédit*-

- **COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE (CGG) (1974)** : Etudes géophysiques dans la région d'El Bayadh –Zone de l'Oued El Rhouiba - *Rapport inédit*-
- **DERDOUR A. (2010)**: Modélisation hydrodynamique de la nappe des grès crétacé du synclinal de Remtha - Monts des Ksour- Atlas Saharien Occidental- (Algérie) *Mémoire Magister - Université de Tlemcen*. 100 p. 58 fig. 16 Tab.
- **DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU NAAMA** : Données des analyses physico-chimique et les essais de pompage des forages.
- **DOUIHASNI M. (1976)** : Etude géologique de la région d'Aïn Ouarka – Bousseghoun (Partie centrale des Monts des Ksour). Stratigraphie et Analyse structurale. Thèse 3ème cyc., Univ. Oran, 2t., 272p., 52fig., 4 pl. (inédit).
- **FILALI K. (2011)** : Etude hydrogéologique du synclinal de Naama (Monts de Ksour - Atlas Saharien Occidental-) *Mémoire Magister Université d'Oran*. 168 p., 89 Fig., 14 Tab.
- **GALMIER D. (1972)**: Photogéologie de la région d'Ain Sefra (Algérie). *Thèse Doctorat d'Etat*. Faculté Sc. Paris. 320 p., 9 cartes.
- **GRANDAROWSKI G. (1965)**: Etude hydrogéologique de la région d'Ain Sefra –*Rapport*-. (*Service Etude Scientifique*) – Oran –
- **GUNDUZ O. TURKMAN A. & ULAS D. (2006)** : Alternative formulations for the reuse of treated wastewater in Menemen Plain Irrigation scheme. In : *Integrated Urban Water Resources Management Book*, NATO, Springer.
- **KACEMI A. (2005)**: Cartographie et dynamique sédimentaire de la série fin Dogger début Crétacé (Djara-Rhoundjaia) des Monts des Ksour (Atlas Saharien -Algérie-) *Mémoire Magister Université d'Oran*.194 p., 47 Fig., 15 Pl.
- **KACEMI A. TALBI D. & BENSALAH M. (2013)** : Structure synsédimentaire transverse en compression au passage Lias-Dogger (secteur de Zerga-Monts des Ksour, Atlas Saharien, Algérie). *Bull. Serv. Géol. Nat. Vol. 24, n° 1, pp.27-39, 4 fig. 1pl.*

- **KACEMI A. (2013)** : Evolution lithostructurale des Monts des Ksour (Atlas Saharien Algérie) au cours du Trias et Jurassique: Géodynamique, Typologie du bassin et Télégession. *Thèse doctorat d'état, univ. Tlemcen.* 229p, 88 fig., 18 pl.
- **KRUSEMAN G.P. – DE RIDDER N.A. (1974)**: Interprétation et discussion des pompages d'essai - *Edition BULLETEIN 11f – Wageningen-* 213 p.
- **LAURINI R - MILLERET-RAFFORT F (1993)** : Les bases de données en géomatique - *Géomatique, ed. T.D.N. Technologies. Paris : Hermes* : 340 p.
- **LÉPINARD P. (2008)**: Les requêtes de sélection SQL et les SIG. 64 p.
- **LITIM N. (2013)**: Etude hydrogéologique du synclinal de Sidi Maamar (Sfissifa) Atlas Saharien Occidental *Mémoire d'Ingéniorat- Université de Tlemcen*, 64p, 27 fig., 20 Tab.
- **MANGIN A. (1974)** : Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Concepts méthodologiques adoptés. Systèmes karstiques étudiés. *Ann. Spéléol., pp. 294, 495, et 601.*
- **MANSOUR H. (2007)**: Hydrogéologie du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal en domaine aride. Exemple des Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental – Algérie) *Thèse Doctorat d'Etat Université d'Oran-407 p.*162 fig.8 Pl.
- **MANSOUR H., ISSAÂDI A., STAMBOUL M. & ZEROUAL I. (2008)**: Apport des systèmes d'information à l'établissement d'une cartographie hydrogéologique régionale (monts des ksour, atlas saharien occidental, Algérie)- *Bulletin du Service Géologique National Vol. 19, n° 1, pp.71-85, 7 fig. 2pl.*
- **MEKAHLI L. (1996)**: Hettangien, Bajocien supérieur des Monts des Ksour. Biostratigraphie, évolution paléontologique et stratigraphie séquentielle. *Thèse Doctorat d'Etat Université d'Oran.* 358 p., 67 fig., 49 Pl.
- **MOUDJIB ALRAHMAN M.H. (2010)** : L'aptitude des eaux de la région d'Ain Sefra à des fins d'irrigation. *Mémoire d'Ingéniorat- Université de Tlemcen*, 45p, 33 fig., 10 Tab.
- **MUDRY J. (1987)** : Apport du traçage physico-chimique naturel à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonates. *Doctorat d'Etat 381 p. Université de Besançon, France.*

- **PORNON H. (2011)** : S.I.G. La dimension géographique du système d'information. – *Edition Dunod Paris* –289p.
- **RAHMANI A. (1994)**: Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal « El Hendjir -Ain Sefra-Tiout » Monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental) Algérie *Mémoire d'Ingéniorat- Université d'Oran-* 100 p., 55 fig.
- **RAHMANI A. (1997)**: La source thermale de Ain Ouarka – *Rapport inédit* – *Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Naama.* 9p.
- **RAHMANI A. (2010)** : Apport des S.I.G. dans la caractérisation hydrodynamique et hydrochimique de la nappe du Crétacé inférieur de la région d'Ain Sefra (Atlas Saharien Occidental –Algérie-) *Mémoire Magister - Université de Tlemcen* – 120 p., 74 fig.19 tab.
- **RAHMANI A., BOUANANI A., KACEMI A. & BABA HAMED K. (2017)**: Contribution of G.I.S. for the survey and the management of water resources in the basin “Benhandjir – Tirkount” (Ain Sefra) – Mounts of Ksour - Saharian Atlas – Algeria. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 9(2), 829-846.
- **SAID H. (1983)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe de la dune d'Ain Sefra (Atlas Saharien Occidental) Algérie *Mémoire de DES - Université d'Oran-*
- **SELTZER P. (1946)** : Le climat de l'Algérie, *Institut de météorologie et physique du globe* –Alger- Algérie - 219 p.
- **SENINA A. & KACEMI M. (2014)**: Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique du synclinal “Garet Kheil-Tirkount” Monts des Ksour (Atlas Saharien Algérie. *Mémoire d'Ingéniorat- Université de Tlemcen* 134 p, 53 fig., 38 Tab.
- **SIMLER R. (2006)** : Logiciel d'hydrochimie. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon
- **YOUSFI S. (2014)** : Étude hydrodynamique et modélisation des écoulements souterrains dans les gouttières synclinales gréseuses du Barremo-Albo-Aptien d'Aïn Sefra (partie centrale des Monts des Ksour –Atlas Saharien, Nord-Ouest Algérie) -*Thèse Doctorat –Université d'Oran.* 100 p, 41 fig., 5 Tab.

ملخص:

تتميز منطقة عين صفراء موجودة بجنوب غربي جزائري بمناخها جاف متمثل بتبخر شديد مع متوسط سنوي سقوط الأمطار بـ 176 مم ودرجة حرارة $17,3^{\circ}\text{C}$. ترتبع المنطقة متمثلة في حوض مائي "واد ناموس" على مساحة تقدر بـ 5800 كم². بالإضافة إلى شبكتها هيدروغرافية هامة، مع وجود مسة أودية رئيسية، تتمتع منطقة بموارد مياه جوفية هامة من ثلاث طبقات: ارباعي (اطمي، وكثبان رملية)، حجر رملية، طباشيري سفلي وحجر رملية. إضافة إلى مياه صالحة للشرب تمثل زراعة نشاط الاجتماعي والاقتصادي الأول في المنطقة وأكبر مستهلك للموارد المائية، تم إنشاء العديد من الآبار مع طلب متزايد من سنة إلى أخرى. وأمام هذا الوضع مع احتمال الإستغلال المتزايد لمياه جوفية، أصبحت دراسة إمكانيات هذا مورد أساسية حمايتها وتسييرها.

الأمر يتطلب دراسة مفصلة عن معالم هيدروجيولوجية، وجودة فيزيائية وكيميائية لمياه، وجميع الأنشطة البشرية التي يمكن أن يكون لها تأثير نوعي وكمي. ويتم ذلك من خلال إنشاء وتوفير أدوات التسيير والتخطيط، وذلك باستخدام نظام معلومات جغرافية (S.I.G.). بالإضافة إلى تحليل ومساعدة في اتخاذ قرار، يساهم نظام معلومات جغرافية تطوير وتخطيط موارد المياه جوفية بعد جمع عدد مهم من البيانات المتعلقة بمعطيات هيدروجيولوجية مع إنشاء: خريطة الإمكانيات هيدروجيولوجية لحوض بالمعاجة رقمية لبيانات مكانية، خريطة هيدروجيولوجية لمنطقة، و خريطة للمناطق ذو نفاذية هامة بإمكانها تعبئة طبقة مائية سطحية ذو الإستغلال المفرط. تكون تعبئتها من خلال تطوير مناطق مستهدفة على شكل سدود صغيرة.

الكلمات الرئيسية: عين صفراء - نظام معلومات جغرافية (S.I.G.) - حجر رملية - طباشيري - موارد مائية - الإمكانيات هيدروجيولوجية - تسيير - تعبئة

RESUME

La région d'Ain Sefra, zone située au Sud Ouest Algérien, s'intègre dans les zones à climat aride avec une pluviométrie moyenne de 176 mm/an, une température annuelle de $17,3^{\circ}\text{C}$, ainsi qu'une évaporation intense. Avec ses sous-bassins versants (Beidj, Tirkount, Tiout, Moghrar), faisant partie du grand ensemble hydrologique de Oued Namous, ainsi que le bassin de Asla, elle couvre une superficie de 5800 km². Elle se distingue, en plus de son important réseau hydrographique, avec cinq grands oueds importants, par des ressources en eau souterraines, caractérisées par 03 systèmes aquifères : la nappe Quaternaire (les alluvions, la dune et les terrasses des grands oueds), la nappe des grès crétacés inférieurs et celle des grès jurassiques. En plus de l'alimentation en eau potable, l'agriculture représente la première activité socio-économique de la région et la plus consommatrice des ressources hydriques. De nombreux puits et forages ont été créés, et le nombre n'a cessé d'augmenter d'une année à l'autre avec une demande croissante pour la création de forages de moyenne profondeur. Face à cette situation, avec une probable surexploitation et pollution des nappes, notamment par les engrais chimiques, une étude des possibilités des systèmes aquifères s'impose.

L'objectif de l'étude vise, en plus de la connaissance du fonctionnement et des potentialités de ces aquifères, la gestion et la protection de cette ressource, qui nécessite une étude détaillée des différents éléments du bilan et des processus hydrogéologiques, leur distribution spatiale et temporelle, leur qualité physico-chimiques, ainsi que toutes les actions anthropiques qui peuvent avoir une influence qualitative et quantitative. Cette gestion se fait par la réalisation et la mise à disposition d'outils de gestion et de planification, en utilisant un Système d'Information Géographique (S.I.G.).

L'apport du SIG permettra, en plus d'analyser et d'aider à la décision pour l'aménagement et la planification des ressources en eaux souterraines, l'établissement, d'une carte du potentiel hydrogéologique du bassin à partir du traitement numérique des données spatiales, d'une cartographie hydrogéologique de la région et d'une carte d'identification des zones perméables favorisant l'infiltration et la recharge artificielle des nappes superficielles (alluvionnaires et des terrasses) surexploitées. La recharge peut se faire à travers l'aménagement des zones ciblées sous forme de retenues collinaires.

Mots clés : Ain Sefra- S.I.G. - Grès crétacés inférieurs - Ressources en eau - Potentiel hydrogéologique - Gestion - Recharge

ABSTRACT

The region of Ain Sefra is situated in the South West of Algeria, belongs into arid climate zones with an average rainfall of 176 mm / year, an annual average temperature of $17,3^{\circ}\text{C}$, and intense evaporation. With its sub-watersheds (Beidj, Tirkount, Tiout, Moghrar), part of the large hydrological system of wadi Namous, as well as the watershed of Asla, it covers an area of 5800 km². In addition to its important hydrographic network with five major wadis, the region of Ain Sefra is characterized by three aquifer systems of groundwater resources: the quaternary aquifer (the alluvium, the dune and the terraces of the great wadis), the aquifer of the lower cretaceous sandstones and that of the jurassic sandstones. Beside drinking water supply, the agriculture represents the most important socio-economic activity and the most consuming of water resources in the region. Numerous wells and boreholes have been created, and the number has grown steadily year over year with increasing demand for the creation of medium depth drilling. Face to this situation, with probable overexploitation and pollution of the aquifers particularly by chemical fertilizers, a study of the possibilities of the aquifer systems is necessary.

In addition to knowledge of the functioning and potential of these aquifers, the aim of the study is to manage and protect this resource, which requires a detailed study of the various elements of the balance sheet and hydrogeological processes, their spatial and temporal distribution, their physicochemical quality, as well as all the anthropic actions that can have a qualitative and quantitative influence. This management is carried out through the realization and provision of management and planning tools, using a Geographical Information System (GIS).

More than analyze and assist to decision-making in the management and planning of groundwater resources, The GIS will provide: a hydrogeological potential map of the basin from the digital processing of spatial data, a hydrogeological mapping of the region, and an identification card of the permeable zones favoring the infiltration and the artificial recharge of the superficial watertables overexploited (alluvial and terraces). The recharge can be achieved through the development of targeted areas in the form of water retentions dams.

Keywords: Ain Sefra - G.I.S. - Lower cretaceous sandstones - Water resources - Hydrogeological potential - Management - Recharge