

Mag - Belkaid / 01

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCCEN-

N° d'ordre : 15/DST/10



FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

LABORATOIRE RESSOURCES HYDRIQUES, MINIERES ET PEDOLOGIQUES :
CHOIX TECHNOLOGIQUE ET LEGISLATION DE L'ENVIRONNEMENT

MEMOIRE DE MAGISTER

Option

Ressources en Eau dans leur Environnement

Présenté par

Abderrahmane RAHMANI

APPORT DES S.I.G. DANS LA CARACTERISATION HYDRODYNAMIQUE
ET HYDROCHIMIQUE DE LA NAPPE DU CRETACE INFERIEUR
DE LA REGION D'AIN-SEFRA
(ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL -ALGERIE-)

Soutenu le 20.06.2010 devant les membres du jury :

Mr Abbas MAROK:	Maître de conférences A	Université de Tlemcen	Président
Mr Abderrazak BOUANANI :	Maître de conférences A	Université de Tlemcen	Encadreur
Mme Fouzia ADJIM:	Maître de conférences A	Université de Tlemcen	Examineur
Mr Hamidi MANSOUR :	Maître de conférences A	Université d'Oran	Examineur
Mme Cherifa ABDELBAKI :	Maître assistant Classe A	Université de Tlemcen	Invitée

DEDICACES

A

- *Mes parents*
- *Mon épouse*
- *Mes enfants « Soumia, Hadjer, Ghofrane »*
- *Mes frères et sœurs et leurs enfants.*
- *La famille KACEMI*
- *Larbi FIZAZI*

Enfin à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce mémoire.

Abderrahmane

AVANT PROPOS

Au terme de ce travail, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

*Je remercie particulièrement mon encadreur Mr **Abderrazak BOUANANI** Maître de conférences « Classe A » à l'Université de Tlemcen, qui m'a fait profiter de ses connaissances, ainsi que tous les conseils et l'aide précieux qu'il m'a transmis.*

Mes remerciements vont également à tous les membres du jury, pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce mémoire.

*Je remercie, Mr **Abbas MAROK**, Maître de conférences « Classe A » à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté de juger ce travail et me faire l'honneur de présider le jury, je lui en suis très reconnaissant.*

*J'adresse mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance à Mme **Fouzia ADJIM** Maître de conférences « Classe A » à l'Université de Tlemcen d'avoir accepté de juger ce travail et de faire partie du jury.*

*Mes vifs remerciements vont également à Mr **Hamidi MANSOUR**, Maître de conférences « Classe A » à l'Université d'Oran pour avoir accepté d'examiner mon travail et de s'être déplacé pour faire partie du jury.*

*Mes sincères remerciements à Mme **Cherifa ABDELBAKI** Maître assistant Classe A à l'Université de Tlemcen de m'avoir prêté aide et conseils.*

*Par ailleurs, il m'est agréable de présenter remerciements et ma profonde reconnaissance à Mr **Ali KACEMI** Maître assistant 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.*

Je remercie l'ensemble du personnel de la Direction de l'Hydraulique de la wilaya de Naama, et à leur tête Monsieur le directeur pour les services qu'ils m'ont rendus.

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ملخص:

إن الدراسة خصت طبقة المياه الجوفية المتكونة من الحجر الرملي المنتمي إلى العصر الطباشري السفلي، والتي تعد المورد الرئيسي للمياه الصالحة للشرب والسقي الفلاحي بمنطقة العين الصفراء. تدفق مياه الآبار ذات العمق بين 150 و 250 م، يتراوح بين 05 و 85 ل/ث.

التحليل الفيزيوكيماوية لمياه الآبار سمحت تحديد سحن كيماوية متفرقة، وتمعدن بين 500 و 3500 مغ/ل. صلاحية المياه الصالحة للشرب طبق المقاييس الجزائرية (NA 6360-1992) المعمول بها، فإنها تختلف من نوعية جيدة إلى سيئة.

مساهمة نظام المعلومات الجغرافية (G.I.S) سمح:

- معرفة النظام الكلي للمياه الجوفية بالمنطقة خاصة، المكونات الجيولوجية للطبقة المسماة تيوب و تيلولة، والنشاط التكتوني خاصة صدع "رأس الطويل العين الصفراء" الذي له دور كبير في النشاط الهدروديناميكي والهدروكيماوي لمياه المنطقة.
- تحديد الطبقات المائية الموجودة المسماة تيوب (العليا، المتوسطة و السفلى) وتيلولة (العليا) مع استخراج خريطة هيدروجيولوجية و أخرى لصلاحية مياه الشرب، مع تعيين مناطق مواتية لحفر الآبار مستقبلا.

الكلمات المفتاحية: الحجر الرملي - العصر الطباشري السفلي- صدع "رأس الطويل العين الصفراء" - نظام المعلومات الجغرافية (G.I.S) - الهدروديناميكي - الهدروكيماوي

RESUME

L'étude a porté sur la reconnaissance des eaux souterraines de la nappe des grés du Crétacé inférieur, principale ressource de l'alimentation en eau potable et l'irrigation de la région d'Ain Sefra. Les débits des forages d'une profondeur allant de 150 m à 250 m, varie entre 05 l/s et 85 l/s.

Des analyses physico-chimiques effectuées à travers les forages, puits et sources captant les grés du Crétacé inférieur de la région, ont permis d'identifier des faciès chimiques variés avec des minéralisations se situant entre 500 mg/l et 3500 mg/l. La potabilité des eaux de consommation suivant les normes algériennes fixées par la Norme NA 6360-1992 varie d'une eau de très bonne qualité à mauvaise.

L'apport des systèmes d'information géographiques (S.I.G.) a permis :

- La connaissance du système aquifère tout en spécifiant la thématique sur, la lithostratigraphie (les formations de Tiout et Tiloula), la tectonique, notamment l'accident « *Ras Touil-Ain Sefra* », qui joue un rôle important dans le chimisme des eaux de la région, l'hydrodynamique, et l'hydrochimie.
- La délimitation des différentes nappes, à savoir celles de la formation de Tiout (membre supérieur, médian et inférieur) et de Tiloula (membre supérieur) tout en faisant ressortir une carte, hydrogéologique, de potabilité de la région, et celle des zones favorables à l'implantation de forages.

Mots clés : Grés - Crétacé Inférieur - Accident « *Ras Touil-Ain Sefra* » - Système d'Information Géographique (S.I.G.) - Hydrodynamique - Hydrochimie.

ABSTRACT

The project was about the recognition of the underground waters of the sheet of the sandstone of the Cretaceous lower main resource of the drinkable water supply and the irrigation of the region of Ain Sefra. Flows of the drillings of a depth going of 150 m to 250 m vary between 05 l/s and 85 l/s.

Physico-chemical analyses made through the wells and the getting the sandstone of the lower Cretaceous of the region, allowed to identify chemical facies varied with mineralization being situated between 500 mg / l and 3500 mg / l. The potability of water following the Algerian standards fixed by the Standard NA 6360-1992 varies of a water of very good quality in bad.

The contribution of the geographical information systems (G.I.S.) allowed:

- The knowledge of aquifer system while specifying the theme on, lithology of the geological formations (Tiout and Tiloula), the tectonic, in particular the fault " *Ras Touil-Ain Sefra* ", the hydrodynamics , and the hydrochemistry. .
- Delimitation the different sheet, to know those of the formation of Tiout (superior, median and lower member) and of Tiloula (superior member), all while doing to take out again a hydrogéological and potability map, of the region, and the favourable zones to the site of wells.

Key words: Sandstone - Cretaceous Lower - Fault « *Ras Touil-Ain Sefra* » - Geographical Information Systems (G.I.S.) - Hydrodynamic - hydrochemistry.

SOMMAIRE

	Page
RESUME	3
SOMMAIRE	5
CONTEXTE GENERAL	
I) Introduction.....	10
II) Présentation de la zone d'étude.....	12
- Situation géographique du secteur d'étude.....	12
CHAPITRE I) CLIMATOLOGIE	
I) INTRODUCTION.....	15
II) ETUDE DES PRECIPITATIONS.....	15
II-1) Répartition des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (période 1979-2008).....	15
II-2) Précipitations mensuelles.....	16
II-3) Analyse statistique des précipitations.....	17
II-3-1) Ajustement des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (1979-2008).....	17
II-3-2) Ajustements graphiques.....	17
II-3-3) Test du χ^2 de PEARSON.....	20
II-3-4) Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée.....	20
III) ETUDE DES TEMPERATURES.....	22
III -1) les moyennes mensuelles	22
IV) ETUDE DU CLIMAT.....	23
IV-1) Courbe pluviothermique (P = 2T).....	23

IV-2) Courbe ombrothermique (Méthode d'EUVERTE).....	23
IV-3) Le rapport entre précipitations et températures.....	24
IV-4) Les indices climatiques.....	25
V) EVAPORATION ET DEFICIT D'ÉCOULEMENT.....	28
V-1) Méthode de WUNDT.....	28
V-2) Méthode de TURC.....	29
V-3) Méthode de VERDEIL.....	29
VI) CONCLUSION.....	30
 CHAPITRE II) GEOLOGIE	
I) CADRE GEOLOGIQUE.....	32
II) STRATIGRAPHIE.....	37
II-1) Le Trias.....	37
II-2) Le Jurassique.....	37
II-3) Jurassique supérieur – Crétacé inférieur.....	37
II-4) Le Cénomano-Turonien.....	38
II-5) Le Tertiaire Continental.....	38
II-6) Les formations Quaternaires.....	39
III) TECTONIQUE.....	41
 CHAPITRE III) HYDROGEOLOGIE	
I) GEOPHYSIQUE.....	44
II) CADRE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION.....	46
III) HYDRODYNAMIQUE.....	51
III-1) La Piézométrie.....	51
III-2) La Transmissivité.....	55

CHAPITRE IV) HYDROCHIMIE

I) INTRODUCTION.....	67
II) LA MINERALISATION.....	67
III) LA DURETE.....	69
IV) LE PH.....	69
V) LES CARTES D'ISOTENEURS EN Na^{++} , Cl^{-} ET SO_4^{-}	69
VI) LES FACIES CHIMIQUES.....	72

CHAPITRE V) APPORT DES SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES

I) DEFINITION D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG).....	78
II) FONCTIONNALITES D'UN SIG.....	78
III) LOGICIEL UTILISE.....	78
IV) METHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	80
IV-1) Collecte de données.....	80
IV-2) La Géodatabase.....	80
IV-3) Le géoréférencement et la numérisation des cartes.....	81
V) ELABORATION DES RESULTATS.....	83
V-1) Topographie et réseau hydrographique.....	83
V-2) Elaboration d'un modèle géologique de terrain.....	86
V-3) Carte piezometrique MNT.....	87
VI) ANALYSES THEMATIQUES ET REQUETES.....	90
VI-1) Analyses thématiques.....	90
VI-1-1) Le débit.....	90
VI-1-2) La transmissivité.....	92

VI-1-3) La minéralisation.....	93
VI-1-4) Les faciès chimiques.....	94
VI-1-5) Les éléments physico-chimiques.....	95
a- Le Calcium Ca^{++} et les Sulfates SO_4^-	95
b- Le Sodium Na^{++} et les Chlorures Cl^-	95
VI-1-6) La potabilité.....	98
VI-2) Requêtes.....	99
VI-3) Fusion et superposition des données.....	100
VI-3-1) La carte hydrogéologique.....	101
VI-3-2) Les cartes des teneurs en $\text{Ca}^{++}\text{SO}_4^-$ et $\text{Na}^{++}\text{Cl}^-$	103
VI-3-3) Les cartes des zones favorables et de potabilité.....	106
VI) CONCLUSION GENERALE.....	110
LISTE DES FIGURES.....	113
LISTE DES TABLEAUX.....	115
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	116

***CONTEXTE
GENERAL***

I) INTRODUCTION

Faisant partie du coeur de l'Atlas Saharien occidental, la région d'Ain Sefra et de Tiout, dont l'histoire est étroitement liée à la ressource en eau et aux différents modes de sa mobilisation, constitue une très belle approche 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.

A l'instar des villes situées en milieu aride, la disponibilité de l'eau a toujours été au centre des préoccupations des collectivités locales.

Les premiers habitants ont fait leur prospérité à partir des adductions conçues gravitairement pour la distribution en eau potable et l'irrigation, ainsi que l'abreuvement du cheptel, à partir des plus anciennes sources (la source de la dune et de Tiout).

A partir de 1945, le service des eaux s'est orienté en direction de la source de Ain Skhouna, exutoire naturel de la nappe des grés albiens, située à 8 km à l'Ouest d'Ain Sefra débitant à l'origine 10 l/s pour approvisionner en eau la localité à partir d'une adduction réalisée le long de la rive gauche de Oued Breidj.

Les dommages causés au mode d'exploitation de cette source par les crues de oued Breidj et le rabattement de la nappe, ont poussé les services de l'hydraulique en 1967 à réaliser le premier forage (Skhouna) dans la région, d'une profondeur de 100 m à proximité de la source, captant les grés du Crétacé Inférieur.

Le débit du forage (17 l/s) devenant insuffisant, et face à une demande croissante en eau causée principalement par la croissance démographique, et l'intensification des périmètres d'irrigation, des recherches se sont orientées vers l'Est d'Ain Sefra.

C'est ainsi qu'en 1981, 02 forages (Slih 1 Et Mehisserat 1) captant les grés du Crétacé Inférieur dans le synclinal de Slih - Maader, sont venus renforcer le système déjà existant, avec des débits respectifs de 80 l/s et 13 l/s.

Plus tard d'autres forages ont été réalisés dans le cadre du renforcement de l'alimentation en eau potable des localités d'Ain Sefra et Tiout (Mouillah et Matlag) avec des débits de 30l/s chacun, et dont l'eau s'est avérée impropre à la consommation, et leur exploitation est conditionnée par d'éventuelles mélanges avec une eau moins chargée.

Afin d'atténuer le degré de salinité des eaux du forage Mouillah, des perspectives d'un mélange avec les eaux des forages du champ captant de Garet Kheil sont en projet.

La région étant à vocation agricole, de nombreux puits et forages ont été réalisés depuis la mise en place en 2000 du fond national du développement et de la régularisation agricole (FNDRA). Le nombre de puits n'a cessé d'augmenter d'une année

à l'autre (environ 100 points d'eau – source Direction de l'Hydraulique Naama-) avec une demande croissante pour la création de forages de moyenne profondeur.

La nappe des grés du Crétacé inférieur, dont les exutoires donnent naissance à d'importantes émergences, constitue la ressource souterraine la plus importante de la région. Elle devient de plus en plus exploitée malgré la méconnaissance des potentialités.

Cette situation nécessite l'étude des possibilités hydrogéologiques du système aquifère.

Le sujet proposé, porte principalement sur l'étude des gouttières synclinales de GARET KHEIL - SKHOUNA, et de TIOUT (MAADER issues de la nappe des grés du Crétacé Inférieur, en utilisant le Système d'Information Géographique (SIG) comme outil d'analyse et de l'aide à l'implantation d'éventuels forages dans ces bassins.

Ainsi, notre étude s'articulera en cinq parties :

- La première partie définit le cadre de la zone d'étude et met en évidence les caractéristiques géographiques et géomorphologiques de la région d'étude à savoir les monts des Ksour, ainsi qu'à partir des données hydroclimatologiques, une étude de climat avec une analyse statistique des précipitations et éventuellement un bilan hydrologique global sera mené à l'échelle de la région.

- La deuxième partie sera consacrée à la géologie, typique au domaine atlasique, notamment à l'étude lithostratigraphique, qui permettra de faire ressortir les formations susceptibles de constituer les niveaux aquifères et de définir leurs géométries et étendues, ainsi que la tectonique cassante et souple qui joue un rôle prépondérant dans l'hydrogéologie et l'hydrochimie de la région.

- La troisième partie : Un aperçu géophysique d'une partie de la région d'étude, ainsi que l'étude hydrogéologique qui consiste à déterminer les paramètres hydrodynamiques à partir des résultats des essais de pompage des différents forages, de dresser une carte piezométrique en faisant ressortir le sens de l'écoulement global de la nappe, tout en déterminant le gradient hydraulique moyen, et de localiser les niveaux réservoirs à partir des différents logs synthétiques des forages.

- La quatrième partie sera consacrée à l'hydrochimie qui constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique qui permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu aquifère, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et

de circulation à partir de l'interprétation des faciès chimiques et des différentes cartes d'isovaleurs.

- La cinquième partie représente le point central de ce travail qui a pour objectif d'apprécier et d'élaborer, à partir des données topographiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques propres à la région d'étude numérisées et géoréférencées, un Système d'Information Géographique (SIG), tout en analysant les informations nécessaires afin d'identifier les zones favorables quantitativement et qualitativement pour l'implantation d'éventuels forages destinés à l'alimentation en eau potable des localités avoisinantes, ainsi que l'eau pour l'irrigation.

II) PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR D' ETUDE (Fig.1)

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

Cette dernière qui se trouve à la limite méridionale des Hauts plateaux et du Sahara, 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 Aissa et Morhad orientés Nord Est, Sud Ouest.

Le fond du couloir étant formé par le massif du Mekter. Le Djebel Aissa (2250m) s'étend sur 32 km de long, 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 est séparé que par un cordon de dune. Il culmine au Ras Ech Chergui (2092 m) vers l'Est, il s'abaisse lentement en se coffrant jusqu'à la route Ain Sefra - Bechar (Fig.1).

CONTEXTE GENERAL

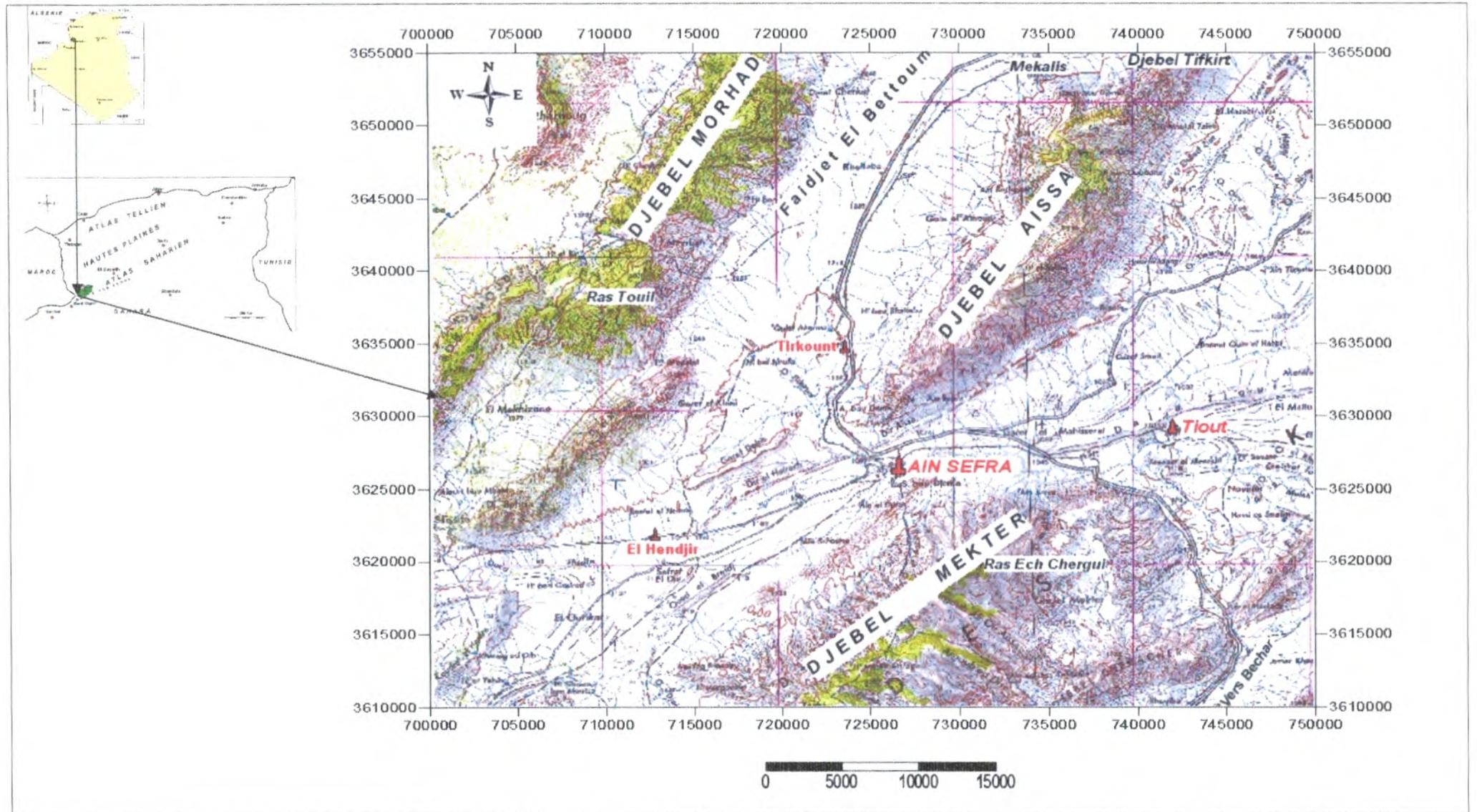


Fig. 1 - Situation du secteur d'étude -

CLIMATOLOGIE

I) - 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 : température et précipitations moyennes mensuelles de la station météorologique d'Ain Sefra, dont les caractéristiques de la station sont représentées au tableau suivant :

Station	Code	X	Y	Altitude (Z)
Ain Sefra	605600	724838,035	3626956,25	1058 m

II) ETUDE DES PRECIPITATIONS

II-1) REPARTITION DES PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES A LA STATION D'AIN SEFRA (PERIODE 1979-2008).

Les précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station d'Ain Sefra pour la période allant de 1979 à 2008, soit une observation de 30 années, sont mentionnées au tableau 1.

Tableau 1 : Précipitations moyennes annuelles

Période	Précipitations annuelles (mm)	Période	Précipitations annuelles (mm)
1979	171.00	1994	106.40
1980	155.00	1995	215.70
1981	63.90	1996	183.20
1982	218.40	1997	157.80
1983	50.30	1998	87.30
1984	81.50	1999	158.40
1985	163.80	2000	39.90
1986	147.30	2001	84.10
1987	194.80	2002	125.90
1988	147.60	2003	163.30
1989	181.10	2004	212.70
1990	329.50	2005	163.50
1991	376.92	2006	212.90
1992	151.60	2007	165.10
1993	122.30	2008	417.37

La variation interannuelle des précipitations (Fig.2), montre une année exceptionnelle correspondante à l'année 2008 avec 417 mm, alors que le minimum est de 39.9 mm pour l'année 2000. La moyenne interannuelle est de 168 mm.

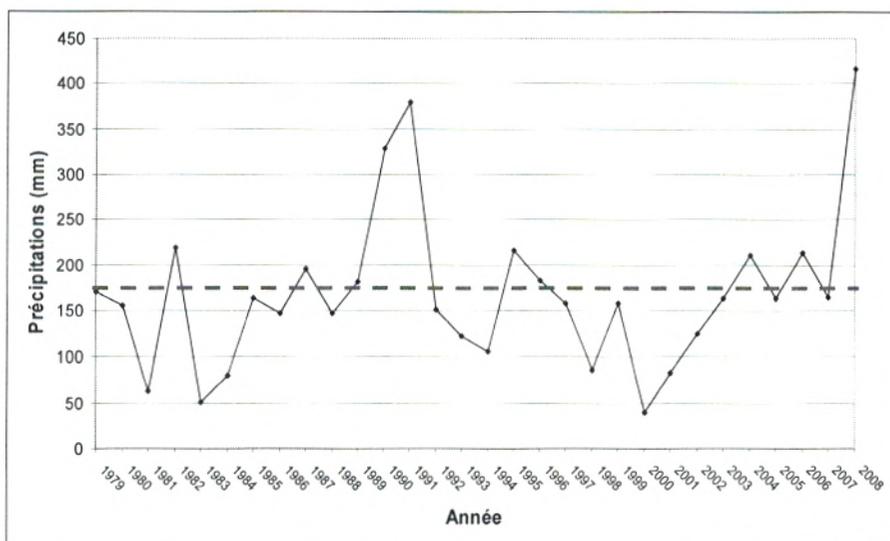


Fig. 2 : La variation des précipitations annuelles

II-2) PRECIPITATIONS MENSUELLES :

Le tableau 2 et la figure 3 ci-dessous montrent la répartition des précipitations moyennes mensuelles.

Tableau 2 : Données des précipitations moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Total Annuel
P (mm)	9.3	19.4	16.1	8.4	15.1	14.2	24	17.5	23.1	9.7	4	7.4	168

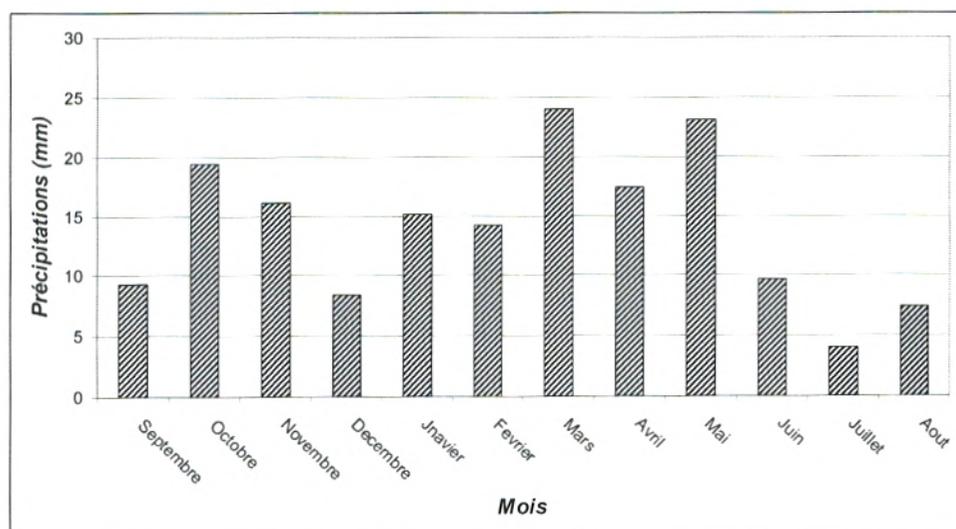


Fig. 3 : Précipitations moyennes mensuelle

- La pluviométrie moyenne annuelle de la période est de 168 mm.
- Le mois le plus pluvieux Mars, avec une valeur de 24 mm, tandis que le plus sec est le mois de Juillet avec une valeur de 04 mm.

II-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)
- La dispersion ou fluctuation autour de la valeur centrale (écart-type, variance, quantiles)
- 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.

II-3-1) Ajustement des précipitations moyennes annuelles à la station d'Ain Sefra (1979-2008)

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 3).

II-3-2) Ajustements graphiques :

A partir des tracés des courbes (fig.4 a-b-c), suivant les lois : Normale, Log Normale et Racine normale pour la station d'Ain Sefra, nous avons pu déterminer les paramètres principaux (tableau 4), ainsi que les équations de droites.

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 3 : 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	155.00	5.04	12.45	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	12.79	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	171.00	5.14	13.08	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	210.70	5.35	14.52	0.77	77.42
25	212.90	5.36	14.59	0.81	80.65
26	215.70	5.37	14.69	0.84	83.87
27	218.40	5.39	14.78	0.87	87.10
28	258.42	5.80	18.15	0.90	90.32
29	380.20	5.94	19.50	0.94	93.55
30	417.37	6.03	20.43	0.97	96.77

Tableau 4 : Paramètres principaux

Paramètres	Loi Normale	Loi Log Normale	Loi Racine
\bar{P}	168	5	12,59
σ	86,02	0,53	3.2
Equation de la droite	Y= 168,3 + 85,98 U	Log Y = 5 + 0,52 U	$\sqrt{Y} = 12,59 + 3,17$

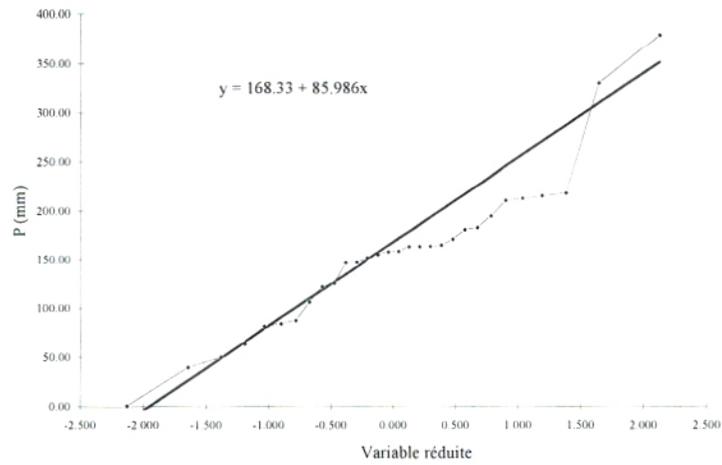


Fig. 4a : Ajustement à une loi Normale

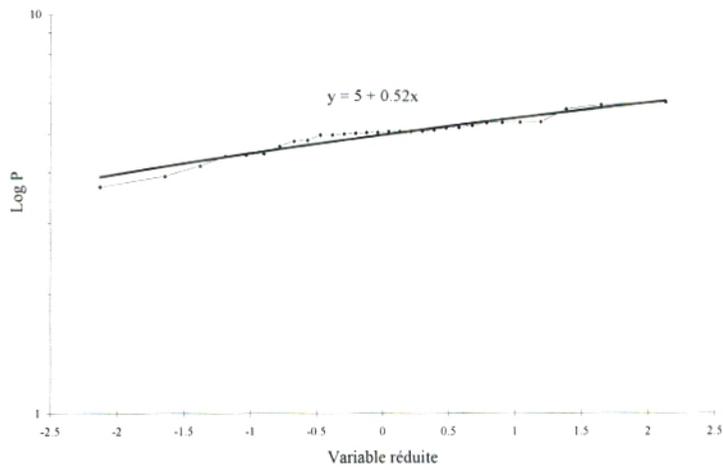


Fig. 4b : Ajustement à une loi Log normale

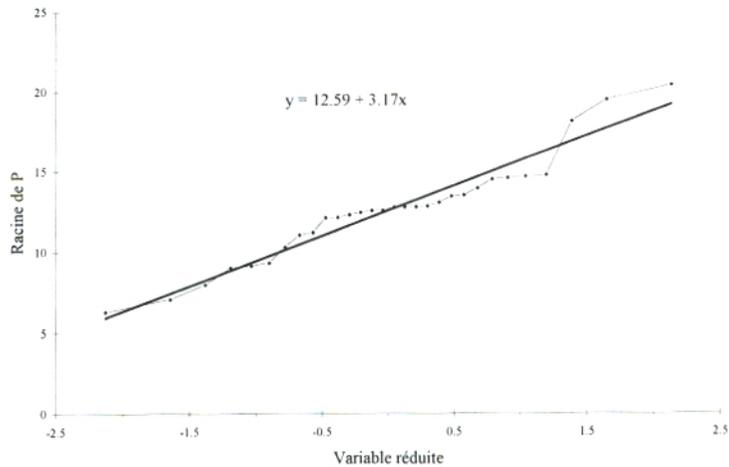


Fig. 4c : Ajustement à une loi racine normale

II-3-3) Test du χ^2 de PEARSON

Pour choisir le meilleur ajustement, il est nécessaire d'effectuer ce test qui permet de comparer une distribution naturelle à la distribution théorique correspondant à la loi d'ajustement choisie ; qui est dans notre cas la loi Log Normale.

Les valeurs trouvées sont regroupées au tableau 5.

Tableau 5 : Valeurs de χ^2

Classe	Limite des classes	Effectifs observés (n_i)	Effectifs théoriques (n_{pi})	$\frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}}$
1	3,69 – 4,47	6	6	0,00
2	4,67 – 4,99	5	6	0,17
3	5,02 – 5,07	4	6	0,67
4	5,10 – 5,27	8	6	0,67
5	5,35 – 6,03	7	6	0,17

$$\chi^2 = 1,67$$

$$\chi = 5 - 2 - 1 = 2 \text{ degré}$$

Dans la table de χ^2 (loi de PEARSON), le χ^2 tabulé à 0,95 % à 2 degré de liberté est de :

$$5,99$$

$$\chi^2 \text{ tabulé} = 5,99 \text{ qui est supérieur à } \chi^2 \text{ calculé} = 1,67$$

donc l'ajustement est satisfaisant.

II-3-4) 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.

$$\text{L'équation de la loi représentative est : } \mathbf{\text{Log } Y = 5 + 0,53 U}$$

- *Calcul du module décennal humide*

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

$$\text{Log } Y = 5 + (0,53 \times 1,28) = 5,67 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 290 \text{ mm}}$$

- *Calcul du module de 50 ans humide*

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

$$\text{Log } Y = 5 + (0,53 \times 2,05) = 6.08 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 436 \text{ mm}}$$

Cette valeur n'a pas été atteinte

- *Calcul du module centennal humide*

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

$$\text{Log } Y = 5 + (0,53 \times 2,33) = 6.23 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 507 \text{ mm}}$$

Cette valeur n'a pas été atteinte

- *Calcul du module décennal sec*

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

$$\text{Log } Y = 5 - (0,53 \times 1,28) = 4.32 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 75 \text{ mm}}$$

- *Calcul du module de 50 ans sec*

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

$$\text{Log } Y = 5 - (0,53 \times 2,05) = 3,91 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 49 \text{ mm}}$$

- *Calcul du module centennal sec*

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

$$\text{Log } Y = 5 - (0,53 \times 2,33) = 3,76 \quad \text{donc } \mathbf{Y = 42 \text{ mm}}$$

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

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

$$P = 417,37 \quad \text{et } F = 0,97$$

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

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

- *Récurrence du module théorique le plus faible :*

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

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

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

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

III) - ETUDE DES TEMPERATURES

III-1) les moyennes mensuelles (Fig.5) :

- Les minima (Tmin) : sont comprises entre 1.1°C en janvier et 20.8 °C en Juillet.
- Les maxima (Tmax) : sont comprises entre 12.4 °C en janvier et 37.1 °C en Juillet.
- Les moyennes $TM = (Tmax + Tmin) / 2$: (Tableau 6).

La répartition de la température moyenne mensuelle permet de considérer le mois de Janvier comme le plus froid (6,7°C) et le mois de Juillet comme le plus chaud de l'année (28.9 °C).

La moyenne annuelle de la température (période 1979 – 2008) est de **17°C**.

Tableau 6: Températures mensuelles : minimum, maximum et moyenne

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Tmin (°C)	16,2	10,8	4,8	1,6	1,1	2,3	5,5	9,1	12,3	18,1	20,8	19,3	10,1
Tmax (°C)	31,3	23,9	17,7	13,3	12,4	15,8	18,1	22,1	26,7	31,1	37,1	36,1	23,8
(Tmax+Tmin) / 2	23,8	17,3	11,2	7,4	6,7	9,1	11,8	15,6	19,5	24,6	28,9	27,7	17,0

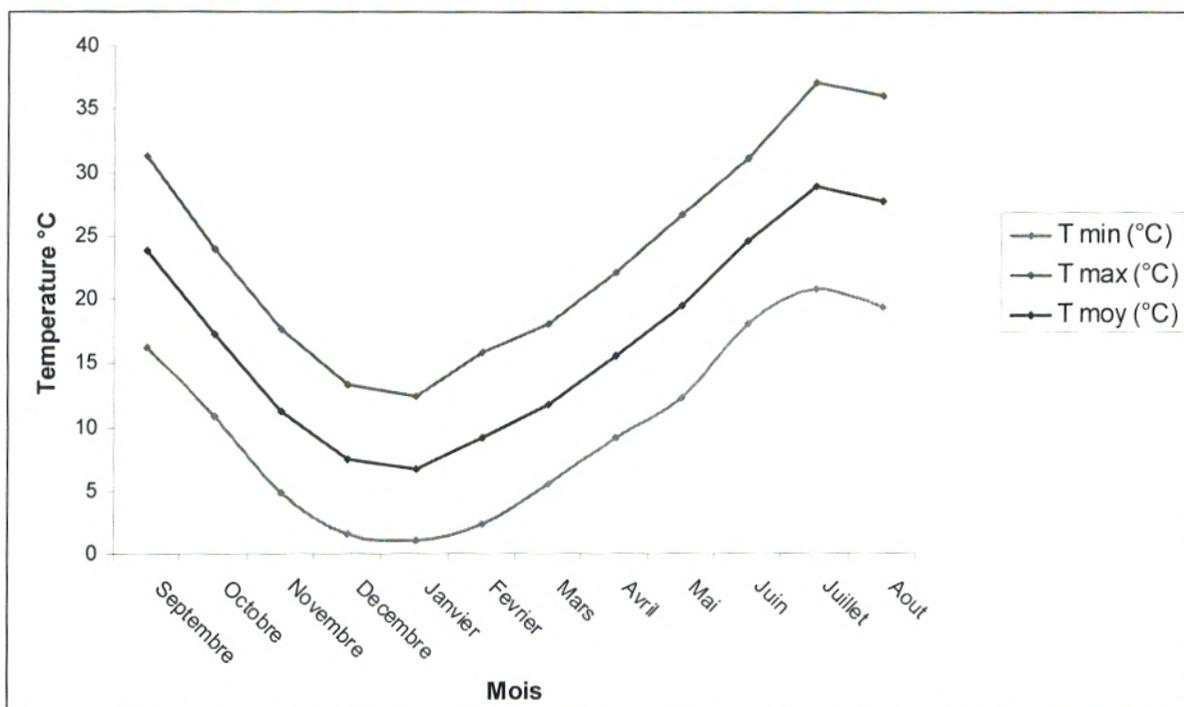


Fig. 5 : variations des températures moyennes mensuelles

IV) 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 7)

Tableau 7 : Températures et des précipitations moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At	Moy
T moy (°C)	23.8	17.3	11.2	7.4	6.7	9.1	11.8	15.6	19.5	24.6	28.9	27.7	17
P (mm)	9.3	19.4	16.1	8.4	15.1	14.2	24	17.5	23.1	9.7	4	7.4	168

IV-1) Courbe pluviothermique (P = 2T) (Fig. 6) : (méthode de GAUSSEN et BAGNOULS)

Pour notre cas la méthode de GAUSSEN et BAGNOULS a montré une période sèche allant du début du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de Septembre, une période humide allant du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai.

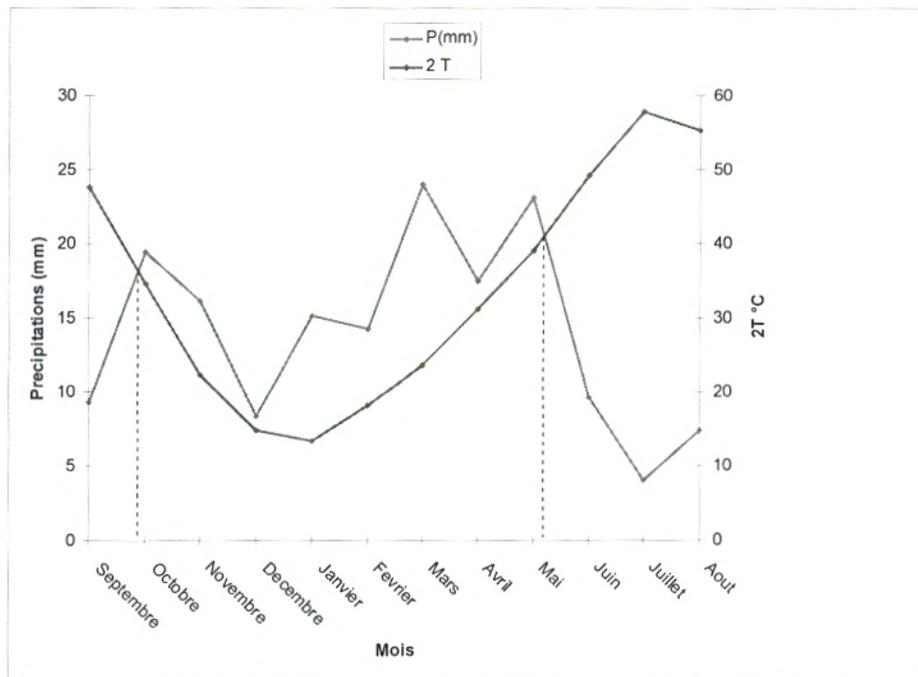


Fig. 6 : Courbe pluviothermique

IV-2) Courbe ombrothermique (Méthode d'EUVERTE) : (Fig. 7)

Sur notre diagramme, on remarque l'existence de deux périodes :

- Période déficitaire qui s'étale du début Mai à Septembre.
- Période excédentaire qui étale de Septembre à la fin Avril.

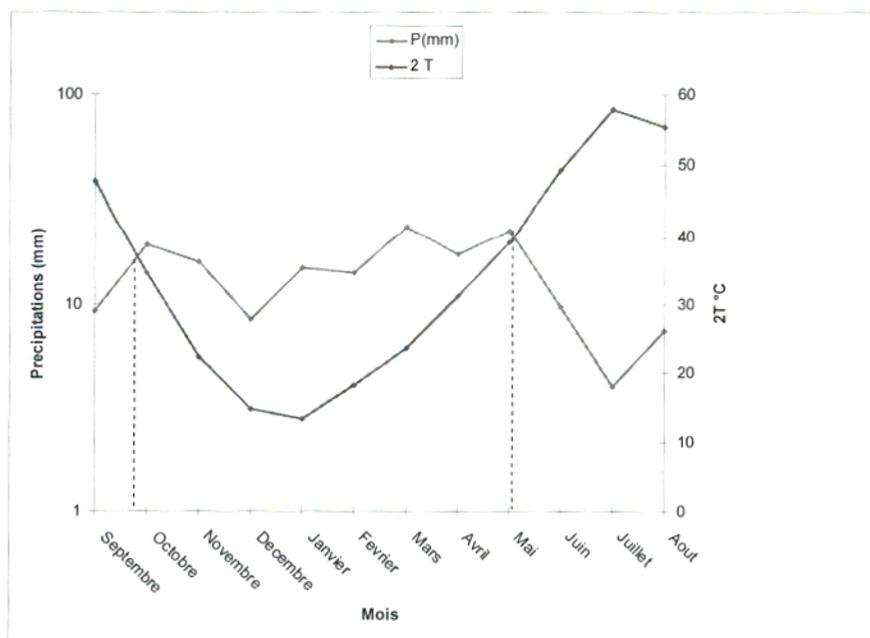


Fig. 7 : Courbe ombrothermique

IV-3) Le rapport entre précipitations et températures :

Le rapport P/T représenté par le tableau 8 permet de mieux appréhender l'évolution des climats.

Tableau 8 : Rapport P/T

Année	P/T	Type de la station
Septembre	0,39	P/T < 1 Station très sèche subméditerranéenne
Octobre	1,12	
Novembre	1,44	
Décembre	1,14	1 < P/T < 3 Station sèche subméditerranéenne
Janvier	2,25	
Février	1,56	
Mars	2,03	
Avril	1,12	
Mai	1,18	P/T < 1 Station très sèche subméditerranéenne
Juin	0,39	
Juillet	0,14	
Août	0,27	

02 types de sous climats se présenteraient dans l'année.

- Très sec subméditerranéen qui concerne la période de Juin à Septembre.
- Sec subméditerranéen concernant la période allant de Octobre à Mai.

D'après la classification d'EUVERTÉ, la région d'Ain Sefra appartiendrait à une zone sèche subméditerranéenne.

IV-4) 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.

IV-4-1) 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 : 168 mm

T : température moyenne annuelle : 17 °C

$$I = 6.22$$

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 6.22, donc *la région présente un climat désertique.*

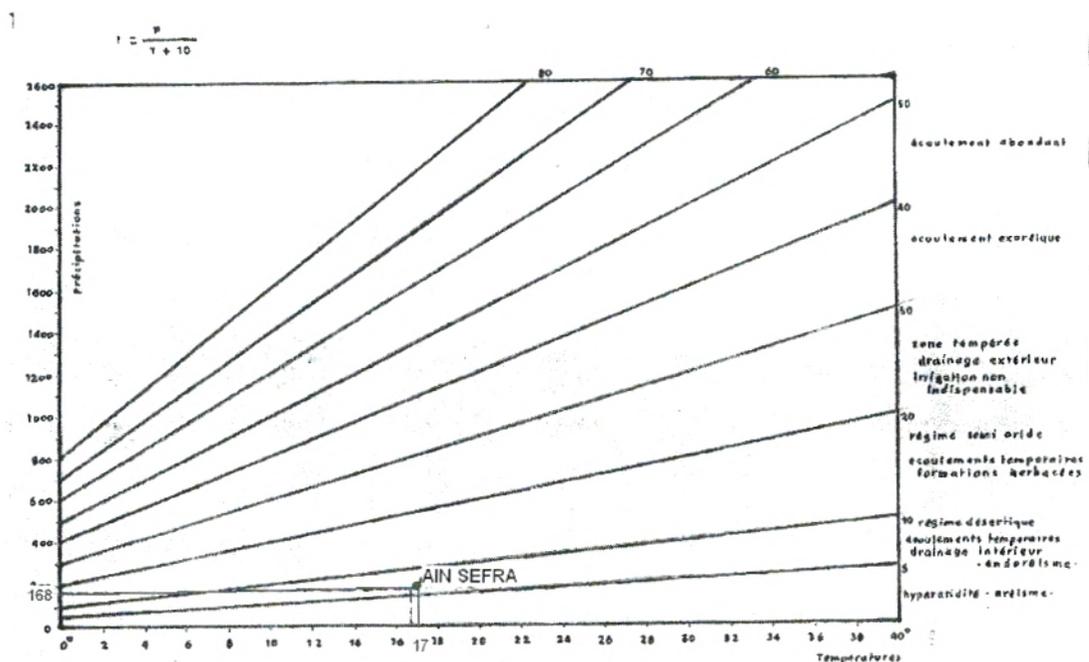


Fig. 8 : Indice d'aridité de De. Martonne

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

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 9

Tableau 9 : valeurs d'indice d'aridités mensuelles

Année	Indice mensuel (i)	Classement de l'année
Septembre	3.3	i < 5 Climat hyperaride
Octobre	8.53	
Novembre	9.11	
Décembre	5.79	
Janvier	10.85	
Février	8.92	5 < i < 10 Climat steppique et désertique
Mars	13.21	
Avril	8.2	
Mai	9.4	i < 5 Climat hyperaride
Juin	3.36	
Juillet	1.23	
Août	2.36	

D'après le tableau 9, on constate que les mois de Octobre jusqu'au Mai présente un régime désertique (5<i<10) et pour le reste de l'année c'est un climat hyper aride (i<5).

IV-4-2) 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=37.1+273=310.1)

m : moyenne des minima de température en (°K) du mois le plus froid :
(m=1.1 +273=274.1)

Q₂= quotient pluviothermique d'Emberger.

$$Q_2 = 16$$

En rapportant cette valeur sur le diagramme d'Emberger (Figure 9) qui comporte en ordonnées les valeurs de Q₂ et en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid (°C), nous pouvons constater que la région présente **un climat saharien avec un hiver frais.**

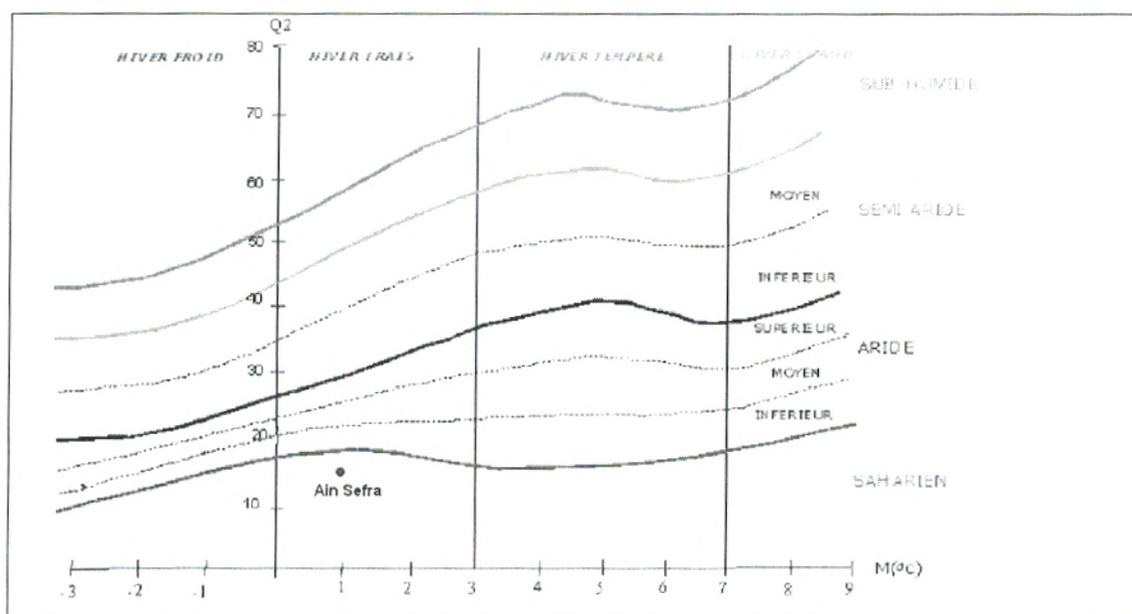


Fig. 9 : Climagramme d'Emberger.

IV-4-3) indice de Stewart :

Cet indice est donné par la relation :

$$Q_2 = \frac{3.43P}{M + m}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm) : 168 mm

M : moyenne des maxima de température du mois le plus chaud en °C : 37.1

m : moyenne des minima de température du mois le plus froid en °C : 1.1

On a: **Q₂=15**

- Pour: $10 < Q_2 < 50$ climat semi aride
- $2 < Q_2 < 10$ climat désertique
- $Q_2 < 2$ climat insaturé

Q_2 étant compris entre 10 et 50, cette valeur caractérise selon Stewart :
un climat semi-aride.

V) EVAPORATION ET DEFICIT D'ÉCOULEMENT

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 acceptables de l'évapotranspiration réelle.

V-1) Méthode de WUNDT

En utilisant l'abaque de Wundt modifié par Coutagne (Fig 10) pour la station d'Ain Sefra (P= 168 mm et T= 17 °C)

On obtient **E = 220 mm**

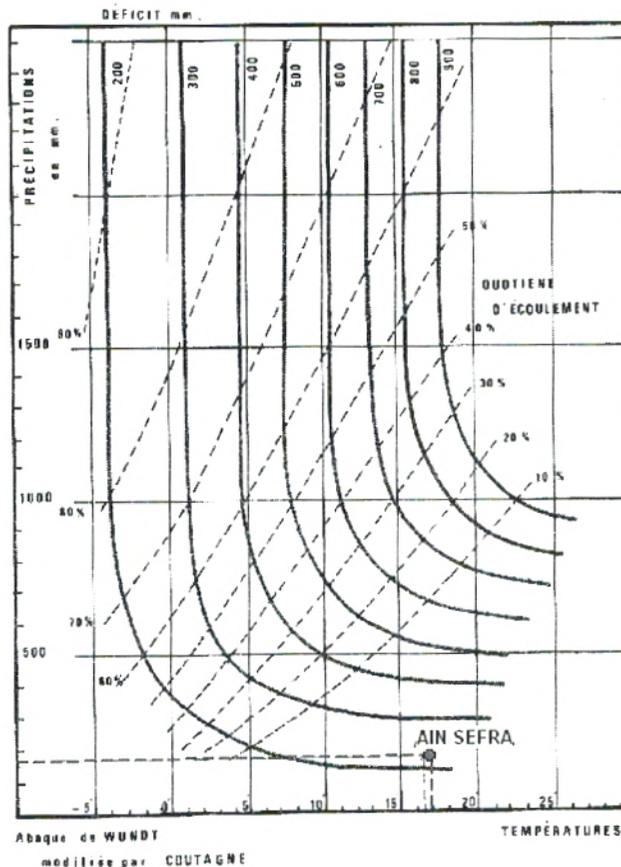


Fig. 10 : Evaluation du déficit d'écoulement d'après WUNDT

V-2) 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) : 168

T : Température moyenne annuelle (°C) : 17

L : $300 + 25T + 0.05T^3 = 970$

$$E = 175 \text{ mm}$$

V-3) Méthode de VERDEIL

L'abaque de Verdeil (figure 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 (1979-2008), le déficit d'écoulement est de :

$$D = 162 \text{ mm} \quad \text{soit } 96 \% \text{ des précipitations.}$$

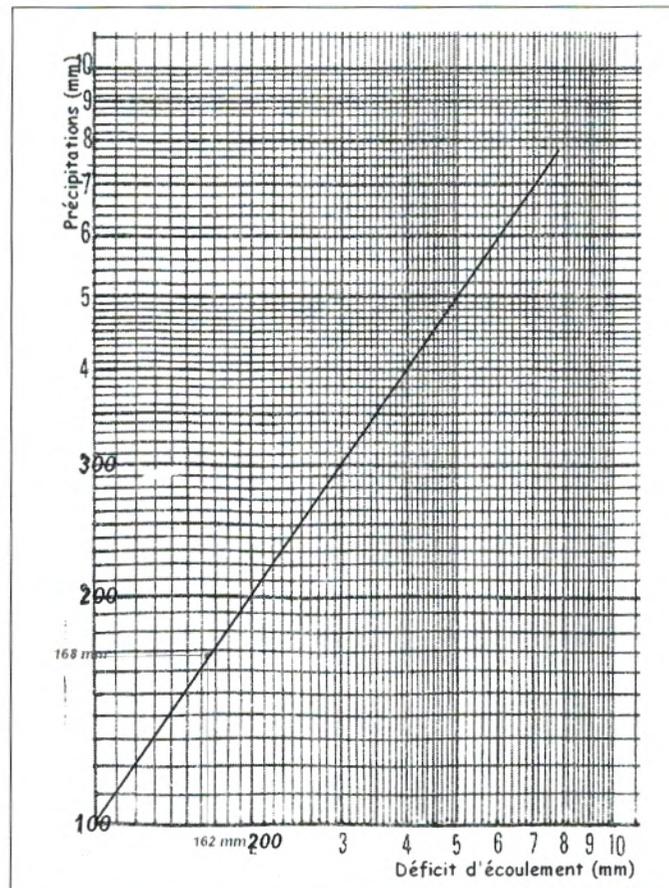


Fig 11 : Abaque de VERDEIL (1988)

VI) 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, conditionné par les facteurs suivants:

- Eloignement de la mer
- Altitude assez élevée (1100 m), région montagneuse à sommets élevés.
- Proximité du Sahara et des Hautes plaines Oranaises.

Les variations de la température entre l'été et l'hiver sont très importantes.

Les précipitations sont peu abondantes (168 mm/an), mais arrivent souvent avec des orages violents.

Parmi les méthodes de calcul de l'ETR (déficit d'écoulement) seule la méthode de VERDEIL donne 4% pour l'écoulement.

Tous ces facteurs, très favorables à une évaporation intense, jouent un rôle fondamental dans le cycle des eaux de la région.

GEOLOGIE

I) CADRE GEOLOGIQUE:

L'Atlas saharien occidental chaîne intracratonique plissée, lors de l'orogénèse alpine, est séparé des hautes plaines Oraïnes au Nord par l'accident Nord atlasique, et de la plateforme saharienne au Sud par l'accident sud atlasique.

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 (Fig.12)

Les terrains Jurassique et Crétacé, sont essentiellement gréseux avec intercalations de marnes et argiles.

Ces dépôts ayant subi des plissements et des fractures liés aux mouvements atlasiques.

La région est caractérisée par une série de synclinaux et d'anticlinaux, plus ou moins parallèles de direction générale SW-NE.

Les anticlinaux généralement coiffés, pincés, faillés, souvent déversés, ont donné naissance aux Djebels Aïssa, Morhad, Hirech, Djara et Mekter.

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. 13a), où les couches sont représentées par les grés du Crétacé inférieur.

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.

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' Fig. 13b)

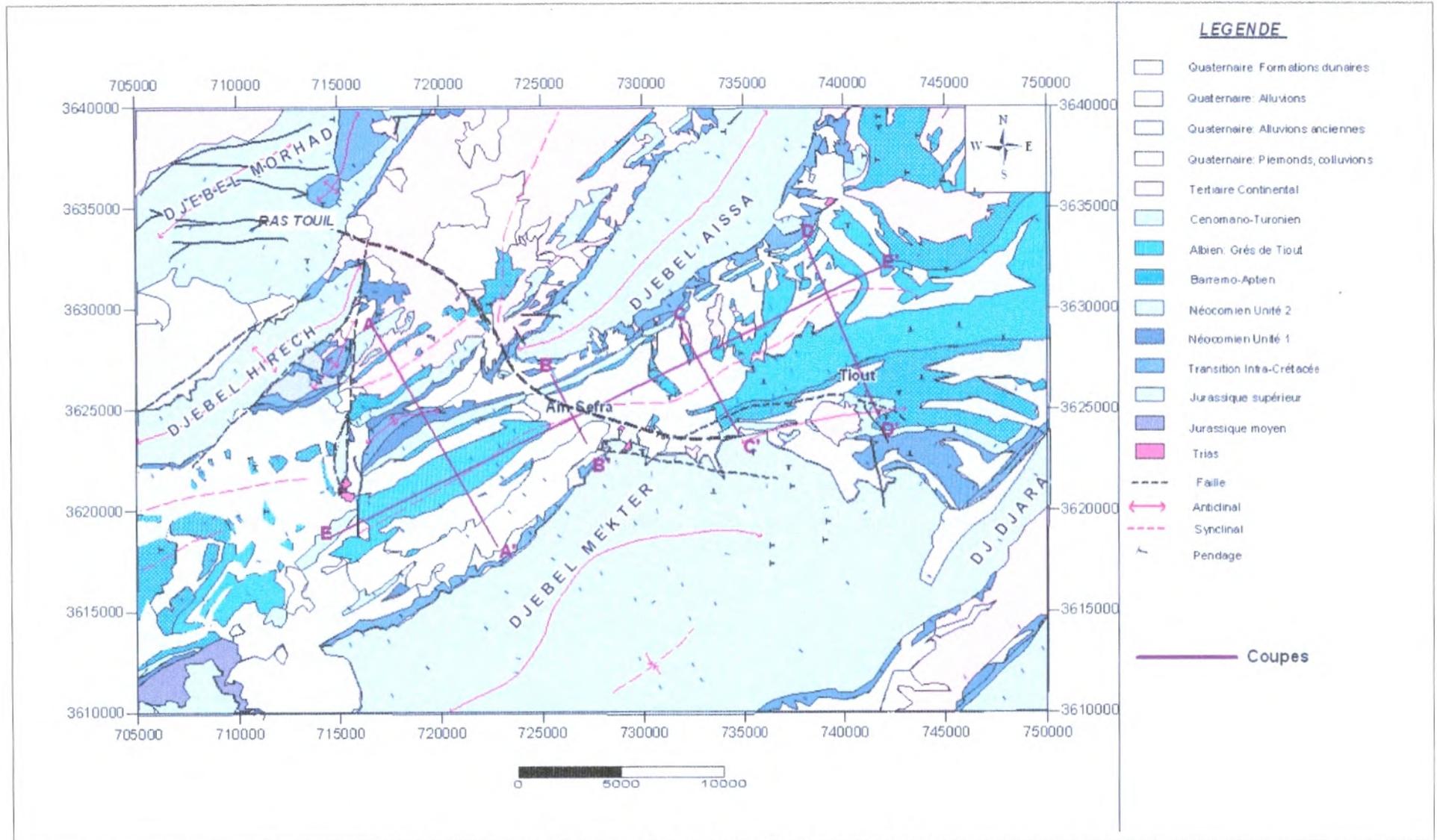


Fig. 12 : Carte géologique de la région d'Ain Sefra (D'après Galmier 1972 -digitalisée et modifiée)

Sa structure 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 Garet Kheil
 - L'anticlinal de Garet Debaa- Dir Hirech, qui est un prolongement vers l'Ouest de Djebel Aïssa.
 - le synclinal Skhouna
- A l'Est, et à Ain Sefra même on a un rétrécissement de ce synclinal.
(Coupe B-B' Fig.13c).
 - 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.13d).

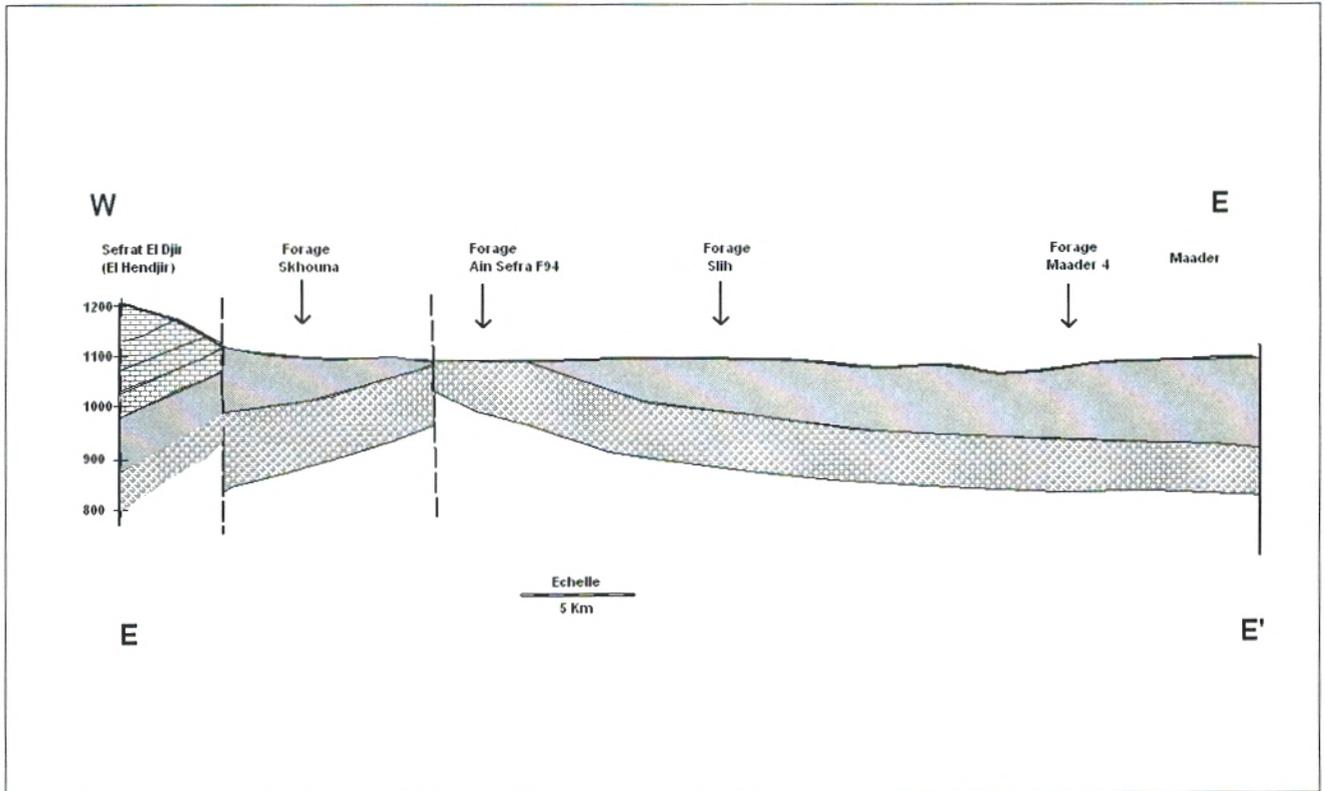


Fig.13a

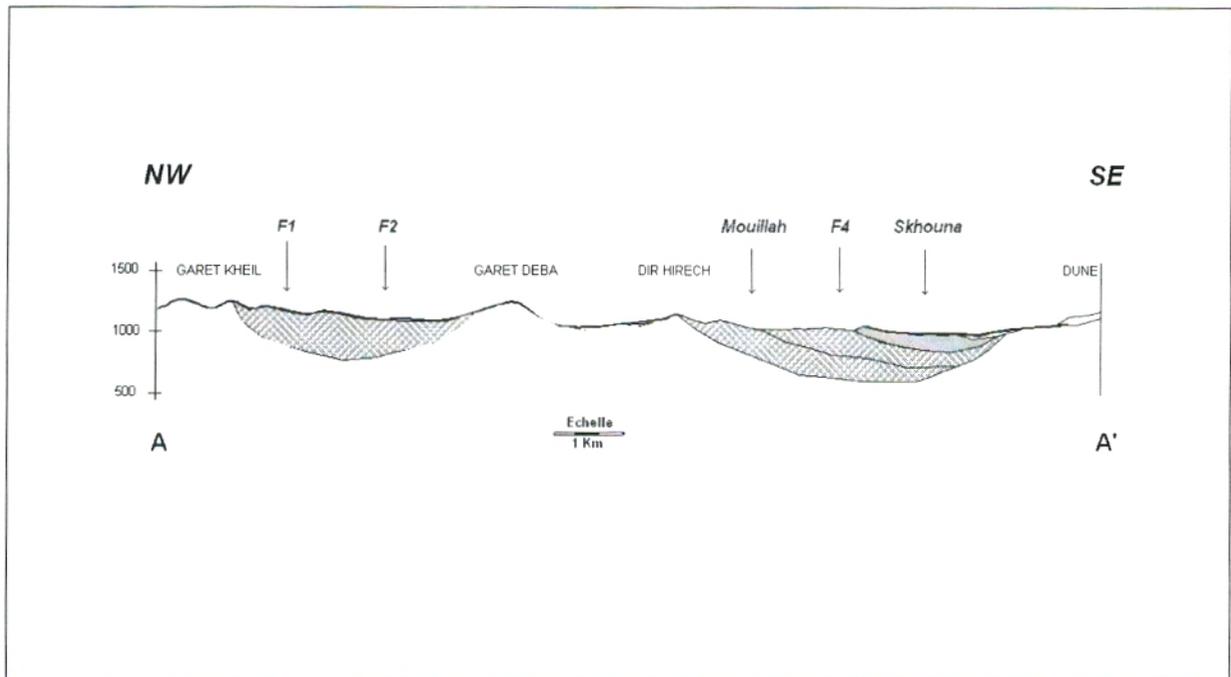


Fig. 13b

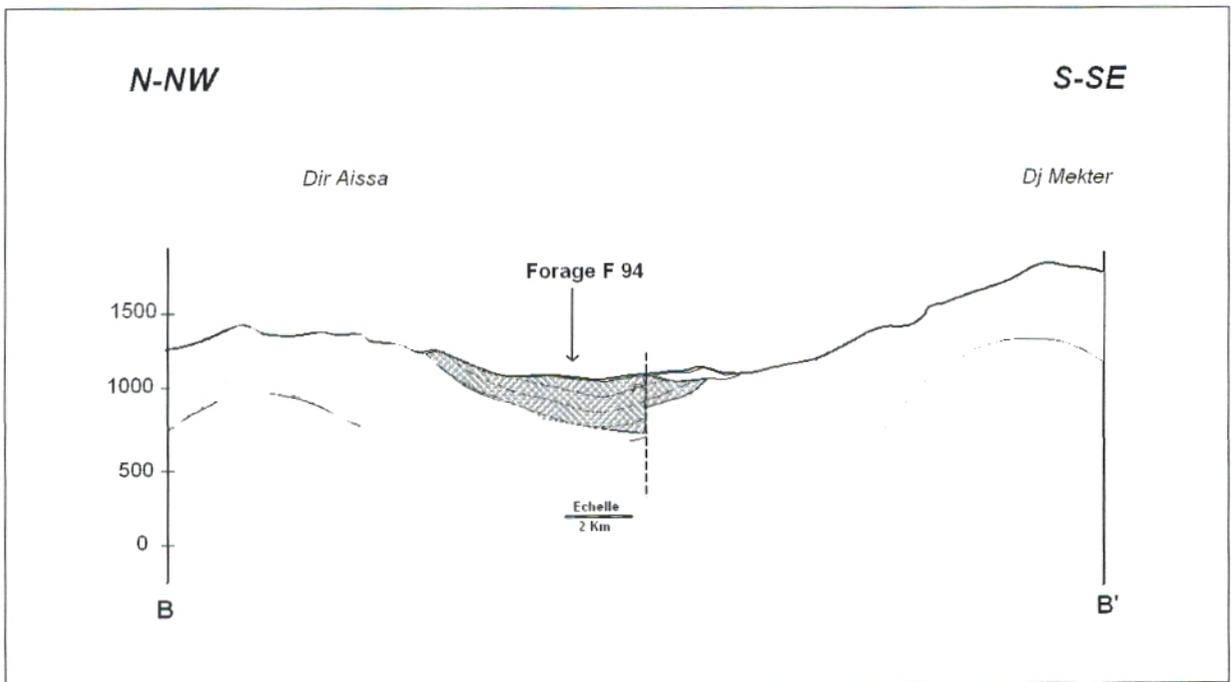


Fig. 13c

Subdivisé en en 02 ensembles, un inférieur et un supérieur, elle est constituée d'argiles pélitiques versicolores, de grés de couleur claire, de petits bancs de dolomies et de rares lits gypseux.

3- La formation de Tiout:

Cette formation à sédimentation détritique, a été définie au nom du village de Tiout par J.P Bassoulet (1973), et est attribuée au Barrémo-Albo-Aptien, et appelée aussi « groupe de grés à dragées » par Douihasni (1976).

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

Ce sont des grés 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 grés rouges à chenaux.

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

Cette formation se divise en trois membres (inférieur - médian – supérieur).

Constituant l'ensemble des affleurements des synclinaux de Garet Kheil –Skhouna – Slih –Maader, elle fait l'objet de notre étude.

II-4) Le Cénomano-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.

II-5) Le Tertiaire continental

Il est constitué par des dépôts continentaux ou lagunaires attribués au Tertiaire et au Quaternaire, JP. Bassoulet, (1973) et M.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-6) Les formations quaternaires :

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 » (D.Galmier 1972).

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

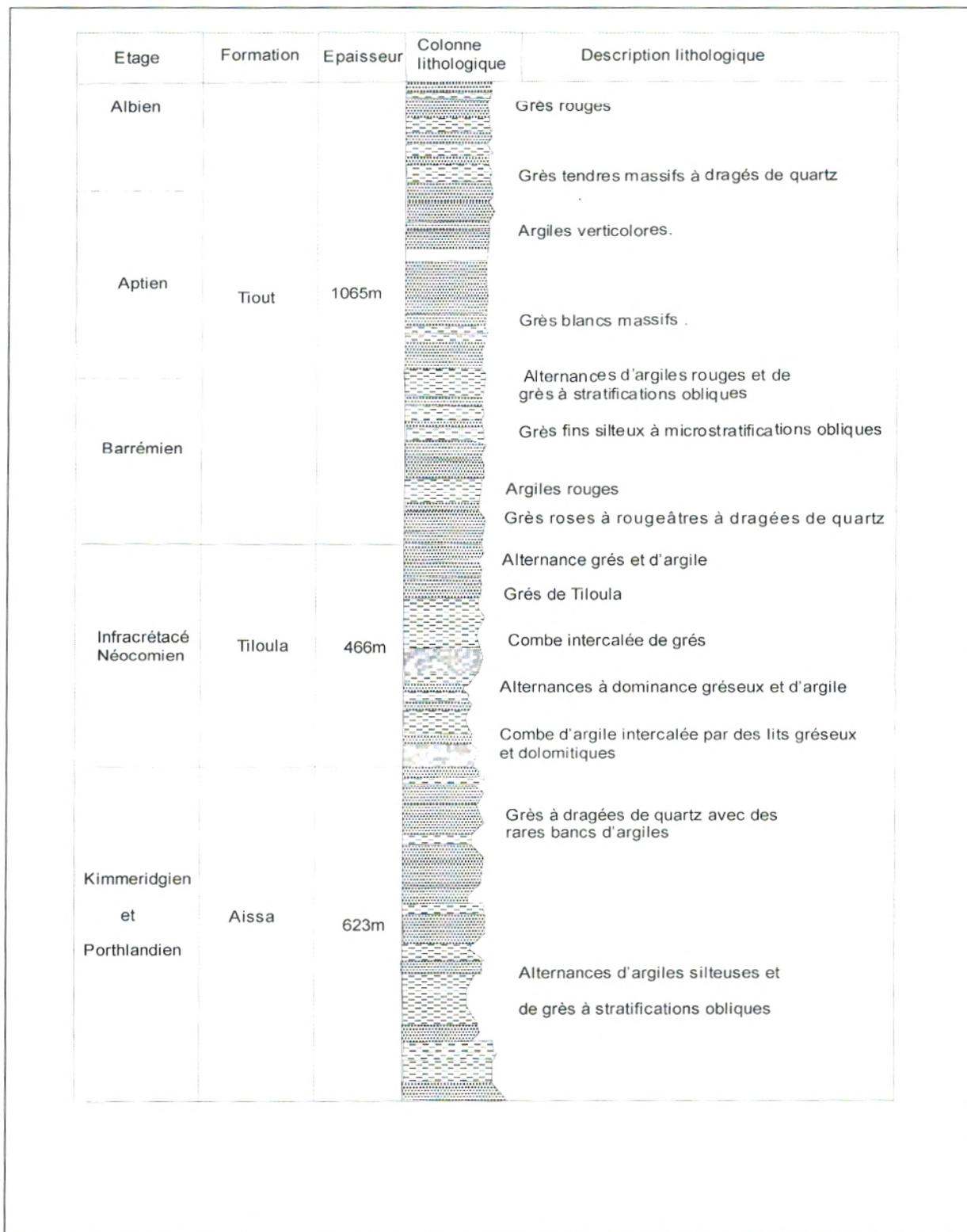


Fig. 14 : Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique - Crétacé dans la partie centrale des monts des Ksour (A.Kacemi, 2002)

III) 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.15).

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.

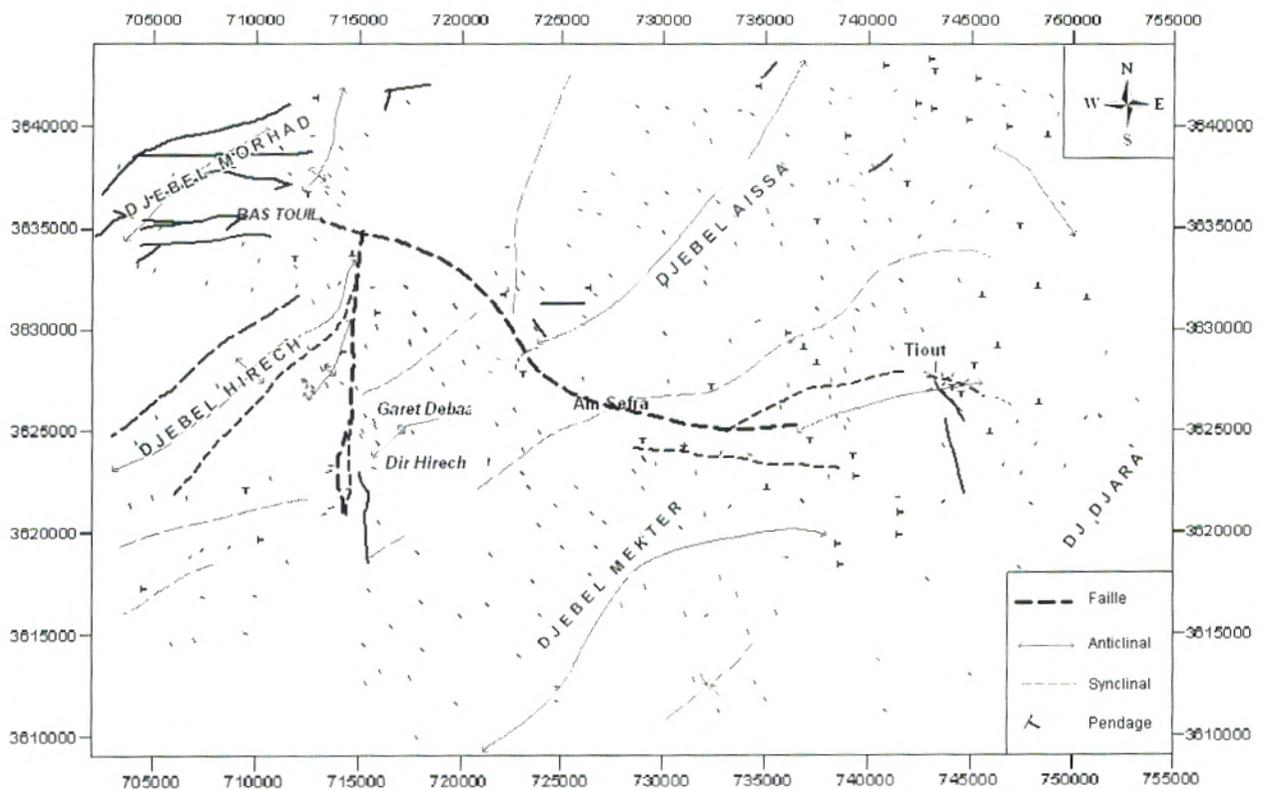


Fig.15 : Les grands alignements dans la région d'étude
(Galmier 1972 + CGG 1974)

Aux alignements proposés par L. Mekahli (1998) (Fig.16) , on peut rattacher ceux de Ras Touil – Ain Sefra, décelé par l'étude géophysique réalisée en 1974 dans la région par la CGG (Compagnie Générale de Géophysique), et dont le rôle hydrogéologique et hydrochimique est déterminant.

HYDROGEOLOGIE

I) GEOPHYSIQUE

L'étude géophysique faite par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) dans la région d'Ain Sefra (la partie Nord Ouest de notre secteur d'étude), 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 jurassiques 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.

La carte du toit du jurassique (Fig. 17) met en évidence la faille de Ras Touil - Ain Sefra et un anticlinal médian au sud qui est le prolongement de Djebel Aissa.

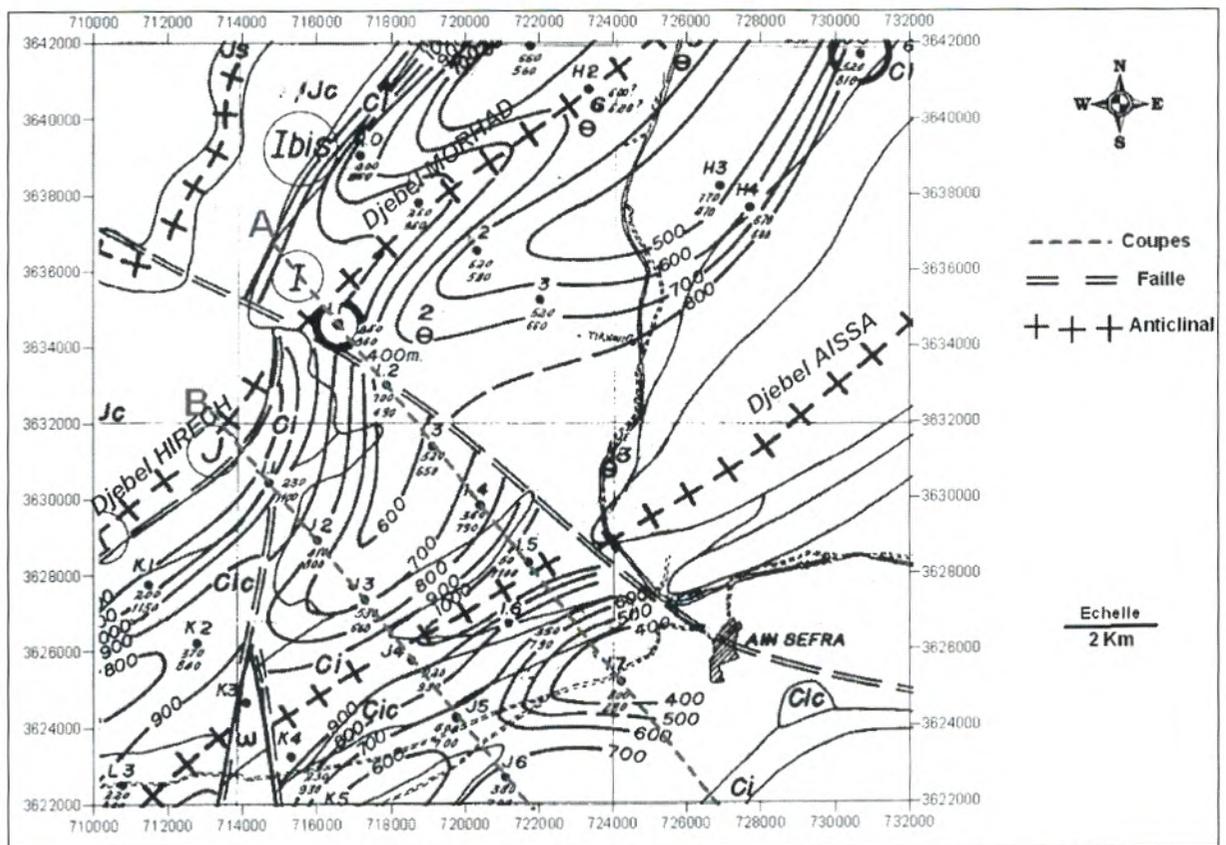


Fig.17 Carte du toit du jurassique

Les coupes géoélectriques A et B (Fig.18) 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 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.

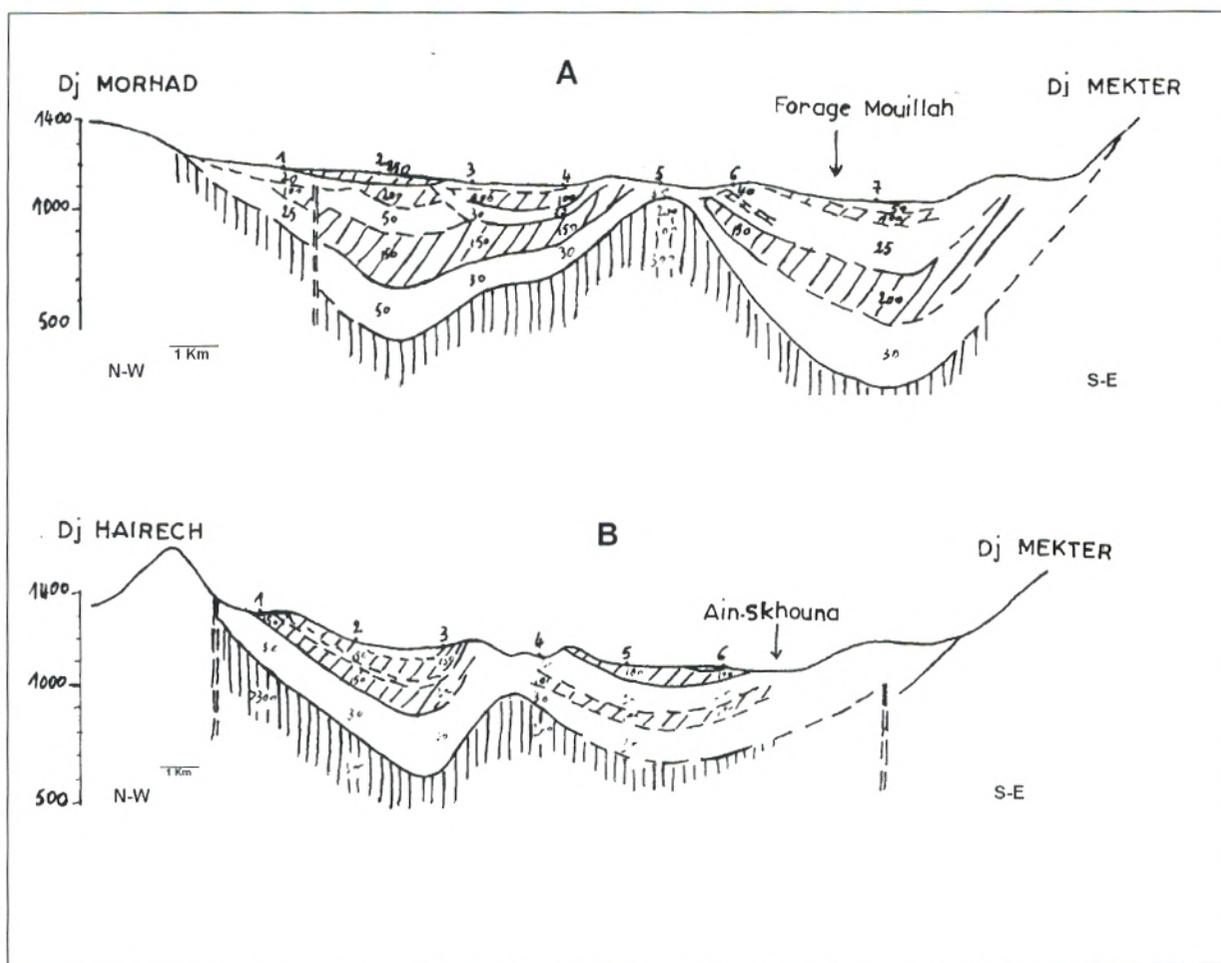


Fig.18 Coupes géoélectriques

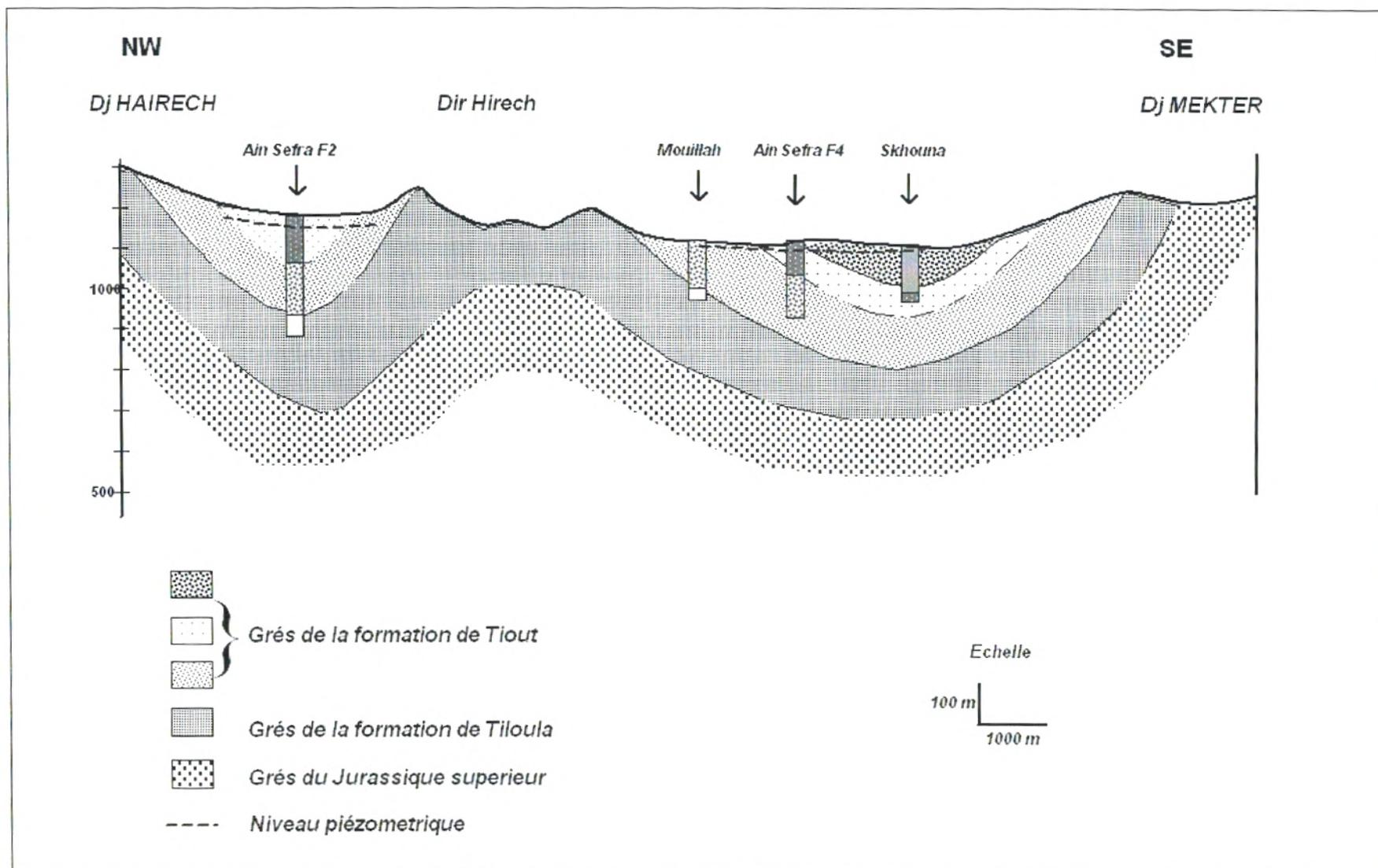


Fig.20 : Coupe hydrogéologique schématique

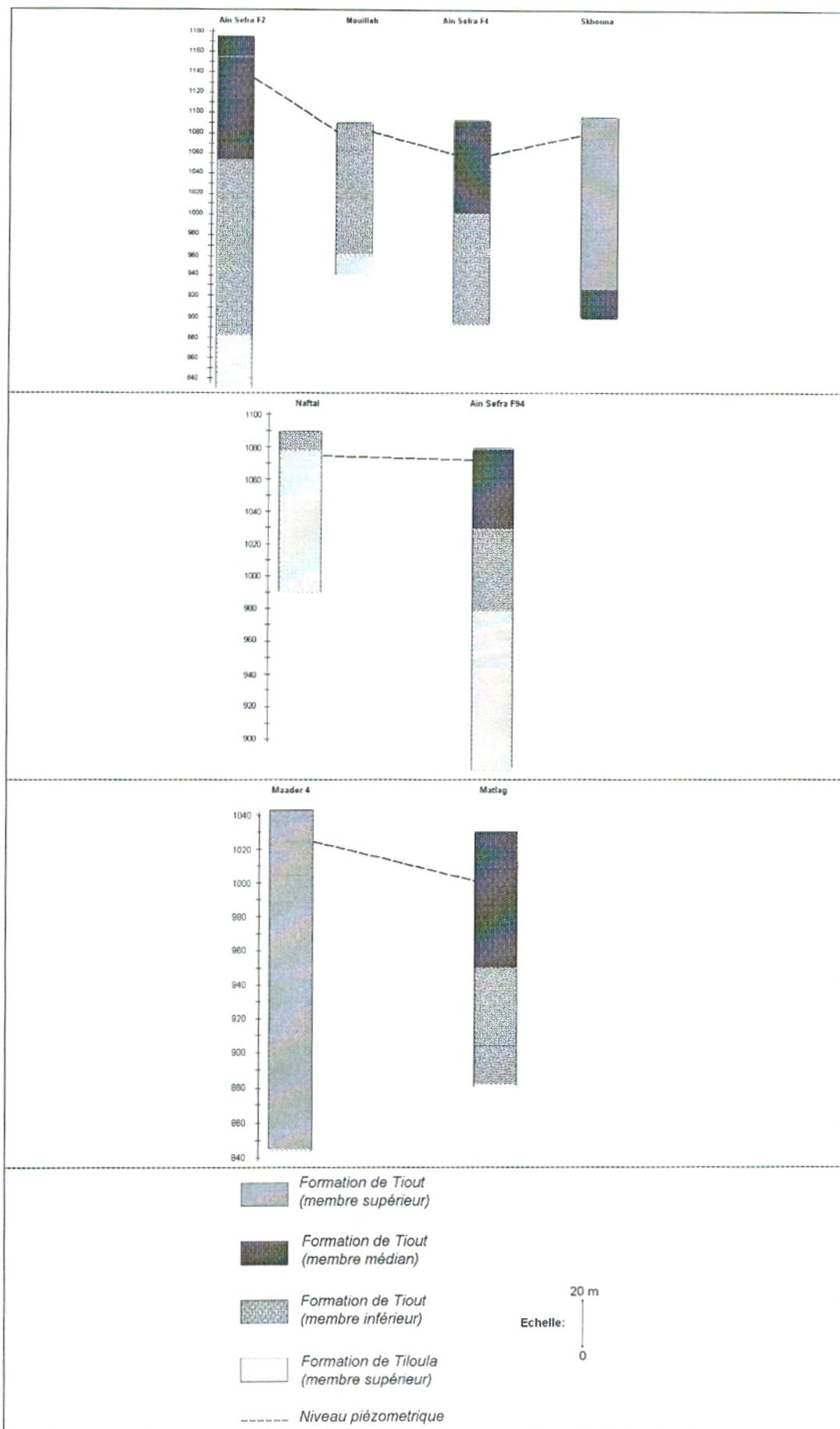


Fig.21 : Logs synthétiques des forages

A ces niveaux les isopiezés 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 ‰. (Fig.24).

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. (Fig.24).

- Une ligne de partage des eaux structurale séparant les synclinaux de Skhouna et de Slih-Maader.

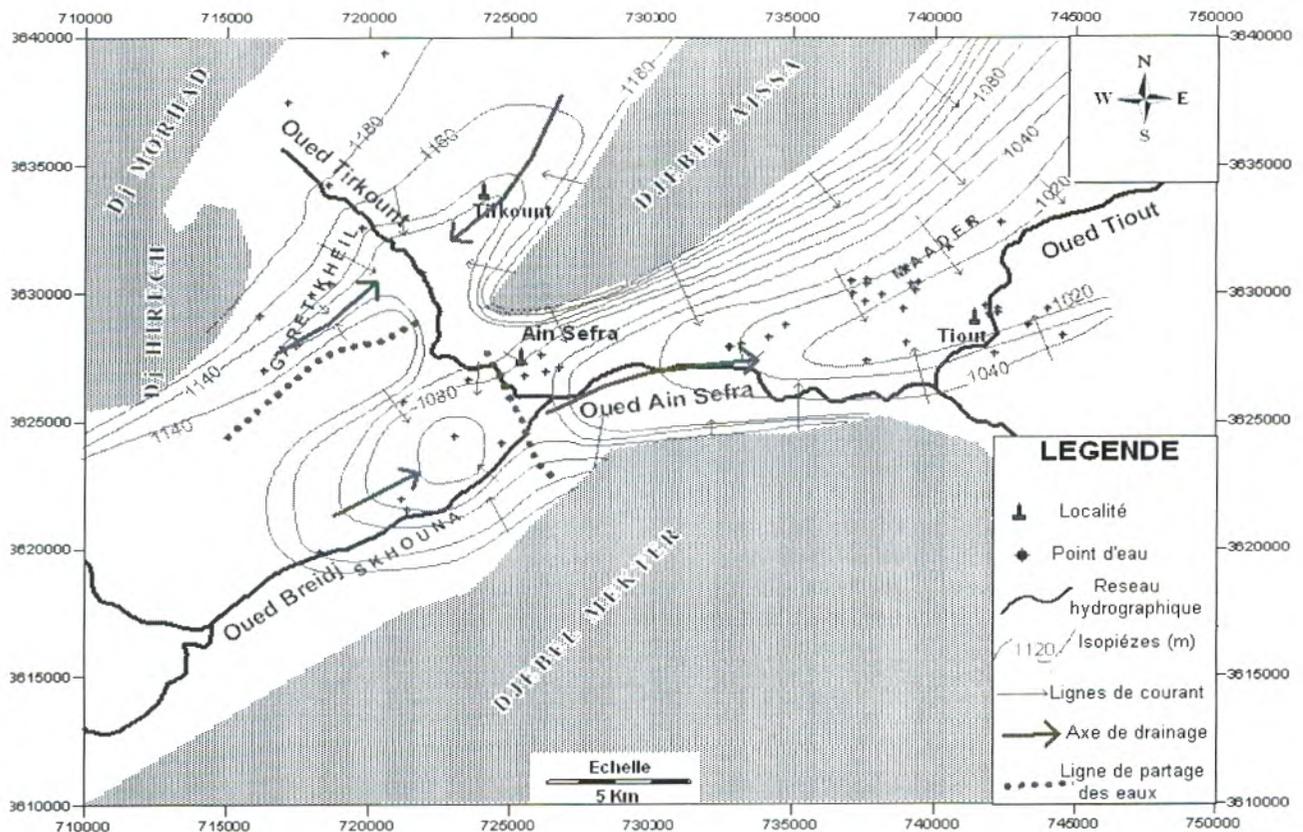


Fig.23a : Carte piézométrique (Septembre 2008)

➤ **III-2) La Transmissivité**

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

A partir des courbes de descente et de remontée (Fig.25 a-b-c-d-e-f-i), nous avons calculé des transmissivités (tableau 11) 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:

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

Tableau 11 : Valeurs des transmissivités

N°	Code	Forage	X (m)	Y(m)	ΔS (m)	Q (l/s)	T (m ² /s)	T (m ² /j)
1	F3	Maader 2	738947.00	3630908.00	5,6	18	5,8.10 ⁻⁴	50
2	F1	Maader 1	737577.55	3629575.35	3,8	18	9,3.10 ⁻⁴	80
3	F16	Mouillah	723545.10	3626513.00	0.95	20	4,6.10 ⁻³	400
4	F5	Maader 4	742359.83	3632662.20	0,15	40	2,3.10 ⁻²	2000
5	F18	Ain Sefra F4	723032.00	3624287.00	1,1	30	6.10 ⁻³	520
6	F15	Hammar	721249.16	3625661.63	15	6	7.10 ⁻⁵	6
7	F13	Naftal	726128.00	3627486.00	1,9	10	9,3.10 ⁻⁴	80
8	F9	Slih 1	734758.00	3628666.00	0,4	80	3,5.10 ⁻²	3000
9	F6	Tiout 1	744600.00	3629600.00	8	1	2,3.10 ⁻⁵	2
10	F10	Slih 2	734200.00	3628200.00	1.25	13	1.9.10 ⁻³	165
11	F17	Skhouna 2	721168.70	3621823.00	0,2	20	1,6.10 ⁻²	1400
12	F8	Matlag	743294.00	3628650.00	5,5	25	7,5.10 ⁻⁴	65
13	F11	Mehisserat 1	732850.00	3627800.00	2,4	13	1.10 ⁻³	85
14	F19	Ain Sefra F2	717473.20	3627833.75	0,4	22	9,3.10 ⁻³	800
15	F20	Ain Sefra F3	716319.90	3626892.00	0,4	25	1,1.10 ⁻²	900
16	F4	Maader 3	738930.75	3629298.60	2,7	15	2.10 ⁻³	170
17	F14	Hôpital	725507.00	3626665.00	1.1	5	8.10 ⁻⁴	70
18	F25	Tirkount 1	720700.00	3638850.00	3.5	7	3,5.10 ⁻⁴	30
19	F22	Mehisserat 2	732800.00	3627800.00	4	13	6.10 ⁻⁴	50

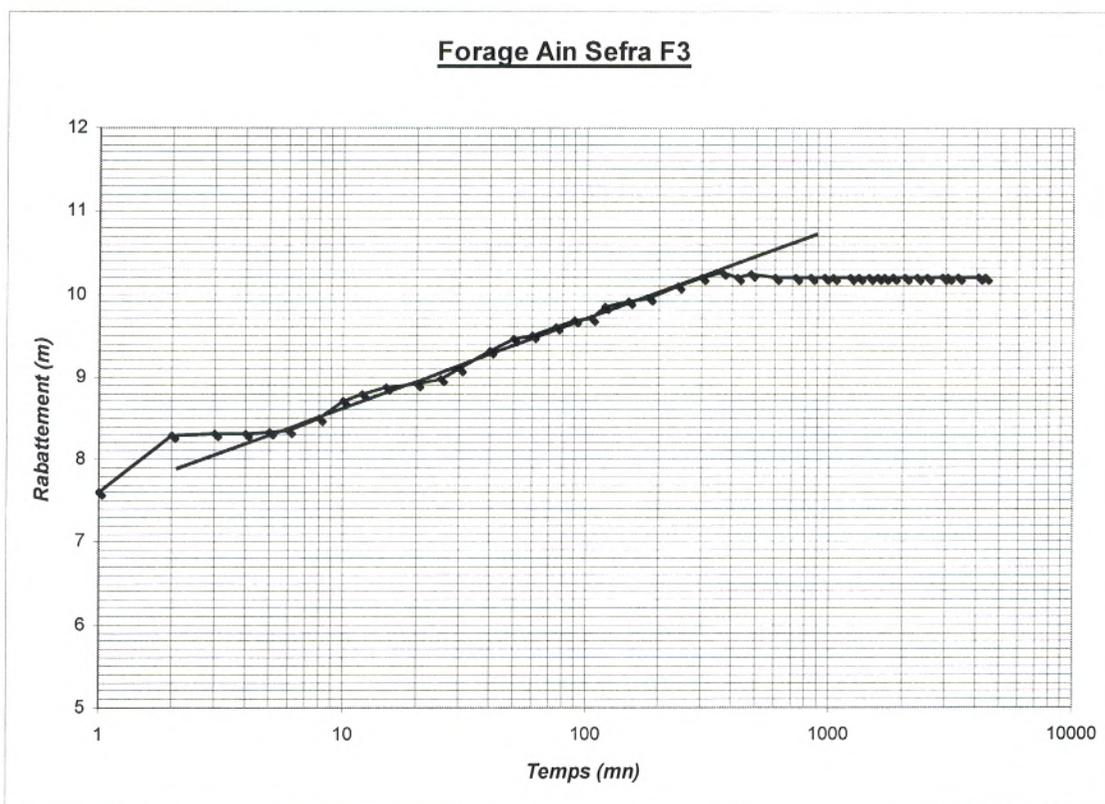
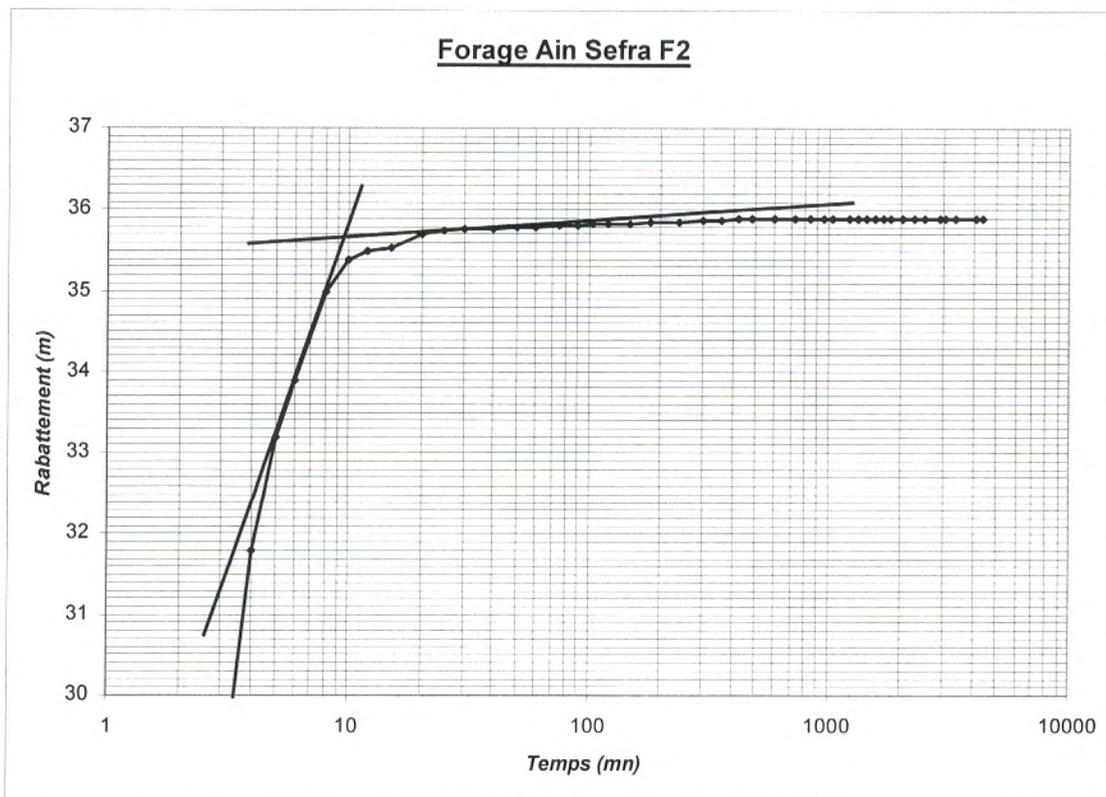


Fig.25 a : Courbe de descente

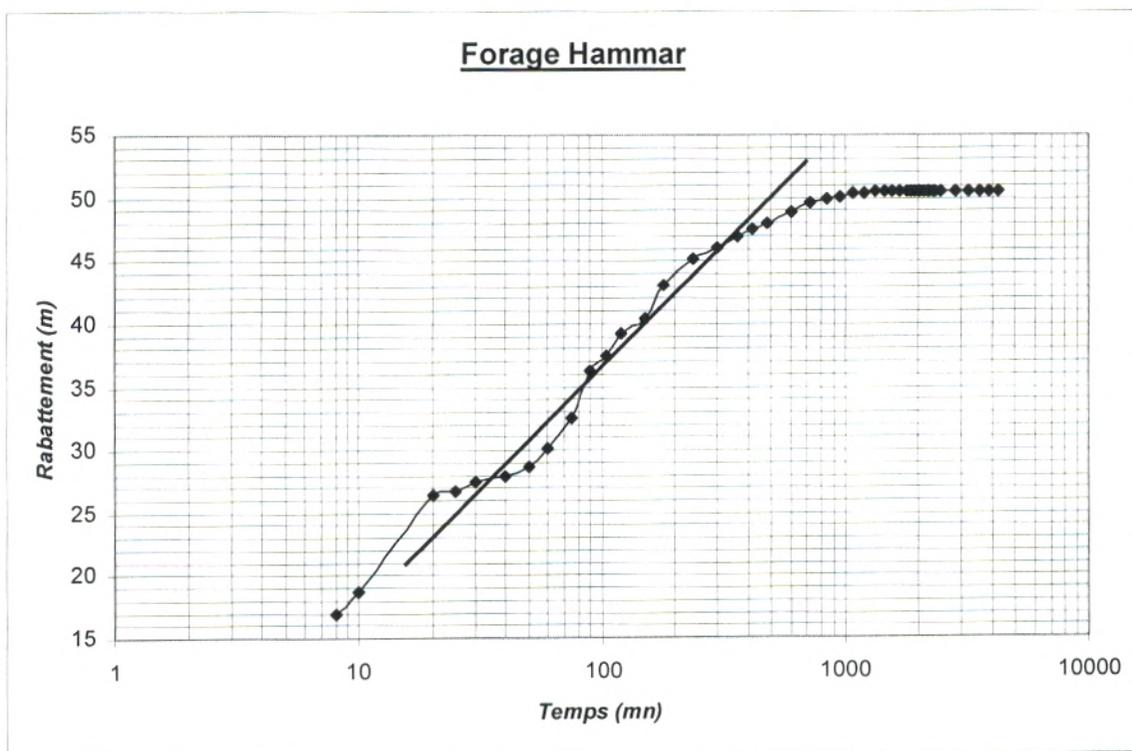
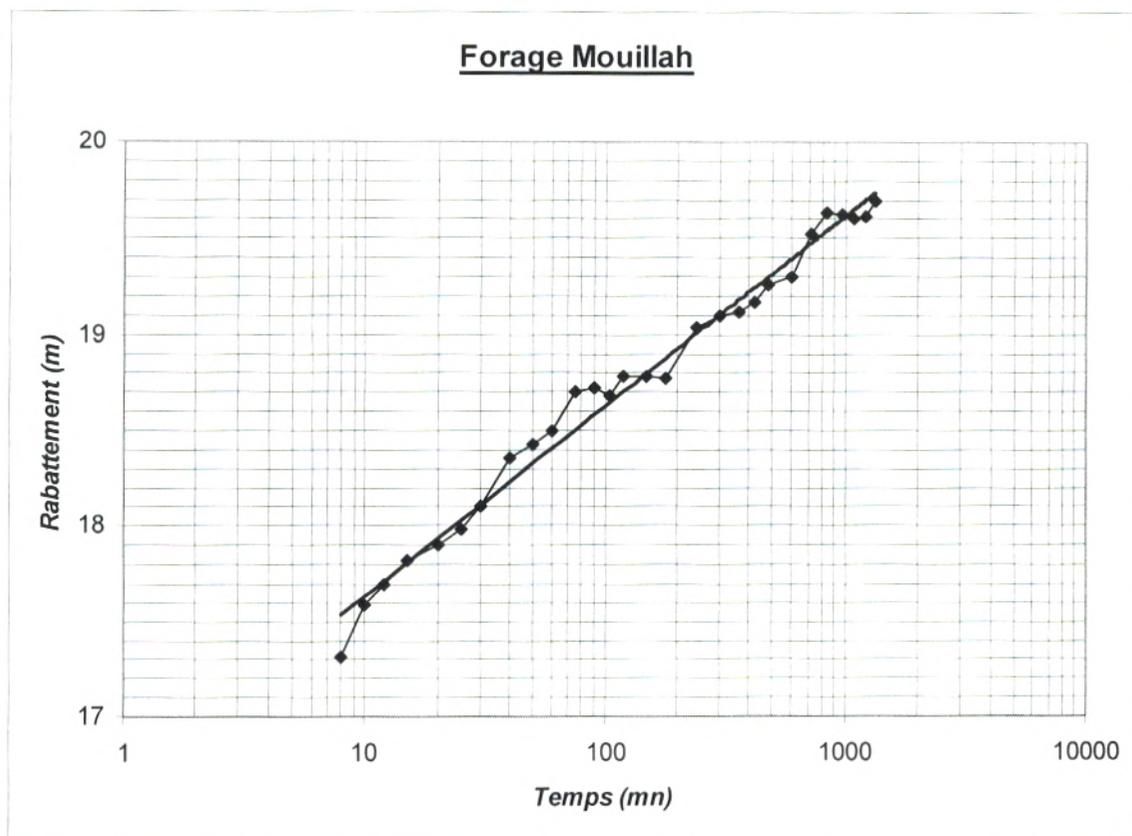


Fig.25 c : Courbe de descente

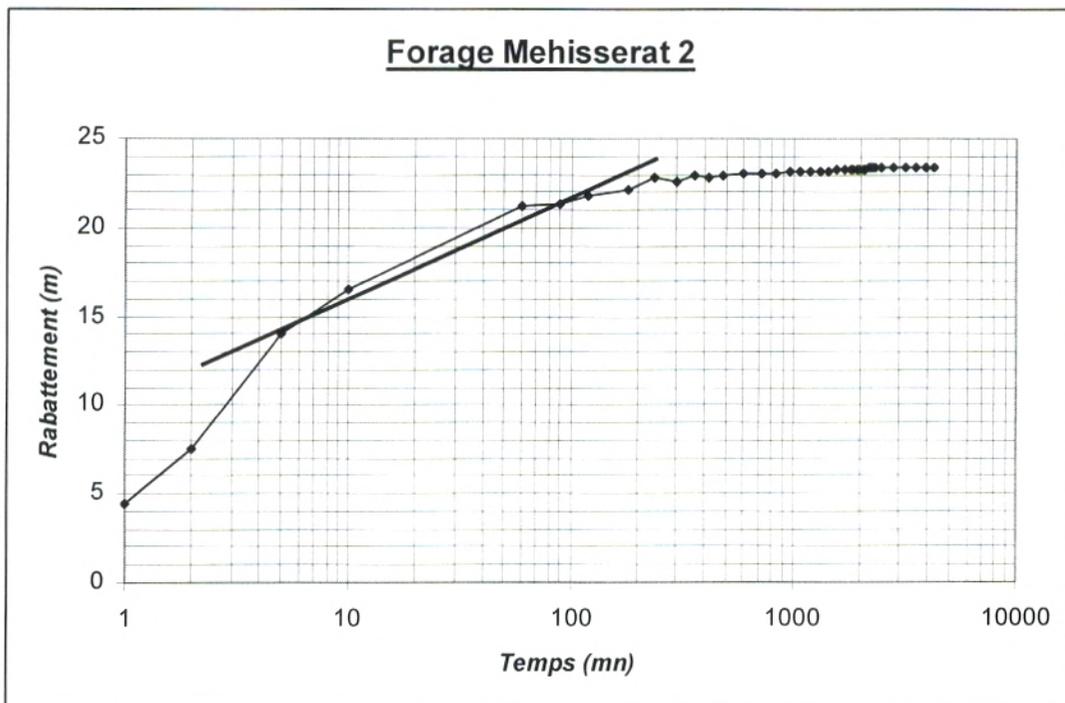
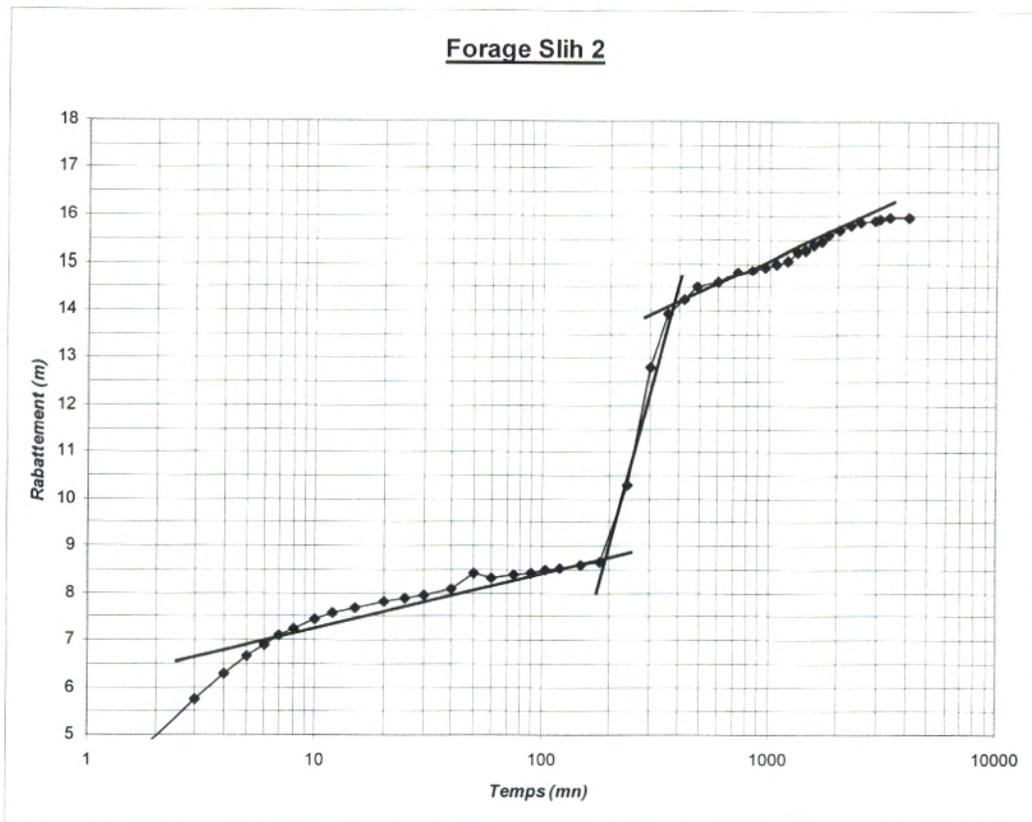


Fig.25 e : Courbe de descente

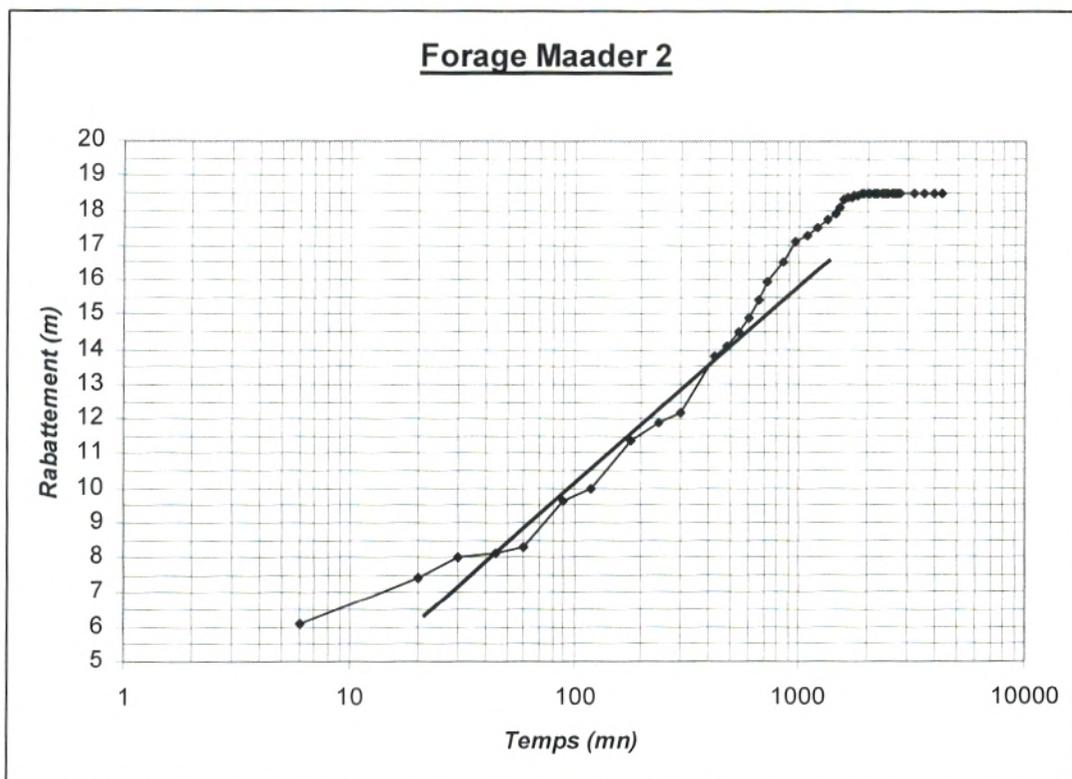
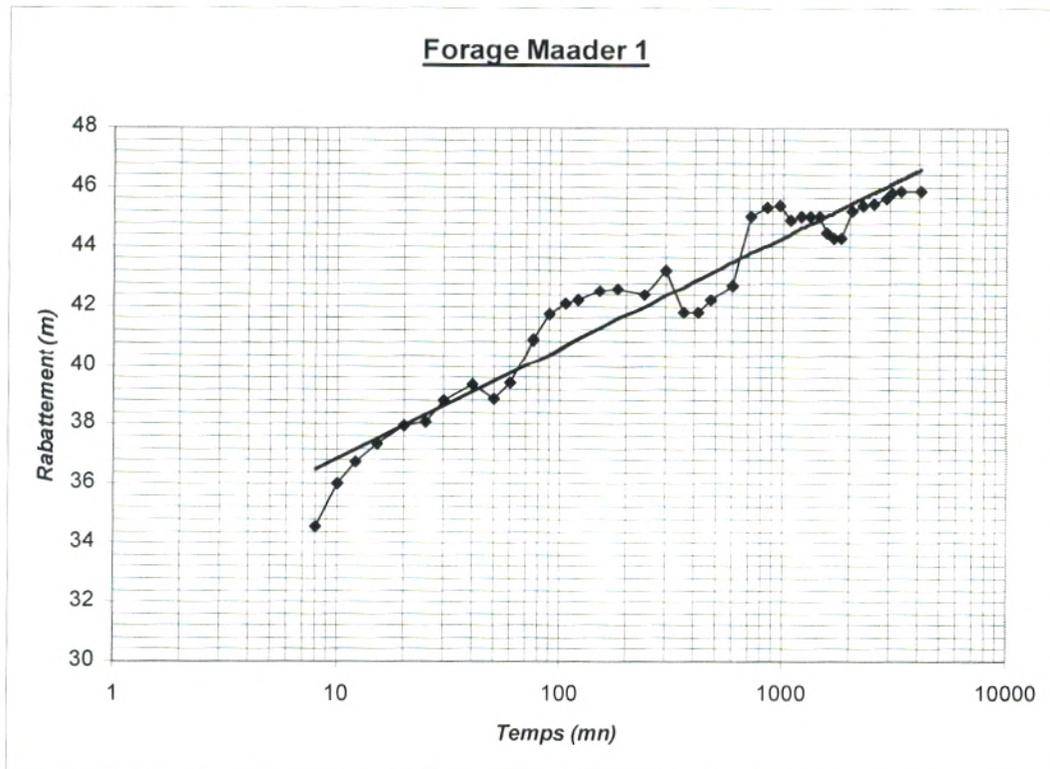


Fig.25f: Courbe de descente

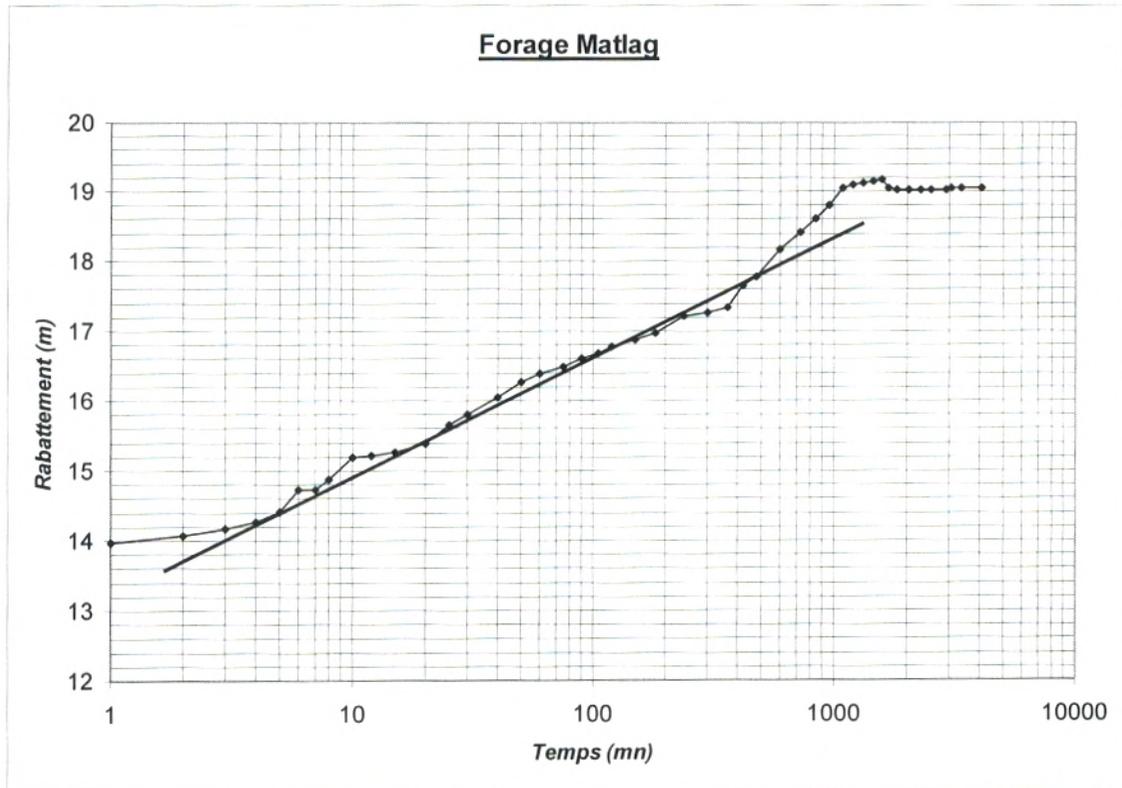
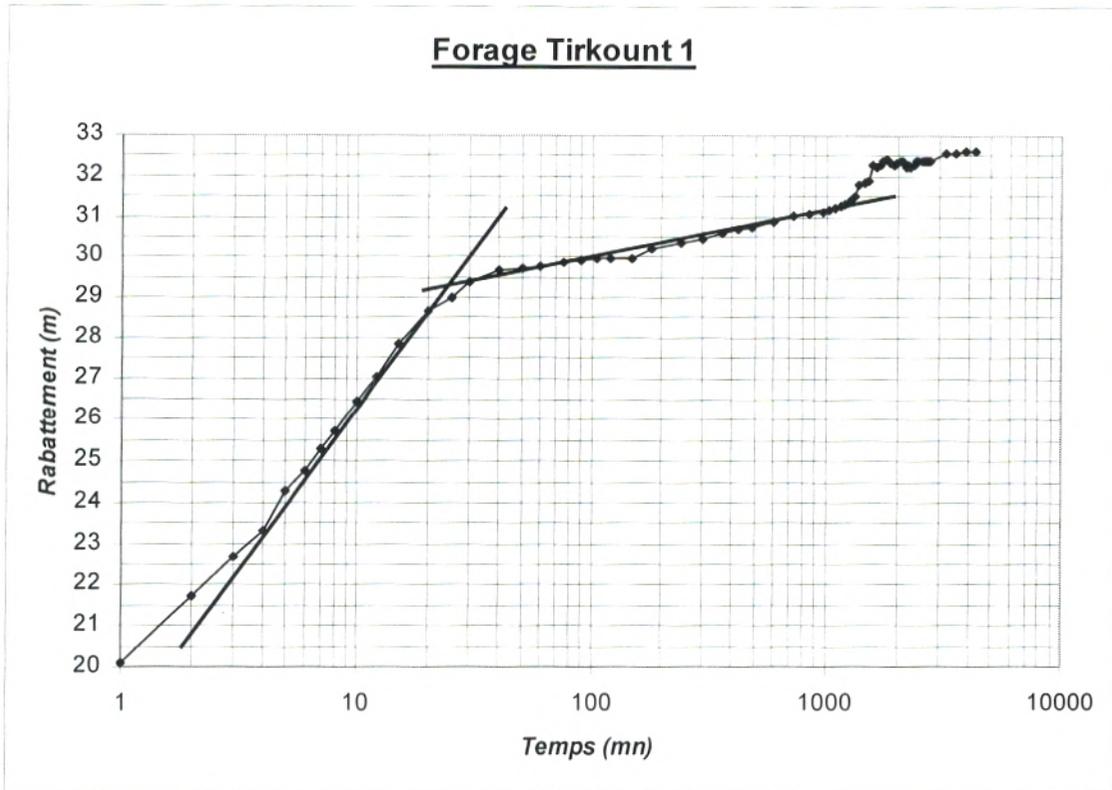


Fig.25 h : Courbe de descente

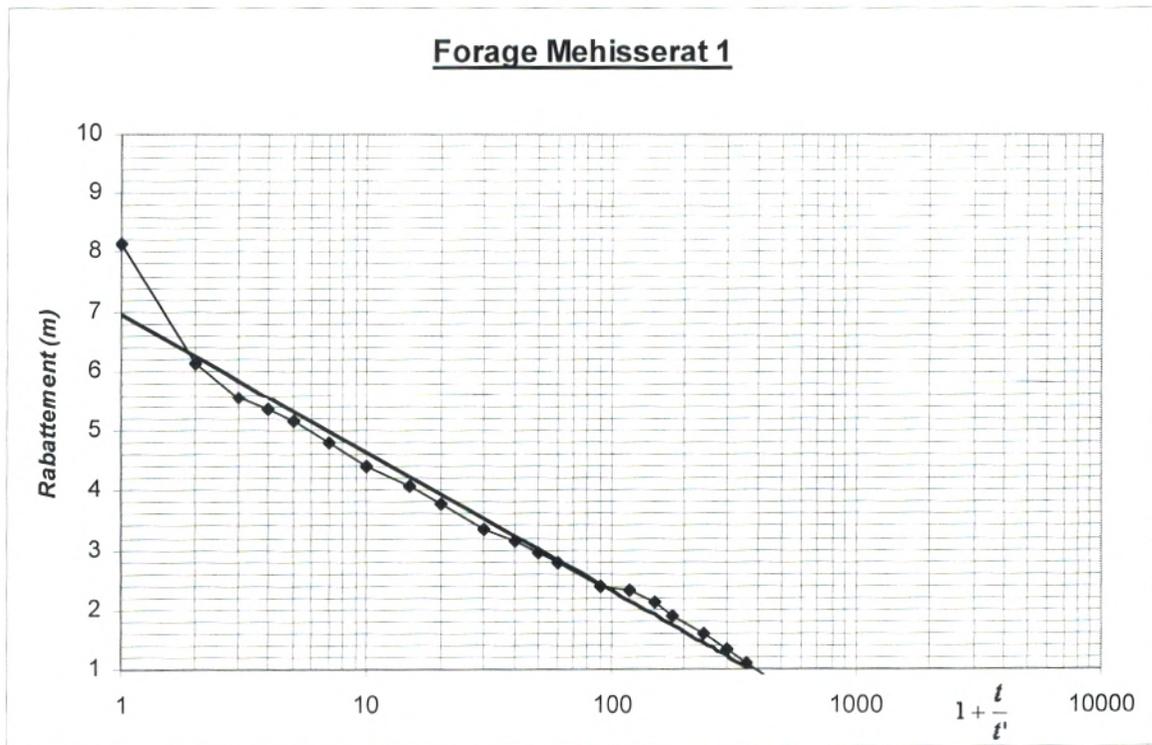
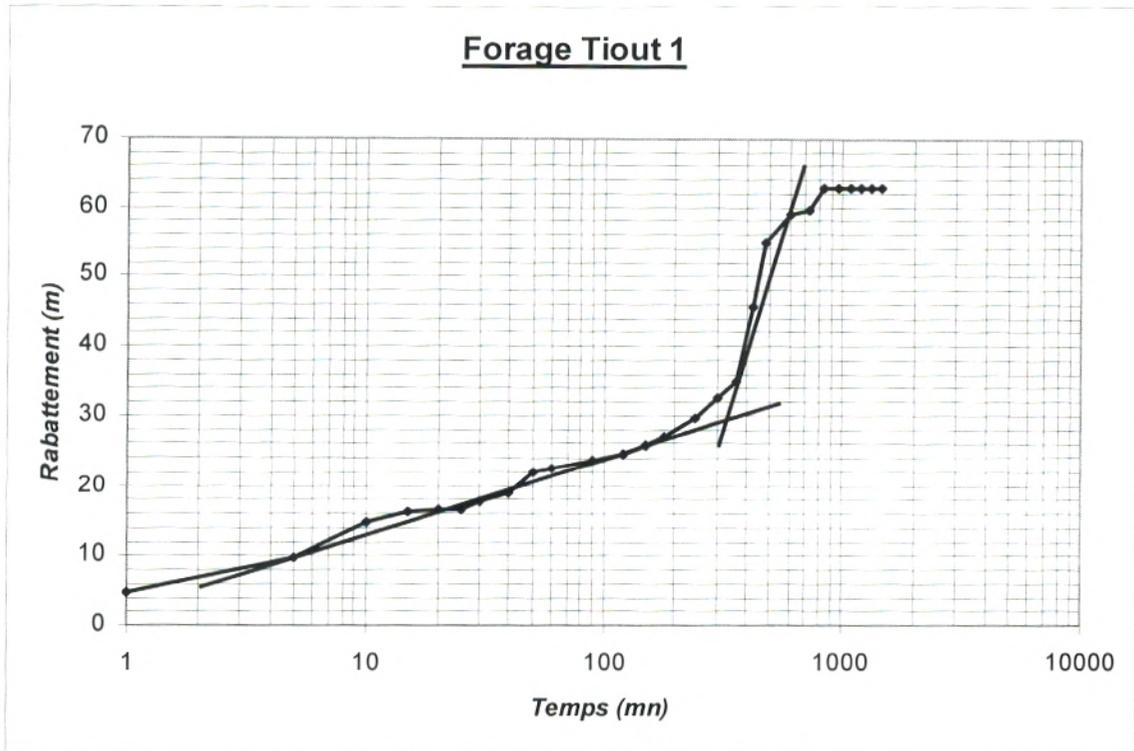


Fig.25 i : Courbe de descente et remontée

La carte des transmissivités établie (fig. 26) montre, que la transmissivité croît vers les centres des zones de :

- Garet Kheil, Skhouna, (de 5.10^{-3} à 10^{-2} m^2/s).
- Slih et Maader, (de 5.10^{-3} à $3.5.10^{-2}$ m^2/s).

Ces valeurs importantes de la transmissivité peuvent s'expliquer par la présence du faciès gréseux au niveau des axes des ces synclinaux.

- Par contre les plus faibles valeurs (de l'ordre de 0.05 à $0.5 \cdot 10^{-3}$ m^2/s) se localisent au centre d'Ain Sefra elle-même, ainsi qu'au niveau de la région de Tirkount.

Cette diminution est due au faciès argileux qui prend de l'importance par rapport aux grès.

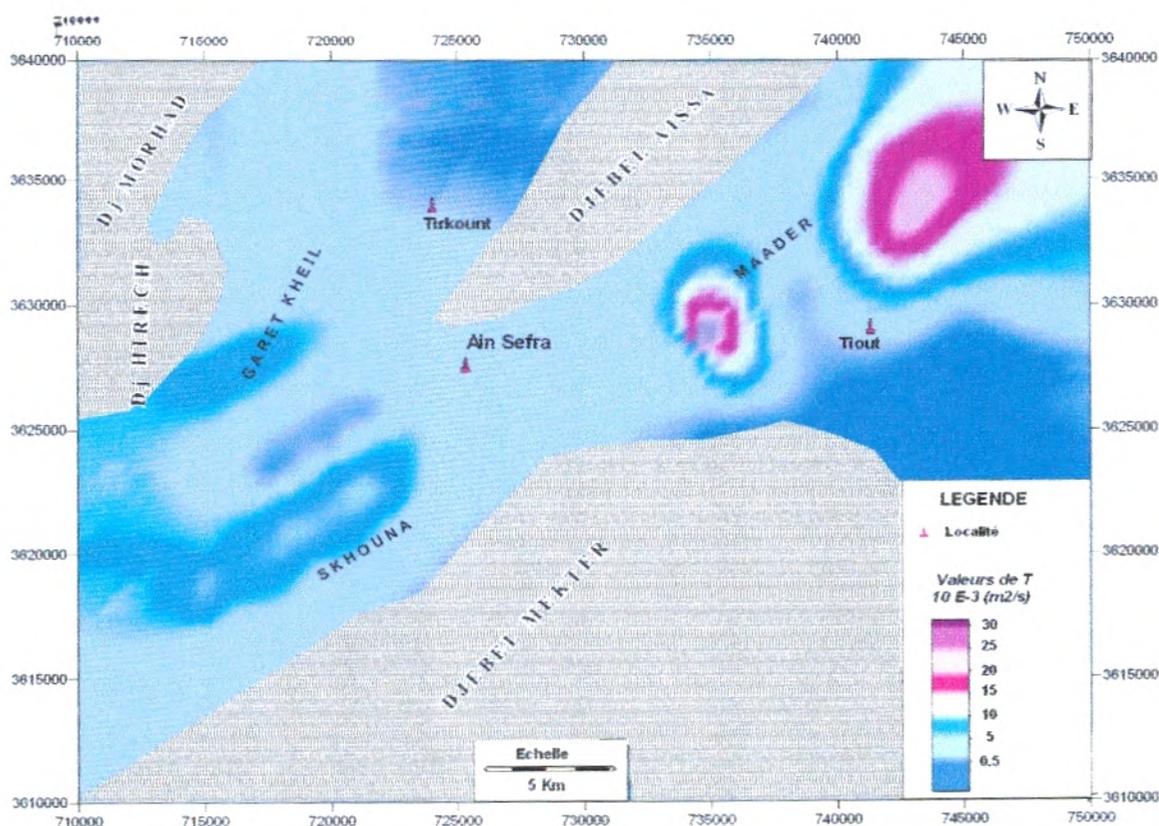


Fig.26: Carte de transmissivité par zone

HYDROCHIMIE

I) INTRODUCTION

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.

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.

L'étude hydrochimique est basée sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés par la Direction de l'hydraulique de la wilaya de Naama au niveau de 29 forages.

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^{--} et Cl^{--} .

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 13.

II) 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, une carte de minéralisation des eaux de la région (Fig.27) a été établie montrant des teneurs allant de :

- 500 mg/l à 1000 mg/l aux cœurs des synclinaux de Garet Kheil –Skhouna et Maader.
- 1000 mg/l à 2000 mg/l au Nord de Garet Kheil (région de Tirkount) et au Sud de Maader.
- 2000 mg/l à 4500 mg/l à Ain-Sefra même, et au Sud Est de Tiout.

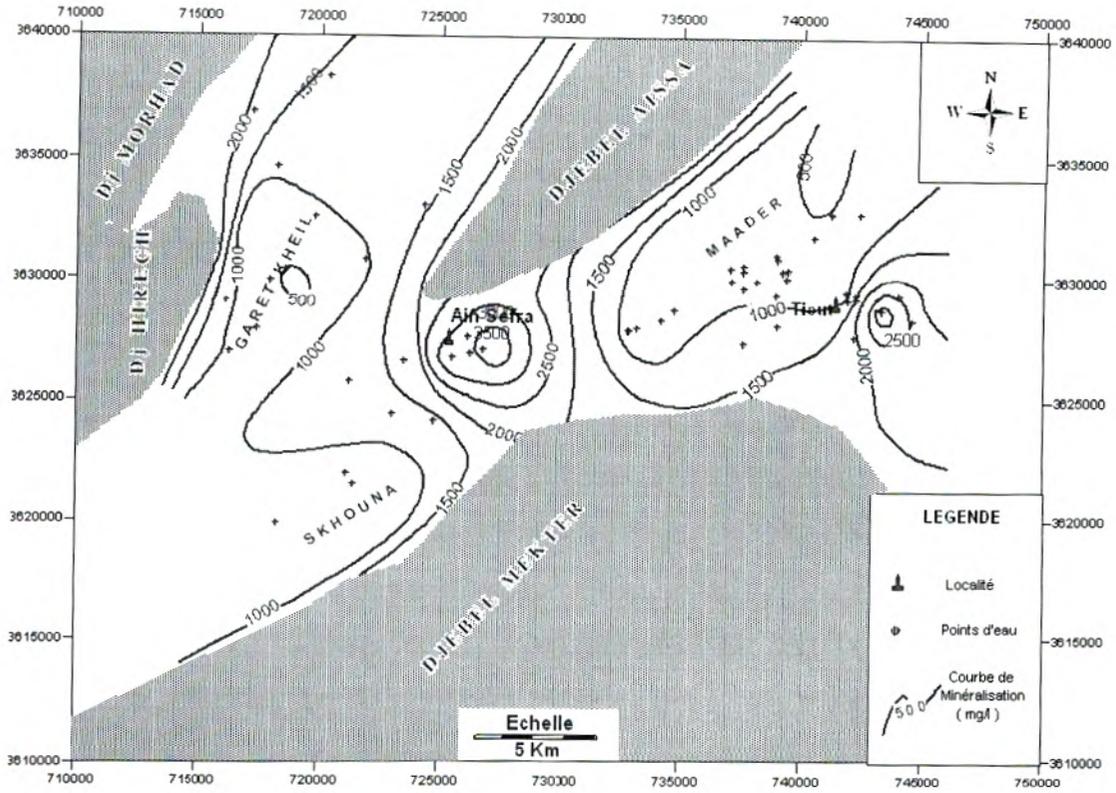


Fig. 27 : Carte de minéralisation

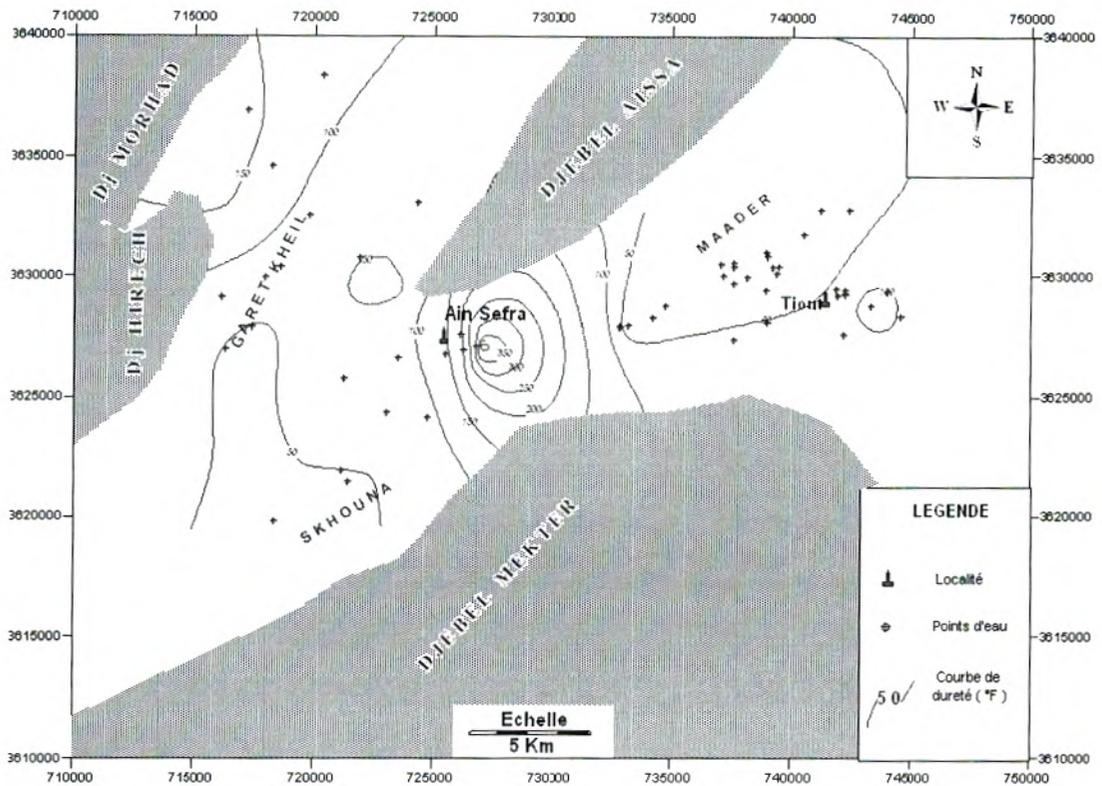


Fig. 28 : Carte de dureté

III) LA DURETE :

En plus des paramètres physico-chimiques d'une eau, la charge en minéraux est appréciée par la dureté (tableau 12), produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient.

Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique TH et s'exprime en degré français °F. (1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca⁺⁺ dans 1 litre d'eau).

$$TH = (rCa^{++} + rMg^{++}) \times 5 \text{ °F}$$

Tableau 12: Valeurs de la dureté suivant l'OMS

TH (°F)	0 à 7	7 à 22	22 à 32	32 à 54	>54
Dureté	douce	Modérément douce	Assez dure	Dure	Très dure

La carte de la dureté totale (Fig. 28) exprimée en °F montre des valeurs variant entre:

- 30°F et 50°F dans la région de Garet Kheil, Skhouna et Maader.
- 50°F et 150°F à l'Est et l'Ouest du centre d'Ain Sefra, au Nord-Ouest d'Ain Sefra et au Sud-Est de Tiout (Matlag).
- 150°F et 400°F au centre d'Ain Sefra.

En général les eaux de la région sont dures à très dures.

IV) Le PH :

Le pH des eaux de la région est compris entre 7.2 dans et 8.4. (fig. 29)

Donc c'est une eau de pH proche de la neutralité.

La réglementation algérienne considère comme acceptable les valeurs des pH comprises entre 6,5 et 8,5.

V) LES CARTES D'ISOTENEURS en Na⁺⁺, Cl⁻ et SO₄⁻⁻ : Fig. 30-31-32

On observe une forte concentration :

- en chlorures (plus de 2000 mg/l), au centre d'Ain Sefra
- en sulfates (plus de 2000 mg/l), au centre d'Ain Sefra, et la partie Nord-Ouest de Garet Kheil.
- en sodium (plus de 1000 mg/l), au centre d'Ain Sefra .

et des concentrations plus ou moins faibles :

- en chlorures (moins de 200 mg/l)
- en sulfates (moins de 400 mg/l)
- en sodium (moins de 200 mg/l)

pour les régions de Skhouna, Garet Kheil et Maader.

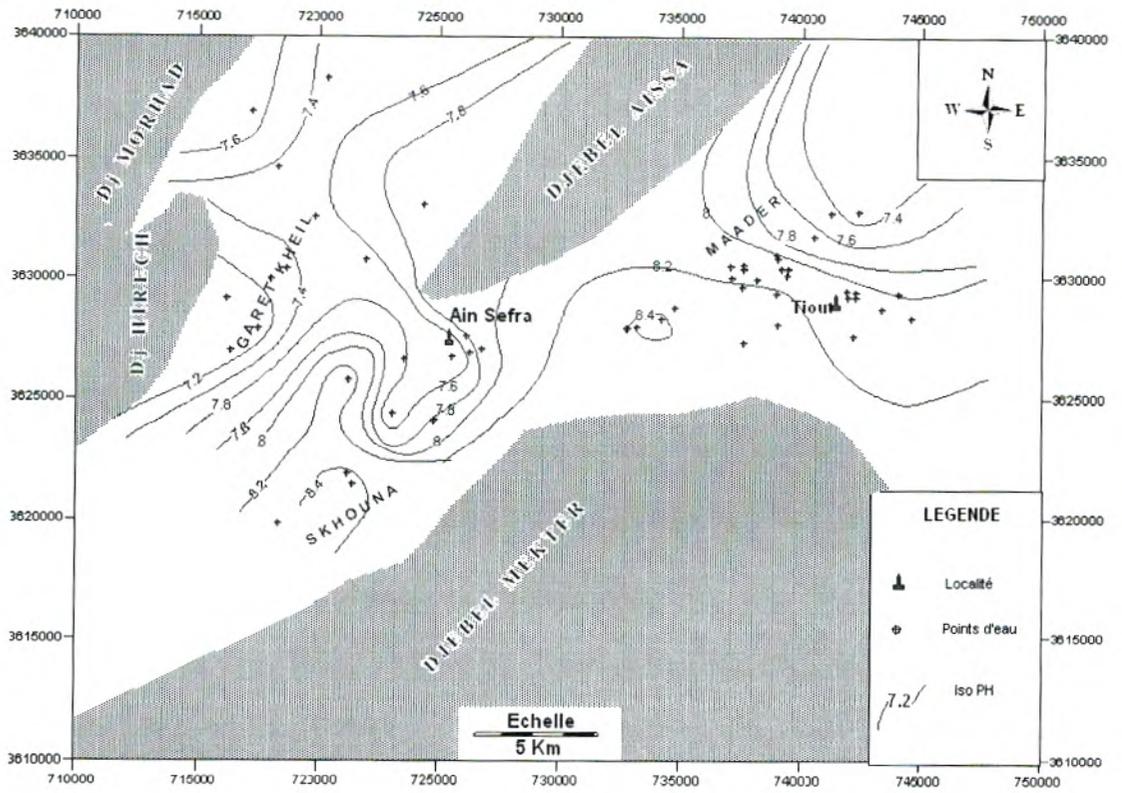


Fig. 29 : Carte isoPH

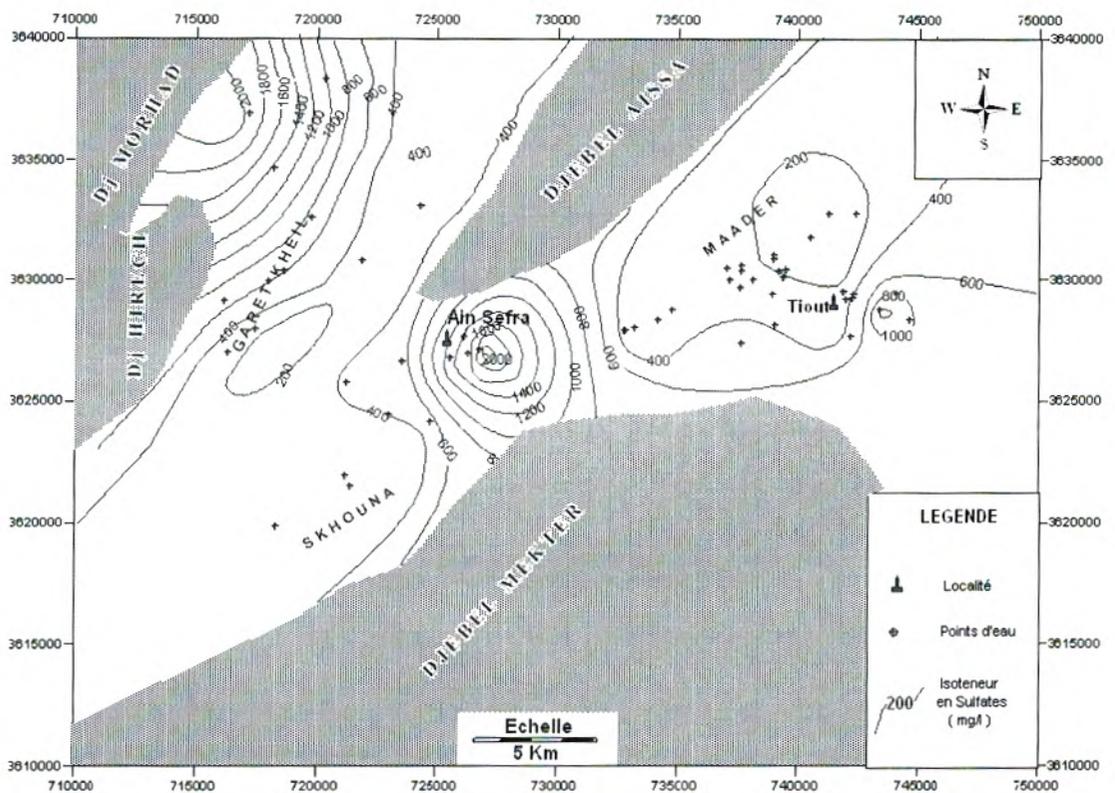


Fig. 30 : Carte isotener SO₄²⁻

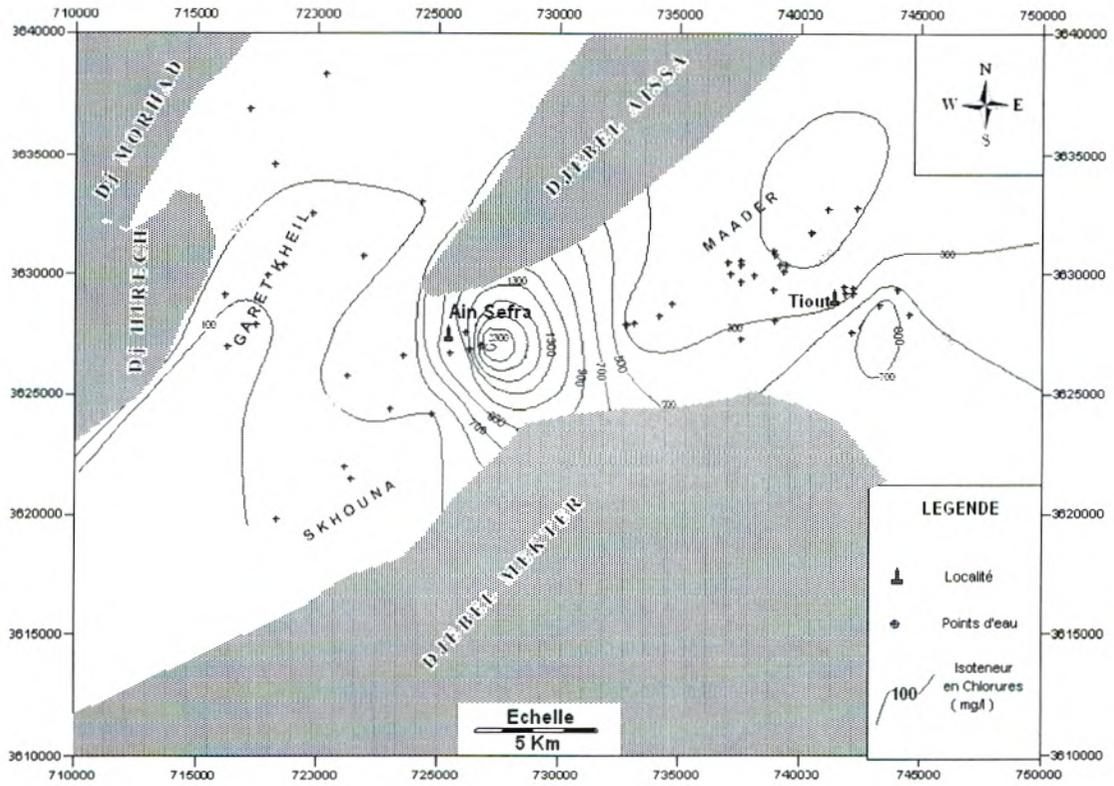


Fig. 31 : Carte isoteneur Cl^-

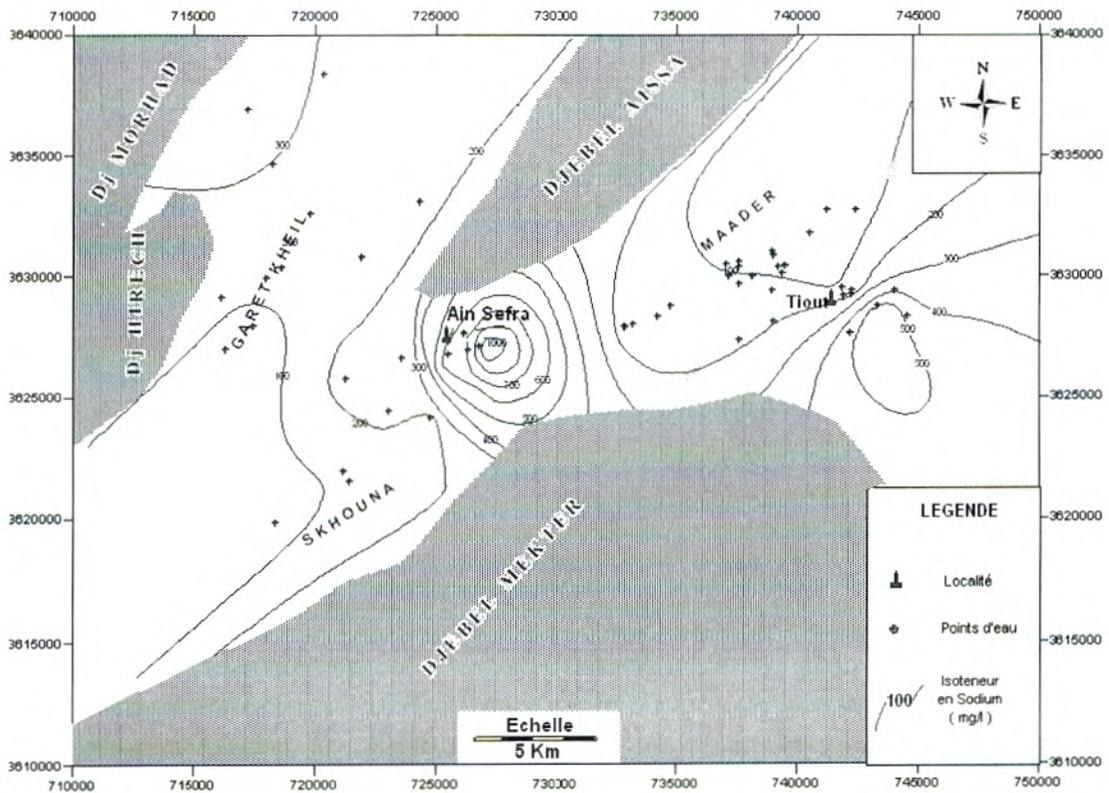


Fig. 32 : Carte isoteneur Na^{++}

VI) 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 SCHOELLER-BERKALOFF, et PIPER (Fig. 33-a-b-c), 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 les principaux faciès chimiques des eaux de la région qui sont au nombre de 06:

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

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

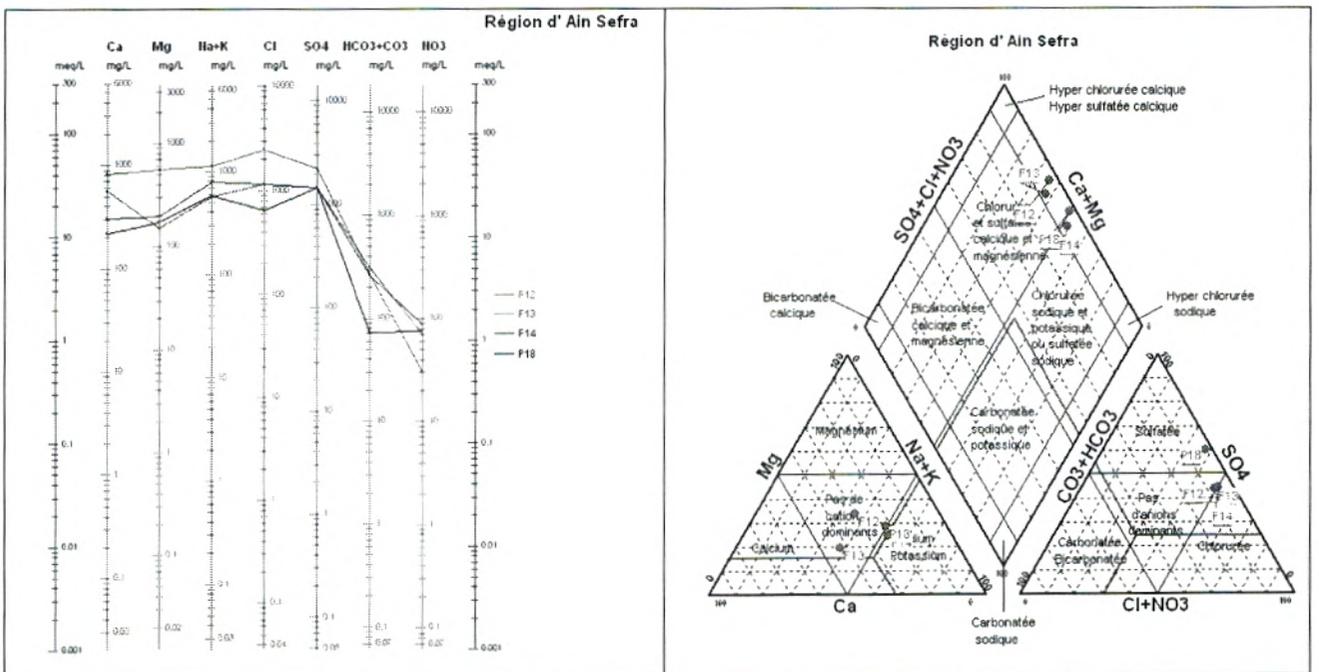
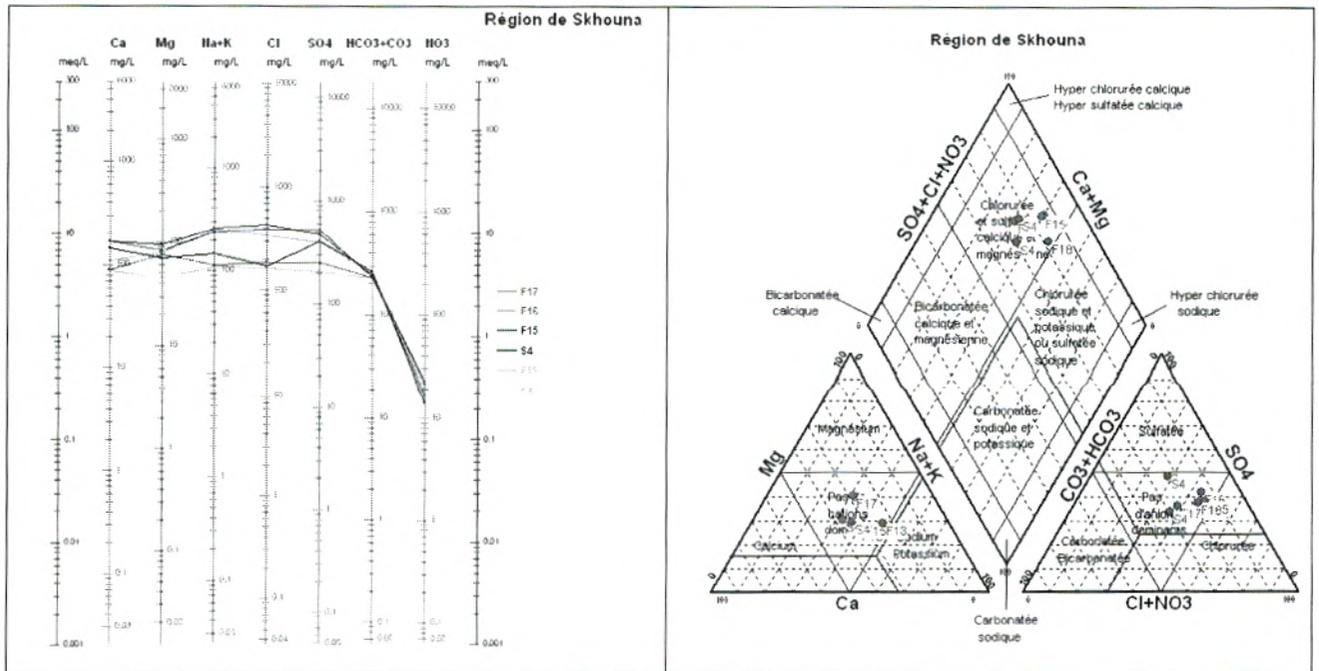


Fig.33a : Représentations graphiques des eaux sur les diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper

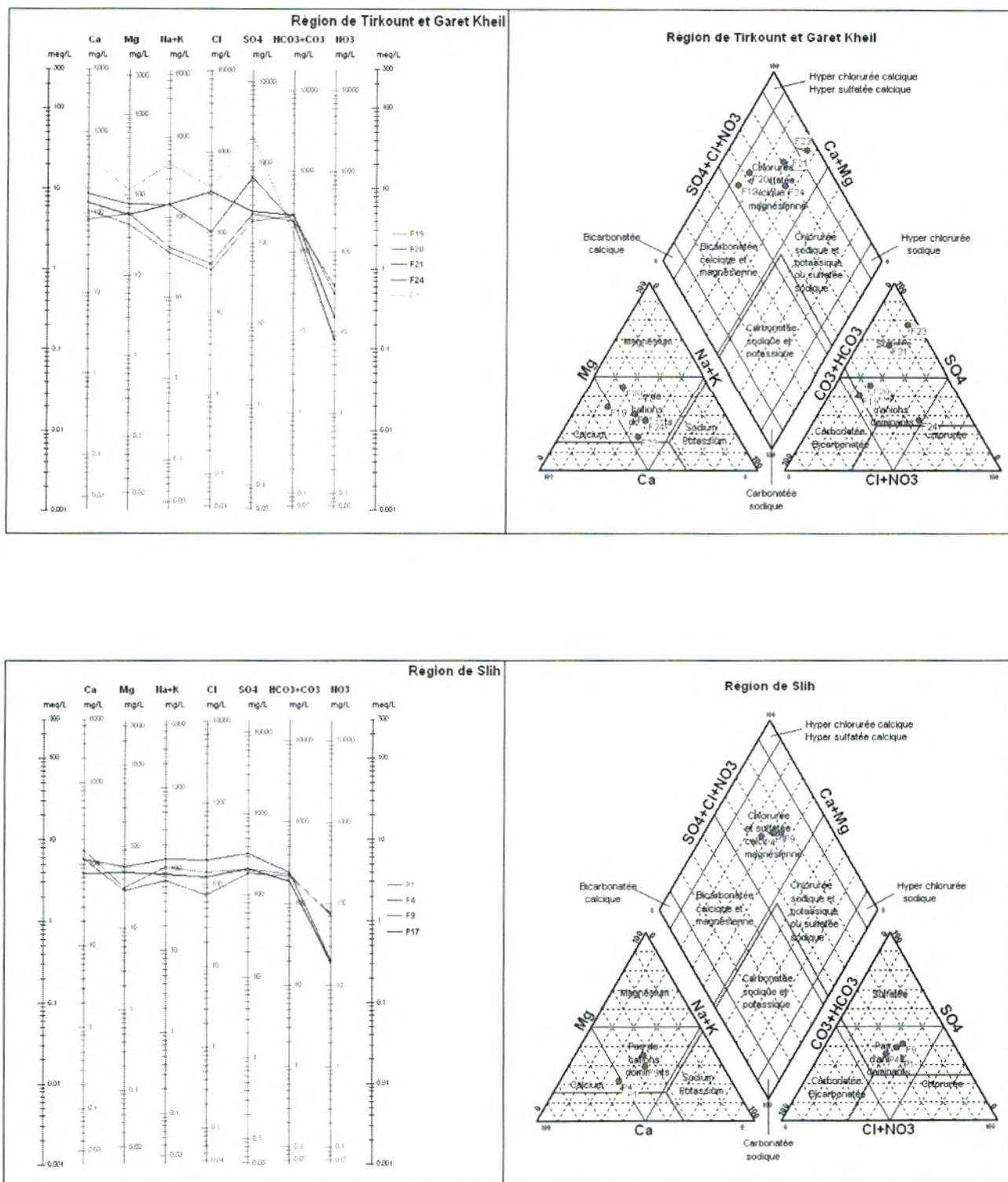


Fig.33b : Représentations graphiques des eaux sur les diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper

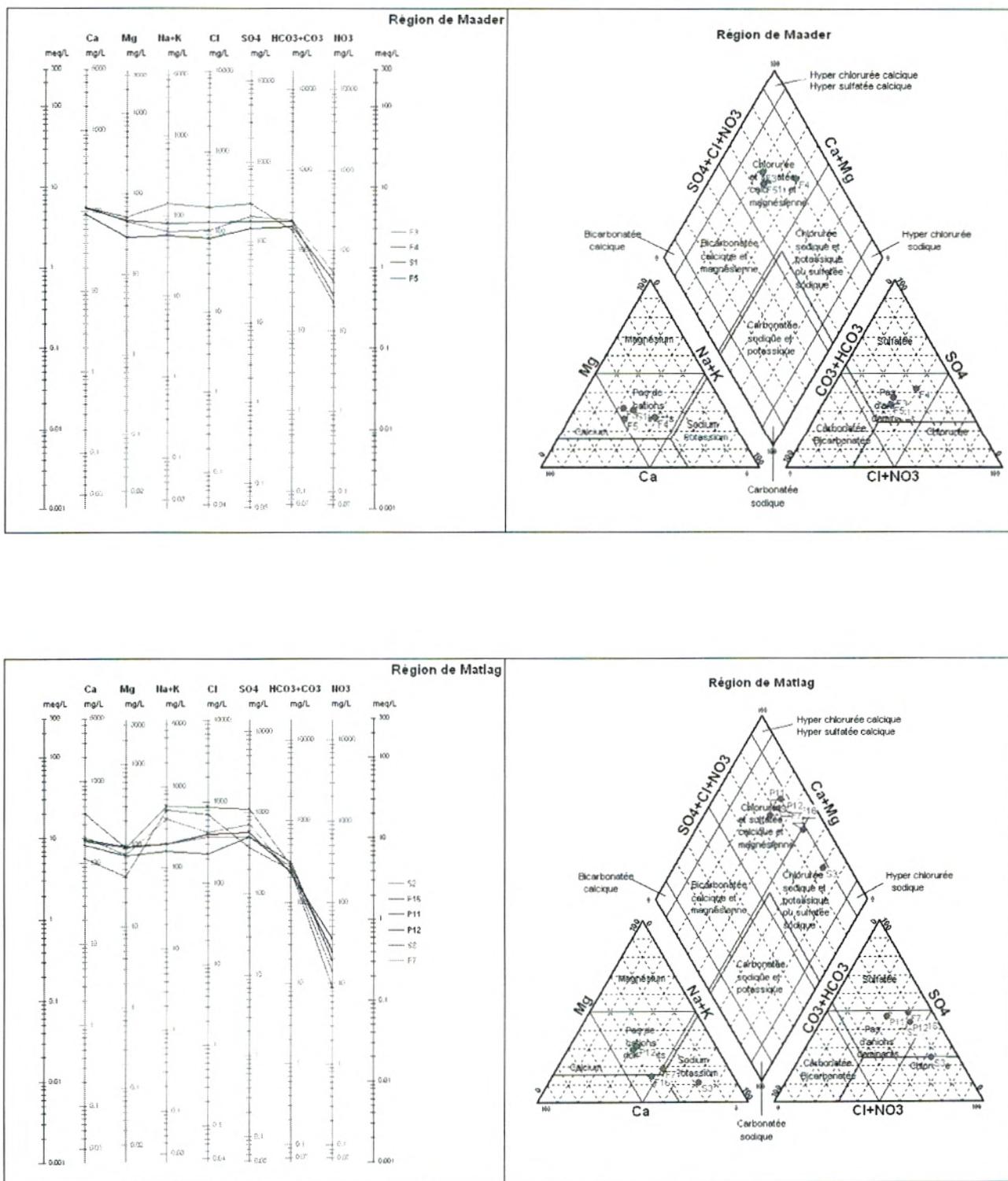


Fig.33c : Représentations graphiques des eaux sur les diagrammes Schoeller-Berkaloff et Piper

Tableau 13 : Données des analyses physico-chimiques

N°	Cod e	points d'eau	X (m)	Y (m)	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	Cond. µs/cm	Min. mg/l	R,S mg/l	PH	Dureté °F	Facès chimique	Potabilité
1	P1	P1	738131.37	3629871.45	150	31	105	0	142	212	227	75	1.6	1152	1036	6,6	51	Sulfaté Calcique	Bonne
2	P4	P7	738986.49	3630741.15	116	29	70	0	73	182	220	72	1.2	864	773	6,5	41	Sulfaté Calcique	Bonne
3	S2	Source chaib	742213.25	3629142.03	182	94	194	3	365	503	270	14	2.4	1728	1663	6,5	85	Sulfaté Calcique	Médiocre
4	F17	Skhouna	721168.70	3621823.00	90	76	109	6	184	250	227	22	1	720	880	8.5	54	Sulfaté Magnésien	Passable
5	F16	Mouillah	723545.10	3626513.00	168	83	230	11	390	523	228	23	2.20	1584	1533	7.6	77	Chloruré Sodique	Médiocre
6	F15	Hammar	721249.16	3625661.63	172	97	250	9	422	470	240	17	2.20	1584	1680	8.5	83	Chloruré Sodique	Médiocre
7	F12	Ain-Sefra F94	726776.60	3626986.50	832	560	1115	30	2477	2255	268	30	6	4320	7540	8	440	Sulfaté Sodique	Mauvaise
8	F9	Slih	734758.00	3628666.00	116	56	130	4	198	322	242	20	1.10	792	1000	8.4	52	Sulfaté Calcique	Passable
9	F13	Naftal	726128.00	3627486.00	561	151	548	20	1160	1440	309	70	4.40	3168	4960	7.8	203	Chloruré Calcique	Mauvaise
10	F14	Hôpital	725507.00	3626665.00	303	194	771	20	1165	1440	260	87	5.20	3744	4660	7.5	156	Chloruré Sodique	Mauvaise
11	P18	Puits	726284.80	3626824.70	215	172	557	27	641	1475	73	77	3.73	2686	3200	7.5	125	Sulfaté Sodique	Mauvaise
12	P17	Puits Mehisserat	733198.00	3627892.50	76	48	78	9	123	211	187	19	0.80	576	680	8.4	39	Sulfaté Magnésien	Bonne
13	F19	Ain Sefra F2	717473.20	3627833.75	107	43	32	4	34	192	278	30	0.86	618	660	7.03	45	Bicarbonaté Calcique	Bonne
14	F20	Ain Sefra F3	716319.90	3626892.00	83	59	37	5	41	235	242	37	0.86	619	740	7.1	46	Sulfaté Magnésien	Bonne
15	F16	Matlag	743294.00	3628650.00	401	92	557	10	855	1104	278	24	4.80	3456	3460	8	139	Chloruré Sodique	Mauvaise
16	F3	Maader 2	738947.00	3630908.00	112	46	60	4	102	211	231	53	0.90	648	720	7.8	47	Sulfaté Calcique	Bonne
17	F4	Maader 3	738930.75	3629298.60	108	51	138	7	197	302	175	22	1.40	1008	1080	8.4	48	Sulfaté Sodique	Passable
18	F7	Tiout 2	745050.70	3628679.00	208	75	390	7	416	720	222	26	2.70	1944	2200	8	83	Sulfaté Sodique	Médiocre
19	S1	Source Tiout	741831.60	3629403.00	108	47	78	5	129	178	230	27	1	720	680	8	47	Bicarbonaté Calcique	Bonne
20	S5	Source Dzira	724744.00	3624028.00	146	71	138	9	170	413	257	14	1.6	1152	1200	7.9	66	Sulfaté Calcique	Passable
21	F18	Ain-Sefra F4	723032.00	3624287.00	108	80	244	8	341	399	248	19	1.75	1260	1500	7.26	60	Chloruré Sodique	Passable
22	F21	Ain-Sefra F1	716180.90	3629053.16	176	79	136	9	102	656	235	8	1.62	1166	1500	7.02	77	Sulfaté Calcique	Médiocre
23	P11	Tiout APC	741900.00	3629100.00	166	73	143	15	228	499	310	19	1.7	1224	1480	8.1	72	Sulfaté Calcique	Médiocre
24	P12	Tiout Gare	737600.00	3627250.00	192	97	184	12	392	566	226	35	2	1440	1900	8.2	88	Sulfaté Calcique	Médiocre
25	S4	Ain Skhouna	721408.65	3621373.80	88	46	104	3	161	202	227	0	0.9	648	739	8.5	41	Chloruré Sodique	Passable
26	S3	Source Lahlaf	742143.00	3627510.00	112	41	497	13	695	365	247	9	2.5	1800	2080	8	45	Chloruré Sodique	Mauvaise
27	F5	Maader 4	742359.83	3632662.20	91	29	53	4	81	148	196	42	0.78	567	660	7.29	35	Bicarbonaté Calcique	Bonne
28	F23	Belefloufa	716400.00	3636550.00	495	117	435	25	369	2150	167	8	3.3	2376	3500	7.05	172	Sulfaté Calcique	Mauvaise
29	F24	Tirkount 2	722900.00	3634500.00	134	58	145	2	324	250	290	15	1.7	1224	1280	7.9	58	Chloruré Calcique	Passable

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

I) DEFINITION 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 ensemble de documents cartographiques en format numérique, dans lesquels les entités géométriques (point, ligne et polygone) sont géoréférencés, auxquels est associée une base de données que l'on peut exploiter à l'aide de requêtes et d'analyser à l'aide d'opération pour produire des cartes thématiques et des résultats statistiques. 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 afin de les visualiser, les comprendre et aider à la décision.

II) FONCTIONNALITES D'UN SIG.

Le SIG c'est une possibilité de générer dans les délais raisonnables, des produits cartographiques, carte, tableau, graphes pouvant permettre de répondre à certaines questions essentielles et pratiques de gestion et de planification. C'est un système de gestion de l'information de données, codées suivant une grille géographique.

Il comprend des outils de saisie, de stockage, d'analyse et d'affichage de données spatiales.

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 la prise de décision.

Les SIG s'appliquent dans plusieurs domaines dont les études et la gestion des ressources en eaux souterraines, objet de notre étude.

III) 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 de 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.

NOM :	MAPINFO	
VERSION :	6.5 PROFESSIONNEL	
SPECIALITE :	CARTOGRAPHIE	
SITE WEB:	WWW.MAPINFO.COM	

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.

IV) METHODOLOGIE DE TRAVAIL.

La méthodologie adoptée consiste à élaborer un SIG pour le traitement des différentes informations organisées dans une base de données.

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

IV-1) Collecte de données

Les données de sources diverses sont inventoriées sur terrain, à partir de plusieurs organismes dont la direction de l'hydraulique de la wilaya de Naama (DHW Naama), et par numérisation des cartes existantes (Tableau 14).

Tableau 14 : 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 DHW Naama
Piezometrie	Polylignes	Interpolation et digitalisation	Inventaire DHW Naama
Transmissivité	Polylignes	Interpolation et digitalisation	Inventaire DHW Naama
Cartes d'isoteneurs	Polylignes	Interpolation et digitalisation	Inventaire DHW Naama

IV-2) La Géodatabase

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.

La base de données élaborée est à deux composantes :

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

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 potabilité

IV-3) Le géoréférencement et la numérisation 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.

La zone d'étude s'étale sur plusieurs cartes topographiques à l'échelle 1/50 000 à savoir les cartes:

- Ain Sefra
- Sfissifa
- Tiout
- Djebel Cherachar

ainsi que la carte d'Ain Sefra au 1/200.000.

Pour la géologie, les cartes numérisées ont été produites à partir des cartes géologiques d'Ain Sefra et Forthassa-Gharbia (Galmier 1972), échelle 1/100 000, scannées au format A4.

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 connue sous le terme « géoréférencement » qui transforme les données spatiales en données géographiques (Fig.34), nous a permis d'assembler les différentes couvertures en question.

Pour géoréférencier notre support cartographique, le choix 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.

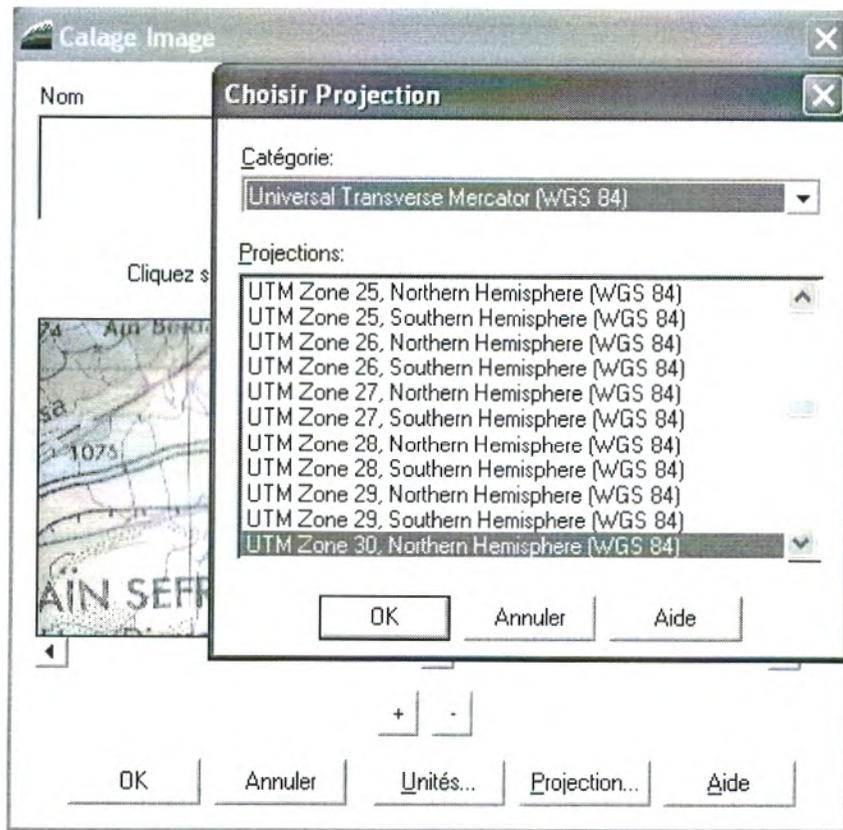


Fig.34: Choix du système de projection

Des points de calage, 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. 35 –36).

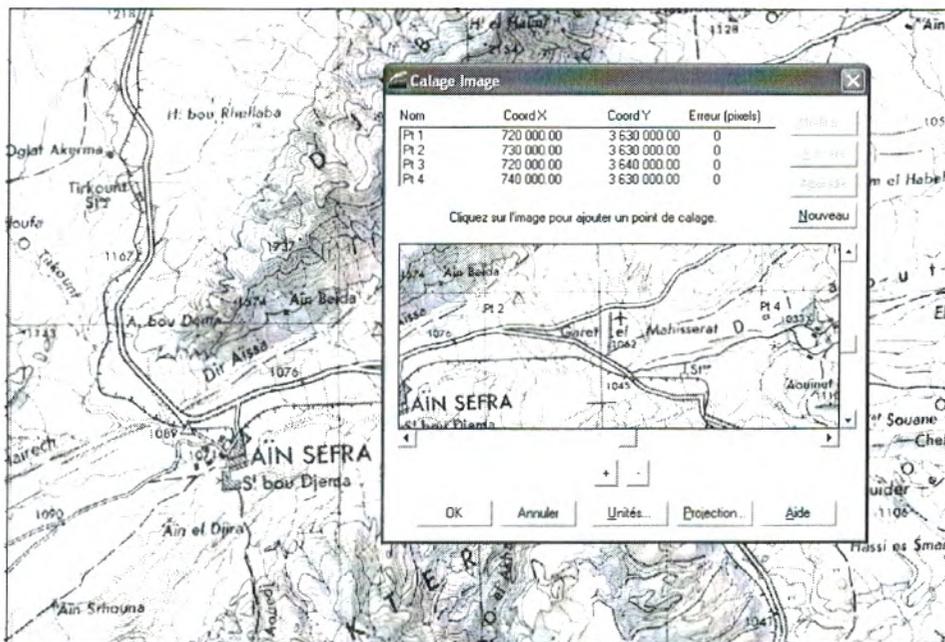


Fig.35 : Calage de la carte topographique

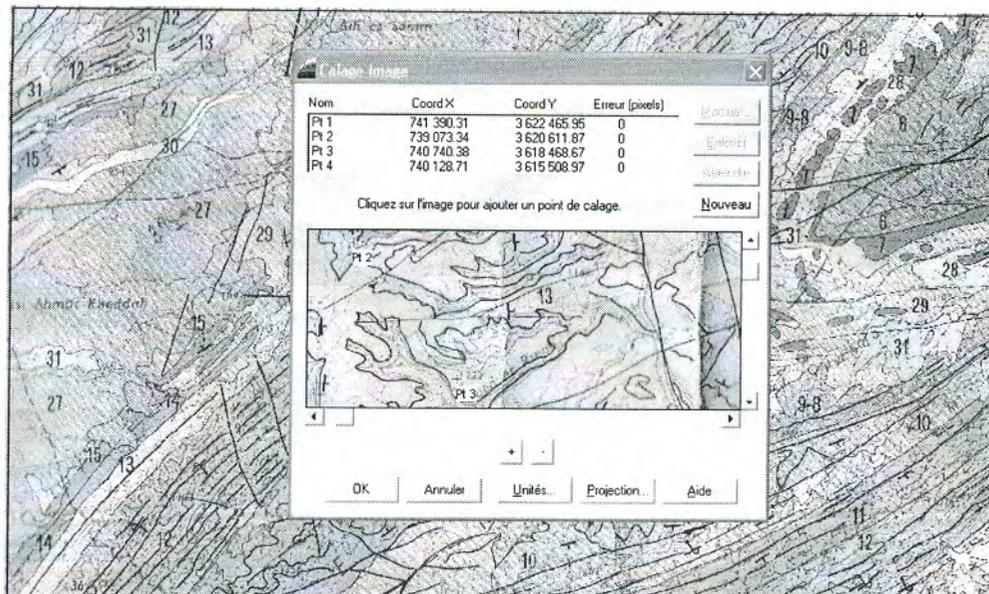


Fig.36 : Calage de la carte géologique

V) ELABORATION DES RESULTATS.

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

V-1) TOPOGRAPHIE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le modèle numérique de terrain constitue l'élément de base du SIG, car il délimite les bassins versants, et donne un aperçu sur le relief, qui est l'un des premiers critères conditionnant l'emplacement d'un forage.

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 20 m, ainsi que les points cotés saisis sur les cartes topographiques au 1/50 000 et au 1/200 000 numérisée et calée (Fig. 37).

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. 38).

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.

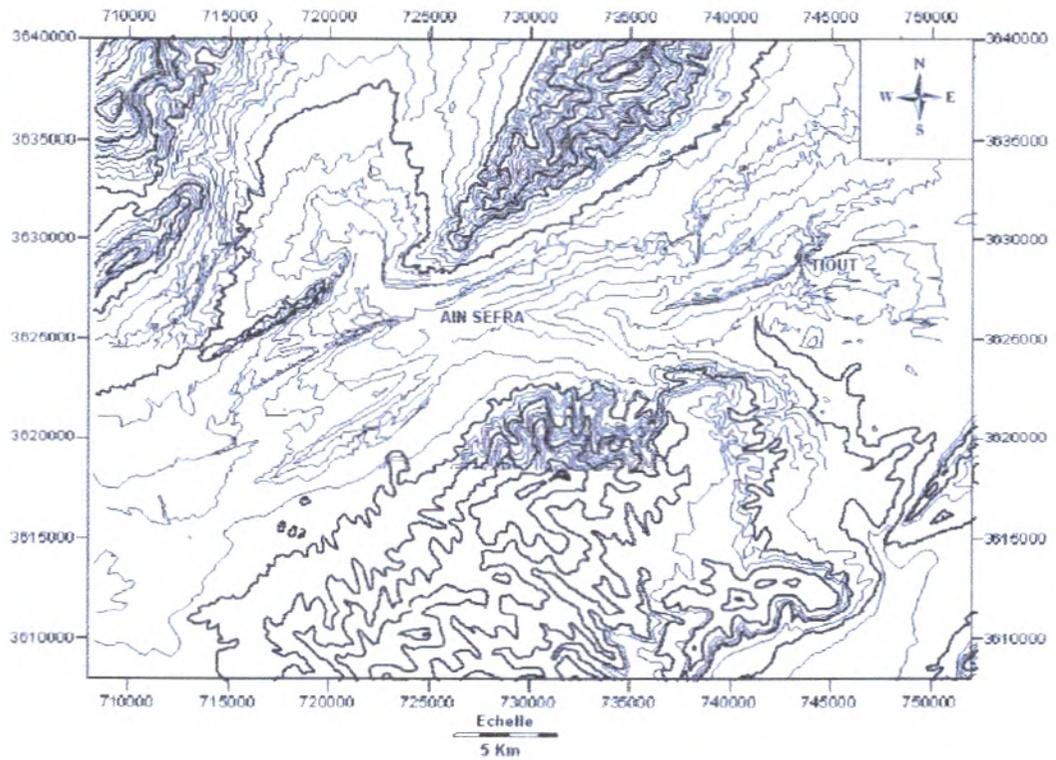


Fig. 37: Carte topographique numérisée de la région d'étude

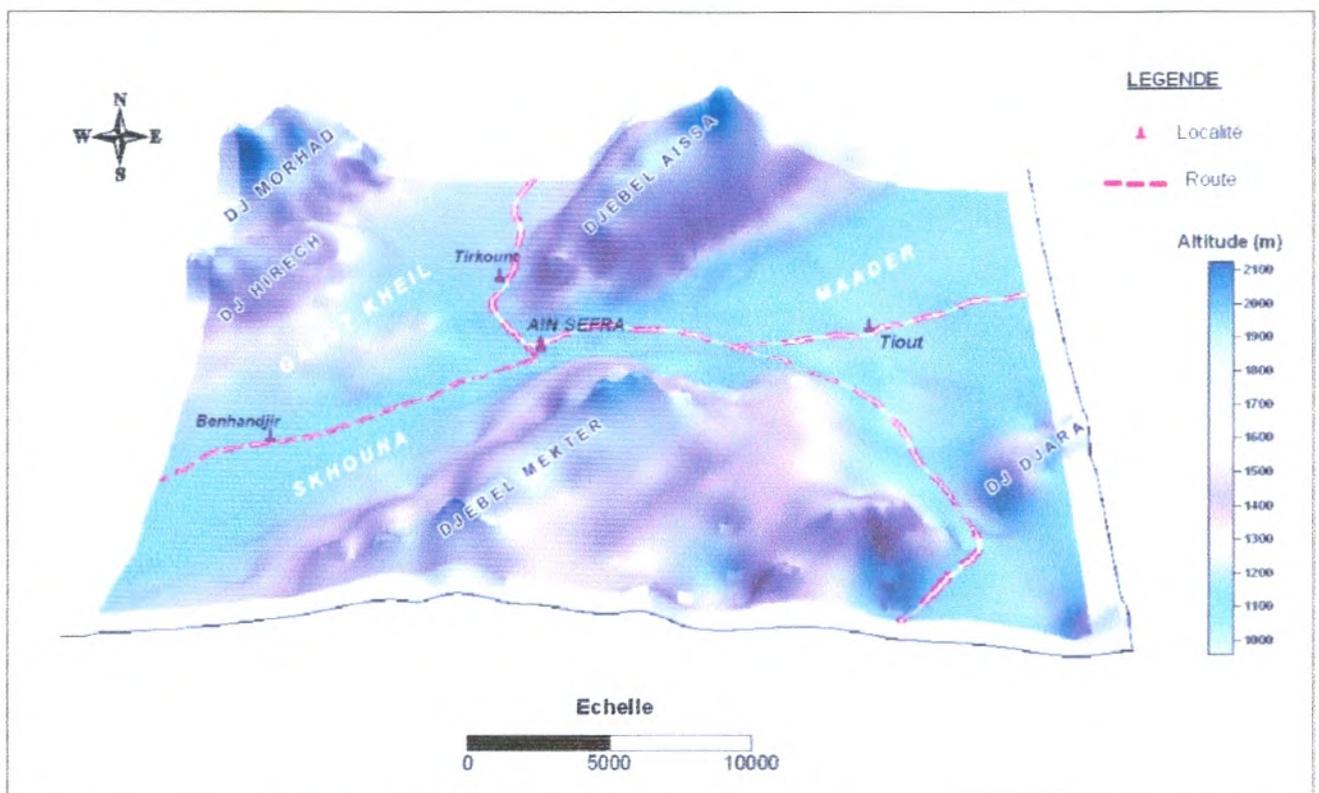


Fig. 38: Modèle numérique de terrain tridimensionnel

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

- L'altitude minimum : 950 m
- L'altitude Maximum : 2154 m
- L'altitude Moyenne : 1365 m

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.

Les principaux oueds sont (Fig. 39 - 40):

- Oued Breidj qui reçoit les eaux de Oued Sfisifa et de Oued Benikrou, et qui draine les versants Nord du Djebel Mzi et Mekter.
- Oued Tirkount qui draine les eaux du Djebel Morhad et Aissa.
- Ces deux oueds se rencontrent au centre d'Ain Sefra pour former Oued Ain Sefra qui se dirige vers le Sud tout en recevant d'autres oueds comme Oued Tiout et Sam, formant un seul Oued celui de Rhouiba, pour former à la fin Oued Namous qui se perd dans le grand Erg occidental.

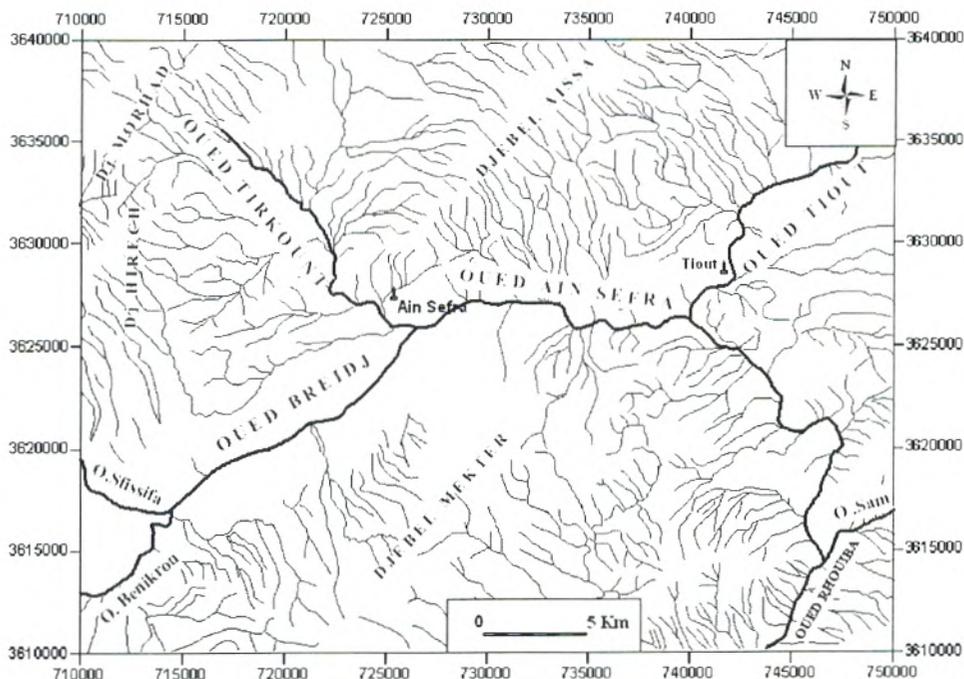


Fig. 39 : Carte du réseau hydrographique

Une vue tridimensionnelle (Fig.40) a été élaborée, en superposant la carte topographique (Fig. 38) et la carte du réseau hydrographique (Fig. 39).

On remarque l'importance des cours d'eau, notamment , Oued Tirkount, Breidj, Ain Sefra et Tiout, dont leurs crues sont assez violentes et causent souvent des dégâts assez importants, et qui jouent un rôle important dans la réalimentation de la nappe.

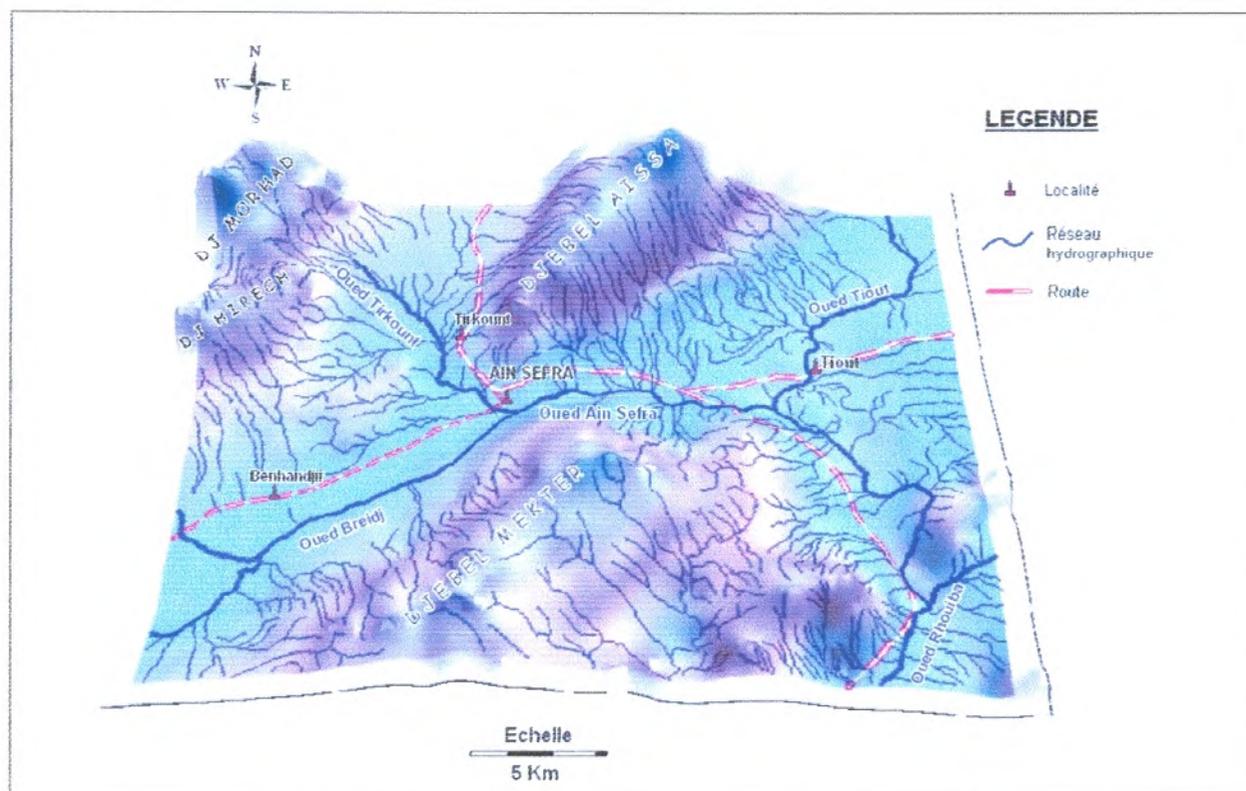


Fig.40 : Carte du réseau hydrographique tridimensionnelle

V-2) ELABORATION D'UN MODELE GEOLOGIQUE DE TERRAIN

En superposant les cartes, topographique, géologique et tectonique, numérisées et digitalisées, un modèle géologique tridimensionnel a été conçu (Fig. 41), et à partir duquel on a pu délimiter les gouttières synclinales :

- « Tirkount » au Nord se situant entre les anticlinaux de Djebel Aissa et Morhad.
- « Garet Kheil » limitée Au Nord par la faille Ras Touil Ain-Sefra, au Sud par l'anticlinal Garet Deba.
- « Skhouna - Maader » limitée :
 - Au Nord par l'anticlinal de Djebel Aissa
 - 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.

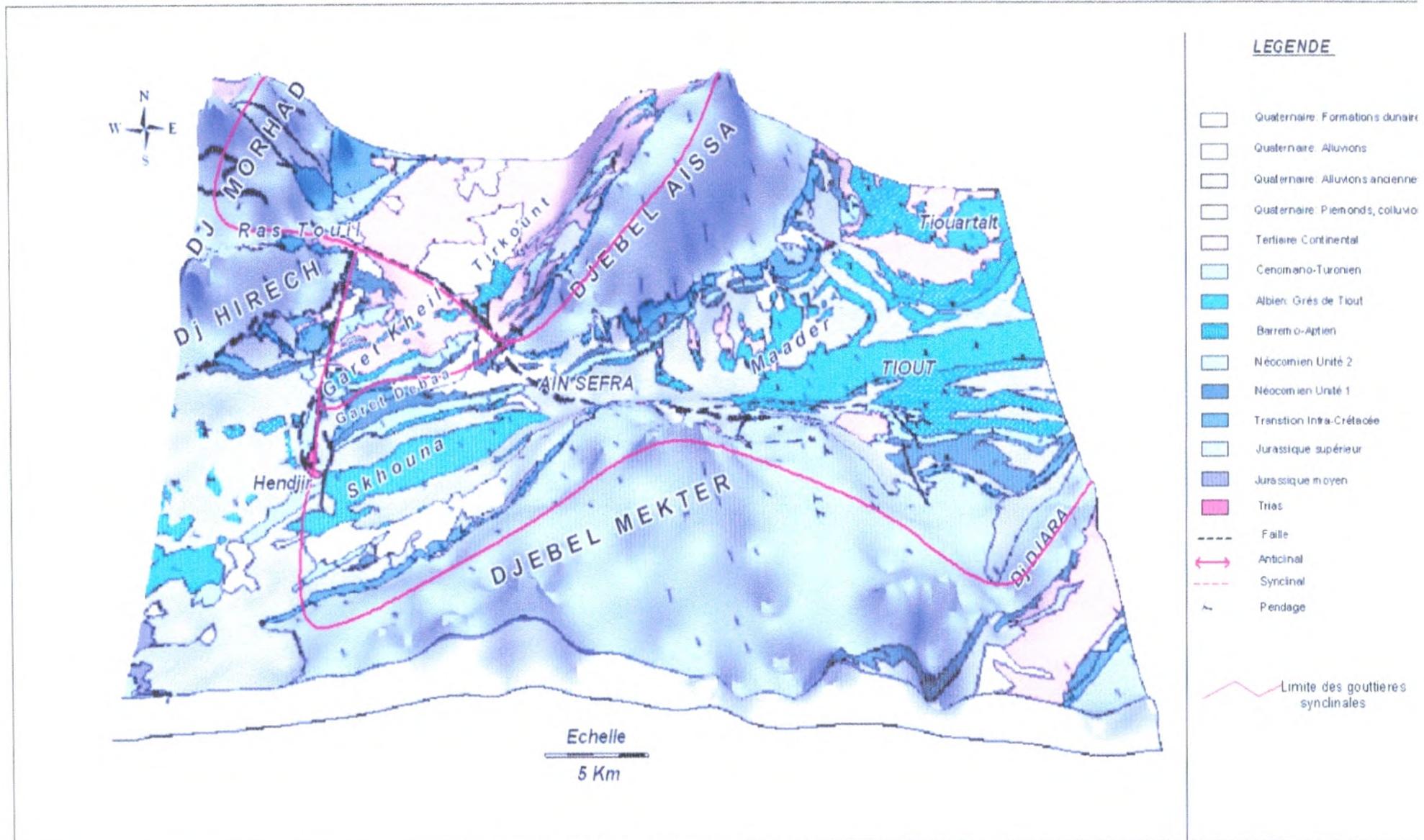


Fig.41 : Modèle géologique tridimensionnel

V-3) CARTE PIEZOMETRIQUE MNT (Fig42)

L'établissement de la carte piézométrique en MNT, montre :

- Un écoulement qui s'opère d'une part dans le sens N.E - S.W, au niveau du synclinal de Tirkount et d'autre part S.W - N.E au niveau de Gareit Kheil, pour changer de direction et se diriger vers le Sud, vers Ain Sefra.
- Un sens d'écoulement W-E dans la zone de Skhouma et Slih - Maader.
- Une ligne de partage des eaux, au niveau de l'anticlinal de Gareit Deba, et de Ain Sefra.
- Une alimentation latérale des piémonts des Djebels Aissa et Morhad, Hirech et Mekter.
- L'importante pente hydraulique au niveau des piedmonts des djebels.

La variation du gradient hydraulique peut aussi s'expliquer par le dénivelé topographique qui conditionne la dénivellation de la nappe.

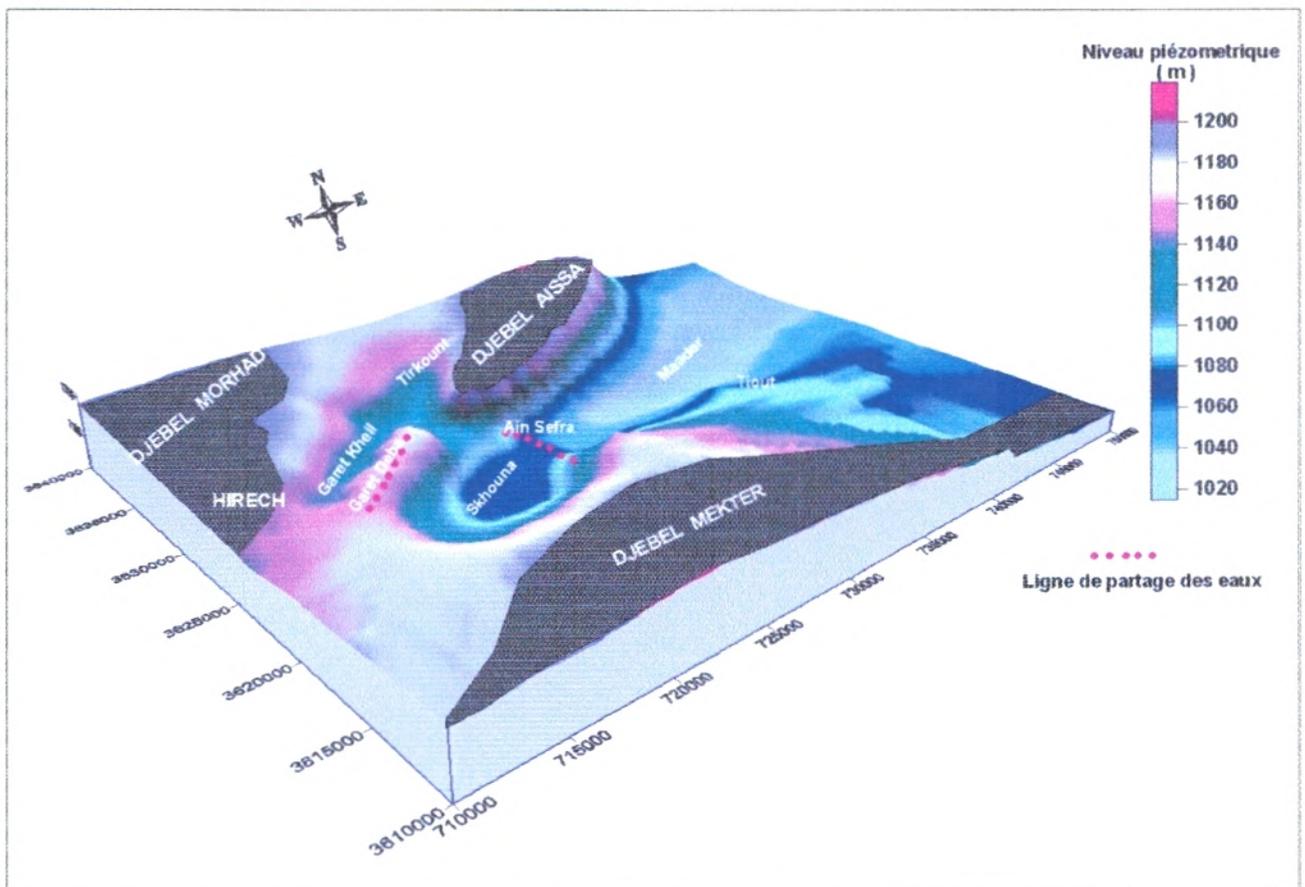


Fig.42 : Carte piezometrique en 3D

Tableau 15 : La base de données

N°	points d'eau	X (m)	Y (m)	T (m ² /j)	Débit (l/s)	Miner. (mg/l)	Faciès	Potabilité	Ca ⁺⁺ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	Na ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
1	Maader1	737577.6	3629575.4	80	15	648						
2	P3	742223	3629312.2			648						
3	F6 GCA	737055.8	3630404.5			720						
4	P5	737600.9	3630466.9			684						
5	P9	740492.3	3631660			705.6						
6	P10	739452.4	3630310.3			712.8						
7	P11	739192.1	3630290.6			792						
8	P12	739357.5	3630027.7			792						
9	P13	737138.1	3629902.3			936						
10	P14	737603.8	3630276.5			720						
11	Source chaib	742213.3	3629142			1728	Sulfaté Calcique	Médiocre	182	503	194	365
12	Skhouna	721168.7	3621823	1400	19	720	Sulfaté Magnésien	Passable	90	250	109	184
13	Mouillah	723545.1	3626513	400	18	1584	Chloruré Sodique	Médiocre	168	523	230	390
14	Hammar	721249.2	3625661.6	6	6	1584	Chloruré Sodique	Médiocre	172	470	250	422
15	Ain-Sefra F94	726776.6	3626986.5	70	19	4320	Sulfaté Sodique	Mauvaise	832	2255	1115	2477
16	Slih	734758	3628666	3000	80	792	Sulfaté Calcique	Passable	116	322	130	198
17	Naftal	726128	3627486	80	9	3168	Chloruré Calcique	Mauvaise	561	1440	548	1160
18	Hôpital	725507	3626665	120	5	3744	Chloruré Sodique	Mauvaise	303	1140	771	1165
19	Puits Ain Sefra	726284.8	3626824.7			2686	Sulfaté Sodique	Mauvaise	215	1475	557	641
20	Puits Mehisserat	733198	3627892.5			576	Sulfaté Magnésien	Bonne	76	211	78	123
21	Ain Sefra F2	717473.2	3627833.8	800	22	618.5	Bicarbonaté Calcique	Bonne	107	192	32	34
22	Ain Sefra F3	716319.9	3626892	800	25	619.2	Sulfaté Magnésien	Bonne	83	235	37	41
23	Matlag	743294	3628650	65	19	3456	Chloruré Sodique	Mauvaise	401	1104	557	855
24	Maader 2	738947	3630908	50	15	648	Sulfaté Calcique	Bonne	112	211	60	102
25	Maader 3	738930.8	3629298.6	170	15	1008	Sulfaté Sodique	Passable	108	302	138	197
26	Tiout 2	745050.7	3628679	40	8	1944	Sulfaté Sodique	Médiocre	208	720	390	416
27	Source Tiout	741831.6	3629403			720	Bicarbonaté Calcique	Bonne	108	178	78	129
28	Ain-Sefra F4	723032	3624287	520	25	1260	Chloruré Sodique	Passable	108	399	244	341
29	Maader 4	742359.8	3632662.2	2000	45	567.4	Bicarbonaté Calcique	Bonne	91	148	53	81
30	Puits Tiout	741200.6	3632636.9			576						
31	P15	738993.4	3627989.3			1008						
32	Ain-Sefra F1	716180.9	3629053.2	50	11	1166	Sulfaté Calcique	Médiocre	176	656	136	102
33	Mehisserat 2	732800	3627800	80	12	936		Passable				
34	Slih 2	734200	3628200	60	13	792						
35	source Tirkount	721900	3630683			864						
36	P16	719800	3632453			1080						
37	P17	718630	3630287			576						
38	P18	718000	3629850			576						
39	Breidj	718339.2	3619702			720						
40	Tiout 1	744600	3629600	2	1	1944						
41	Mehisserat 1	732850	3627800	85	13	936						
42	P1	738131.4	3629871.5			1152	Sulfaté Calcique	Bonne	150	212	105	142
43	P7	738986.5	3630741.2			864	Sulfaté Calcique	Bonne	116	182	70	73
44	Source Dzira	724744	3624028			1152	Sulfaté Calcique	Passable	146	413	138	170
45	Tiout APC	741900	3629100			1224	Sulfaté Calcique	Médiocre	166	499	143	228
46	Tiout Gare	737600	3627250			1440	Sulfaté Calcique	Médiocre	192	566	184	392
47	Source Lahlaf	742143	3627510			1800	Chloruré Sodique	Mauvaise	112	365	497	695
48	Ain Skhouna	721408.7	3621373.8			648	Chloruré Sodique	Passable	88	202	104	161
49	Tirkount 2	722900	3634500	15	8	1220	Chloruré Calcique	Passable	134	250	145	324
50	Tirkount 1	720700	3638850	30	7	1200						
51	Belefloufa	716400	3636550		8	2370	Sulfaté Calcique	Mauvaise	495	2150	435	369

VI) ANALYSES THEMATIQUES ET REQUETES.**VI-1) ANALYSES THEMATIQUES**

Faire une analyse thématique, c'est donner du sens à une représentation cartographique.

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 (Tableau 15), des analyses thématiques ont été établies.

Les variables essentielles concernées sont :

- Le débit (l/s)
- La transmissivité (m^2/j)
- La minéralisation (mg/l)
- Le faciès chimique
- Les éléments physico-chimiques (Ca^{++} , SO_4^{--} , Na^{++} , Cl^{--})
- La potabilité (suivant les normes algériennes)

VI-1-1) Le débit

La productivité correspond aux débits fournis par les forages lors des pompages d'essai.

L'établissement d'une analyse thématique sur l'attribut relatif au débit d'exploitation a permis de définir 05 classes (Fig. 43), montrant que les débits varient généralement entre moins de 05 l/s et 80 l/s, tout en indiquant que Les secteurs les plus productifs de la nappe sont situés dans les régions de Garet Kheil, Skhouna et Maader.

Par contre les moins productifs se trouve, dans la dépression de Tirkount, au Sud de Tiout et à Ain Sefra, dus probablement à la prédominance du faciès argileux par rapport aux grés dans la formation captée.

Les zones où les débits sont supérieurs à 35 l/s, à savoir Slih et Maader, peuvent s'expliquer, en plus de l'étendue de la surface de leur impluvium, qui est importante par rapport à celle de Garet Kheil et Skhouna, par la présence de grés fissurés, notamment le forage Slih qui débite 80 l/s.

VI-1-2) La Transmissivité

L'analyse thématique de la carte de transmissivité (Fig.44) montre qu'on peut grouper les zones transmissives en 03 classes :

- Des transmissivités élevées, supérieures à $1000 \text{ m}^2/\text{j}$ ($10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) représentées par les sites des forages Skhouna, Slih Et Maader 4.
- Des transmissivités moyennes comprises entre 100 et $1000 \text{ m}^2/\text{j}$ (10^{-3} et $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$), représentées par les sites des forages de Ain Sefra F2-F3 et Maader 2-3.
- Des transmissivités faibles, inférieures à $100 \text{ m}^2/\text{j}$ ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) , se situant au niveau des piedmonts de Djebel Hirech, (Forage F1), dans la région de Tirkount, au environ d'Ain Sefra (Forage Hammar - Hôpital et Naftal) , et au Sud de Tiout (Forage Tiout 1-2)

En estimant généralement qu'un aquifère est très intéressant à exploiter si sa transmissivité est supérieure à $150 \text{ m}^2/\text{j}$ (A. Mabilhot 1971), les zones favorables se situent au niveau des synclinaux de Gareit Kheil-Skhouna et Maader.

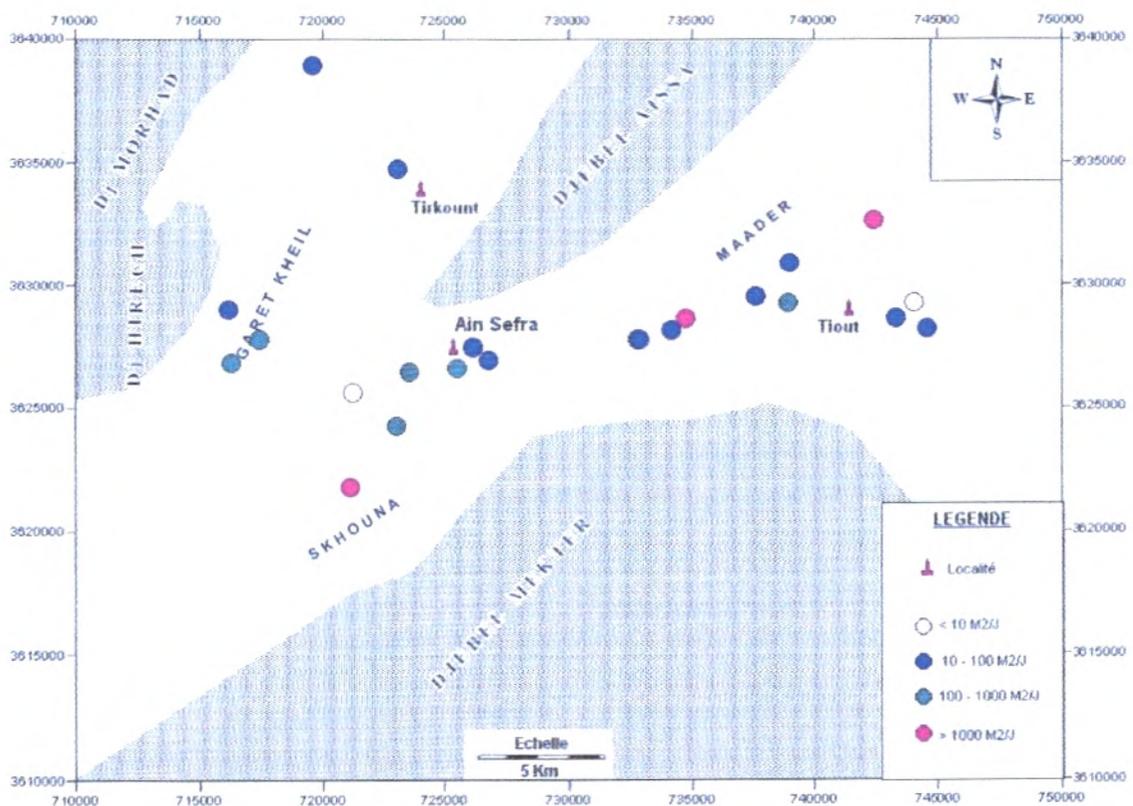


Fig.44 : Carte d'analyse thématique de transmissivité

VI-1-3) La minéralisation

La carte thématique, ainsi que par zone (Fig.45a-b) montre que les minéralisations les plus faibles (< 1000 mg/l) se situent au niveau des points d'eau situés au cœur des synclinaux de Gareit Kheil-Skhouna-Slih et Maader.

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.

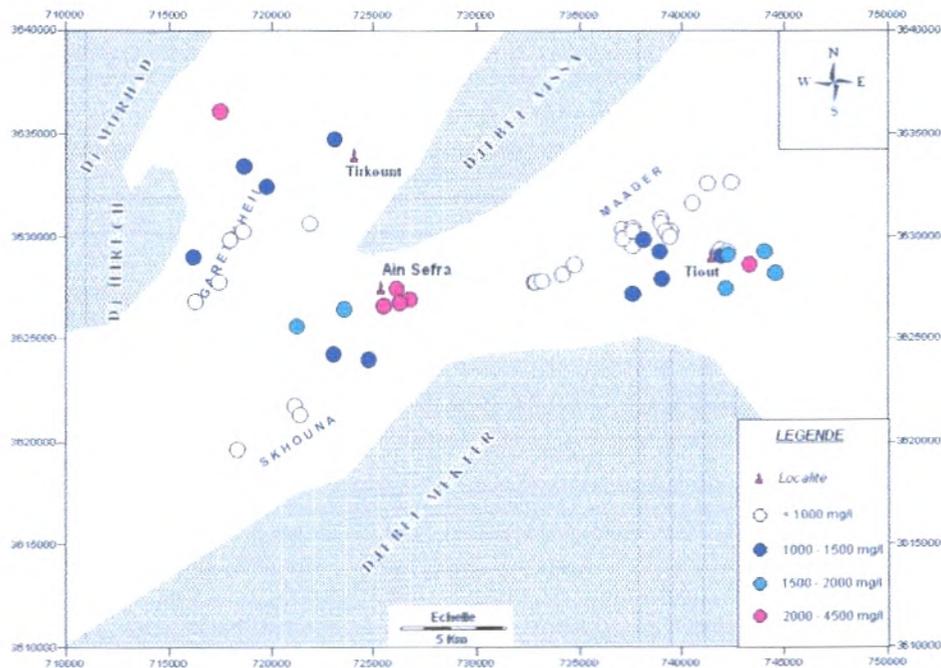


Fig.45a : Carte d'analyse thématique de la minéralisation

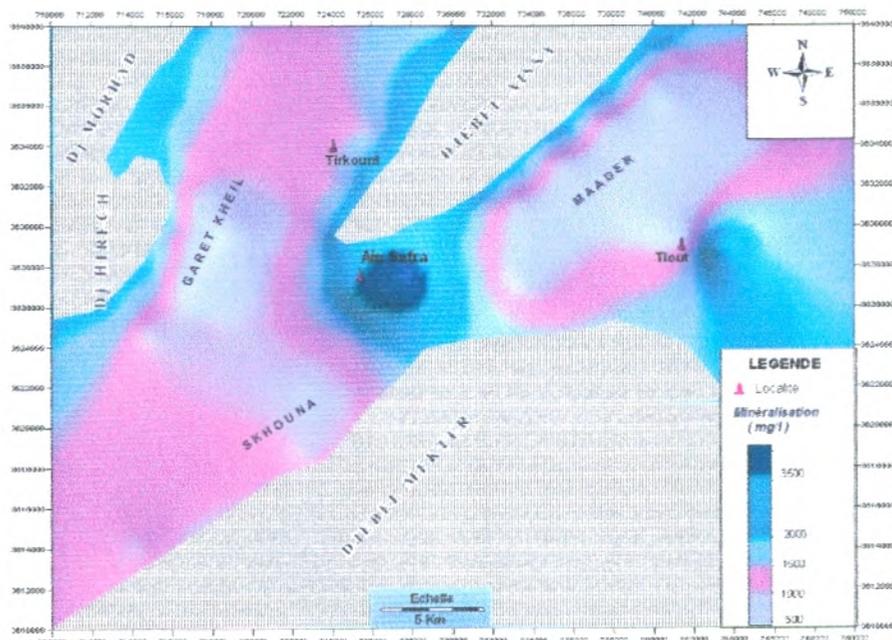


Fig.45b : Carte de la minéralisation par zone

VI-1-4) Les faciès chimiques

La carte thématique du faciès chimique (fig. 46), montre que les faciès dominant sont Sulfaté Calcique - Magnésien, et Chloruré Calcique - Sodique

Ces résultats révèlent le rôle prédominant du gypse dans la détermination des faciès hydrochimiques des eaux de la région.

Les faciès rencontrés montrent qu'ils sont essentiellement contrôlés par la dissolution du gypse et la halite.

Les faciès sulfaté calcique caractérisent les eaux des terrains gypsifères, c'est à dire la majorité des terrains lagunaires et continentaux.

Les faciès chloruré sodique caractérisent les eaux des terrains sédimentaires marins.

Le faciès Bicarbonaté - Calcique, peu représenté, peut s'expliquer par l'apport des eaux de précipitations.

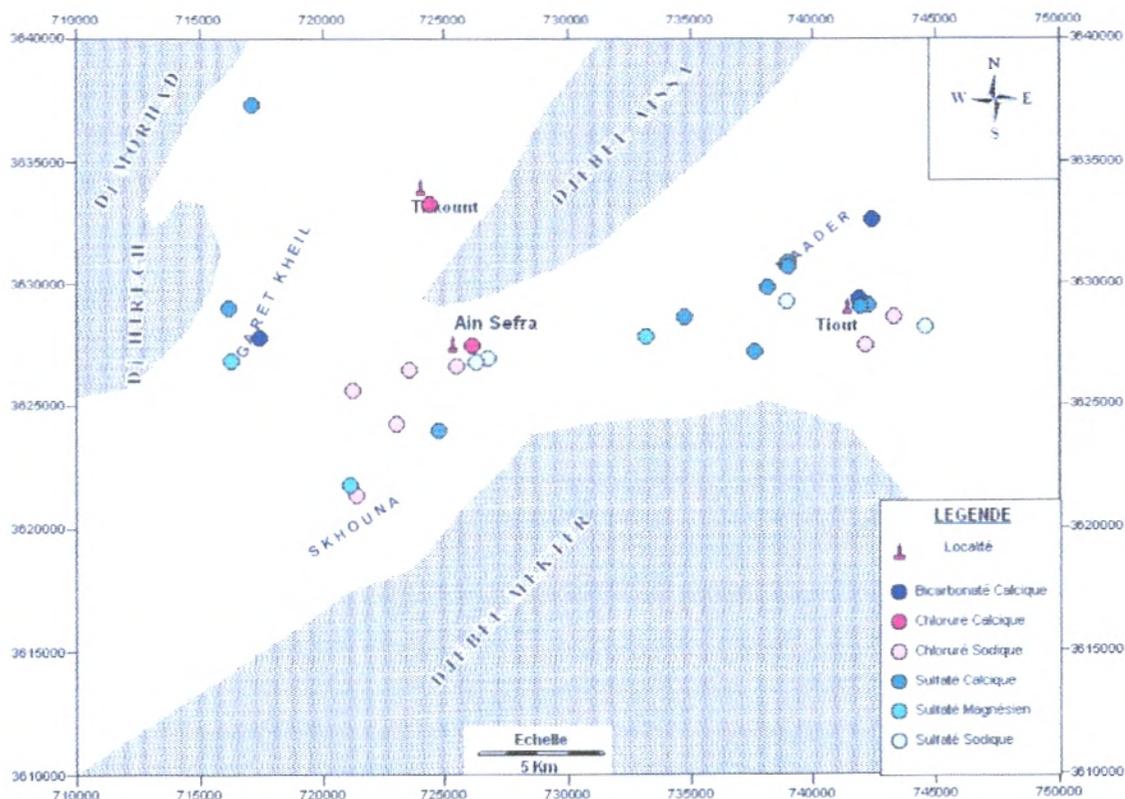


Fig.46 : Carte d'analyse thématique de faciès

VI-1-5) Les éléments physico-chimiques

L'indentification des faciès chimiques dominant étant Sulfaté Calcique, Magnésien, et Chloruré Sodique, l'intérêt portera sur les principaux éléments constituant ces faciès à savoir le calcium, le sodium, les sulfates, et les chlorures.

La description lithologique, par le biais des cuttings des forages, permet une analyse et apporte les éléments de réponse à la concentration de ces éléments.

A cet effet des cartes thématiques (Fig. 47-49-49-50) de Ca^{++} , SO_4^{--} , Na^{++} , et Cl^- ont été établies montrant la concentration de ces éléments.

a) Le Calcium Ca^{++} et les Sulfates SO_4^{--}

Ces éléments proviennent généralement du gypse, et constituent dans la nappe du Crétacé inférieur des éléments majeurs. Leurs valeurs sont comprises, respectivement entre 70 et 850 mg/l, et 150 à 2500 mg/l.

Les plus fortes concentrations se trouvent au niveau des forages du centre d'Ain Sefra, du piedmont de Djebel Hirech et Morhad et ceux du Sud de Tiout. (Fig. 47-48)

Cette augmentation de ces deux éléments dans ces zones, peut s'expliquer par la dissolution du gypse, dont des traces ont été trouvées lors de la description des cuttings des forages concernés.

b) Le Sodium Na^{++} et les Chlorures Cl^-

Les valeurs de ces éléments sont comprises respectivement entre 30 et 1100 mg/l, et de 30 à 2500 mg/l.

Les fortes concentrations se situent au niveau des forages du centre d'Ain Sefra et du Sud de Tiout.(Fig. 49-50)

Cette augmentation est due à la lithologie du faciès de la formation qui est plus argileux.

Ajouter à cela que les forages avec ces fortes concentrations, captent le membre médian et inférieur de la formation de Tiout, ainsi que le membre supérieur de la formation de Tiloula.

L'un des facteurs associé pour que les eaux soient chargées, c'est l'écoulement en contact avec les formations argileuses sous forme d'intercalations dans les grés.

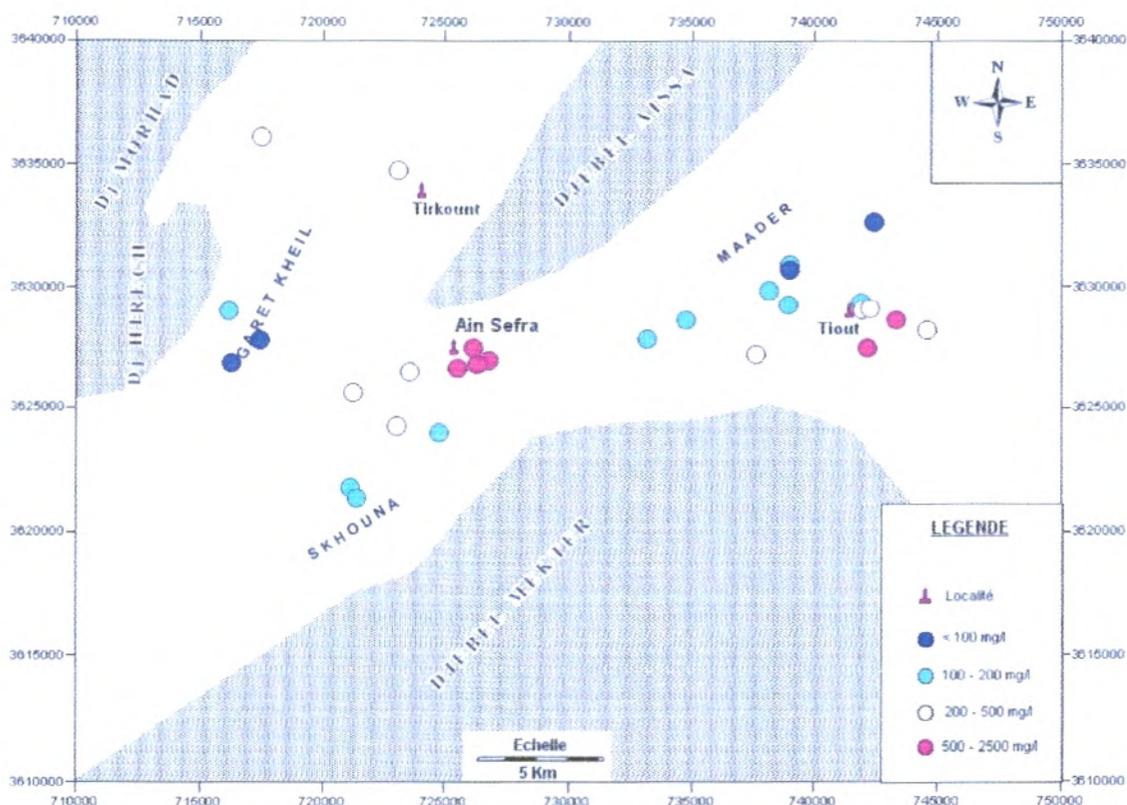


Fig.49: Carte d'analyse thématique des Chlorures

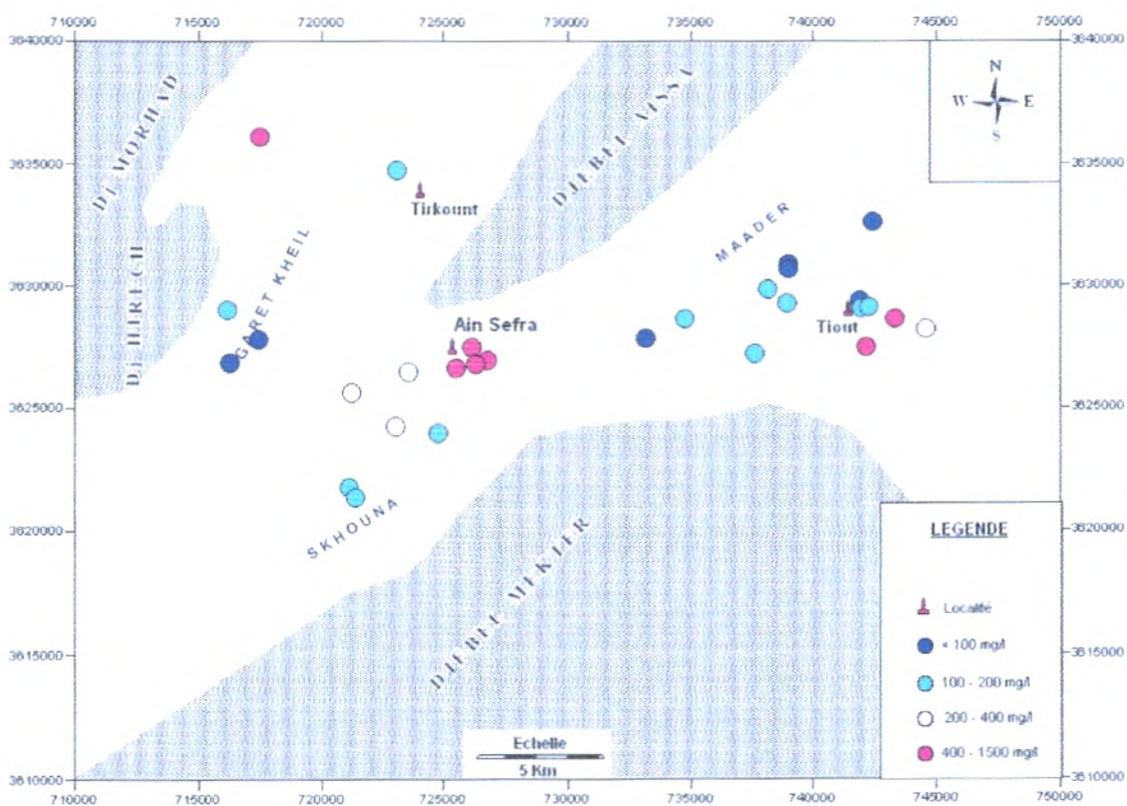


Fig.50 : Carte d'analyse thématique du Sodium

VI-1-6) La Potabilité

L'appréciation des limites de potabilité est celle des normes Algériennes (NA 6360-1992), inspirée des préconisations de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (Tableau 16).

Tableau 16 : Normes de potabilité selon l'OMS

PARAMETRES	UNITE	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
PH		6.5 à 8.5
CONDUCTIVITE	µs/cm à 20°C	2800
RESIDU SEC	mg/l après séchage à 105°C	2000
DURETE TOTALE	mg/l CaCO ₃	500
CALCIUM	mg/l	200
MAGNESIUM	mg/l	150
SODIUM	mg/l	200
POTASSIUM	mg/l	20
SULFATES	mg/l	400
CHLORURES	mg/l	500
NITRATES	mg/l	50

Une analyse thématique de la variable "Potabilité" a été réalisée, et à partir de laquelle une carte de potabilité (Fig.51) de la zone d'étude a été établie, faisant ressortir:

- Une bonne potabilité dans les zones de Skhouna – Garet Kheil- Slih –Maader.
- Une potabilité moyenne à l'Ouest d'Ain Sefra, au sud de Tiout, au Nord de Garet Kheil et dans la région de Tirkount.
- Une potabilité mauvaise à Ain Sefra même, et à l'Ouest de Tirkount.

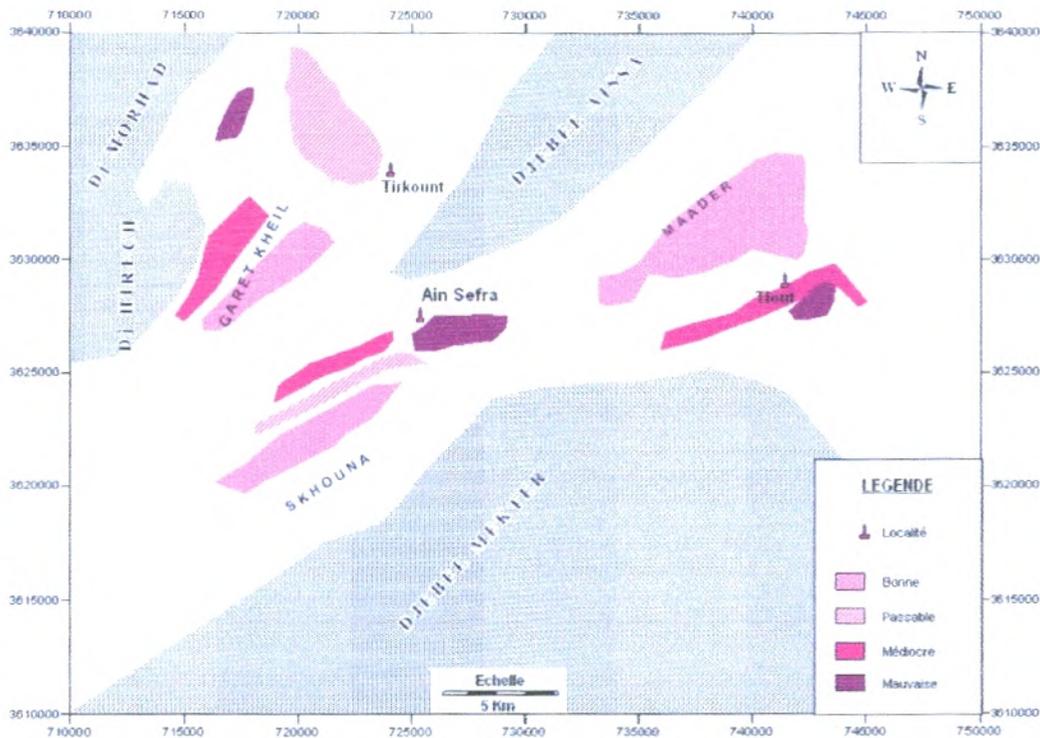


Fig.51 : Carte d'analyse thématique de la potabilité

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'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 qui seront destinés à l'alimentation en eau potable.

A cet effet, des requêtes ont été réalisées en combinant, en plus des cartes de débit et de minéralisation, (fig 43-45), leurs valeurs issues des données de 23 forages, suivant des classes prédéfinies (Tableau 17).

Tableau 17 : Classes des requêtes

Minéralisation (mg/l)	Débit (l/s)	Nombre de forage	Sites
inférieur 1000	inférieur 10		
	Entre 10 et 20	06	favorable
	Entre 20 et 30	02	Très favorable
	Supérieur 30	02	Très favorable
Entre 1000 et 1500	inférieur 10	02	Moyennement favorable
	Entre 10 et 20	02	Moyennement favorable
	Entre 20 et 30	01	Moyennement favorable
	Supérieur 30		
Entre 1500 et 2000	inférieur 10	02	Faiblement favorable
	Entre 10 et 20	01	Faiblement favorable
	Entre 20 et 30		
	Supérieur 30		
Supérieur 2000	inférieur 10	03	défavorable
	Entre 10 et 20	02	défavorable
	Entre 20 et 30		
	Supérieur 30		

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.52), où on remarque que les zones favorables se situent au niveau des régions de Garet Kheil,

Skhouna, Maader, tandis que les zones défavorables se localisent au niveau de la ville d'Ain Sefra elle-même, et la région de Tirkount.

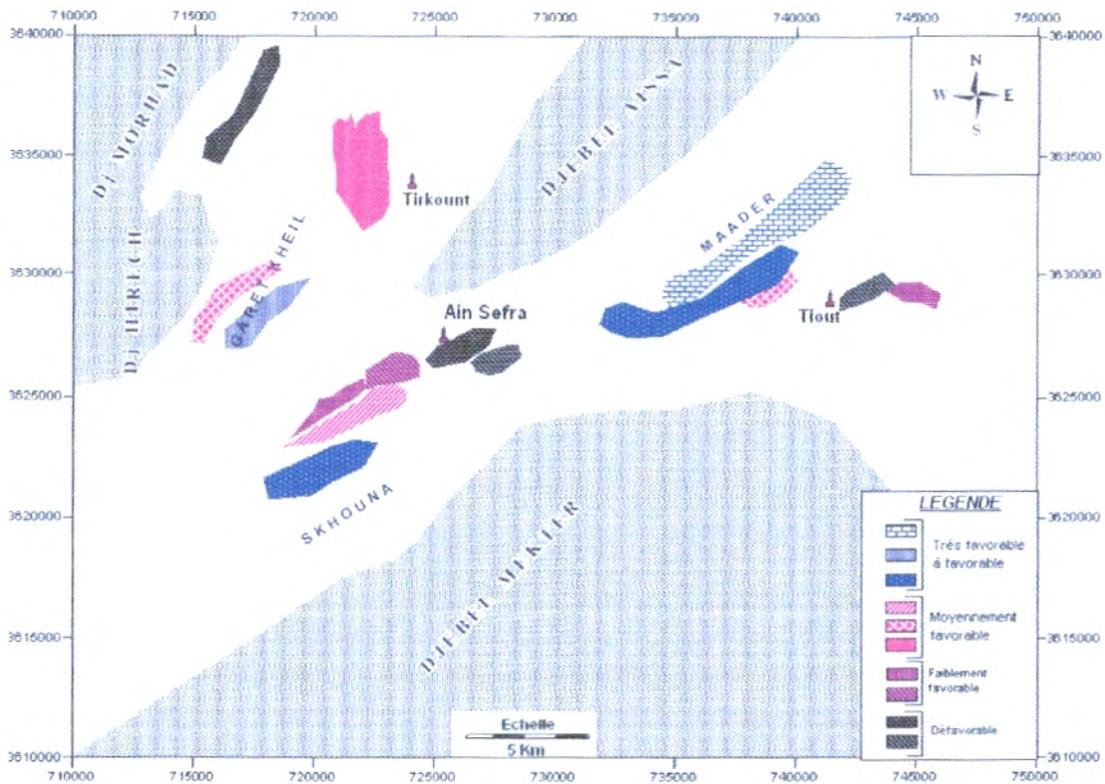


Fig.52 : Carte des zones favorables

VI-3) FUSION ET SUPERPOSITION DES DONNEES

L'étape de fusion et de superposition de données constitue l'un des objectifs principaux dans le cadre de cette étude.

Le but est d'obtenir en superposant des couches des informations qui se traduisent par la représentation des divers résultats sur un seul et un même support, à savoir :

- Une carte hydrogéologique, qui est le meilleur mode d'expression synthétique des connaissances hydrogéologiques sur une région donnée.
- Une carte de des teneurs en $\text{Ca}^{++}\text{SO}_4^-$ et $\text{Na}^{++}\text{Cl}^-$ et leurs influences sur le chimisme de l'eau.
- Une carte de zone favorable à l'implantation de forages.

VI-3-1) La carte hydrogéologique (Fig.53) :

Elle a été établie en superposant les tables suivantes :

- carte géologique (fig.12)
- carte des linéaments et structurale (fig.15)
- carte de répartition des points d'eau (fig.19)
- carte piézométrique (fig.23)
- carte de minéralisation (fig.27)

Elle montre :

- l'existence de trois axes de drainage :
 - Un au Nord dans la région de Tirkount de direction NE – SW.
 - Un au Nord-Ouest (Région de Garet Kheil) orienté SW-NE.
 - un 3eme d'orientation W-E à Skhouna et Maader.
- Deux lignes des partages des eaux au niveau de:
 - l'anticlinal de Garet Debaa, arasé et qui est le prolongement de l'anticlinal de Djebel Aissa.
 - Ain Sefra, où cette ligne de partage structurale correspond à la partie du rétrécissement du synclinal de Skhouna provoquée par la faille « Ras Touil-Ain Sefra ».
- Des minéralisations importantes de l'ordre de 2500 mg/l à 4000 mg/l :
 - Au centre d'Ain Sefra dues à la présence de l'accident « Ras-Touil-Ain Sefra », qui a eu pour conséquence l'interruption du membre supérieur de la formation de Tiout au détriment du membre inférieur , ainsi que le membre supérieur de Tiloula.
 - Au Sud de Tiout lié à la proximité de la présence du Trias.
 - Dans la région de Belefloufa au Sud de Djebel Morhad où la formation captée dans un forage étant la formation de Tiloula.

Ce dernier résultat étant confirmé lors de la réalisation du forage « Ain Sefra F1 ». Avec une profondeur initiale de 650m, les résultats des analyses physico-chimiques étant les suivants :

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cond	Minera.	R,S
427	121	278	17	286	1512	271	24	2.7	1944	2880

Après avoir isolé la partie inférieure sur une profondeur de 470 m, les valeurs des paramètres physico-chimiques ont diminué passant d'une minéralisation de 1944 à 1166 mg/l, les Sulfates passant de 1512 à 656 mg/l.

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cond	Minera.	R,S
176	79	136	9	102	656	235	8	1.62	1166	1500

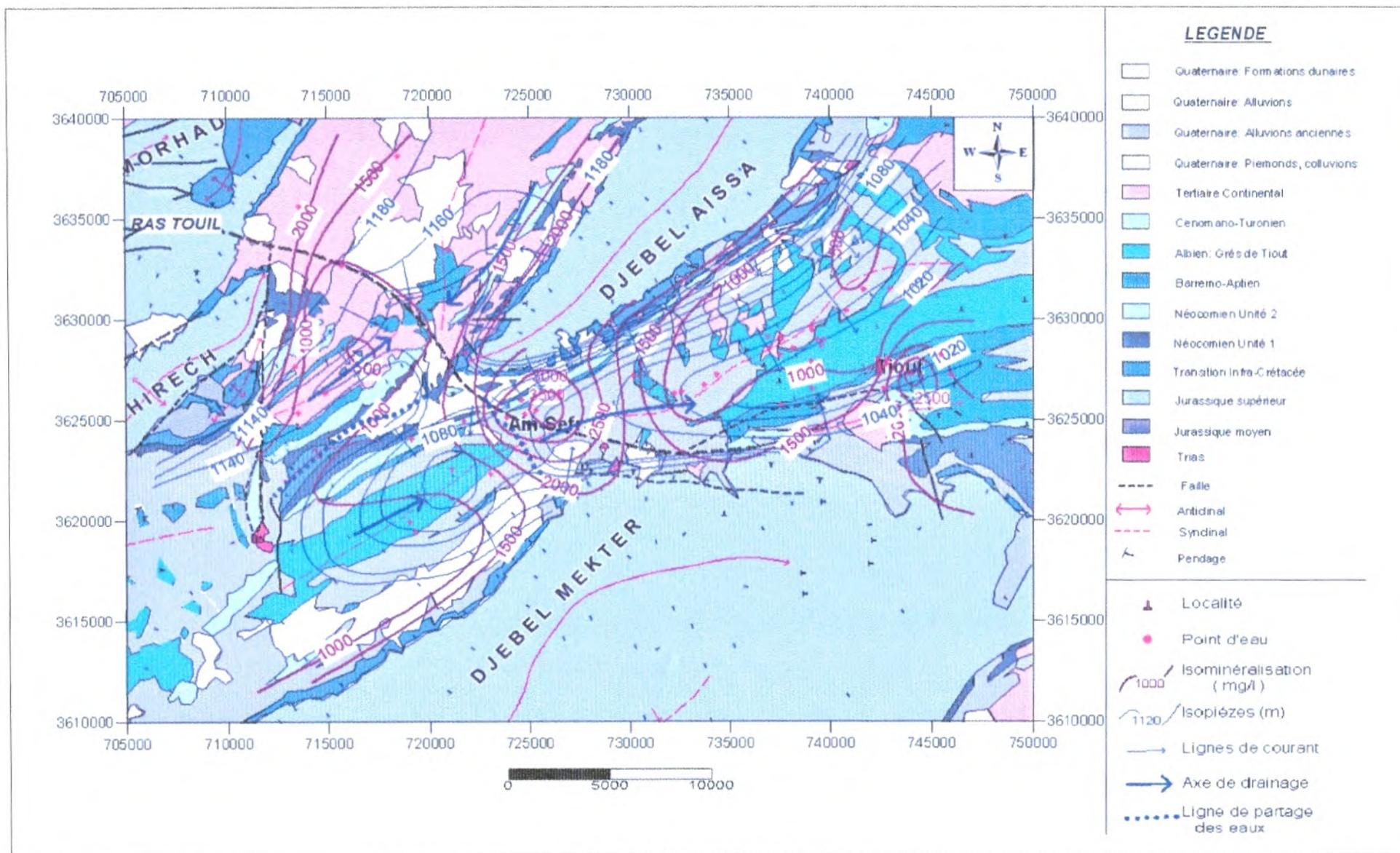


Fig.53 : Carte hydrogéologique

VI-3-2) Les cartes des teneurs en $Ca^{++}SO_4^-$ et $Na^{++}Cl^-$ (Fig. 54-55).

La superposition de la carte géologique de Galmier (fig.12) et les cartes thématiques des Calcium, Sulfates, Sodium et Chlorures (Fig. 47-48-49-50) , nous renseigne sur les teneurs de ces ions et les formations captées ; tout en indiquant que les fortes concentrations se situent, au niveau des forages à proximité de la faille « Ras Touil- Ain Sefra » pour la région d'Ain Sefra et à coté du pointement Triasique au Sud de Tiout.

Tableau 18 : Teneurs en Ca^{++} et SO_4^-

Teneurs $Ca^{++} + SO_4^{--}$ (mg/l)	Etage (Galmier)	Formation captée
<300	Albien	« Tiout »Membre supérieur
300 - 500	Albien	« Tiout »Membre supérieur
500 - 1000	Barremo-Aptien	« Tiout »Membre médian
1000 - 3000	Barremo-Aptien+Néocomien	« Tiout »Membre inférieur « Tiloula » membre supérieur

Tableau 19 : Teneurs en Na^{++} et Cl^-

Teneurs $Na^{++} + Cl^-$ (mg/l)	Etage (Galmier)	Formation captée
< 200	Albien	« Tiout »Membre supérieur
200 - 400	Albien + Barremo-Aptien	« Tiout »Membre supérieur et médian
400 - 900	Barremo-Aptien	« Tiout »Membre médian
900 - 4000	Barremo-Aptien+Néocomien	« Tiout »Membre inférieur « Tiloula » membre supérieur

Les résultats obtenus au Tableau (18 et 19) indiquent que le membre médian, et inférieur de la formation de Tiout, ainsi que celle du membre supérieur de Tiloula renferment des traces de gypse et de l'halite, confirmation faite par la description des cuttings des forages concernés, et dont leur dissolution au contact avec l'eau souterraine explique la nature de quelques faciès hydrochimiques.

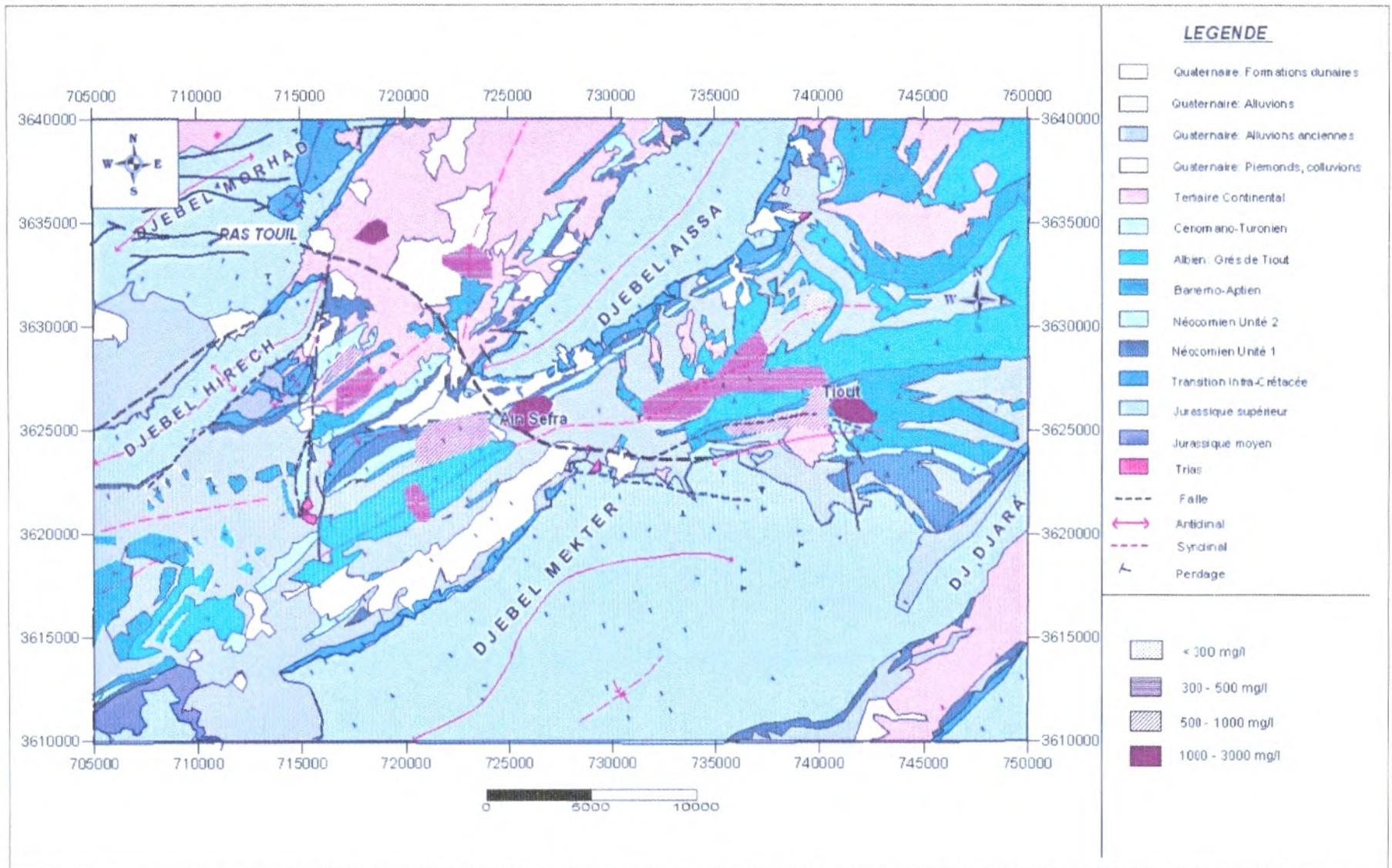


Fig. 54 : Carte des teneurs en $\text{Ca}^{++} + \text{SO}_4^{--}$

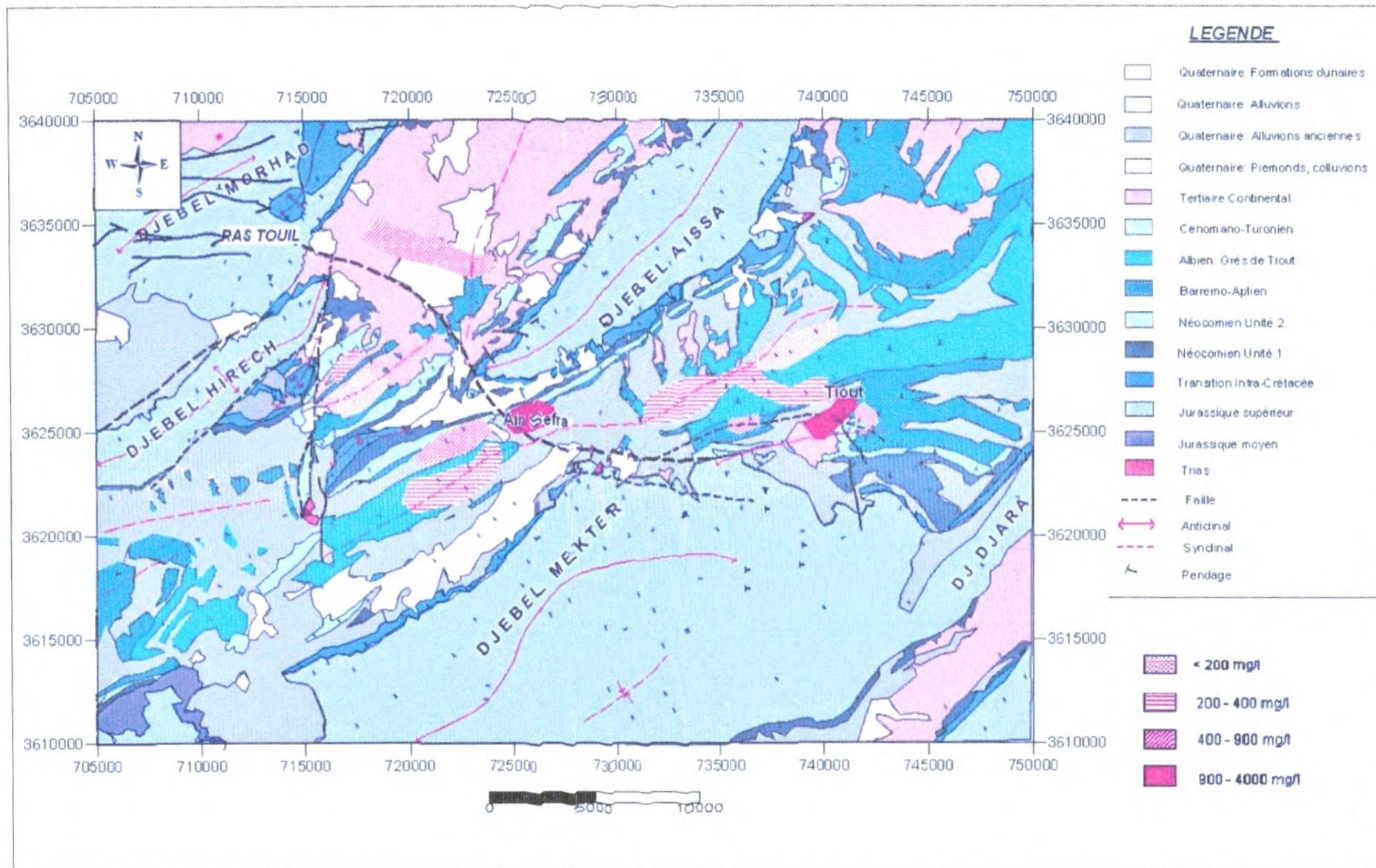


Fig. 55: Carte des teneurs en $Na^{++} + Cl^{-}$

VI-3-3) Les cartes des zones favorables et de potabilité :(Fig.56-57)

Elles ont été obtenues en superposant la :

- carte géologique (fig.12)
- carte des zones favorables (Fig.52)
- carte de potabilité (Fig.51)

Ainsi ces cartes, nous renseignent sur les formations à exploiter pour les futures implantations des forages destinés à l'alimentation en eau potable.

- Les zones favorables et de bonne potabilité se trouvent dans les régions dont les forages captent le membre supérieur de la formation de Tiout.
- Les zones moyennement et faiblement favorable avec une potabilité médiocre se trouve dans les régions captant les membres médian et inférieur de la formation de Tiout.
- Les zones défavorables avec une potabilité mauvaise se situent dans les régions où les forages captent le membre supérieur de la formation de Tiloula, à Ain Sefra et à proximité de l'accident « *Ras Touil - Ain Sefra* ».

A cet effet pour avoir une eau de bonne qualité (une minéralisation < 1000 mg/l) 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.

Par contre les eaux captant le membre supérieur de Tiloula étant trop chargées pour être utilisées à des fins agricoles.

La carte tridimensionnelle (fig. 58) nous donne un cadre général des zones favorables dans la région pour d'éventuel impact de points d'eau destinés à l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

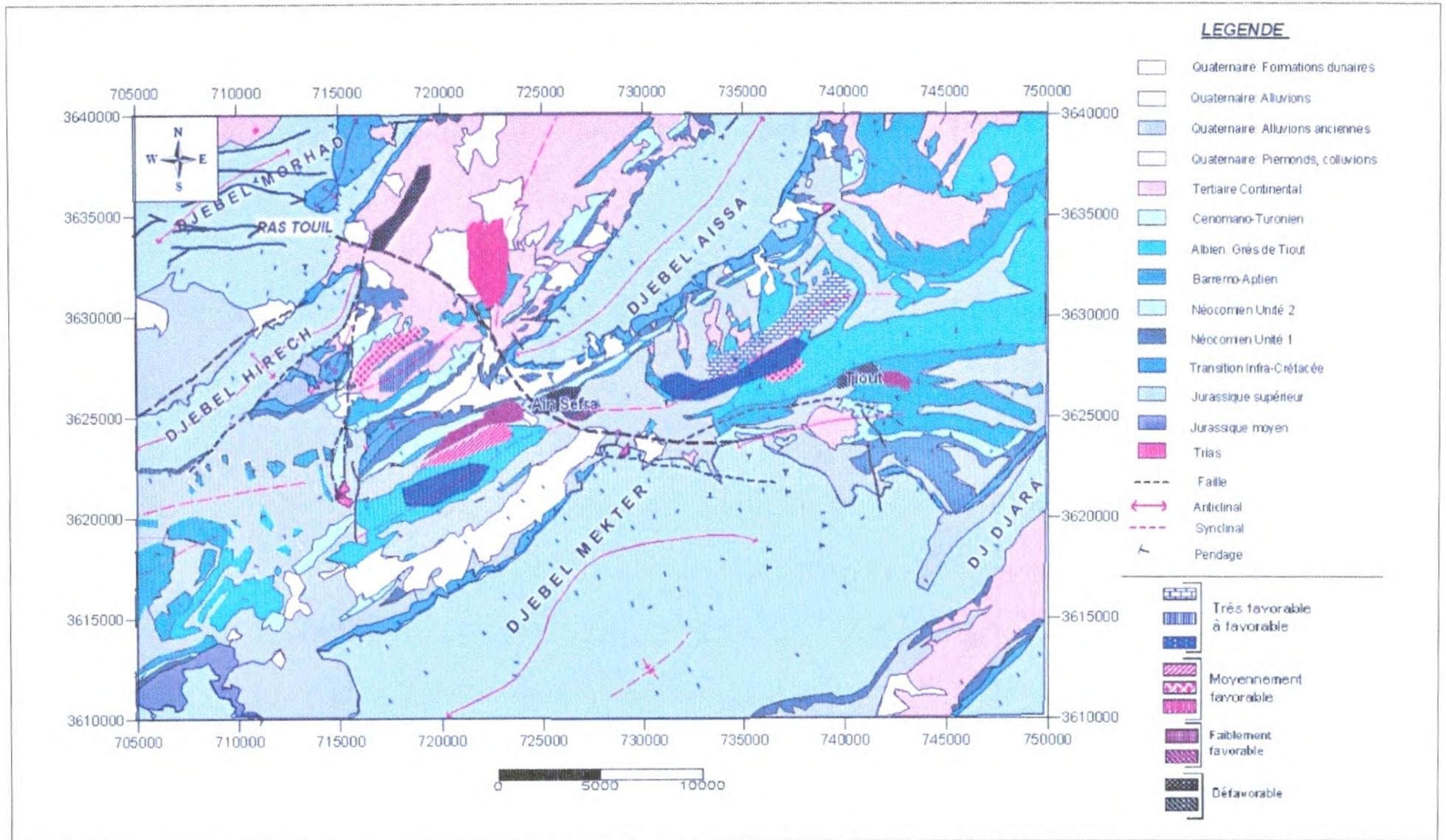


Fig. 56 : Carte des zones favorables

***CONCLUSION
GENERALE***

- La carte hydrogéologique de la région permettant de délimiter « 02 bassins hydrogéologiques ». (Tirkount-Garet Kheil et Skhouna –Slih-Maader), et le rôle important de l'accident « *Ras-Touil-Ain Sefra* » dans le chimisme des eaux de la région.
- 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.
- 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 en plus de l'analyse des logs synthétiques des forages, l'aquifère de la nappe du Crétacé inférieur, appelée Barremo-Albo-Aptien, se divise en 03 nappes :

- La nappe du membre supérieur de la formation de Tiout d'une épaisseur moyenne de 200 m.
- La nappe du membre médian et inférieur de la formation de Tiout, d'une épaisseur moyenne de 500 m aux coeurs des synclinaux.
- La nappe du membre supérieur de la formation de Tiloula, d'une épaisseur moyenne de 100 m.

La nappe la plus intéressante à exploiter pour l'alimentation en eau potable, tant qualitativement que quantitativement reste : « **la nappe du membre supérieur de la formation de Tiout** ».

Les autres peuvent être utilisées 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 prix de revient du coût du m³.

Du fait que l'agriculture représente la première activité socio-économique de la région, et suite à la demande croissante pour la création de nouveaux forages, nous recommandons l'extension des nouveaux périmètres d'irrigation dans les zones de Tirkount et Matlag au Sud de Tiout, tout en préservant les eaux souterraines de Slih, Maader, Garet Kheil et Skhouna pour l'alimentation future en eau potable de la population.

Pour enrichir l'étude de la région par les Systèmes d'Informations Géographiques, l'élaboration d'un système d'information hydrogéologique s'impose avec notamment l'intégration d'autres plans d'information, comme la carte des épaisseurs des aquifères à partir de données géophysiques, ainsi que la carte de la fracturation.

Liste des Figures

	Page
Fig. 1 - Situation du secteur d'étude	13
Fig. 2 : La variation des précipitations annuelles.....	16
Fig. 3 : Précipitations moyennes mensuelle.....	16
Fig. 4a : Ajustement à une loi Normale.....	19
Fig. 4b : Ajustement à une loi Log normale.....	19
Fig. 4c : Ajustement à une loi racine normale.....	19
Fig. 5 : variations des températures moyennes mensuelles.....	22
Fig. 6 : Courbe pluviothermique.....	23
Fig. 7 : Courbe ombrothermique.....	24
Fig. 8 : Indice d'aridité de De. Martonne.....	25
Fig. 9 : Climagramme d'Emberger.....	27
Fig. 10 : Evaluation du déficit d'écoulement d'après WUNDT.....	28
Fig 11 : Abaque de VERDEIL (1988).....	29
Fig. 12 : Carte géologique de la région d'Ain Sefra (D'après Galmier 1972 -digitalisée)	33
Fig. 13a : Coupes géologiques.....	34
Fig. 13 b-c: Coupes géologiques.....	35
Fig. 13 d-e : Coupes géologiques.....	36
Fig. 14 : Coupe lithostratigraphique des formations du Jurassique – Crétacé dans la partie centrale des monts des Ksour (A.Kacemi, 2002).....	40
Fig.15 : Les grands alignements dans la région d'étude (Galmier 1972 + CGG 1974)	41
Fig.16 : Les grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (D'après L. Mekahli).....	42
Fig.17 Carte du toit du jurassique.....	44
Fig.18 Coupes géoélectriques.....	45
Fig.17 : Répartition des points d'eau.....	46
Fig.18 : Coupe hydrogéologique schématique.....	47
Fig.19 : Logs synthétiques des forages.....	49
Fig.20 : Répartition des logs synthétiques.....	50
Fig.21a : Carte piezométrique.....	52
Fig.21b : Carte piezométrique par zone.....	53
Fig.22 : Carte de gradient hydraulique par zone.....	53
Fig.23 a : Courbe de descente	56
Fig.23 b : Courbe de descente.....	57
Fig.23 c : Courbe de descente.....	58
Fig.23 d : Courbe de descente.....	59
Fig.23 e : Courbe de descente.....	60
Fig.23 f: Courbe de descente.....	61
Fig.23 g : Courbe de descente.....	62

Fig.23 h : Courbe de descente.....	63
Fig.23 i : Courbe de descente et remontée.....	64
Fig.24: Carte de transmissivité par zone.....	65
Fig. 25 : Carte de minéralisation.....	68
Fig. 26 : Carte de dureté.....	68
Fig. 27 : Carte isoPH.....	70
Fig. 28 : Carte isoteneur SO_4^{--}	70
Fig. 29 : Carte isoteneur Cl^-	71
Fig. 30 : Carte isoteneur Na^{++}	71
Fig.31a : Représentations graphiques des eaux sur les diagrammes Schoeller B et Piper...	73
Fig.31b-c : Représentations graphiques des eaux sur les diagrammes Schoeller B et Piper	74
Fig.32: Choix du système de projection.....	82
Fig.33 : Calage de la carte topographique.....	82
Fig.34 : Calage de la carte géologique.....	83
Fig. 35: Carte topographique numérisée de la région d'étude.....	84
Fig. 36:Modèle numérique de terrain tridimensionnel.....	84
Fig. 37 : Carte du réseau hydrographique.....	85
Fig.38 : Carte du réseau hydrographique tridimensionnelle.....	86
Fig.39 : Modèle géologique tridimensionnel.....	87
Fig.40 : Carte piezometrique en 3D	88
Fig.41a : Carte d'analyse thématique de débit.....	91
Fig.41b : Carte de débit par zone.....	91
Fig.42 : Carte d'analyse thématique de transmissivité.....	92
Fig.43a : Carte d'analyse thématique de la minéralisation.....	93
Fig.43b : Carte de la minéralisation par zone.....	93
Fig.44 : Carte d'analyse thématique de faciès	94
Fig.45 : Carte d'analyse thématique du Calcium.....	96
Fig.46 : Carte d'analyse thématique des Sulfates.....	96
Fig.47: Carte d'analyse thématique des Chlorures.....	97
Fig.48 : Carte d'analyse thématique du Sodium.....	97
Fig.49 : Carte d'analyse thématique de la potabilité.....	99
Fig.50 : Carte des zones favorables.....	100
Fig.51 : Carte hydrogéologique.....	102
Fig. 52 : Carte des teneurs en $\text{Ca}^{++} + \text{SO}_4^{--}$	104
Fig. 53: Carte des teneurs en $\text{Na}^{++} + \text{Cl}^-$	105
Fig. 54 : Carte des zones favorables.....	107
Fig.55 : Carte de potabilité.....	108
Fig.56: Carte des zones favorables pour les forages d'AEP (Vue tridimensionnelle).....	109

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Précipitations moyennes annuelles.....	15
Tableau 2 : Données des précipitations moyennes mensuelles	16
Tableau 3 : Les précipitations moyennes annuelles en terme croissant.....	18
Tableau 4 : Paramètres principaux.....	18
Tableau 5 : Valeurs de χ^2	20
Tableau 6: Températures mensuelles : minimum, maximum et moyenne.....	22
Tableau 7 : Températures et des précipitations moyennes mensuelles	23
Tableau 8 : Rapport P/T.....	24
Tableau 9 : valeurs d'indice d'aridités mensuelles.....	26
Tableau 10 : Inventaire des points d'eau.....	54
Tableau 11 : Valeurs des transmissivités.....	55
Tableau 12: Valeurs de la dureté suivant l'OMS.....	69
Tableau 13 : Données des analyses physico-chimiques.....	76
Tableau 14 : Les composantes thématiques de la géodatabase.....	80
Tableau 15 : La base de données.....	89
Tableau 16 : Normes de potabilité selon l'OMS.....	98
Tableau 17 : Classes des requêtes.....	99
Tableau 18 : Teneurs en Ca^{++} et SO_4^-	103
Tableau 19 : Teneurs en Na^{++} et Cl^-	103

Références bibliographiques

- **ABADA A. (1986):** Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de Oued Breidj (Monts des Ksour- Atlas Saharien Occidental) Algérie- *Thèse Magister- USTHB-*
- **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. et ARDALLAH A. (2008):** Lithostratigraphie sédimentologie et structurologie de la région de Belefoufa (Ain Sefra) Atlas Saharien Occidental *Mémoire d'Ingénieur- Université de Tlemcen- 75 p. , 27 fig., 3 Pl.*
- **BENHABI M. (1973):** Alimentation en eau potable- Description des travaux de géophysiques - Implantation d'un forage d'exploitation- *Rapport - (DEMRH)*
- **BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES-BRGM- (1996)** Représentations graphiques des résultats d'analyses eau minérale *Note technique N° 8*
- **CAOUS J.Y. (1966) :** Alimentation en eau d'Ain Sefra –Amélioration des ressources actuelles-- *Rapport. (Service Etude Scientifique) – Oran -*
- **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'Ingénieur- Université de Tlemcen. 91 p., 35 fig.*
- **CHEYLAN G. (1954):** Création de points d'eau dans l'annexe d'Ain Sefra- *Rapport. S.C.H. Clairbois- Birmandreis –Alger-*
- **CHEYLAN G. (1952) :** S.A.R de Hassi El Hendjir. Ressources en eau de la mine de cuivre – *Rapport- S.C.H. Clairbois- Birmandreis –Alger-*

- **METREVELI V. (1990):** Hydrogéologie et phénomène de transport – *OPU- 166 p.*
- **MIHOUBI M.K., ABDELBAKI C. (2003) :** Initiation à l'utilisation de MAPINFO – Tome 1 – concepts fondamentaux et principales fonctions – *ENHS Blida – 56 p.*
- **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.*
- **SIMLER R. (2006) :** Logiciel d'hydrochimie. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon
- **SMIDA H, ZAIRI M., TRABELSI R., BEN DHIA H. (2005)** Etude et gestion des Ressources en eau dans une région aride par le SIG : Cas de la région de Regueb - Sidi Bouzid – Tunisie. *Conférence francophone ESRI ISSY-LES MOULINEAUX*
- **SMIDA H, ZAIRI M., TRABELSI R., BEN DHIA H. (2006)** Identification de zones de recharge induite d'aquifères à l'aide d'un Système d'information géographique : cas de la nappe de Chaffar (Sud-Est tunisien). *Article scientifique « Sécheresse »*

إن الدراسة خصت طبقة المياه الجوفية المتكونة من الحجر الرملي المنتمي إلى العصر الطباشيري السفلي، والتي تعد المورد الرئيسي للمياه الصالحة للشرب والسقي الفلاحي بمنطقة العين الصفراء. تدفق مياه الآبار ذات العمق بين 150 و 250 م، يتراوح بين 05 و 85 ل/ث.

التحليل الفيزيوكيميائية لمياه الآبار سمحت تحديد سحن كيميائية متفرقة، وتمعدن بين 500 و 3500 مغ/ل. صلاحية المياه الصالحة للشرب طبق المقاييس الجزائرية (NA 6360-1992) المعمول بها، فإنها تختلف من نوعية جيدة إلى سيئة.

مساهمة نظام المعلومات الجغرافية (G.I.S) سمح:

- معرفة النظام الكلي للمياه الجوفية بالمنطقة خاصة، المكونات الجيولوجية للطبقة المسماة تيوت و تيلولة، والنشاط التكتوني خاصة صدع "رأس الطويل العين الصفراء" الذي له دور كبير في النشاط الهيدروديناميكي والهيدروكيميائي لمياه المنطقة.
- تحديد الطبقات المائية الموجودة المسماة تيوت (العليا، المتوسطة و السفلى) وتيلولة (العليا) مع استخراج خريطة هيدروجيولوجية و أخرى لصلاحية مياه الشرب، مع تعيين مناطق مواتية لحفر الآبار مستقبلا.

الكلمات المفتاحية: الحجر الرملي - العصر الطباشيري السفلي - صدع "رأس الطويل العين الصفراء" - نظام المعلومات الجغرافية (G.I.S) - الهيدروديناميكي - الهيدروكيميائي .

RESUME :

L'étude a porté sur la reconnaissance des eaux souterraines de la nappe des grés du Crétacé inférieur, principale ressource de l'alimentation en eau potable et l'irrigation de la région d'Ain Sefra. Les débits des forages d'une profondeur allant de 150 m à 250 m, varie entre 05 l/s et 85 l/s.

Des analyses physico-chimiques effectuées à travers les forages, puits et sources captant les grés du Crétacé inférieur de la région, ont permis d'identifier des faciès chimiques variés avec des minéralisations se situant entre 500 mg/l et 3500 mg/l. La potabilité des eaux de consommation suivant les normes algériennes fixées par la Norme NA 6360-1992 varie d'une eau de très bonne qualité à mauvaise.

L'apport des systèmes d'information géographique (S.I.G.) a permis :

- La connaissance du système aquifère tout en spécifiant la thématique sur, la lithostratigraphie (les formations de Tiout et Tiloula), la tectonique, notamment l'accident « Ras Touil-Ain Sefra », qui joue un rôle important dans le chimisme des eaux de la région, l'hydrodynamique, et l'hydrochimie.
- La délimitation des différentes nappes, à savoir celles de la formation de Tiout (membre supérieur, médian et inférieur) et de Tiloula (membre supérieur) tout en faisant ressortir une carte, hydrogéologique, de potabilité de la région, et celle des zones favorables à l'implantation de forages.

Mots clés : Grés - Crétacé Inférieur - Accident « Ras Touil-Ain Sefra- Système d'Information Géographique (S.I.G.) - Hydrodynamique - Hydrochimie.

ABSTRACT:

The project was about the recognition of the underground waters of the sheet of the sandstone of the Cretaceous lower main resource of the drinkable water supply and the irrigation of the region of Ain Sefra. Flows of the drillings of a depth going of 150 m to 250 m vary between 05 l/s and 85 l/s.

Physico-chemical analyses made through the wells and the getting the sandstone of the lower Cretaceous of the region, allowed to identify chemical facies varied with mineralization being situated between 500 mg / l and 3500 mg / l. The potability of water following the Algerian standards fixed by the Standard NA 6360-1992 varies of a water of very good quality in bad.

The contribution of the geographical information systems (G.I.S.) allowed:

- The knowledge of aquifer system while specifying the theme on, lithology of the geological formations (Tiout and Tiloula), the tectonic, in particular the fault " Ras Touil-Ain Sefra ", the hydrodynamics , and the hydrochemistry.
- Delimitation the different sheet, to know those of the formation of Tiout (superior, median and lower member) and of Tiloula (superior member), all while doing to take out again a hydrogéological and potability map, of the region, and the favourable zones to the site of wells.

Key words: Sandstone - Cretaceous Lower - Fault « Ras Touil-Ain Sefra » - Geographical Information Systems (G.I.S.) - Hydrodynamic - hydrochemistry .