

N° d'ordre:

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université d'Oran

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoire

Thèse

**Présentée pour l'obtention du grade
Docteur d'état en Sciences de la Terre
Option : Hydrogéologie**

HYDROGEOLOGIE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE ET DU COMPLEXE TERMINAL EN DOMAINE ARIDE. EXEMPLE DES MONTS DES KSOUR (ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL)

Par

MANSOUR Hamidi

Soutenue le : 17 décembre 2007 devant la commission d'examen

MM. TOUBAL. A.C	Professeur	Université d'Alger (USTHB)	Président
ISSAADI. A	Professeur	Université d'Alger (USTHB)	Rapporteur
MANIA. J	Professeur	Université de Lille (USTL)	Examineur
DJABRI. L	Professeur	Université de Annaba (BBM)	Examineur
BENALI. A	MC	Université d'Oran – Es Sénia	Examineur

Oran, 2007

HYDROGEOLOGIE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE ET DU COMPLEXE TERMINAL. EXEMPLE DES MONTS DES Ksour (ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL)

Résumé

L'étude hydrogéologique des monts des Ksour a nécessité de prendre en considération des très grandes superficies pour arriver aux résultats attendus.

Vers l'extrémité occidentale des Monts des Ksour entre Béni Ounif et Oued Zoubia (ex Duveirier), les écoulements superficiels de direction Nord – Sud sont étroitement liés aux écoulements souterrains. Au niveau de la partie centrale (Aïn Séfra et Moghrar), le bassin bien hiérarchisé est caractérisé par des écoulements de direction Nord (vers Naâma), Ouest (vers Sfissifa) et Sud (vers Oued Namous). Au niveau de la partie orientale (El Abiodh Sidi Cheïkh – Brizina), le bassin pratiquement parallèle à la flexure Sud Atlasique, de direction Est – Ouest ne participe guère à l'alimentation des piémonts de la plate forme Saharienne.

L'analyse lithostratigraphique et structurale a permis de faire ressortir les grands traits de la géologie des Monts des Ksour, particulièrement les structures synclinales, formant de vastes plaines, comblées par des formations continentales du Crétacé inférieur et qui sont le siège des grands écoulements d'eau souterraines. Plus au Sud, séparées de l'Atlas Saharien par la flexure Sud Atlasique, les formations continentales post – Turoniennes, bien illustrées dans la région de Brezina (El Kohol) forment de grandes épaisseurs. Elles sont généralement discordantes soit sur le Turonien soit sur le *Continental Intercalaire*.

Parmi les principaux résultats de l'étude hydroclimatologique, on citera particulièrement l'apport par les précipitations, représentant une lame d'eau moyenne de 160 mm relative à l'ensemble de la zone cartographiée.

L'hydrologie de surface, basée en grande partie sur l'analyse des débits fréquentiels a pris en compte les grands émissaires descendant de l'Atlas Saharien Occidental. Elle nous a permis de dresser un constat, illustrant des apports capables d'alimenter 02 entités hydrogéologiques distinctes : domaine oriental, parcouru par les Oued Namous, Gharbi et Segguer, alimentant les piémonts de la plate forme saharienne (84 Mm³) et domaine occidental, drainé par la Zousfana et son affluent principal, alimentant la grande vallée de la Saoura (40 Mm³).

Les piémonts Sud des Monts des Ksour constituent un vaste système hydrogéologique jouant le rôle de carrefour entre le domaine Atlasique au nord et les terrains de couches rouges du *Complexe Terminal*. Les caractéristiques des différents forages hydrauliques nous indiquent qu'on est en présence d'une nappe très complexe, contenue à la fois dans le Mio-Pliocène (*Complexe Terminal*) et dans le Barremo-Albo-Aptien (*Continental Intercalaire*).

La Hamada Sud Oranaise, par l'intermédiaire de l'entablement des calcaires Miocènes joue un rôle de relais, permettant de drainer les eaux souterraines, issues des piémonts de l'Atlas et de la nappe sous l'Erg vers la vallée de la Saoura. La grande source de Béni Abbès constitue l'exutoire par excellence de la nappe de l'Erg au droit de cette localité.

La Hamada du Guir peut constituer un Karst parsemé de Dayas qui joueraient le rôle de dolines. Nous aurions donc un ensemble de drains partant des différentes dayas et pouvant donner un conduit principal au droit des paléo-

oueds. Nous n'aurons donc pas un ensemble continu mais un système de réseaux karstiques pouvant évoluer séparément.

L'apport de l'hydrologie isotopique confirme que les réserves héritées des pluviaux Quaternaires se trouvent mêlées à un apport sporadique actuel, particulièrement au niveau du Grand Erg Occidental. Seule la nappe de la Hamada du Guir est considérée comme fossile.

Les conditions d'émergence des sources dans les monts des Ksour sont liées à 02 origines, l'une structurale donnant naissance à des sources thermales d'origine profonde ; l'autre liée à la fissuration affectant les formations Jurassico-Crétacées. C'est dans les grès du *Continental Intercalaire* qu'on retrouve les sources les plus importantes.

L'étude hydrogéologique des synclinaux des Monts des Ksour a pu être menée en subdivisant le système en 03 grands faisceaux. Cela nous a permis de reconnaître les aquifères des différents synclinaux mais également d'identifier le rôle hydrodynamique de la faille Sud Atlasique depuis le Djebel Grouz (Béni Ounif) jusqu'aux confins du Djebel Tismert (El Abiodh Sidi Cheïkh). Ainsi la cartographie hydrogéologique fait ressortir une liaison hydrodynamique entre les formations Jurassico - Crétacées de l'Atlas et le Mio-Plioquaternaire des piémonts de la plate forme Saharienne (Béni Ounif - Djenien Bourezk), à partir de la faille Sud Atlasique. Au niveau de la partie centrale des Monts des Ksour, les intercommunications se font à la faveur des couloirs (cuvettes synclinales), encadrés par les anticlinaux d'âge Jurassique. Ces derniers participent souvent à l'alimentation du *Continental Intercalaire*, en remontant le long des failles (Synclinal de Naâma). La partie orientale des Monts des Ksour (El Abiodh Sidi Cheïkh) constitue un système hydrogéologique indépendant, représenté principalement par l'aquifère du *Complexe Terminal*. A ce niveau, la faille Sud Atlasique, d'un rejet dépassant 1000 mètres constitue une limite à flux nul.

Après avoir fait une synthèse des résultats des campagnes piézométriques et hydrochimiques relatives aux synclinaux des Monts des Ksour, nous avons présenté à partir d'un raffinement de méthodes de traitement performantes (imagerie spatiale, méthodes d'intégration et d'analyse des SIG) une cartographie thématique représentant les grands écoulements dans un Atlas Hydrogéologique. Il en ressort que la configuration des bassins hydrogéologiques est intimement liée à la présence de failles, dépassant ainsi le cadre de l'entité d'une carte géologique.

Mots clés : Cartographie, Continental Intercalaire, Complexe Terminal, Structures synclinales, Système aquifère,

AVANT – PROPOS

C'est lors des vacances de printemps 1975, alors jeune lycéen de 2^{ème} année secondaire au lycée Ben Badis d'Oran (ex lycée Ardaillon) que mon destin s'est scellé avec les Sciences géologiques.

Je rencontrais ce jour là, un dénommé Méghraoui Mustapha universitaire inscrit en 2^{ème} année de géologie à l'université d'Alger (aujourd'hui, imminent géologue structuraliste et directeur de recherche du centre de géophysique du globe de Strasbourg), venu passer quelques jours de vacances chez son cousin Méghraoui Ghrissi, ami et copain de classe à l'époque. Donc après avoir lié connaissance et influencé par l'attrait des Sciences de la Terre, j'ai décidé dès l'obtention de mon bac, de m'inscrire à l'université d'Oran en géologie.

Après un tronc commun de géologie fondamentale passé au sein d'une promotion formidable (Ouardas, Sebane, Ghali., Fouatih, Malki, Meddah, Medjebeur, Malti, Talbi, Abdelali, Chenafi, Mechtmel) où j'ai eu le privilège d'avoir pour enseignants les professeurs Mr et Mme Ameur (que dieu ai leur âme), Mme Neurdin, Mr Grevelec, Mr Cyszack, Mr Centène, Mr Saint Martin, Mr Lacas. J'ai choisi la spécialité hydrogéologie pour préparer 2 années plus tard mon ingéniorat sur l'étude de l'aquifère Karstique du bassin versant de l'oued Zitoun dans la partie Ouest des Monts de Tlemcen, sous la direction du regretté P. Verdeil, imminent professeur et pionnier de l'hydrogéologie Algérienne post indépendance.

Après avoir passé le service militaire, je réintègre le département de géologie appliquée en 1985 pour suivre une formation de Magister. En parallèle, je suis recruté avec mes collègues Bouanani et Foukrache en tant qu'assistants stagiaires pour dispenser des TP.

Le sujet de Magister, proposé par P. Verdeil a concerné l'hydrogéologie des complexes dunaires et leur interaction avec l'avancée du biseau salé du littoral de l'Oranie. La soutenance a eu lieu après 04 années de thèse, le 30 juin 1989.

Au cours d'un stage d'encadrement d'étudiants de 4^{ème} année d'hydrogéologie à Aflou (Atlas Saharien Central), Le Pr Verdeil me proposera de relayer et de compléter vers l'Ouest le travail entamé déjà par Mr Stamboul en 1984 (thèse d'état soutenue en novembre 2005). Et c'est ainsi que j'ai commencé mon travail de thèse de doctorat d'état sur l'hydrogéologie des monts des Ksour et de la plate forme Saharienne.

Après 04 années d'investigation sur le terrain (1991 – 1994) durant lesquelles j'ai assumé en parallèle la fonction de chef de département de géologie appliquée, j'ai rejoins le laboratoire de géologie structurale et appliquée de Besançon où j'ai été accueilli par le Professeur J. Mania. J'ai ainsi pu m'initier aux techniques d'utilisation de logiciels ayant trait à la modélisation des écoulements souterrains et de la fracturation en milieu discontinu.

Après avoir terminé mon stage de formation, je réintègre l'université d'Oran durant l'année 1997. Deux années plus tard, j'accomplis le devoir sacré de tout musulman en me rendant à la Mecque.

Arrivé au terme de ce travail, il m'est difficile d'exprimer en quelques mots, tout ce que je dois au professeur P. Verdeil, emporté par une maladie et qui n'a pu hélas voir l'aboutissement d'une étude à laquelle il a grandement contribué.

Comme je suis heureux aujourd'hui de remercier le Professeur A. Issâadi pour m'avoir parrainé en rapportant ce travail. Il faut dire que je ne l'ai pas ménagé dans la mesure où ses différentes corrections lui ont pris beaucoup de son temps précieux.

C'est avec un réel plaisir que je remercie le professeur A. Toubal, qui a accepté de prendre connaissance de mon travail et de me faire l'honneur de présider le Jury de soutenance.

Je suis honoré de la présence du Professeur J. Mania dans mon jury. Je ne saurais oublier notre séjour dans la plate forme Saharienne (Aoulef, Adrar et Timimoun) ni son accueil lors de mon stage à Besançon. Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude pour le chaleureux accueil qu'il m'a toujours réservé.

C'est avec un grand plaisir que je remercie le professeur L. Djabri d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude pour l'intérêt accordé à mon travail.

Je remercie Mr A. Benali d'avoir examiné mon travail et d'être parmi le jury de soutenance.

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

Ma reconnaissance et mes remerciements s'adressent aux autorités de l'université, représentées par le Professeur A. Derbel, recteur de l'université d'Oran, le Docteur S.A. Amrani, vice recteur, chargé de la pos-graduation, le Professeur L. Mékahli, doyen de la Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire ainsi que tous les collègues enseignants de Géologie.

Je ne saurais oublier les différents organismes d'état pour m'avoir facilité la tâche, particulièrement dans le domaine documentaire. Je citerais l'Agence Nationale de Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Oran, les directions de l'Hydraulique de Wilaya (DHW) de Naâma et de Béchar.

J'ai beaucoup apprécié l'aide tant morale que scientifique de tous mes collègues lors de la rédaction de ce manuscrit. Je citerai en particulier Mr Dakkiche, Mr Zeroual, Mr Foukrache et Mr Nadji. Je n'oublie pas non plus toutes celles et ceux qui enseignants, personnel de soutien, m'ont apporté leur dévouement, leur soutien et leur amitié. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma vive reconnaissance, en particulier Messieurs A. safa, M. Stamboul, A. Baïche, M.I Hassani, S.M. Hayane, D. Mahamed, Melle Mebrouk, Melle Bakreti, Mme Berramdane.

Je ne pourrai oublier de citer la gentillesse et la bonne humeur des chauffeurs de l'université d'Oran lors de nos randonnées dans l'Atlas Saharien. Je remercie en particulier Miloud et Brahim, sans oublier la chaude hospitalité des populations Sahariennes.

Je tiens à rendre hommage et ma vive gratitude à ma femme, mes enfants, ma mère, mes beaux parents, mes frères, mes sœurs pour l'apport moral et leur soutien durant toutes ces années.

Je n'oublierais pas dans mes pensées un homme au grand cœur, mon père, parti un peu tôt sans avoir pu goûter avec moi à l'apothéose de ce travail. Pour cela, je pris le tout puissant de l'accueillir dans son vaste paradis.

CHAPITRE PREMIER

GENERALITES

I - INTRODUCTION

II - PRESENTATION GENERALE DU DOMAINE D'ETUDE

- 1 – Cadre géographique
 - 1 – 1. Monts des Ksour dans leur contexte régional
 - 1 - 2. Domaine d'étude
- 2 – Cadre géologique et structural
- 3 - Historique et état actuel des connaissances
 - 3 – 1. Période d'exploration
 - 3 – 2. Période Flamand, Cornet, Galmier et Bassoulet
 - 3 – 3. Période récente
 - 3 – 4. Les études hydrogéologiques

III - LES GRANDS ENSEMBLES GEOMORPHOLOGIQUES

- 1 – Le réseau hydrographique
 - 1 – 1. Bassin de la Saoura
 - 1 – 2. Bassin de l'Oued Namous
 - 1 – 3. Bassin de l'Oued Gharbi
 - 1 – 4. Bassin de l'Oued Segguer
- 2 - Les grands ensembles géographiques et géomorphologiques
 - 2 – 1. Contexte régional
 - 2 – 2. Grand Erg Occidental
 - 2 – 3. Les massifs Nord Atlasiques des Monts des Ksour
- 3 – Aperçu morphométrique
 - 3 – 1. Synclinal de Béni Ounif
 - 3 – 2. Synclinal de Aïn Séfra
 - 3 – 3. Synclinal de Labial Sidi Cheikh

IV - CONCLUSION

CHAPITRE PREMIER

GENERALITES

I – INTRODUCTION

Si sous un climat tempéré, il est relativement facile de préciser le périmètre d'alimentation d'une source ou d'un aquifère ; il n'en va plus de même sous climat semi aride, aride ou désertique. La répartition des pluies aussi bien dans l'espace que dans le temps, la faiblesse de leur volume global conduit dans de nombreux cas à s'interroger sur l'origine de la ressource, faut-il :

- Faire intervenir la superficie et admettre l'existence de bassin d'alimentation particulièrement étendu, renfermant des systèmes aquifères profonds aux structures et formations hydro-lithostratigraphiques complexes. Ces aquifères sont pour la plupart multicouches, à nappe libre et le plus souvent à nappe captive, intercalés par des formations semi perméables capacitatives (Margat. 1991).

- Supposer un apport d'eaux anciennes emmagasinées lors de pluviaux Quaternaires, non par ce qu'elles ont été piégées et conservées dès leur pénétration dans le sous sol depuis les temps géologiques (du moins les âges préhistoriques), mais parce qu'elles se déplacent très lentement sur des trajectoires immenses jusqu'à moins d'un mètre par an (Margat. 1990, 1991, 1992). Leur renouvellement actuel est donc très faible.

En réalité, aucun système aquifère n'est totalement déconnecté du cycle général de l'eau ; ce qui explique la présence d'eaux météoriques actuelles dans les aires d'alimentation périphériques des bassins.

Nous serons donc amenés à prendre en compte de très grandes superficies, telles que les piémonts de la plate forme Saharienne (O. Namous, Zoubia, Rharbi et Sougguer), le bassin de la Saoura dans ses aspects généraux, le grand erg occidental et l'Atlas Saharien occidental (monts des Ksour). Les principales ressources en eaux souterraines sont localisées dans deux systèmes aquifères importants (fig. 01):

- Le *Continental Intercalaire* dans les Monts des Ksour, représenté par des dépôts sablo-gréseux et sablo-argileux avec une puissance pouvant atteindre 1200 m à Labiod Sidi Cheikh.
- Le complexe terminal au niveau des piémonts et de la plate forme Saharienne (sous le grand erg occidental), défini par un empilement d'aquifères superposé attribué au Mio-Plio-Quaternaire.

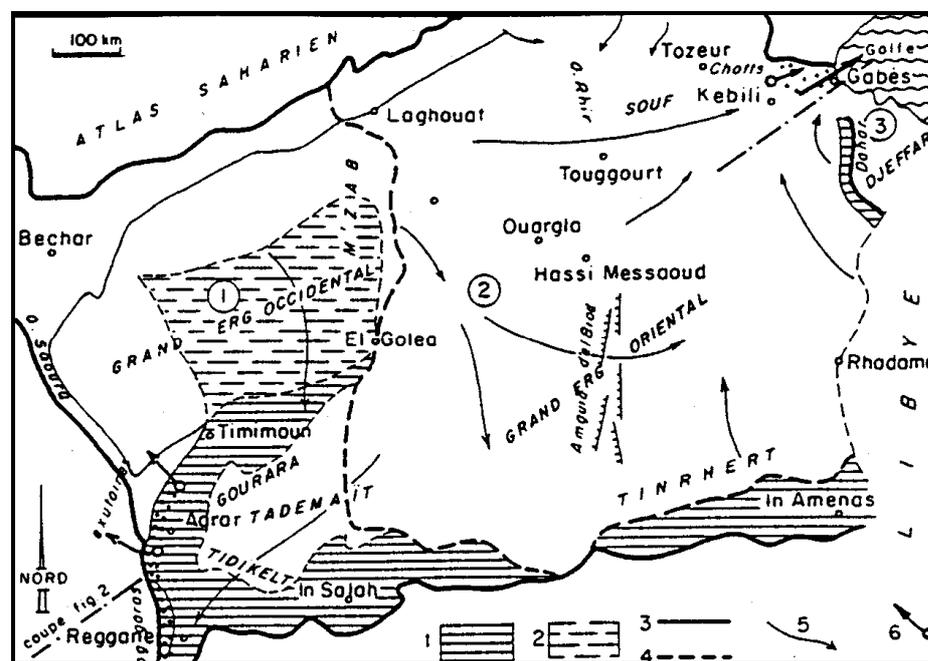


Fig. 01 - Cadre général des systèmes aquifères du *Continental Intercalaire* (CI) et du *Complexe Terminal* (CT)

1. Affleurements de la formation ; 2. Affleurements sous le Grand Erg occidental (drainance) ; 3. Limites du bassin hydrogéologique ; 4. Ligne de partage des eaux souterraines ; 5. Direction de l'écoulement souterrain ; 6. Exutoires principaux. 1 sous-bassin occidental ; 2 sous-bassin oriental ; 3 sous-bassin de la Djefara.

Aussi, avant d'évaluer les potentialités de ces aquifères, une réflexion et une optique régionale devaient être tentées. En effet, la définition des conditions aux limites, la connaissance des champs des potentiels hydrauliques et des paramètres hydrodynamiques, préalables incontournables nous amènent à appréhender des questions pertinentes telles que :

- Comment fonctionne la flexure Sud Atlasique du point de vue hydrodynamique le long du versant Sud des monts des Ksour ?

- Quel est l'impact de l'hydrologie superficielle Saharienne dans la réalimentation de la Plateforme ? S'agit-il d'une régénération continue des niveaux piézométriques par les crues de printemps ou simplement un apport négligeable qui s'estompe dans l'immensité Saharienne.

- Quel est degré de liaison relatif aux échanges verticaux (phénomène de drainance) entre les différents aquifères superposés, particulièrement entre le *Continental Intercalaire* et le *Complexe Terminal*.

A travers ces quelques interrogations, on admettra que les connaissances sont très fragmentaires, tant sur le nombre d'aquifères Jurassico-Crétacé d'une part (grés poreux et fissurés), Mio-Pliocène (formations argilo-sableuses ou grésocalcaire) d'autre part, sur la géométrie, les champs de potentiels hydrauliques, les paramètres physiques et hydrodynamiques, les conditions aux limites hydrogéologiques et enfin les éventuelles interactions entre les différents horizons aquifères.

Ainsi notre intention première était l'étude des aquifères des monts des Ksour, nous conduit de facto à une vue plus régionale, intégrant la vallée de la Saoura, les piémonts de l'Atlas Saharien et le Grand Erg

Occidental. La démarche que nous adoptons découle par la collecte et l'organisation des données hydrogéologiques disponibles du système réel, traduites en termes de propriétés physiques et hydrodynamiques, de conditions aux limites et de qualité de l'eau en vue de l'édification de schémas d'écoulement souterrain.

* L'identification et la géométrie des aquifères réside dans la sélection et la classification de chaque point d'eau selon l'âge et le nombre d'aquifères captés de manière à respecter l'aspect tridimensionnel de la stratigraphie et de la superposition des couches géologiques. Les données factuelles analytiques de base (NP) doivent être critiquées tant sur leur nature que sur leur précision, afin de les présenter sous la forme d'une information élaborée (carte piézométrique).

La première approche a été de reconstituer la géométrie des synclinaux des monts des Ksour par l'établissement de coupes et cartes structurales.

* L'étude hydrodynamique s'appuie d'abord sur l'aspect géologique (conditions de lithologie et de structure) et sur les considérations d'ordre hydrodynamique par l'analyse des données élaborées simples (isopièzes) et complexes (différence de potentiel entre deux aquifères). Elles nécessitent dans la mesure des données disponibles, la caractérisation de l'aquifère par le champ des paramètres hydrodynamiques qui régissent ses fonctions conduites et capacitives.

* L'analyse des données chimiques et isotopiques permettra à corroborer les hypothèses formulées dans l'essai de définition et de compréhension du fonctionnement de chaque aquifère.

II – PRESENTATION GENERALE DU DOMAINE D'ETUDE

1 – Cadre géographique.

1 – 1. Les monts des Ksour dans leur contexte régional.

L'Atlas Saharien, chaîne montagneuse d'une longueur d'environ 1000 Km, orientée SW-NE, forme la troisième unité par référence à l'Atlas Tellien et les hauts plateaux. Intercalé entre le domaine Saharien au Sud, demeuré relativement stable au cours de l'orogénèse Alpine et le domaine Tellien au Nord à terrains plus allochtones, l'Atlas Saharien se raccorde à l'Ouest depuis le moyen et le haut Atlas Marocain jusqu'à la bordure occidentale des Aurès à l'Est. Cette suite de chaînes forme un barrière naturelle géographique et climatique, séparée de la plate forme Saharienne avec beaucoup de netteté par une série d'accidents en coulisses de plis failles et de failles dont l'ensemble constitue ce que Laffitte (1939) a appelé « flexure Sud Atlasique ». Il s'agit en effet de l'accident Sud Atlasique allant d'Agadir au Maroc jusqu'à Gabès en Tunisie (fig. 2).

Au Nord, par contre l'accident Nord Atlasique, sujet de plusieurs interprétations ou accident Sud mésétien (Kazi-Tani 1986), constitue une discontinuité tectonique caractérisée par des changements rapides de direction qui affecte au Nord Ouest la chaîne de montagne depuis le Djebel Antar de Mecheria - djebel Dough dans les confins Algéro-Marocains au Sud Ouest de Forthassa gharbia.

Plus au Nord Est, cet accident se trouve ramené sur le flanc Ouest du Djebel Antar où un autre linéament tectonique Est-Ouest semble le déplacer vers l'Est.

L'Atlas Saharien constitue donc un édifice plissé Atlasique représenté par un grand linéament structural qui a permis à Ritter (1902) de le subdiviser en trois faisceaux de plis : les monts des Ouled Naïl (Atlas Saharien Oriental), le Djebel Amour (Atlas Saharien Central) et les monts des Ksour (Atlas Saharien Occidental).

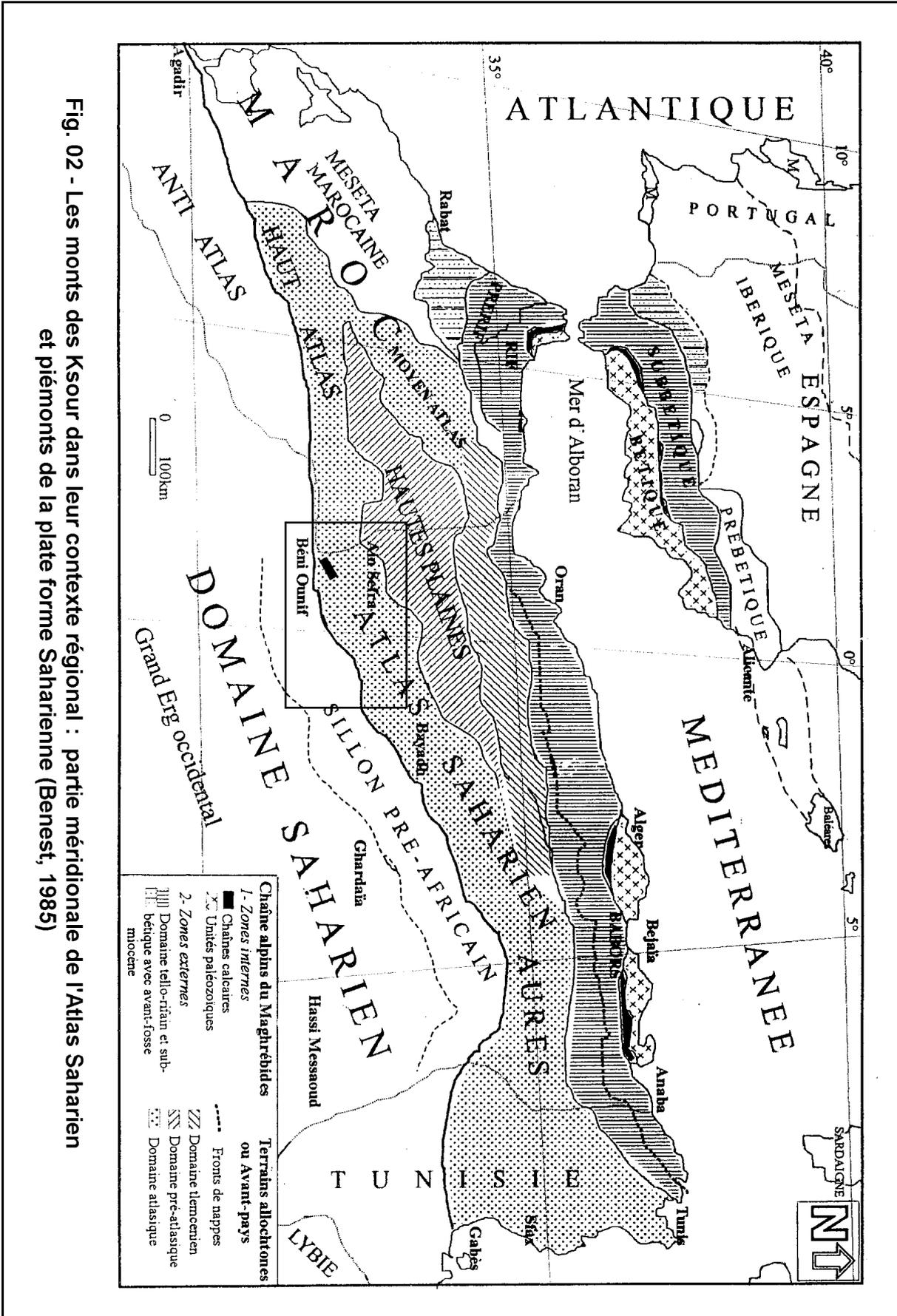


Fig. 02 - Les monts des Ksour dans leur contexte régional : partie méridionale de l'Atlas Saharien et piémonts de la plate forme Saharienne (Benest, 1985)

1 - 2. Domaine d'étude (fig. 03)

Le domaine d'étude comprendra deux entités géographiquement différentes, représentées par :

- L'Atlas Saharien Occidental appelé communément monts des Ksour dont lesquels on retrouve les aquifères du *Continental Intercalaire*.
- Les piémonts de la plate forme Saharienne (formations aquifères du *Complexe Terminal*), qui par l'intermédiaire des grands oueds Sahariens, réalimentent une partie du Grand Erg Occidental.

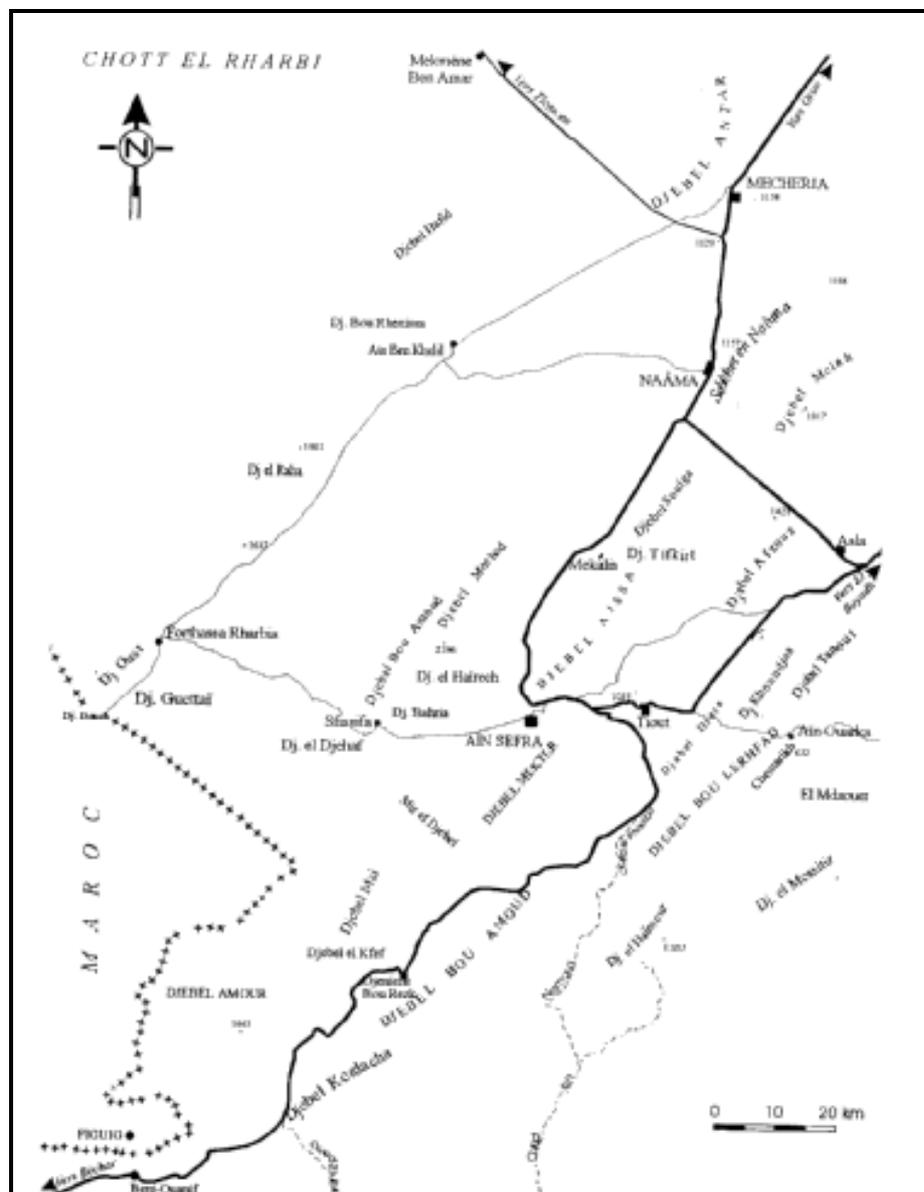


Fig. 03 – domaine d'étude

Le domaine d'étude est limité à l'Est par les derniers contreforts de l'Abiod Sidi Cheikh, à l'Ouest par la frontière Algéro-Marocaine (Beni Ounif – Figuig), au Nord par les hautes plaines et au Sud par la plate forme Saharienne.

2 - Cadre géologique et structural.

Les monts des Ksour, selon une zonation transversale Nord-Sud proposée par SOFEPAL (1969) se subdivisent en trois zones :

- Zone pré-Atlasique (mecheria) à structure peu marquée et à faible relief topographique.
- Zone Atlasique (Aïn Séfra) fortement plissée. La limite entre les deux zones est soulignée par des rides anticlinales dominant le pré-Atlas correspondant à l'accident Nord Atlasique (Galmier, 1970).
- Zone pré-Saharienne (Béni Ounif), constituant l'extrémité méridio-occidentale des monts des Ksour.

Les affleurements, essentiellement Jurassiques, forment des structures anticlinales longues et étroites, séparés par de larges synclinaux où les affleurements gréseux du Crétacé inférieur constituent les grands systèmes hydrogéologiques.

Les alignements morpho-tectoniques sont l'expression en surface d'accidents profonds de la chaîne et traduisent également des failles inverses et des chevauchements (Haouche et Al. 2001). L'érosion différentielle a façonné les reliefs de façon à donner des cuestas et des anticlinaux érodés. Les fonds des synclinaux dominant en donnant des types perchés (Djebel Khoundjaïa).

La variété du style tectonique qui diversifie la région plissée des monts des Ksour a créé un relief monoclinal en éventail ou en pli coffré. Parfois le pli est de type diapir. Souvent le Trias salifère crée une échancrure au sommet de l'anticlinal et se répand sur les roches plus récentes (Dj. Chemarikh et Dj. Melah).

3 – Historique et état actuel des connaissances.

Les recherches géologiques dans l'Atlas Saharien ont débutées dans la deuxième partie du 19ème siècle. On peut les subdiviser en 05 grandes périodes :

- Période d'exploration (1835 – 1889)
- Période Flamand, Cornet, Galmier et Bassoulet (1889 – 1973).
- Période récente, Douihasni, Mahboubi, Aït Ouali et Mékahli (1986 – 1998).
- Travaux d'ingénieurs sur les recherches hydrogéologiques (1992 – 2001).
- Les études hydrogéologiques.

3 – 1. Période d'exploration (1835 – 1889).

Les recherches préliminaires furent entreprises par **Pouyanne** et **Peran** de 1853 à 1874 et à ces deux auteurs que revient la reconnaissance du Crétacé dans la région de Tiout (Aïn Séfra).

Les monts des Ksour sont parcourus ensuite en 1857 par **Mares** qui attribua les grés d'El Bayadh au Crétacé inférieur. En 1858, **Ville** signala les argiles à sel du Djebel Melah de Mecheria ; l'âge Triasique de ces dépôts argilo-salins ne sera admis que beaucoup plus tard en 1896 lors de la réunion de la société géologique de France.

3 – 2. Période Flamand, Cornet, Galmier et Bassoulet (1889 – 1973).

Les travaux de **Flamand** (1911) sur le haut pays de l'Oranie et sur le Sahara a servi de base pour toutes les recherches récentes. L'auteur présenta une importante thèse sur l'Atlas Saharien, le Tell et les régions frontalières Algéro-Marocaines, traitant plusieurs éléments dont la géomorphologie, la tectonique et la paléontologie.

Cornet (1949 – 1955) donna des précisions sur la stratigraphie de **Flamand** et réalisa une synthèse où il a employé le terme 'accident Nord Atlasique'.

Galmier (1951) défini et décrit cet accident. Dans la même année, **Dresney** montre que cet accident se prolonge au Maroc en bordure Nord du haut Atlas.

Thiebaut et **Cailleux** font une étude dans la région de Aïn Séfra et montrent l'existence de plusieurs concentrations statiformes de minerais de cuivre.

Lasnier (1965), contribua à l'étude stratigraphique et micropaléontologique du Jurassique des hautes plaines Oraïses et donna ainsi une stratigraphie plus complète du Jurassique.

Basseto (1967), présente une note consacrée au passage Jurassique-Créacé dans le Djebel Lazreg de Laghouat. Dans la même année, **Lucas** et **Galmier** donnent des indications nouvelles sur la bordure méridionale de l'Atlas Saharien.

Galmier (1970), réalisa 09 cartes photo-géologiques au 1/100.000° qui donnent une vue d'ensemble sur la tectonique des monts des Ksour. Dans la même année, **Busson** réalise une synthèse fondamentale sur le secondaire Saharien et met en évidence les différences et les ressemblances entre le domaine Saharien et le domaine Atlasique.

Bassoulet (1973), présente une étude essentiellement stratigraphique du mésozoïque des monts des Ksour. Il établit une subdivision en 04 principaux ensembles lithostratigraphiques qui sont en liaison avec l'évolution sédimentaire du bassin. Il s'agit d'argiles versicolores gypsifères et salines accompagnées de basaltes (Trias), d'une série

épaisse carbonatée avec des marnes au sommet, d'un ensemble détritique argilo-gréseux à passées carbonatées (Bajocien supérieur-Jurassique supérieur) et enfin des argiles dolomitiques puis à gypses surmontées par les calcaires (Vraconien-Turonien).

3 – 3. Période récente (1986 -1998).

Dans sa thèse de doctorat 3^o cycle, **Douihasni** (1976) complète la partie stratigraphique de **Bassoulet** et donna une importante analyse structurale sur les monts des Ksour, en signalant l'existence d'une tectonique superposée.

Mahboubi (1983), réalisa sa thèse sur les terrains post-Aptiens et Tertiaire de la bordure méridionale du Djebel Amour.

Kazi-Tani (1986), présenta une synthèse géodynamique de la bordure Nord-Africaine en se basant sur une approche mégaséquentielle et montra deux phases dans l'évolution dynamique et paléogéographique :

- La première phase transgressive du Trias au Lias moyen.
- La deuxième phase régressive du Toarcien à l'Oxfordien.

Aït Ouali (1991), présenta dans sa thèse un travail important. Il s'agit en effet des rifting des monts des Ksour et la diagenèse des formations carbonatées du Lias. Cet auteur réalisa une étude sédimentologique et géodynamique ainsi qu'une analyse stratigraphique basée sur une approche séquentielle et distingua 04 formations permettant à cet auteur la mise en évidence des stades précoces rattachés au modèle d'évolution classique des auteurs et des stades tardifs liés à l'histoire dynamique du bassin des Ksour.

Ouali Mehadji (1995), réalise dans sa thèse de Magistère une étude paléontologique, écostratigraphique et environnementale sur les brachiopodes des Monts des Ksour du Bajocien supérieur et le Bathonien inférieur.

Mekahli (1998), présenta dans sa thèse de doctorat d'état l'évolution dynamique des monts des Ksour de l'Hettangien au Bajocien. Il a pu établir la paléogéographie par l'application de nouvelles méthodes de la stratigraphie séquentielle.

Mekkaoui (2000), établi dans sa thèse de magistère une étude géodynamique de la bordure du sillon Atlasique (Dj. Grouz) et la plate forme Saharienne (Charef-Fendi) au Jurassique inférieur et moyen.

Yelles Chaouche et **Al** (2001) à partir des données sismiques et géologiques du domaine pré Atlasique ont pu identifier les différentes phases d'ouverture du bassin des Ksour.

Salhi (2002), dans sa thèse de Magistère présenta un travail important sur l'évolution paléogéographique et dynamique de la bordure méridionale du sillon Atlasique au cours du Lias et du Dogger.

3 – 4. *Les études hydrogéologiques.*

On peut les subdiviser en 03 groupes de données: les rapports inédits, les mémoires d'ingénieur et les études géophysiques :

- Rapports inédits : la plupart des travaux ont été réalisés avant l'indépendance avec pour objectif principal la recherche et l'exploitation des eaux souterraines dans les régions sahariennes. On citera particulièrement ceux de **A. Cornet** (1947-1952-1973), **J. Dubief** (1953-1963), **G. Cheylan** (1952-1955), **M. Combes** (1966), **M. Bourgeois** (1959) et **G. Medinger** (1961).
- Mémoires d'ingénieurs : il s'agit d'encadrements sous ma direction d'un certain nombre d'étudiants ayant soutenu leur mémoires d'ingénieur durant la période 1991-2001. Ce sont des études hydrogéologiques et hydrodynamiques sur les formations gréseuses du *Continental Intercalaire* au droit des différentes structures synclinales des monts des Ksour et des piémonts de la plate forme Saharienne :

N. Yousfi et **C. Aït Ahmed** (1991), contribution à l'étude hydrogéologique de la grande source et de la Palmeraie de Béni Abbes (Sahara Nord occidental).

B. Bekhedda (1992), contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal de Béni-Ounif (partie méridio-occidentale des monts des Ksour).

A. Rahmani (1993), contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal des gouttières synclinales El Handjir - Aïn Séfra - Tiout (partie centrale des monts des Ksour).

A. Driss et **O. Sellah** (1995), contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal de Naâma (partie centrale Est des monts des Ksour).

A. Bouguern (1996), étude hydrogéologique du synclinal de Asla (partie centrale des monts des Ksour).

O. Kheddoum (1998), contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh (partie méridio orientale des monts des Ksour).

B. Kradchi et **K. Mesbah** (2001), essai de synthèse cartographique des écoulements souterrains des structures synclinales des monts des Ksour (Atlas Saharien occidental).

- Les études géophysiques: contribution des études géophysique par prospection électrique pour la reconnaissance des aquifères des structures déprimées des monts des Ksour. Il s'agit particulièrement des entreprises algériennes (ALGEO) et étrangères (CGC, STROJEXPORT).

III - LES GRANDS ENSEMBLES GEOMOPRPHOLOGIQUES

1 – Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est peu développé vers le Nord, débouchant généralement vers les Chotts et les Dayas (zones

d'absorption des eaux de ruissellement), les oueds (drains naturels des aquifères) et les Sebkhhas (cuvettes à fond salé). Au Sud, le réseau est plutôt dense avec des émissaires traversant pratiquement tout l'Atlas Saharien occidental.

On distinguera d'Ouest en Est l'Oued Zousfana relayé par la Saoura, l'Oued Namous, l'Oued Gharbi et l'Oued Segguer.

La figure n°4 permet d'illustrer leur cheminement à travers l'Atlas Saharien occidental.

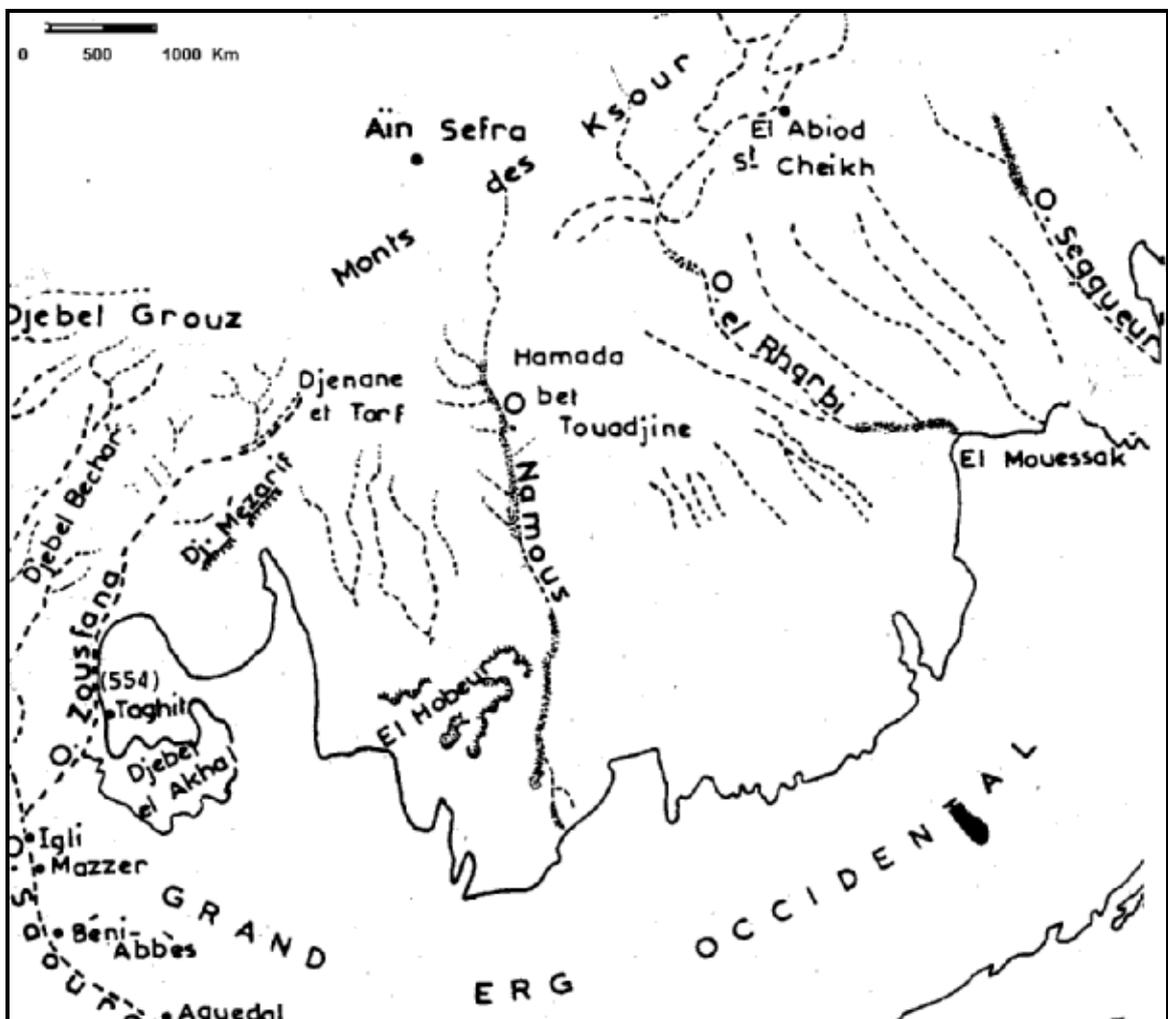


Fig. 04 – Le réseau hydrographique (Institut géographique géographique)

1 – 1. Bassin de la Saoura (fig.05)

Né à Igli, de la confluence du Guir et de la Zousfana, l'oued Saoura s'enfonce rapidement vers le Sud sur plus de 500 km. Branche maîtresse du système, le Guir prend sa source au niveau du haut Atlas Marocain dans l'Aït Serhouchen, sur les flancs de Djebel Mesrouh à 2642 mètres d'altitude ; il reçoit en rive gauche l'oued Bouânane qui draine le djebel Meschakour (2121 m) et Mezimine (1742 m) puis s'enfonce rapidement vers le Sud où ses eaux seront régularisées au niveau du barrage construit dans les gorges du Djorf Torba à proximité de Kanadza.

L'oued Zousfana prend sa source dans la partie occidentale des monts des Ksour, sur le flanc Ouest du Djebel Amour (1883 m) et le revers méridional du Djebel Rhaïz (2160 m). Il prend à partir de Djenen Ed Dar une direction SSW, bordé par le Grand Erg Occidental sur sa rive gauche. En amont de Taghit, Gautier (1928) a montré que la Zousfana coulait dans un chenal Quaternaire bien individualisé par un système de terrasses.

Passé Igli et jusqu'aux gorges de Foum El Kheneg, le lit de la Saoura se limite à un chenal principal, parcouru par des distances plus ou moins importantes par les crues venues du Guir ou la Zousfana. Retenons enfin que lors des crues, tout à fait exceptionnelles, la Saoura après avoir fait le plein de la Sebket el Maleh, emprunte le parcours de l'oued Messaoud en direction d'Adrar dans la région de Reggane.

1 – 2. Bassin de l'oued Namous (fig. 6a)

L'oued Namous prend sa source à 1900 mètres d'altitude dans les monts des Ksour. Après une centaine de kilomètres d'un parcours montagneux durant lequel il reçoit des affluents importants (Sfissifa, Tiout, Moghrar), il débouche en région Saharienne en aval de Moghrar Tahtani, vers 800 m d'altitude. En amont de son confluent avec El Moghrar au niveau des piémonts Atlasiques, la pente diminue et l'oued s'étale (Oglet el Djedida). Légèrement en amont de Hassi Maâmoura, la pente augmente et l'oued coule dans une large vallée, creusée dans la Hamada où son lit s'ensable progressivement. L'oued Namous atteint le Grand Erg Occidental dans la région de Kheloua Sidi Brahim et se perd dans les sables vers Hassi Boukhelala, soit à 370 km de son origine.

1 – 3. Bassin de l'oued Gharbi (Fig. 6b)

A son débouché dans le Grand Erg Occidental, l'oued Gharbi atteint 14600 km². Son bassin peut être limité au confluent des deux branches formées par les oueds Chergui et Kreroua ; sa superficie se réduit à 7800 km². Il prend naissance dans la partie orientale des monts des Ksour à 1500 m d'altitude. Son entrée en région Saharienne commence à Labiodh Sidi Cheikh ; il se poursuit dans la gouttière Saharienne jusqu'au confluent avec le Chergui (800 m) après 130 km de parcours. A partir de là, l'oued s'étale et s'ensable dans une région qui peut marquer un de ses anciens niveaux de base.

Un peu plus au Sud, il quitte la gouttière Sud Atlasique pour traverser la Hamada. Après 240 km de parcours, il débouche sur le Grand Erg Occidental. Son affluent principal, le Chergui, draine toute la partie occidentale du bassin. Il collecte aussi les petits bassins montagneux plus ou moins marécageux (région d'Asla).

1 – 4. Bassin de l'oued Seggueur (Fig. 6c)

Prend sa source dans la région d'El Bayadh à 1800 m d'altitude sous le nom de Ghassoul puis de Mouilah. Il gagne la région de Brezina où il prend son nom de Seggueur. En amont de cette dernière région, il s'étale dans la Daïet el Annz et el Maï. Ayant franchi la Hamada, l'oued débouche sur le Grand Erg Occidental à Guerinet el Kchala, 180 km plus loin. Le bassin théorique de l'oued Seggueur peut s'étendre sur 8900 km² ; sa superficie se réduit à 3900 km² si on le limite à la hauteur de Brezina.

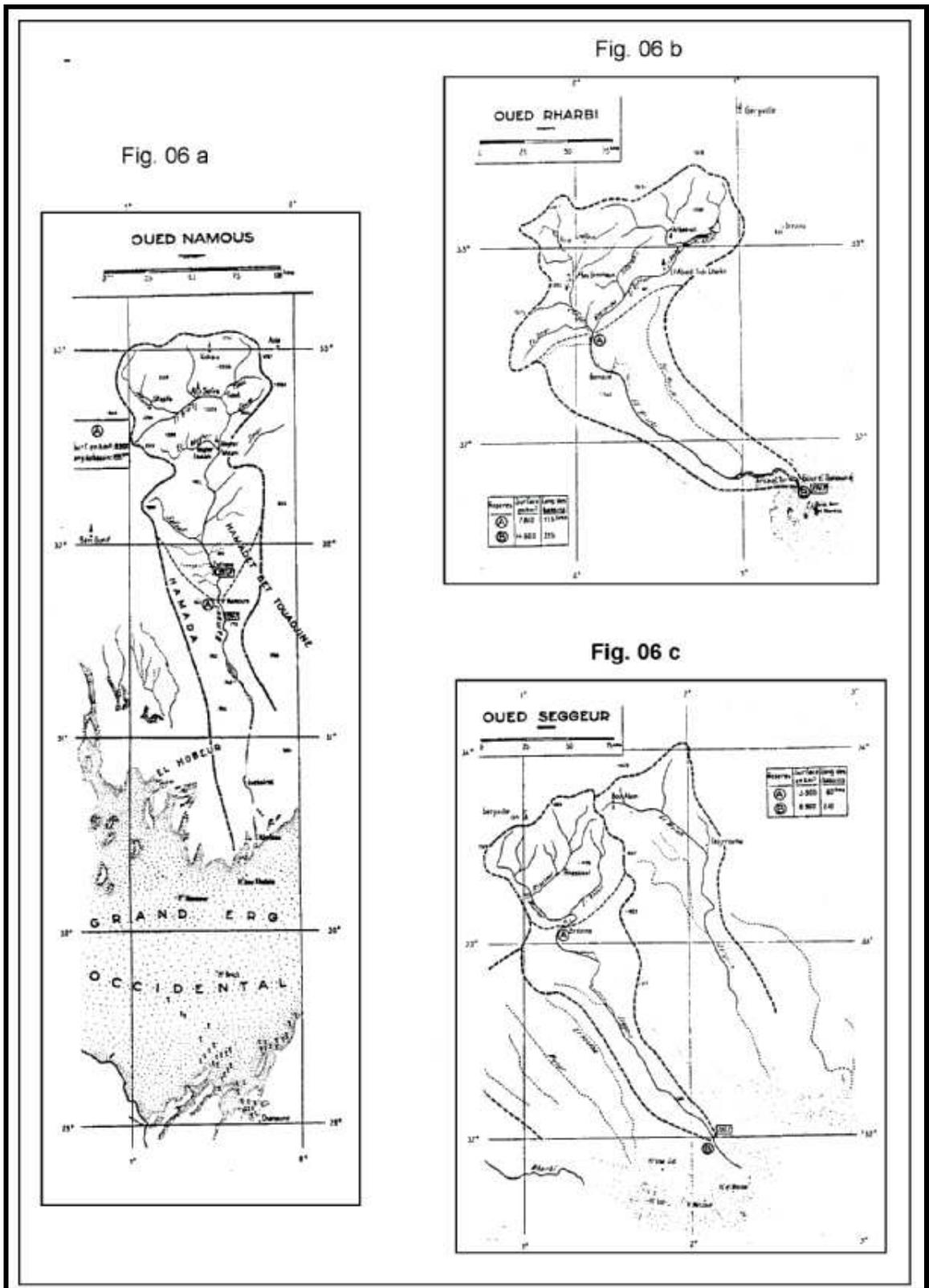


Fig. 06 – Bassins versants des Oueds Namous, Gharbi et Segueur

2 - Les grands ensembles géographiques et géomorphologiques

2 – 1. Situation des monts des Ksour dans leur contexte régional

L'Atlas Saharien forme une chaîne de montagne orientée SW-NE et dont les caractéristiques géographiques, géologiques et climatiques présentent dans la majorité des cas des traits semblables, de la région de Biskra à l'Est, à la région de Bechar à l'Ouest. Sa limite Sud correspond géographiquement à la disparition des reliefs montagneux. Elle est matérialisée par une barrière géologique désignée sous le nom de « flexure Sud Atlasique ». Sa limite Nord est assez nette dans la zone Ouest depuis Bouarfa (Maroc) jusqu'à Mecheria, matérialisée par « la faille Nord Atlasique ». Elle y est marquée par un léger déversement de l'Atlas Saharien sur les hautes plaines Oranaises. A l'Est, cette limite devient très confuse ; La partie Nord de l'Atlas s'ennoie sous les formations Miocène du Hodna.

L'Atlas Saharien peut être subdivisé en trois grandes parties ; soit de l'Ouest à l'Est : l'Atlas Saharien occidental ou monts des Ksour (Labiadh Sidi Cheikh, Naâma, Aïn Séfra, Béni Ounif) représentant le domaine de notre thèse, l'Atlas Saharien central ou Djebel Amour (El Bayadh, Aflou, Laghouat) et l'Atlas Saharien oriental ou monts des Ouled Naïl (Biskra, Bou Saâda). Les subdivisions Est – Ouest ainsi définies, peuvent être complétées par une zonation transversale Sud – Nord : zone pré saharienne (Béni Ounif), zone du sillon intracratonique (Aïn Séfra) et zone préatlasique (Mécheria).

2 – 2. Le Grand Erg Occidental (fig.07)

Entre les plateaux de Ghardaïa à l'Est et les oueds Zousfana et Saoura à l'Ouest et au Sud, le Grand Erg Occidental se particularise par ses dimensions. En effet, long de 500 km d'Ouest en Est, large de 120 à 200 km au Sud avec une superficie allant de 60.000 km² à 100.000 km².

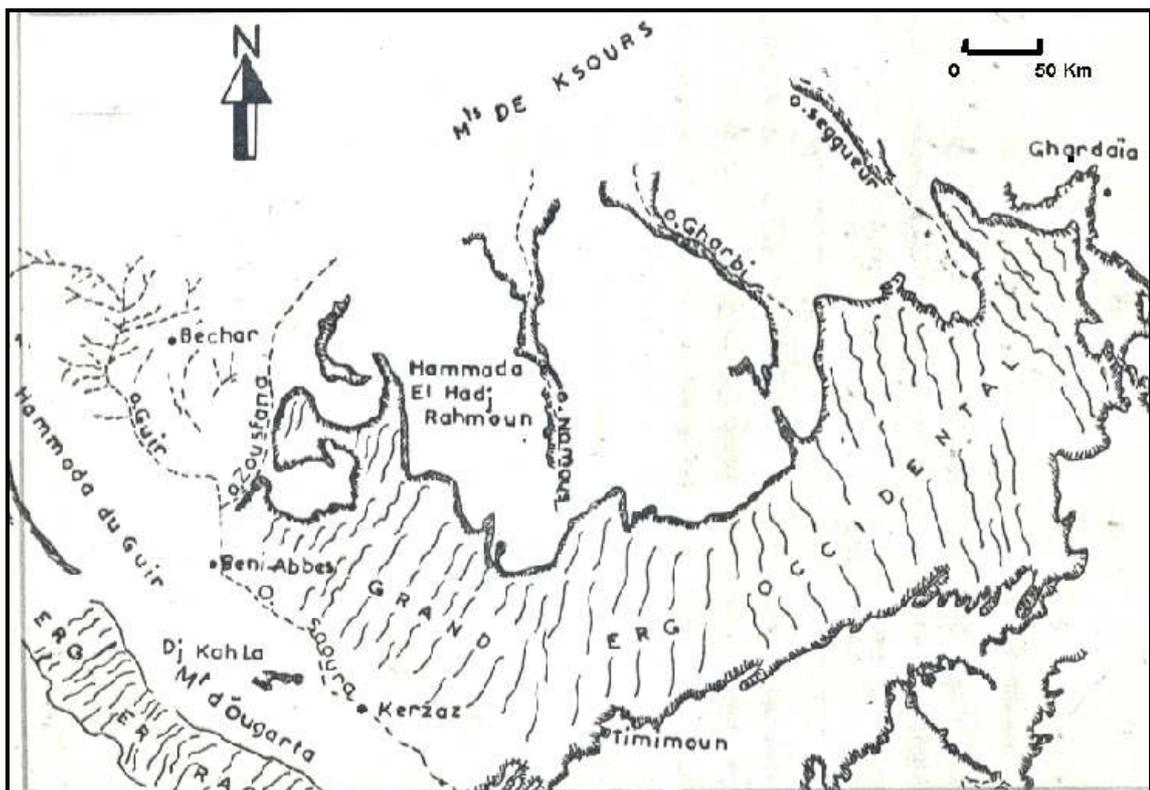


Fig. 07 – Le Grand Erg Occidental

L'énorme accumulation de sable que constitue l'Erg nous amène à nous interroger sur l'origine et le mécanisme de formation des dunes. Plusieurs hypothèses ont été avancées dans une étude réalisée par A. Glos-Arceud (1969) :

- Le Sahara est considéré comme le fond d'une mer récemment asséchée. Les sables de l'Erg correspondraient à un ensemble d'appareils littoraux.
- L'Erg résulterait de la désagrégation d'anciens grès sous un climat hyper aride ; les vents ont permis ensuite leur accumulation dans les dépressions où progressivement ils auraient constitué les systèmes dunaires.

- La dernière hypothèse conduit à lier les systèmes dunaires à l'ancien réseau hydrographique. Pendant des milliers d'années, les puissants fleuves de la bordure Atlasique ont érodé leur bassin entraînant d'importantes masses de sable et créant de vastes cônes de déjection. Le climat évoluant vers l'aridité, les cours d'eau se sont asséchés et les vents ont pu entraîner les sables déposés dans les paléo talweg pour édifier les dunes vives constituant l'Erg.

Pour notre part, nous pensons que l'Erg résulte de la conjugaison des diverses hypothèses et que ce serait le résultat d'une évolution polyphasée. A la fin du Crétacé et au début du Tertiaire, les sables ont pu se constituer en systèmes dunaires littoraux qui ont été désagrégés sous climat hyper aride. Plus au Nord, les grés Atlasiques connaîtront le même sort. Il semble que le rôle essentiel ait été joué par les oueds, qui durant les pluviaux du Quaternaire, vont trouver un matériel pour alimenter leur débit solide. Lors des phases arides, les vents reprendront les sables ainsi dispersés pour former les systèmes dunaires constituant le grand Erg.

2 – 3. Les massifs Nord Atlasique des monts des Ksour (planche 01)

2 – 3 – 1. Djebel Grouz

Le dispositif géomorphologique le plus important des monts des Ksour est celui du Djebel Grouz qui se développe d'Ouest en Est sur près de 100 km, du Djebel Ben Aris (1922 m) au Djebel Ouazzani (1834 m).

De ce puissant ensemble, se détachent vers l'Est de petits chaînons bien individualisés tels que Djebels Mélias (1212 m), Zenaga (958 m), Tarhla (1101 m) et Djermane tahtani (1134 m), qui se raccordent plus à l'Est avec la masse principale des monts des Ksour. Lorsque nous

pénétrons plus à l'Est dans les monts des Ksour, plusieurs types morphologiques nettement différents peuvent être séparés.

2 - 3 - 2. Chaînes essentiellement calcaires et marnes, parfois dolomitiques

- Région d'El Azreq (1401 m) en position structurale complexe.
- Djebel Gharnoug (région de sfissifa).
- Djebel Souiga (1778 m) long de 16 km, relayé vers le NE par Djebel Ez Zrigat (1395 m) puis par djebel El Melah (1817 m) long de 17 km.
- Djebel Kerdacha au Sud limitant l'Atlas de la plate forme Saharienne.
- Enfin au cœur de l'Atlas, les formations calcaires et dolomitiques, formant le Djebel Chemarikh.

2- 3 - 3. Dépressions bien marquées

Ces dépressions correspondent le plus souvent à des marnes, calcaires marneux ou à des argiles. On citera :

- Dépression de la vallée de l'oued Hallouf, ceinturant à l'Est la terminaison du Djebel Grouz.
- Ceinture du Djebel Chemarikh.
- Dépression entourant le djebel Souiga puis le djebel Melah avec un remplissage récent accentué.

2 - 3 - 4. Ossature des monts des Ksour

Constituée par un puissant ensemble de massifs plus ou moins tabulaires dans lesquels s'empilent les unes sur les autres les séries du

Jurassique supérieur continental. Entre les méridiens de Figuig (Maroc) et de Tiout (Aïn Séfra) se développent :

- Djebel Amour (2160 m), Djebel Seffah (1850 m), Djebel Abiène (1762 m).
- Djebel Azi (2187 m), prolongé au SW par le Djebel Ktef (1776 m).
- Mir el Djebel (2062 m), relié au m'zi par le col de Founassa.
- Djebel Mekhter (2062 m) qui s'abaisse vers l'Est lentement en se coffrant jusqu'à la route d'Aïn Sefra – Béchar.
- Au Nord Est de Aïn Séfra, le Djebel Morhad (2136 m au Ras Touil), au Sud Ouest le djebel Bou-Amoud (1692 m).
- Entre Sfissifa et Fortassa, une importante pénéplaine à dominante gréseuse, s'ennoie sous les hauts plateaux au Nord Est.

2 – 3 – 5. Masse gréseuse du Ccontinental Intercalaire

- Djebel Aïssa (2236 m) avec plusieurs sommets de 2000 m.
- Djebel Afzouz (1787 m) entièrement entouré de dépressions correspondant à des cuvettes gréseuses, d'âge Crétacé.
- Djebel Bou Lerhfad (1700 m), constitue autour Aïn Ouarka et du Djebel Chemarikh un anneau montagneux de forme elliptique, long de 50 km et large de 11 km vers l'intérieur.
- Le djebel Djara (1568 m), adossé à la terminaison orientale du Djebel Mekhter, peut être intégré dans l'ensemble comprenant du SW au NE le Guetob El Morhar (1396 m) qui relie Bou-Amoud et Mekhter.

2 - 3 - 6. Chaînons de types particuliers

Ils se développent à la limite de l'Atlas Saharien et du Sahara. On peut citer le Djebel Taouzmet (1148 m) et le Djebel Messitir (117 m). Au Sud Est, trois structures anticlinales jalonnent les relais Atlasiques :

- Chebket Brezina, Djebel Tismert (1191 m) long de 45 km.
- Plus au Nord Est, on retrouve le Djebel El Keroulit et le Djebel Airech.
- Chaînons de Brezina à structure dissymétrique longue de 34 km.

2 - 3 - 7. Parties déprimées et cuvettes

- Cuvettes essentiellement gréseuses : Aourak – Oulakak.
- Dépression de Béni Ounif
- Dépression de Mekhizène au NE de Sfissifa.
- Cuvette de Aïn Séfra – Tiout – El Handjir.
- Cuvette de Tiourtelt.
- Double dépression de Djenien Bou Rezk.
- Cuvette d'Asla
- Cuvette d'El Kheloua-Arbaouet
- Dépression de Labiodh Sidi Cheikh

Le long du glacis pré Saharien, l'abaissement est beaucoup plus rapide. On descend vite à 900 m. Parmi les points les plus bas, on peut citer oued Namous (790 m) à la sortie Sud du Djebel Taouzamet et oued Kheroua (903 m) à Labiodh Sidi Cheikh.

3 - Aperçu Morphométrique

Les différents paramètres morphométriques d'un bassin (forme, altitude, pente et relief) interviennent et souvent de façon combinée dans les modalités de l'écoulement. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée ; mais l'emploi des méthodes de mesures correspondantes doit être mené avec prudence en raison de l'interface des facteurs physiques et de l'influence prononcée de certains paramètres.

Nous allons prendre en considération 03 structures synclinales géographiquement et morphologiquement différentes, représentées par les bassins de Béni Ounif dans la zone pré Saharienne (partie méridio-occidentale des monts des Ksour), de Aïn Séfra dans la zone du sillon intra-cratonique (partie centrale des monts des ksours) et de Labiodh Sidi Cheikh dans la partie méridio-orientale des monts des Ksour.

3 - 1. Le synclinal de Béni Ounif

Nous avons considéré 02 sous bassins qui constituent la partie amont du bassin de l'oued Zousfana. Les limites ont été déterminées par assemblage des cartes de Beni Ounif et celle de Benzireg (fig.08).

3 - 1 - 1. Sous bassin de l'oued Safsaf

Le bassin versant de l'oued Safsaf occupe une superficie de 314 km² avec un périmètre de 122 km.

- Le réseau hydrographique

- Coefficient d'allongement = 3.07 (caractère plat du bassin).
- Densité de drainage = 1.76 km/km².
- Fréquence des cours d'eau = 1.2.
- Rc = 5.2 (valeur importante traduisant l'allongement du bassin).

- $Rl = 2.0$; $Ra = 1.9$.

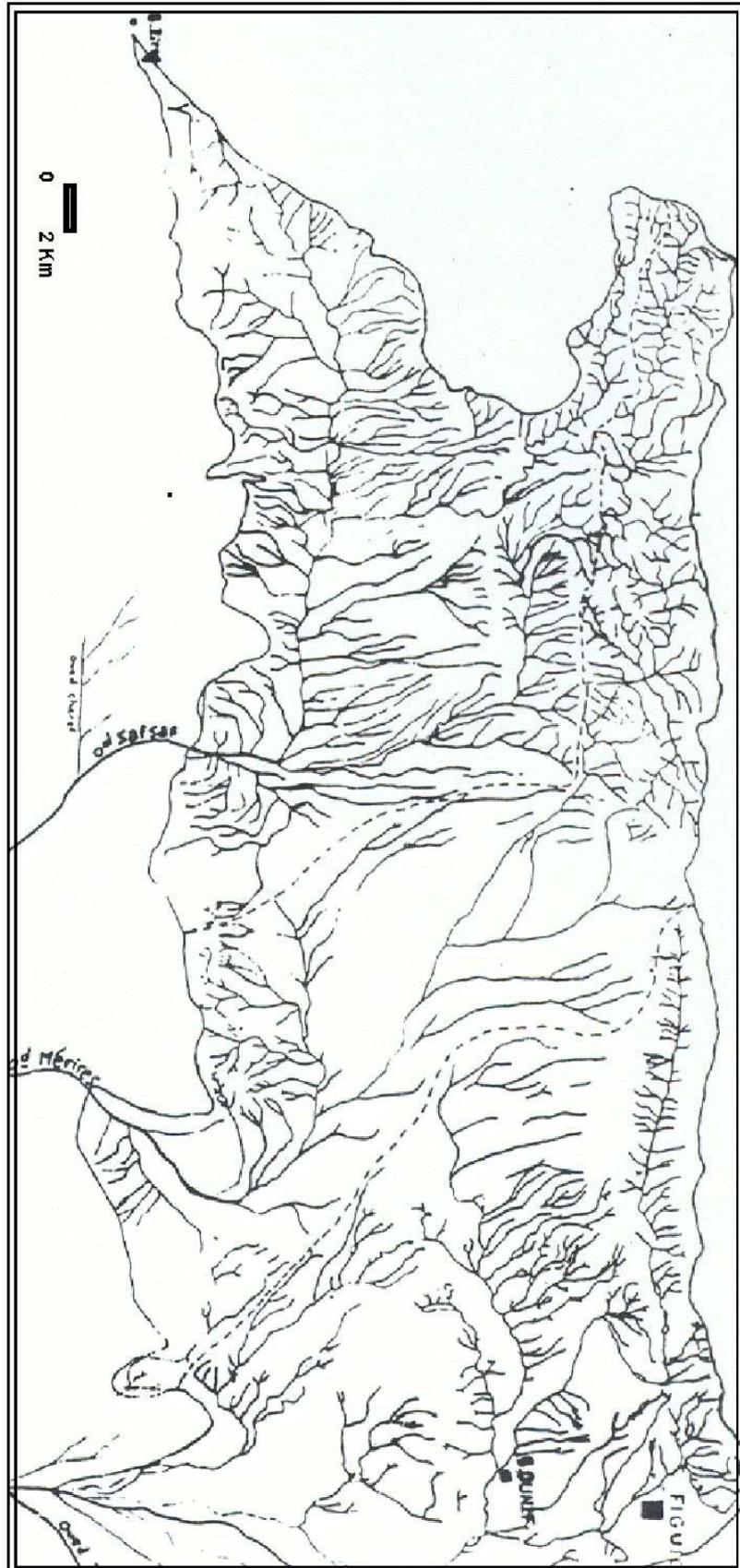


Fig. 08 – Synclinal de Béni Ounif

- Caractéristiques de forme.

- Coefficient de Graveluis $K_c = 1.9$ (bassin allongé).
- Rectangle équivalent $L = 54.3$ km ; $l = 5.8$ km

- Le relief

- Courbe hypsométrique (fig. 09a) : l'analyse de la courbe hypsométrique nous permet de distinguer deux zones. La présence de pentes très fortes à l'origine montre une évolution des altitudes pour un faible changement de surface ; ceci dénote la présence de falaises. Cependant plus de 70% de la surface totale du bassin est occupée par une plaine à très faible pente. La limite entre les deux domaines correspond à la zone de la flexure Sud Atlasique. La courbe obtenue serait caractéristique d'un système pénéplané, correspondant à une phase de vieillesse (état de Monadnock).

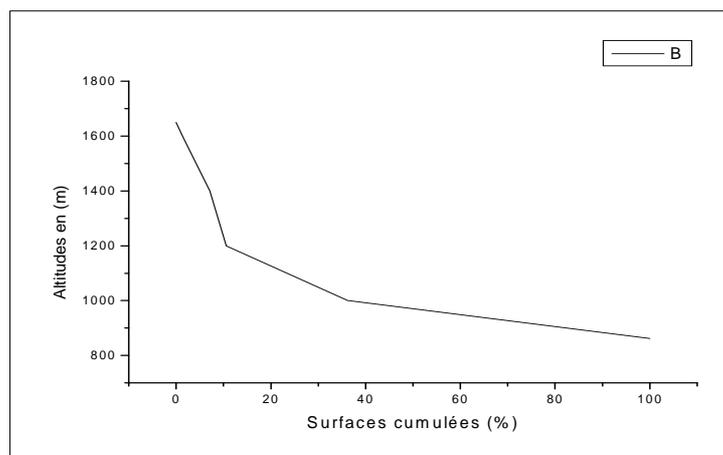


Fig. 9a – Courbe hypsométrique du sous bassin de l'Oued Safsaf

- Profil en long (fig. 9b) : Le point culminant (1650m) est suivi au Sud par une pente assez raide qui s'adoucit entre 1600m et 1400m. La côte s'affaiblit finalement pour atteindre une altitude 1000m ; soit une pente de 5%. Notons enfin l'existence d'une véritable falaise (Djebel Rekina) entre les altitudes.

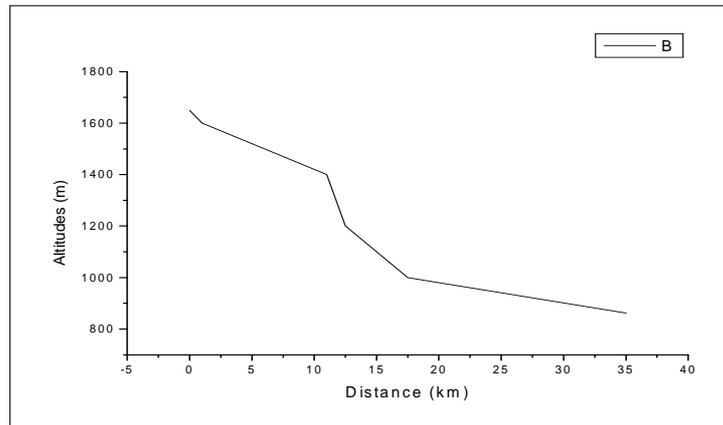


Fig. 9b – Profil en long du sous bassin de l'Oued Safsaf

3 – 1 – 2. Sous bassin de l'oued Merires.

Le bassin versant de l'oued Merires occupe une surface de 310 km² et un périmètre de 124 km.

- Le réseau hydrographique.

- Coefficient d'allongement = 3.6 (relief plat).
- Densité de drainage = 1.02 km/km².
- Fréquence des cours d'eau = 1.10.
- RC = 3.8 (moyennement allongé).
- RI = 2.99 ; Ra = 3.6.

- Caractéristique de forme.

- Coefficient de Graveluis Kc = 1.97 (bassin allongé).
- Rectangle équivalent L = 56.5 km ; l = 5.5 km.

- Relief.
- Courbe hypsométrique : L'analyse de la courbe permet de distinguer un relief, marqué par une falaise abrupte au sommet (1600m) pour s'adoucir ensuite jusqu'à l'altitude 1400m. Une rupture de pente est visualisée à ce point pour prendre fin à 1000m. L'allure générale de la courbe montre que le talweg est en phase de vieillesse.
- Profil en long (fig. 10) : Le profil en long de l'oued Merires traduit fidèlement l'allure topographique du bassin versant ; une falaise à l'amont correspond aux reliefs d'érosion, situés au sommet du Djebel Grouz. Le relief accentué rompt à nouveau la pente qui correspond aux falaises abruptes du flanc Sud du Djebel Grouz (zone de la flexure Sud Atlasique).

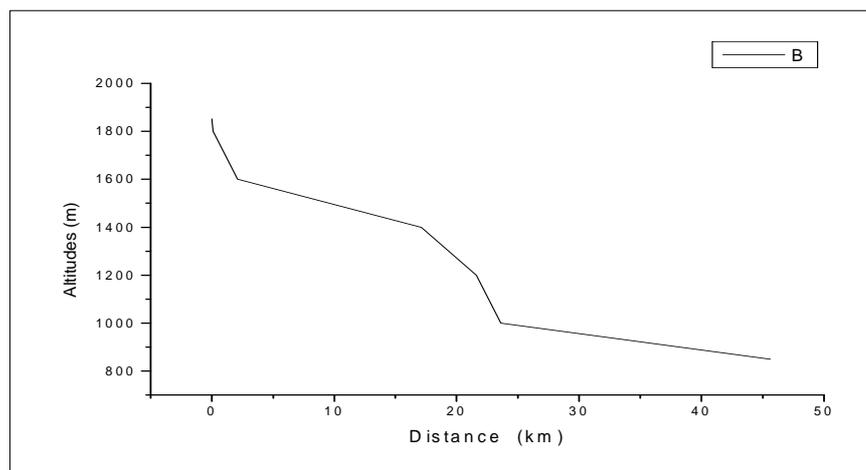


Fig. 10 – Profil en long du sous bassin de l'Oued Mérides

3 – 2. Le synclinal d'Aïn Séfra.

Le bassin versant de l'oued Breidj est pris en exemple pour illustrer le type géomorphologique et l'hydrographie du synclinal de Aïn Séfra (fig. 11). Il occupe une superficie totale de 1358 km² et un périmètre de 218 km.

- Caractéristiques de forme.
- Coefficient de graveluis $K_c = 1.65$ (bassin allongé à érosion linéaire active).

- Rectangle équivalent : $L = 94 \text{ km}$; $l = 14.5 \text{ km}$.

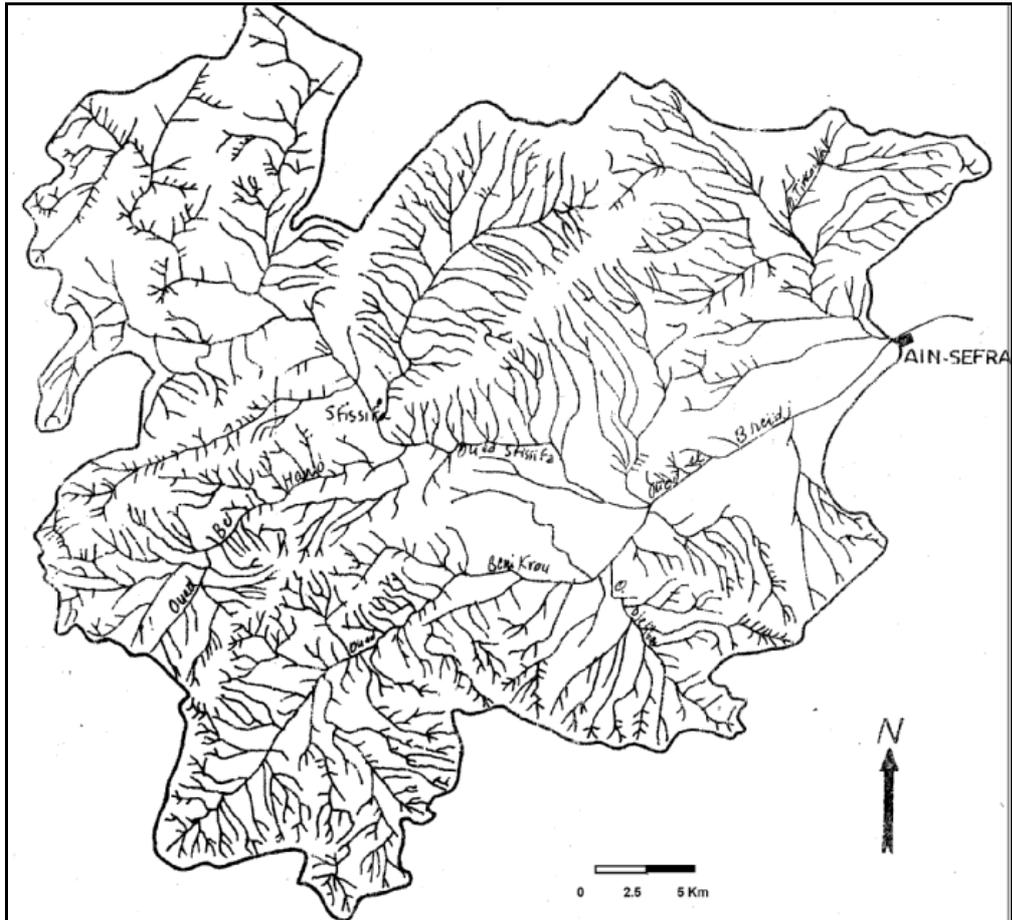


Fig. 11 - Bassin versant de l'oued Breidj

- Relief (fig. 12)

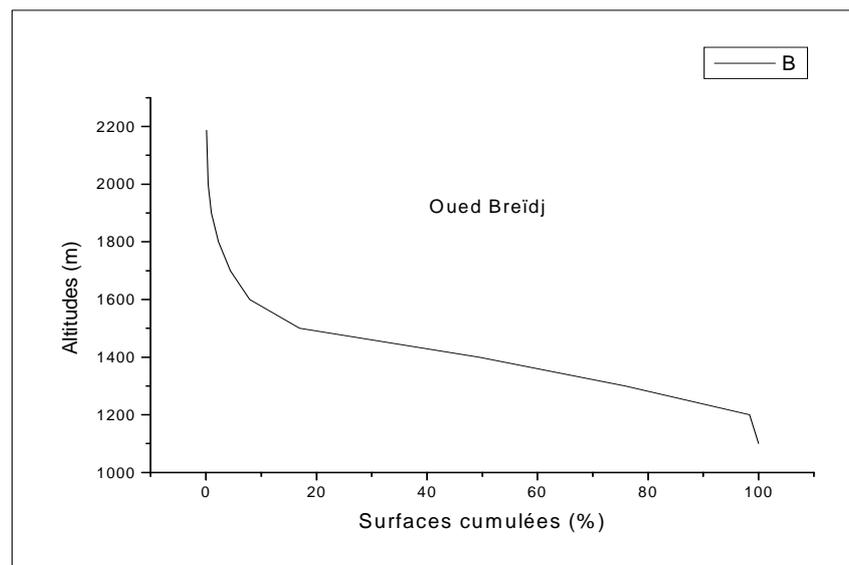


Fig. 12 – Courbe hypsométrique

Plus de 98% de la surface du bassin est comprise entre l'altitude 1100m et 2000m ; l'altitude la plus fréquente se situe dans la tranche 1300m-1400m, représentant ainsi plus de 35% de la surface totale. D'une manière générale, on peut remarquer :

- Une pente forte vers les hautes altitudes (1150-1500m), d'où présence d'un plateau intermédiaire dont la surface est occupée par 79% (région de Sfissifa, Ben ikrou et Garet Debaâ).
- Une pente faible aux altitudes (1500-2187m), expliquant la présence de reliefs accentués et dont la surface est occupée par 8% de la superficie totale du bassin (Djebel Hairech, Djebel Bou Amoud,, Mir El Djebel et Djebel Mekhter).
- Les indices de pentes calculés (indice de pente de Roche $I_p = 0.08$ et indice de pente global $I_g = 4.75$) montrent qu'on est en présence d'un relief relativement plat, homogène, favorisant l'infiltration.

3 – 3. Le synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh

L'étude a été effectuée pour 02 sous bassins versants d'El Abiodh Sidi Cheikh qui constituent les derniers obstacles topographiques méridio –oriental de l'Atlas Saharien occidental (fig.13).

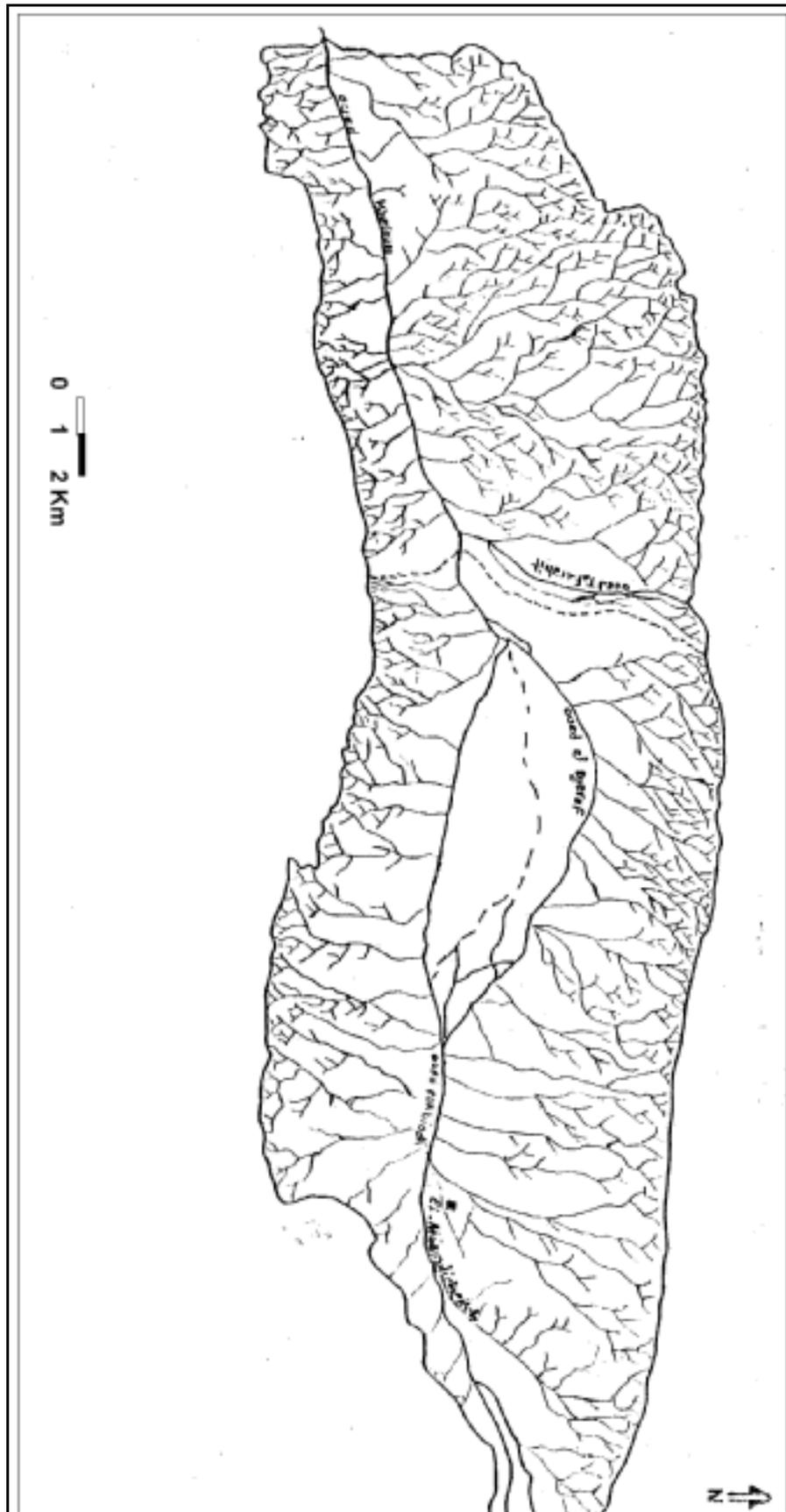


Fig. 13 – Bassin versant du synclinal d’El Abiodh Sidi Cheikh

3 – 3 – 1. Sous bassin oued Djeraf

Le bassin versant de l'oued Djeraf occupe une superficie de 559 km² avec un périmètre de 110 km.

- Caractéristiques de forme.

- Coefficient de Gravelius $K_c = 1.30$ (allongement du bassin).
- Rectangle équivalent : $L = 41.35$ km ; $l = 13.50$ km. (érosion linéaire).

- Le relief .On distinguera 03 zones (Fig.14a) :

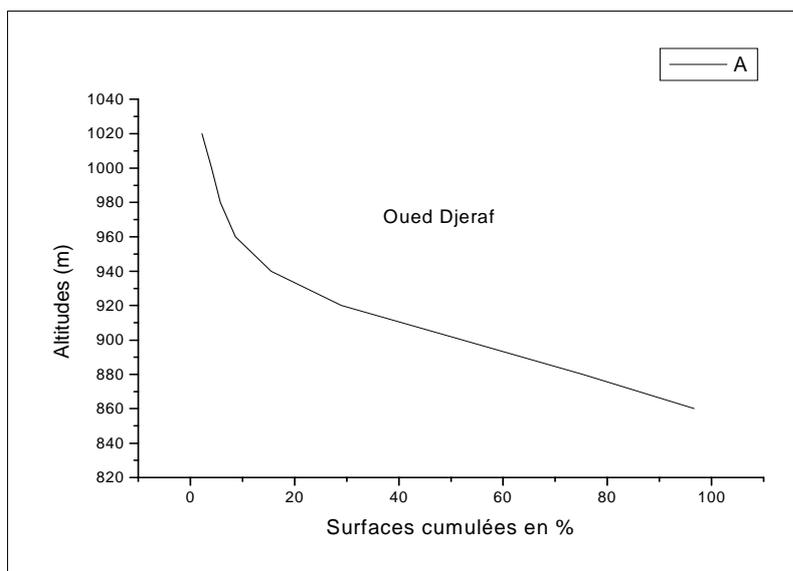


Fig. 14a – Courbe hypsométrique

- A l'origine la courbe montre une pente très forte dont la surface représente 10% de la superficie totale du bassin.
- Ensuite on remarque que 80% de la surface s'abaisse en dessous de 940m. Cependant, la courbe présente une pente plus ou moins forte jusqu'à la côte 900m, indiquant un plateau.

- Vers les basses altitudes (850m), la courbe indique une vallée encaissée. Pour A.N Trahler, la courbe hypsométrique indique que le bassin est évolué vers le stade d'équilibre.

- Indice de pente.

- Indice de pente de Roche $I_p = 0.18$.
- Indice de pente global $I_g = 0.004$ (pente très faible).

- Profil en long (fig. 14b)

De l'amont jusqu'à l'altitude 1000m, l'oued circule dans les calcaires Turonien avec une pente assez faible. Entre 1000m et 940m, la pente s'accroît liée à la présence des surfaces d'érosion des calcaires Turonien. Entre 940m et 880m, l'oued Djeraf circule dans les alluvions anciennes ; à partir de 860m, l'oued recoupe la carapace calcaire. Plus en aval, il traverse les alluvions récentes.

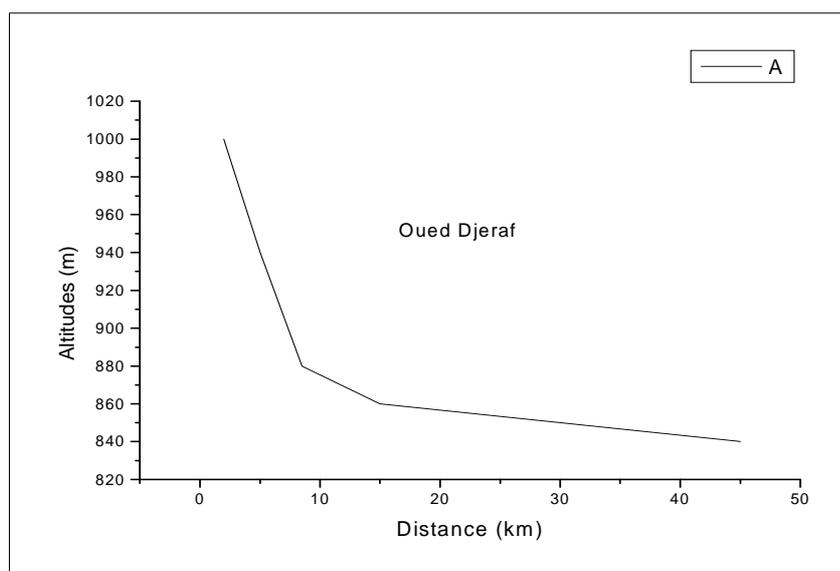


Fig. 14b – Profil en long

3 – 3 – 2. Sous bassin oued Tafarahit

Le sous bassin versant de l'oued Tafarahit occupe une superficie de 334 km² et un périmètre de 81 km².

- Caractéristiques de forme :

- Coefficient de Gravelius $Kc = 1.24$ (bassin allongé).
- Rectangle équivalent : $L = 29$ km, $l = 11.5$ km.

- Le relief (fig. 15a)

L'analyse de la courbe montre un relief qui débute par une falaise à l'altitude 940m pour s'adoucir ensuite jusqu'à l'altitude 880m. L'allure de cette courbe montre que le bassin évolue également vers le stade d'équilibre.

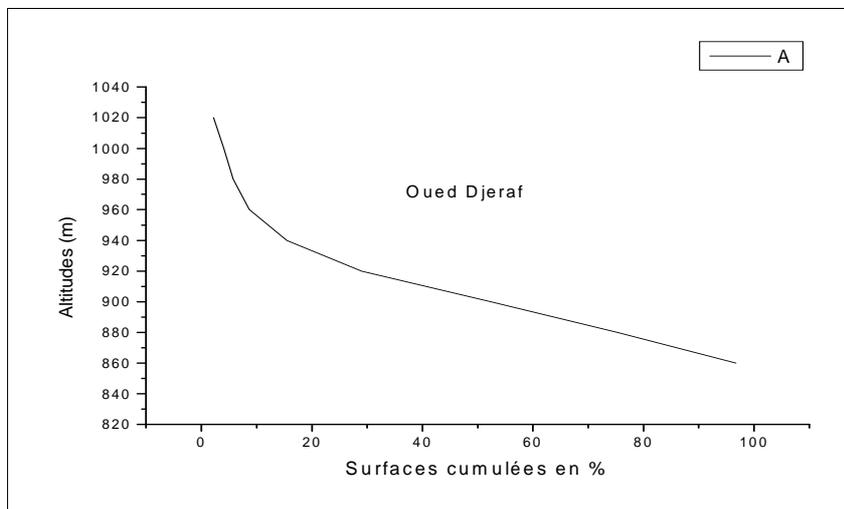


Fig. 15a – Courbe hypsométrique du Sous bassin de Tafarahit

- Indice de pente.

- Indice de pente de roche $I_p = 0.30$.
- Indice de pente global $I_g = 0.007$ (pente très faible).

- Profil en long : (fig.15b)

La falaise correspond aux reliefs d'érosion ; à partir de la côte 980m, la pente s'affaiblit ; l'oued circule dans les grès et les argiles jusqu'à la côte 900m. Vers l'aval, l'oued circule dans les alluvions récentes.

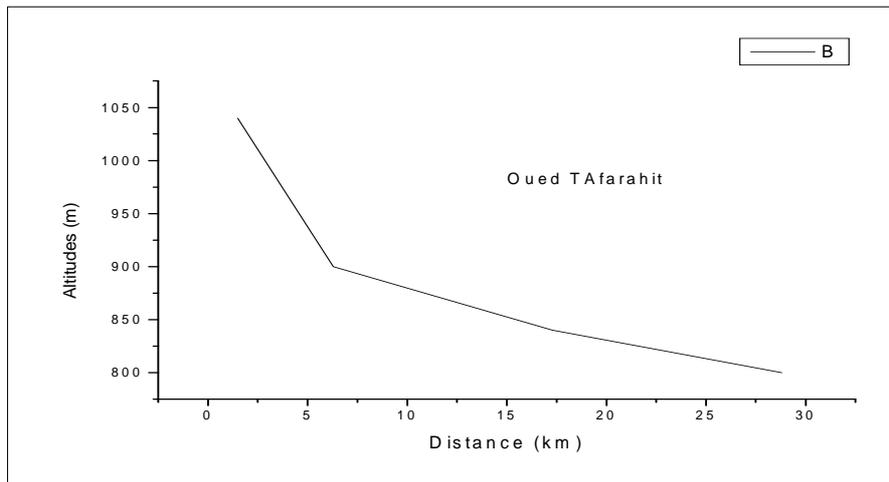


Fig. 15b – Profil en long du sous bassin de Tafarahit

4 - Conclusion

L'aperçu morphométrique montre en général des variations brusques de pentes faibles et fortes qui dénotent la mise en évidence d'une néotectonique.

En période de crues, les bassins subissent en aval un laminage à tel point que l'écoulement se déverse dans de grandes dépressions latérales, écrétant les grands débits de pointe.

Généralement, les cours d'eau ne sont pas pérennes et ne coulent, de manière significative, qu'en périodes pluvieuses. L'écoulement, en été, est insignifiant en raison de la forte évaporation.

Compte tenu du caractère notable de confluence, le bassin du type Atlasien peut être assimilé au réseau organisé dont la hiérarchisation du chevelu hydrologique présente une série géométrique à coefficient pratiquement constant. Mais en matière de forme, le bassin traduit un allongement assez développé ($K_c = 1,35$), où seules les conditions structurales induisent une forte érosion linéaire au niveau des marnes et grés encadrées par les affleurements calcaires.

Les Oueds présentent une pente régulière moins active longeant les plaines. Cet aspect orographique permettrait, en effet, d'emmagasiner un volume d'eau considérable sous les dépôts alluvionnaires sur de vastes étendues des monts des Ksour et des piémonts de la plate forme Saharienne.

CHAPITRE DEUXIEME

GEOLOGIE

I - INTRODUCTION

II - CADRE GEOLOGIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIE DES MONTS DES Ksour

1 - Permo-Trias

2 - Infralias

3 - Lias

3 - 1. Série calcaire et calcaire-marneuse

3 - 2. Série des calcaires dolomitiques

3 - 3. Série de transition

4 - Dogger

4 - 1. Faciès des parties centrales des Monts des Ksour

4 - 2. Faciès des parties latérales des Monts des Ksour

5 - Jurassique supérieur - Crétacé inférieur

5 - 1. Introduction

5 - 2. Unités lithostratigraphiques

6 - Crétacé supérieur - Cénomano-Turonien

6 - 1. Formation de M'daouer

6 - 2. Formation de Khoundjaïa

7 - Formations continentales Post-Turoniennes

7 - 1. Carapace calcaire

7 - 2. Terrains des Hamadas ou couches rouges

7 - 3. Poudingues des Ksour

7 - 4. Terrains des Gours

7 - 5. Formation d'El Kohol

8 - Quaternaire

8 - 1. Limons anciens

8 - 2. Colluvions et piémonts

8 - 3. Alluvions anciennes

8 - 4. Alluvions récentes

8 - 5. Formations éoliennes

III – LES SYNCLINAUX DES MONTS DES KSOUR

- 1 – Synclinal de Aïn Séfra
 - 1 – 1. Gouttière synclinales
 - 1 – 2. Lithologie du synclinal
- 2 – Synclinal de Asla
 - 2 – 1. Lithologie du synclinal
 - 2 – 2. Déformations du synclinal
- 3 – Synclinal de Naâma
 - 3 – 1. Cadre géologique
 - 3 – 2. Lithologie du synclinal
 - 3 – 3. Déformations du synclinal
- 4 – Synclinal de Béni Ounif
 - 4 – 1. Série stratigraphique
 - 4 – 2. Analyse structurale
- 5 – Gouttières synclinales de Djenien Bourezk
 - 5 – 1. Remontée du Trias
 - 5 – 2. Série stratigraphique
 - 5 – 3. Série renversée de l'Oued Dermel
- 6 – Synclinal El Kheloua-Arbaouet
 - 6 – 1. Unités lithostratigraphiques
 - 6 – 2. Structure du synclinal
- 7 – Synclinal de Labial Sidi Cheikh
 - 7 – 1. Lithostratigraphie
 - 7 – 2. Structure du synclinal

VI – TECTONIQUE

- 1 – Alignements morpho-tectoniques
- 2 – Etude quantitative de la fracturation
 - 2 – 1. Densité de la fracturation
 - 2 – 2. Longueurs et discontinuités des accidents tectoniques
- 3 – Accident Sud Atlasique
 - 3 – 1. Evolution morpho-tectonique
 - 3 – 2. Inversion tectonique

CHAPITRE PREMIER

I - INTRODUCTION

L'Atlas Saharien occidental, faisant partie d'une chaîne montagneuse plissée a subi au cours des périodes géologiques une tectonique intense, matérialisée par des plis anticlinaux, généralement coiffés, pincés, faillés, souvent déversés et parallèles à la direction générale Nord Est – Sud Ouest de cette chaîne. Ces anticlinaux d'âge Jurassique sont séparés par des zones déprimées, parfois perchées, formant de vastes plaines, comblées par des formations continentales gréso-argileuse d'âge Crétacé inférieur.

Caractérisées par une double perméabilité (fissures et interstices), ces formations continentales, attribuées au Barrémo-Albo-Aptien, communément désignées sous le vocable *Continental Intercalaire* sont le siège des grands écoulements d'eaux souterraines de cette partie de l'Atlas Saharien. Dans un premier temps, nous présenterons dans une analyse lithostratigraphique et structurale les grands traits de la géologie des Monts des Ksour pour ensuite mieux appréhender le cadre géologique détaillé des structures synclinales (zones déprimées) comprises entre Béni Ounif (limite méridio - occidentale des monts des Ksour) et Labiodh Sidi Cheikh (limite méridio - orientale des monts des Ksour).

La limite structurale et hydrogéologique, représentée par la flexure Sud Atlasique nous amène à considérer dans un dernier stade l'étude des formations continentales post Turoniennes, qui constituent le système aquifère appelé *Complexe Terminal* des piémonts de l'Atlas et de la plate forme Saharienne.

II - CADRE GEOLOGIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIE DES MONTS DES KSOUR

La flexure Sud Atlasique, formée par une succession de failles en relais, longe le flanc Sud des anticlinaux où le rejet peut dépasser 2000 mètres. Pendant le secondaire, des mouvements lents ont entraînés des alternances de transgressions et régressions alors que la phase majeure de plissement d'âge Eocène a entraîné l'émersion définitive de tout l'atlas

Saharien. Le style plus cassant dans les monts des Ksour est dû à un matériel plus résistant et en particulier les grandes épaisseurs des grès Jurassico-Crétacé.

Les monts des Ksour se distinguent du reste de l'Atlas Saharien par les termes de la série stratigraphique qui y sont plus anciens et de caractère plus continental et lagunaire. La stratigraphie est de plus en plus récente et marine de l'Ouest vers l'Est. Elle comprend de bas en haut :

1 – Permo-Trias

Discordant sur les terrains Primaires, il est représenté essentiellement par des arkoses, des conglomérats ou des marnes à gypses. L'observation de la carte géologique au 1/500.000^e (1952) révèle que l'Atlas Saharien est composé essentiellement de dépôts Secondaires qui vont du Trias au Crétacé. Les dépôts Triasiques affleurent surtout au cœur des anticlinaux, représentés par des argiles versicolores avec présence de sel gemme et d'autres produits d'épanchement (roches vertes).

Pour G. Busson (1970), les couches gypso-salines correspondraient à la partie basale du Lias. Les principaux affleurements s'observent en extrusion, généralement le long des failles, favorisant ainsi sa remontée. Parmi les plus connus, on citera les affleurements d'El Hendjir, de Djenien Bourezk, de Tiourtelt et du Djebel Melah.

2 – Infralias

Ce terme utilisé par GBM. Flamand (1911), désigne une formation de calcaire dolomitique ou de dolomie franche. Epaisse de 200m au Djebel Chemarikh et Aïn Ouarka, cette formation comporte à sa partie supérieure (M. Douihasni ,1976) :

- Dolomie ocre à cassure blanchâtre crypto-cristalline et vacuolaire.
- Niveau de dolomie gris foncé, micro cristalline massive, d'aspect brêchique.
- Calcaire dolomitique formant le sommet de la formation de Chemarikh.

J-P. Bassoulet (1973) rapporte cette formation à l'Infralias par comparaison avec les faciès semblables de la coupe du pont de Tiout où il a trouvé des empreintes de Dinosaures Tridactyles du genre *Garallator*.

3 – Lias

La série sédimentaire du Lias présente selon J.P. Bassoulet (1973) et M. Douihasni (1976), en raison des caractères lithologiques 03 faciès fondamentaux :

3 – 1. Série calcaire et calcaire-marneuse

D'une épaisseur de 300m, les calcaires en bancs décimétriques occupent la majeure partie. Cette série a été décrite au Djebel Chemarikh (M. Douihasni, 1986 et L. Mekahli, 1995) et djebel Kerdacha (D. Galmier, 1970 et A. Salhi, 2002).

3 – 2. Série des calcaires dolomitiques

- Faciès essentiellement dolomitique de type épicontinental attribué au Lias inférieur.
- Alternances de calcaires et de dolomies attribués au Lias moyen.
- Formation d'argiles rouges et de dolomies oolithiques attribuée au Lias supérieur.

3 – 3. Série de transition

Cette série a été désignée sous le nom de faciès de transition. Selon les travaux récents sur les monts des Ksour (L. Mekahli ; 1995, S. Elmi ; 1998, A. Salhi ; 2002), argumentés par la découverte de nouvelles faunes de brachiopodes et d'ammonites, une synthèse biostratigraphique illustrant les principaux résultats a permis de dégager une datation plus précise à l'échelle de l'Atlas Saharien Occidental.

4 – Dogger

Il se présente sous des faciès variés, de sillon et des faciès de plate forme (J-P. Bassoulet, 1973). Ils correspondent à la partie centrale des Monts des Ksour et aux parties latérales NW-SE (Djebel Souiga et Djebel Melah dans le secteur de Mékalis et Aïn Ouarka). Dans le secteur de Kerdacha, il a été défini par J-P. Bassoulet (1973) et subdivisé en 03

membres, en tenant compte à titre de corrélation des subdivisions faites par S. Elmi et Al (1998) sur la coupe de Figuig (fig. 16).

4 – 1. Faciès des parties centrales des Monts des Ksour

La sédimentation est représentée suivant une ligne matérialisée par les anticlinaux des Djebels Souiga et Melah. La coupe de ce faciès est schématisée suivant J. Bassoulet (1973) :

- Calcaire gris clair à inter lits marneux (60 mètres) attribué à l'Aaleno-Bajocien inférieur.
- Marnes et quelques bancs de calcaires argileux gris (35m) datés du Bajocien moyen.
- Alternance de marnes, de grés et de calcaire bioclastique, d'une épaisseur de 1200 mètres représentant la formation de Teniet El Klakh, datée du Bajocien supérieur.
- Alternance de grés, marnes et de calcaire d'une épaisseur de 700 mètres, représentant la formation de Tifrit, attribuée au Bathonien.
- Alternance de grés et de dolomie d'une épaisseur de 470 mètres, représentant la formation de Djara et attribuée au Callovo-Oxfordien.

4 – 2. Faciès des parties latérales des Monts des Ksour

Représentés au Djebel Kerdacha (Béni Ounif) et au Djebel Antar (Mecheria). Au Djebel Kerdacha, l'Aaleno-Bajocien par les faciès suivants (A. Salhi ; 2002) :

- Alternance de calcaire dolomitique, de grés à stratifications entrecroisés, attribués au Bajocien supérieur – Bathonien inférieur.
- Alternance de grés, d'argile et de petits bancs dolomitiques, attribués au Bathonien supérieur.
- Callovo – Oxfordien. Au Djebel Antar, le Dogger est constitué par une série essentiellement dolomitique.

5 – Jurassique supérieur-Crétacé inférieur

5 – 1. Introduction

L'imprécision des données géologiques de l'époque ancienne et une généralisation hâtive de quelques observations locales avaient amené certains auteurs à attribuer à l'Albien la totalité de la formation gréseuse, qui s'étend dans tout le Sahara Algérien. Cette impropriété de terme s'est d'autant plus vulgarisée que le terme de «nappe Albienne » fut soutenu par d'imminents géologues (Savornin, 1927, Flamand, 1911, Roland, 1890).

Il s'agit en réalité d'un Complexe Continental en grande partie gréseux, dont les limites stratigraphiques varient d'une région à l'autre et qui correspond à ce que Killian a défini en 1931 sous le nom de *Continental Intercalaire*.

Les données biostratigraphiques sont hélas très pauvres ; le *Continental Intercalaire* a fourni (Derret et Savornin, 1927 ; Boureau, 1948 ; De lapparent, 1952) :

- Un bivalve d'eau douce : *Desertella foureaui*.

- Une faune de vertébrés :

- Poisson : *Platyspondilus*, *Lamna appendiculata*, *Ceratodus Africanus*, *Onchopristus mimidus*, *Ceratodus humei*.
- Reptiles : *Aegyptosaurus*, *Baharijensis*, *Megulosaurus Sahariens*, *Stromatosuchus inermis*.

- Une flore : *Weichseliareticulata*.

Les vertébrés sont d'affinité Crétacé inférieur (Wealdien ou Néocomien) alors que *Weichselia reticulata* a été découverte aussi dans le Jurassique continental daté par intercalation marine (Boureau et De Lapparent, 1951).

Dans le Sud Oranais, le groupe Barrémo- Aptien-Albien repose selon Cornet (1952), sur l'Hauterivien marin contenant à sa base un banc gréseux continental. En se rapprochant du Sahara, cette intercalation s'amincit et le continental Hauterivien tend à rejoindre le complexe Barrémo-Albien.

Vers Aïn Séfra, cette jonction est totale, de plus le Valanginien marin bien développé à El Bayadh (500m) est réduit à 40m de Cargneule entre 02 séries gréseuses.

Cette intercalation carbonatée tend à disparaître vers le Sud et Sud Ouest et la série gréseuse s'étend sans interruption du sommet du Jurassique au Cénomaniens, voir descendre beaucoup plus bas dans le Jurassique, par disparition du Kimméridgien récifal bien visible à l'Est. Il faut noter, pourtant dans ce contexte, que la partie inférieure (Jurassique et base du Crétacé) garde un faciès nettement différent des grès typiquement continentaux du Crétacé (Hauterivien à Albien).

Ces grès disparaissent en biseau à l'Ouest et au Sud-Ouest de Béni Ounif. Vers l'Est, ils s'enfoncent sous le Crétacé moyen (Cénomano-Turonien) qui affleure à 10 km sur la rive gauche de la large vallée de la Zousfana et se prolonge sur la Hamada puis sous le grand erg occidental.

5 – 2. Les unités lithostratigraphiques

5 – 2 – 1. Jurassique supérieur : Portlandien

Appelé sous le vocable de formation d'Aïssa par Bassoulet (1973), cet ensemble est formé d'une alternance de grès massifs fissurés rosâtre à stratifications obliques et d'argiles pelitiques violettes, avec une abondance des argiles à la base de la formation. Ces grès ont une épaisseur de 30m à 40m. Cette formation a été localisée essentiellement à Djebel Aïssa et Djebel Mekhter (Aïn Séfra).

5 – 2 – 2. Passage Jurassico-Crétacé : Portlandien-Néocomien

Basseto et Coumes (1967) ont présenté une note principalement consacrée au passage Jurassique – Crétacé dans le Djebel Lazreg de Laghouat. Ces auteurs ont montré que dans la barre Hauterivienne (Cornet, 1949-1955) était en réalité la partie supérieure du Tithonique (Portlandien) et la base du Crétacé inférieur (Néocomien : Berriasien-Néocomien). Ainsi, c'est au sein de la formation de Tiloula que s'effectue le passage Jurassique supérieur – Crétacé inférieur. Cette formation a été subdivisée en 02 sous ensembles localisés généralement à Tiloula en aval du Djebel Aïssa et à l'Ouest de Aïn Tiourtelt (Fig. 17) :

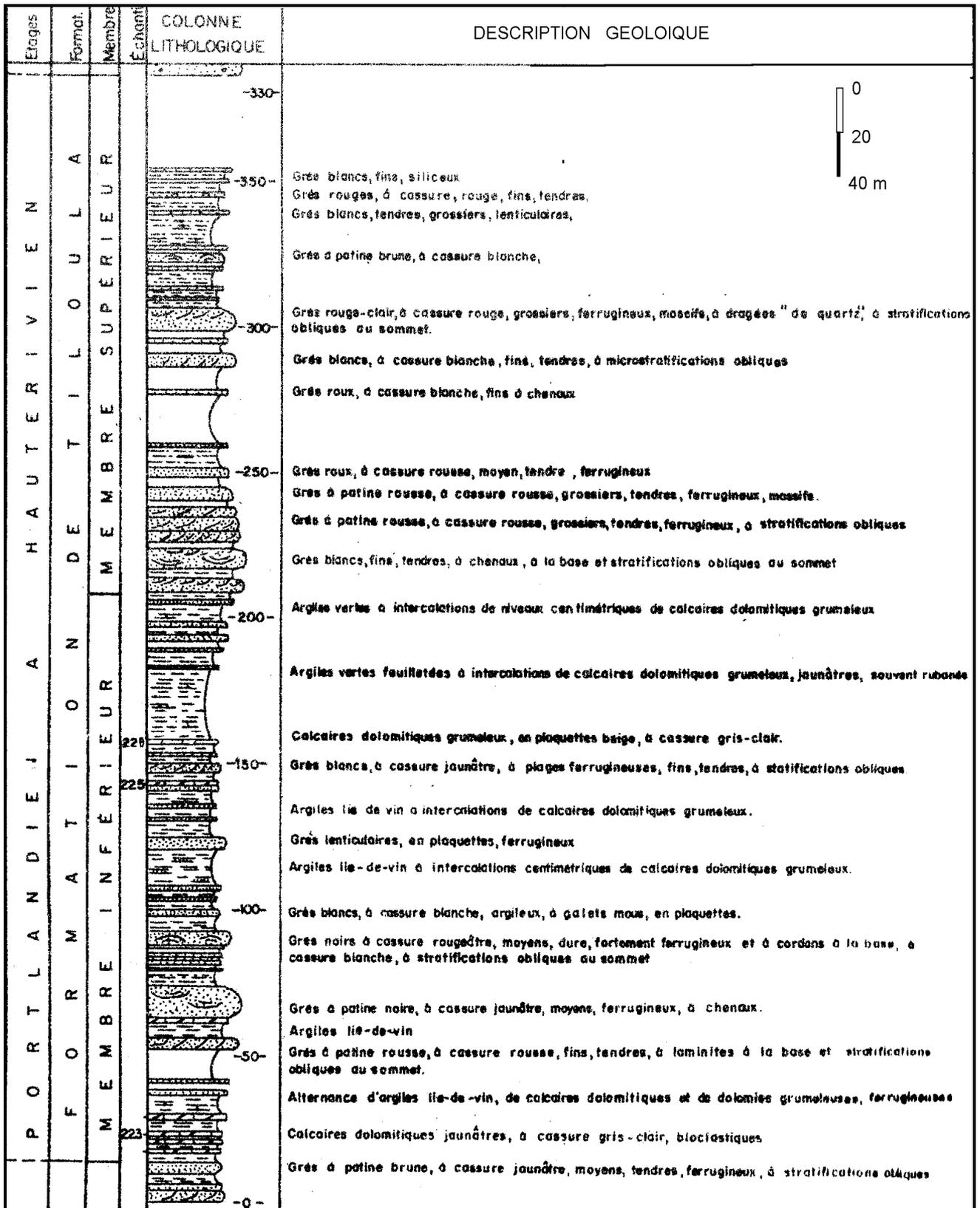


Fig. 17 – Coupe de la formation de Tiloula à Teniet El Rhenem (Douihasni, 1976)

- Ensemble inférieur : formé de marnes, d'argiles, calcaires dolomitiques dans lesquels s'intercalent des grès rouges à stratifications obliques (196 mètres).
- Ensemble supérieur : formé par une alternance d'argiles gréseuses rougeâtres avec des grès ferrugineux à chenaux, stratifications obliques et à dragées de quartz à débris végétaux (174 mètres).

5 – 2 – 3. Barrémo-Albo-Aptien ou formation de Tiout

Appelée également groupe des « grès à dragées » (Douihasni, 1976) ; cette formation qui constitue le principal aquifère des grands écoulements d'eaux souterraines, présente une épaisseur pouvant dépasser 1500 mètres. Un certain nombre de coupes ont été réalisées dans les monts des Ksour, recoupant le Barrémo-Albo-Aptien à différents endroits :

- Coupe d'oued Boudjihane (Fig.18a)

Sur la bordure méridionale des Monts des Ksour, au Sud du Djebel Tamedda, la vallée de l'oued Boudjihane est occupée par la formation de Tiout, très développée. Vers le Sud Est. La vallée est fermée par les hauteurs d'El Rhelida, constitués par les calcaires du Cénomano-Turonien (x=260.5, y=247.2 à x=261.5, y=245.2).

- Formation des grès à dragées inférieur : représentée le plus souvent par une barre dans le paysage, constituée par un banc de grès (25m), surmontée par une succession monotone de passées gréseuses (10m). L'épaisseur peut atteindre 100 mètres.
- Formation des grès à dragées supérieur : les dragées de quartz disparaissent ; certains niveaux gréseux sont peu consolidés, passant à des sables indurés, inter stratifiés avec des argiles pélitiques ou gréseuses. Dans cet ensemble, a été découvert le gisement des restes des vertébrés de l'oued Boudjihane. L'épaisseur est voisine de 500 mètres.

- Coupe de Teniet Oum el Ouda (NE de Asla : (fig. 18b)

- Formation des grès à dragées inférieur : constituées par des grès quartzeux à gros grains et à stratifications obliques. La partie

inférieure est caractérisée par de puissantes bandes (30 à 45m) de grés quartzeux, passant progressivement dans les parties supérieures à des argiles gréseuses.

- Formation des argiles intermédiaires : d'une épaisseur de 550m, cette formation est subdivisée en 03 parties et constituée d'argiles siliceux.

* Partie inférieure constituée d'argile.

* Partie médiane représentée par des alternances de grés et argiles sableux.

* Partie supérieure constituée de couches argilo-sableuses.

- Coupe de khoundjaïa

La coupe a été levée au Sud Est de Aïn Séfra entre le Djebel Khoundjaïa et le Djebel Djiraouine par Bassoulet (1973) aux coordonnées $x=229.8$, $y= 243.3$.

- Formation de grés à dragées inférieur (150m) : Ce sont des grés à stratifications entrecroisés contenant en abondance des dragées de quartz. Ils alternent souvent avec des argiles pélitiques rouge brique.
- Formation des grés supérieur (1150m) : La formation se poursuit par des grés de même nature que les précédents où les dragées ne se rencontre plus qu'exceptionnellement.

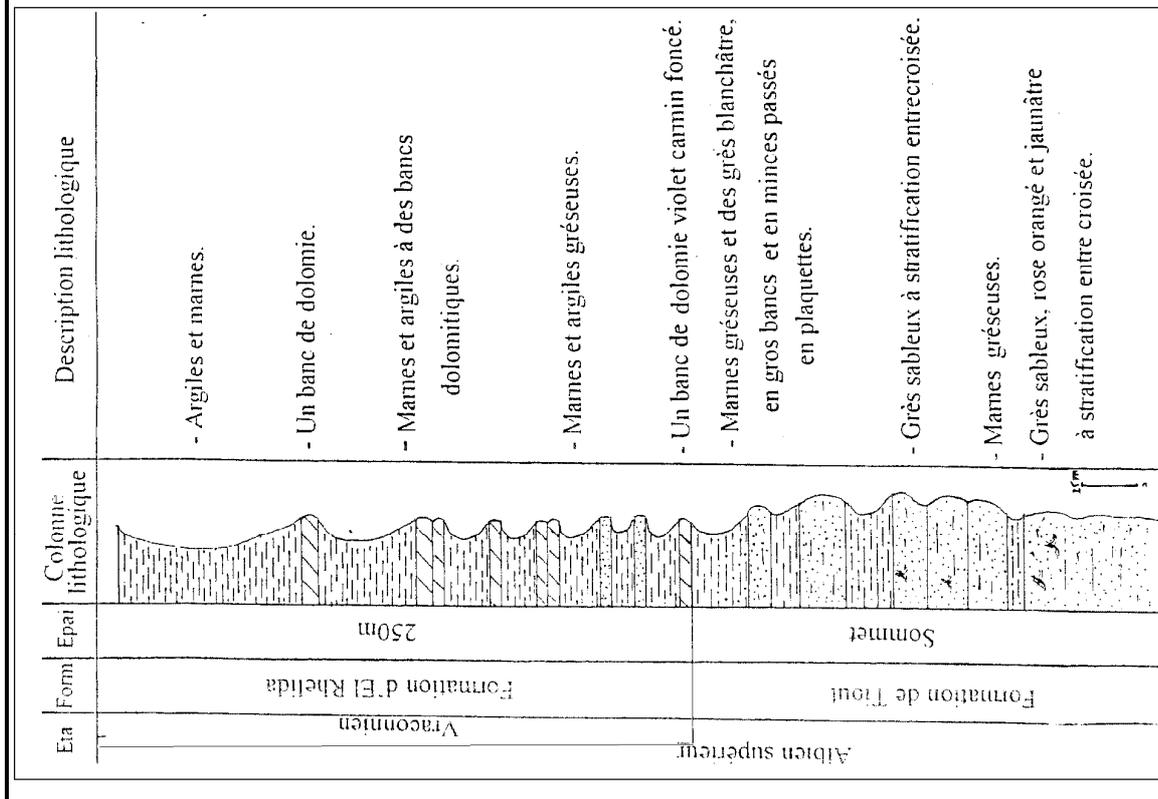
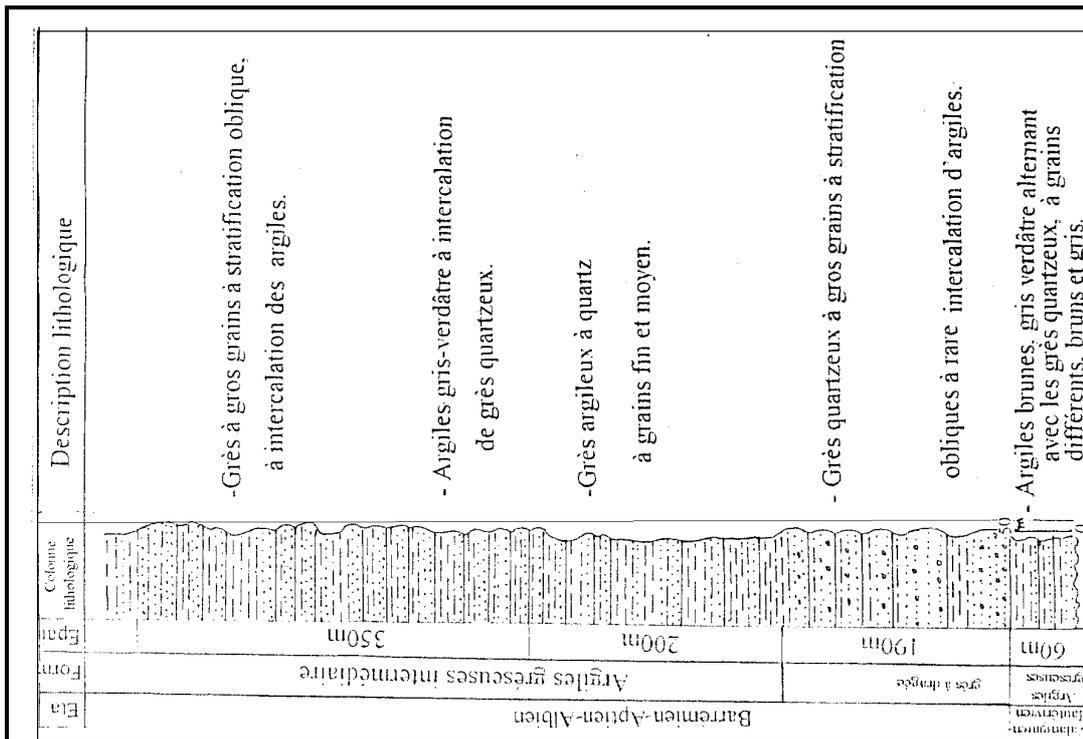


Fig. 18a - Coupe Oued Boudjihane (Bassoulet, 1973)



Coupe Theniet Oum El Houda (ORG, 1972)

Fig. 18 - Colonnes lithologique du Crétacé inférieur

- Coupe de Mehirize (fig. 19a)

Située à 60 km à l'Est de Aïn Séfra, la coupe du Djebel Mehirize a été levée par Douihasni (1976) entre les points de coordonnées :

A (x=230.55, y=256.15), B (x=230.7, y=255.5), C (x=230.95, y=255.5), D (x=231.8, y=253.8).

Le groupe des grés à dragées a une épaisseur de 850m, cons. Cet ensemble est subdivisé en 03 formations :

- Formation des grés à dragées inférieur (80m) : débute par un banc de grés (16m) moyen à grossier, à dragées et à stratifications obliques. L'ensemble de cette formation est constitué de grés massifs, rouge brique.
- Formation des argiles rouges intermédiaires (365m) : débute au sommet par un banc gréseux (10m) rouge à dragées de quartz. C'est une formation argileuse (argiles sableuses rouges) entrecoupée de niveaux métriques de grés rouges à nombreux galets (argile rouge et verte). La partie médiane est constituée d'une combe argileuse de 45 mètres d'épaisseur avec quelques niveaux centimétriques de cargneules. La partie supérieure est constituée d'une alternance d'argiles et de grés rouge à galets et à chenaux.
- Formation des grés à dragées supérieur (370m) : essentiellement gréseuse, formée par de gros bancs massifs. Cette formation est appelée « grés de Tiout », riche en chenaux, renfermant des niveaux à inclusions sphériques (Kerkoub), souvent parsemés de fragments de bois silicifiés.

- Coupe d'El Melabed (fig. 19b)

C'est une coupe levée par l'ORGM en bordure septentrionale des monts des Ksour sur une épaisseur d'environ 1020 mètres.

- Formation des grés à dragées inférieur (130m) : repose en discordance sur les couches érodées du Jurassique inférieur, représentés par des grés quartzeux à gros grains et à stratifications obliques.
- Formation des argiles intermédiaires (710m) de roches argilo-siliceuses.
 - * Partie inférieure : argiles carbonatées.
 - * Partie médiane : grés quartzeux et argiles sableuses.
 - * Partie supérieure : argiles gris verdâtres à intercalations de grés quartzeux.

- Coupe de Tiloula (fig.20)

Cette coupe a été levée à Tiloula au NE de Aïn Séfra. L'épaisseur est de 1050 mètres.

- Formation des grès à dragées inférieur : grès quartzeux à rares intercalations d'argiles passant progressivement à des argiles.
- Formation des argiles intermédiaires : Formation argilo-siliceuse entrecoupée par les niveaux métriques de grès rouges à nombreux galets d'argiles. La partie supérieure est constituée par une argile gris verdâtre.
- Formation des grès à dragées supérieur : formée principalement de puissantes couches de grès quartzeux à éléments grossiers.

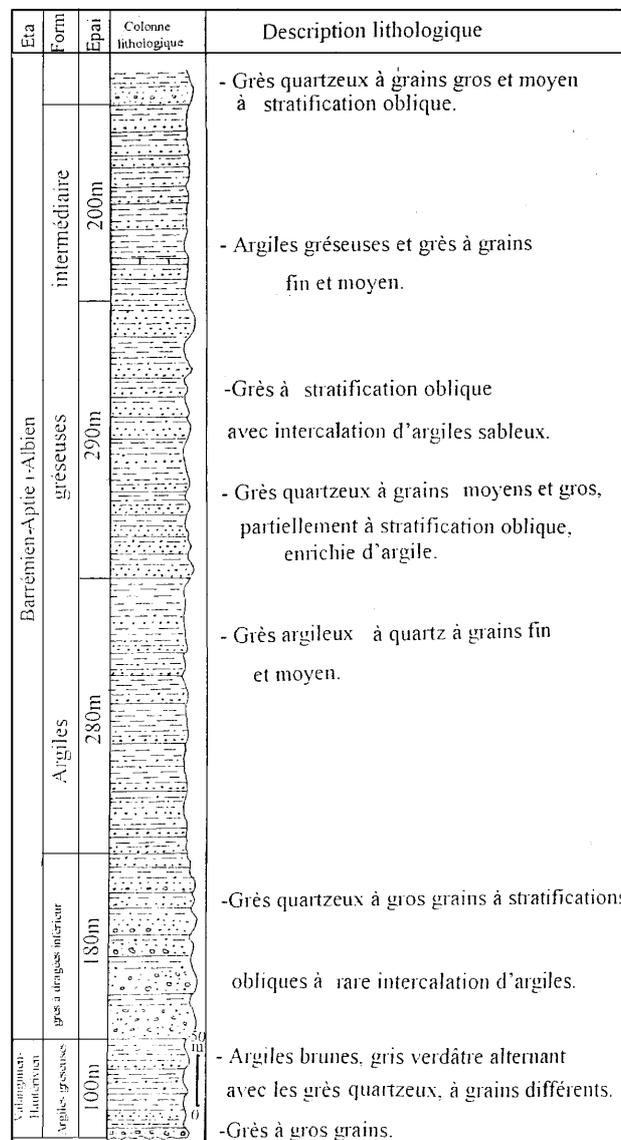


Fig. 20 – Colonne lithologique de Tiloula (ORGM, 1972)

- Coupe du Djebel Gharbi

Cette coupe, levée aux coordonnées $x=290.8$, $y=291.0$, située sur le flanc Sud Est du Djebel Gharbi présente 03 membres :

- Formation des grés à dragées inférieur (1000m): grés en chenaux à dragées de quartz et à inter lits argileux.
- Formation des argiles intermédiaires (480m) : argiles verdâtres à passages décimétriques à métriques de grés argileux.
- Formation des grés à dragées supérieur (80m) : grés en chenaux moyens à grossiers à rares dragées de quartz.

5 – 2 – 4. Essai de corrélation du crétacé inférieur dans les monts des Ksour (fig.21)

Reposant sur une alternance d'argiles et de grés quartzeux (Valanginien-Hauterivien), la puissante formation détritique du Barremo-Albo-Aptien, composée de grés roses à passées de dragées de quartz (formation de Tiout) est reconnue à travers un certain nombre de coupes. La série est recouverte par la formation d'El Rhelida (Vraconien) à prédominance d'alternance d'argiles et de bancs dolomitiques (250m).

- Valanginien-Hauterivien (100m)

Incomplets à la base, présents à Teniet Oum El Ouda (60m) et à Tiloula.

- Formation de Tiout

Caractérisée à l'Est (oued Boudjihane) par une importante épaisseur (1000m), représentée par des grés à dragées, séparées par des intercalations argileuses. La partie sommitale se caractérise par la disparition des dragées.

- Vers le NW (Teniet Oum El Ouda), cette formation est caractérisée par des grés à dragées à la base (130m), suivi par des argiles rouges entrecoupées de niveaux de grés rouges (550m).
- Vers le Nord (Mehirize), les 03 membres sont complets :
 - * Membre inférieur : grés à dragées (100m).
 - * Membre intermédiaire : argile rouge entrecoupée de grés (380m).
 - * Membre supérieur : grés à dragées (350m).

- Vers le Nord (Khoundjaïa), à la base , les grès à dragées (150m) sont suivis par une importante épaisseur de grès (1150m) où les dragées ne se rencontre qu'exceptionnellement.
- Vers l'Ouest (El Melabed et Tiloula), les 03 membres sont présents :
 - * Membre inférieur : 130m à El Melabed et 180m à Tiloula.
 - * Membre intermédiaire : 710m à El Melabed et 770m à Tiloula.
 - * Membre inférieur : 180m à El Melabed et Absent à Tiloula.
- Vers le Sud (région des Arbaouet : Djebels Gharbi), les 03 membres sont présents avec cependant une puissance de 1000m de grès à dragées inférieurs dans la coupe du djebel Gharbi ; les grès à dragées supérieurs ne dépassent guère 100m. La combe argileuse à passées gréseuses (membre intermédiaire) présente une épaisseur comprise entre 200m et 300m.

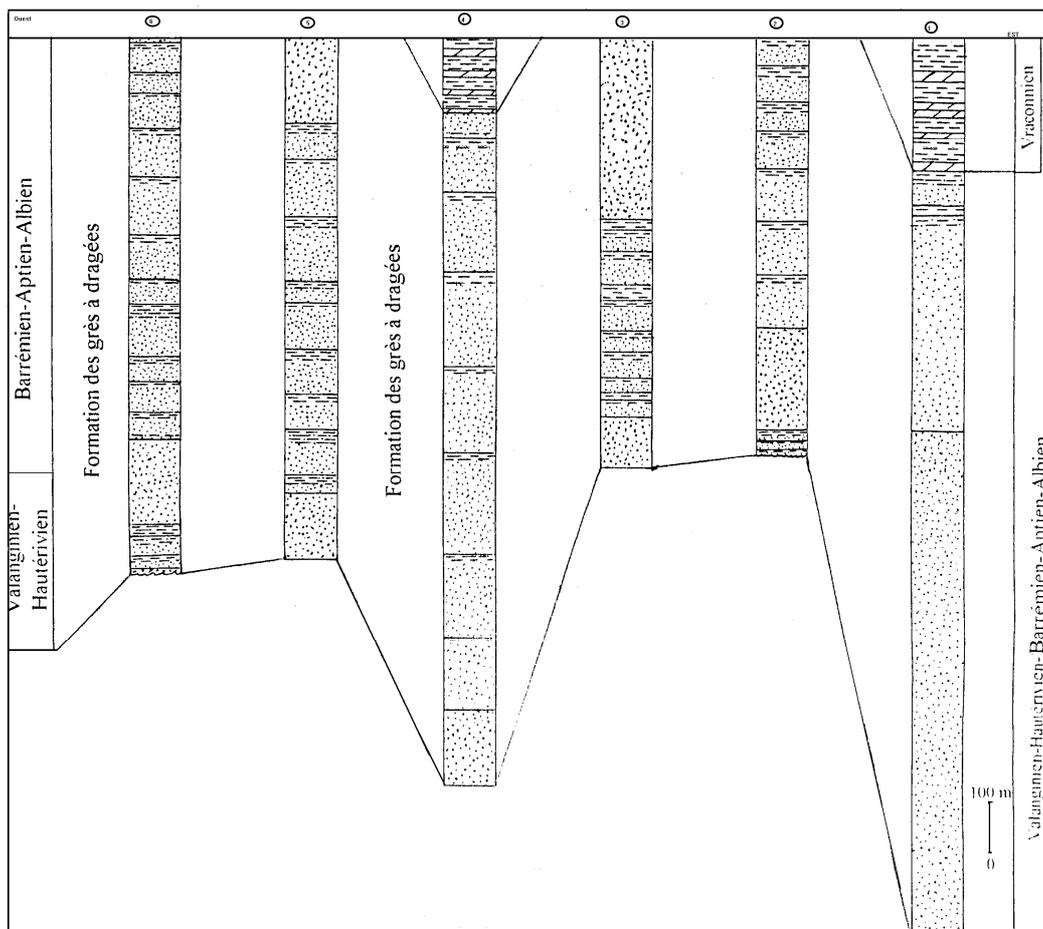


Fig. 21 – Corrélation lithostratigraphique du Crétacé inférieur dans les Monts des Ksour

1 : Oued Boudjihane, 2 : Theniet Oum El Ouda, 3 : Méhirize, 4 : Khoundjaïa, 5 : El Melabed, 6 : Tiloula

- Formation d' El Rhelida (Vraconien)

Caractérisée par une alternance de marnes, argiles gréseuses et des bancs dolomitiques isolés ou groupés en barres de 1.5m d'épaisseur. A Boudjihane (250m) et à Khoundjaïa (150m). Elle est absente dans les autres coupes

5 – 2 – 5. Attribution stratigraphique de la formation de Tiout

La datation de la formation de Tiout s'est confrontée à plusieurs difficultés en raison principalement de l'absence de critères biostratigraphiques ; ceci malgré les nombreux restes de vertébrés récoltés dans la partie supérieure de la formation dans plusieurs secteurs, notamment au niveau de l'oued Boudjihane (El Abiodh Sidi Cheikh et Brezina). Ces restes correspondent à des os divers ainsi qu'à des dents de dinosauriens, de poissons et de crocodiliens. Cependant, leur état fragmentaire a rendu leur identification très difficile.

Selon Bassoulet (1973), les restes de vertébrés de l'oued Boudjihane peuvent être rattachés à l'Albien alors que la partie médiane est attribuée à l'Aptien par corrélation avec la région de Brezina.

Par ailleurs, Morret (1970) a pu repérer un niveau carbonaté dans la formation de Tiout de la région de Brezina qu'il a attribué à l'Aptien. Enfin Mahboubi (1983), confirme l'âge Aptien supérieur par corrélation à Brezina et à El Kohol.

6 – Crétacé supérieur : Cénomano-Turonien (fig. 22)

Deux ensembles lithologiques, définis par Bassoulet (1973) affleurent principalement sur la bordure méridionale de l'Atlas Saharien Occidental. Il s'agit de la formation de M'daouar (Cénomancien inférieur) et la formation de Khoundjaïa (Cénomancien supérieur – Turonien inférieur).

Ces formations constituent une bande presque continue qui s'étend depuis El Labiodh Sidi Cheikh jusqu'aux confins de Béni Ounif. Ils présentent la particularité de former les affleurements des synclinaux perchés de la partie centrale des monts des Ksour. Plusieurs coupes ont été levées et datées par les auteurs Bassoulet (1973), Douihasni (1976) et Mahboubi (1983).

6 – 1. Formation de M'daouar (Cénomaniens inférieurs)

Il s'agit d'une formation de marnes à gypses, présentant une séquence évaporitique où prédominent des marnes à gypses généralement non stratifiées. L'épaisseur la plus importante se situe au niveau d'El Rhelida où elle atteint 150 mètres. Elle est incomplète à la base au niveau de Tismert, à Chebket Brizina, à Sefrat El Djir et à oued Namous. Elle n'est pas observable à Theniet Sfaïa.

6 – 2. Formation de Khoundjaïa : (Cénomaniens supérieurs – Turoniens inférieurs)

6 - 2 – 1. Membre inférieur

A l'Est (Mesgmet Sidi Cheikh), ce membre est caractérisé par des calcaires micritiques massifs noduleux et faiblement dolomitiques. Vers le sommet, ces calcaires renferment des Ostréidés et des gastéropodes (50m). Vers le Sud (Tismert), ce membre est caractérisé par un banc de dolomie à la base, suivi d'un autre de calcaire (24m). Vers le Sud Ouest (Chebket Brizina), il est caractérisé par un banc de dolomie à la base suivi de calcaire et calcaire dolomitique à rudistes (50m). Vers le Nord Ouest (El Rhelida), le banc dolomitique est suivi de calcaire massif à néolobites sp et *asterohedbergella* (60m). Vers l'Ouest (M'daouar), ce sont des calcaires en grands bancs à quelques foraminifères benthiques (40m). Vers le Nord (Khoundjaïa), c'est un banc de dolomie à la base, suivi de calcaire à *Exogyra*, *Neolobites* et quelques foraminifères benthiques (30m). Vers le Sud Est (oued Namous et Sefrat El Djir), on observe les mêmes faciès que Khoundjaïa. L'épaisseur peut atteindre 40 mètres à oued Namous et 19 mètres à Sefrat El Djir.

6 - 2 – 2. Membre intermédiaire

Ce membre est caractérisé par une alternance marno-calcaire, représentée par des épaisseurs variables (16m à Tismert, 40m à Chebket Brizina, 30m à M'daouar, 20m à Khuondjaïa et oued Namous) ; alors qu'il n'est pas représenté à Msegmet Sidi Cheikh, El Rhelida, Setrat El Djir et Teniet Sfaïa.

6 - 2 - 3. Membre supérieur

Caractérisé par les calcaires plus ou moins dolomités à silex abondants. Les épaisseurs sont variables (60m à Msegmet Sidi Cheikh, 50m à Chebket Brizina, 40m à Tismert, 30m à Khoundlaïa, oued Namous et Teniet Sfaïa, 38m Sefrat El Djir). Il est absent à El Rhelida.

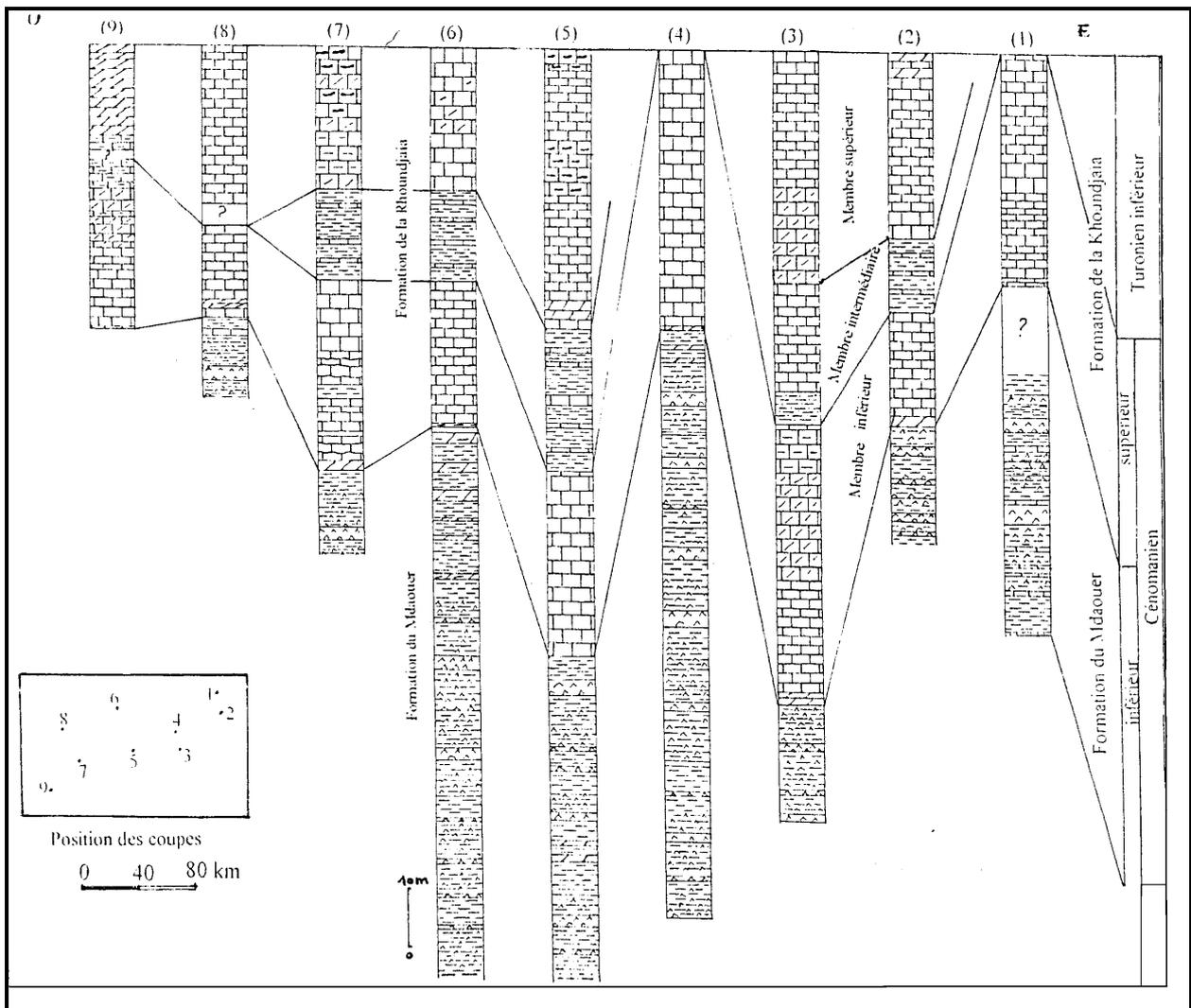


Fig. 22 – Corrélation lithostratigraphique du Crétacé supérieur dans les Monts des Ksour

1 : Msegmet Sidi Cheikh, 2 : Tismert, 3 : Chebket Brizina, 4 : El Ghelida, 5 : Mdaouer, 6 : Khoundjaïa, 7 : Oued Namous, 8 : Sefrat El Djir, 9 : Teniet Sfaïa

7 - Formations continentales post Turoniennes

Elles sont constituées par les dépôts continentaux ou lagunaires attribués au Tertiaire et au Quaternaire d'après les travaux antérieurs de Bassoulet (1973), Douihasni (1976) et Mahboubi (1983). Ces dépôts sont discordants soit sur la formation Turonienne soit sur celle du Barrémo-Albo-Aptien. Ils comblent généralement les dépressions soit en amas isolés soit en accumulations sur de grandes surfaces. La série complète est reconnue à El Kohol à 25 km au SE de Brizina (fig. 23) par Mahboubi (1983).

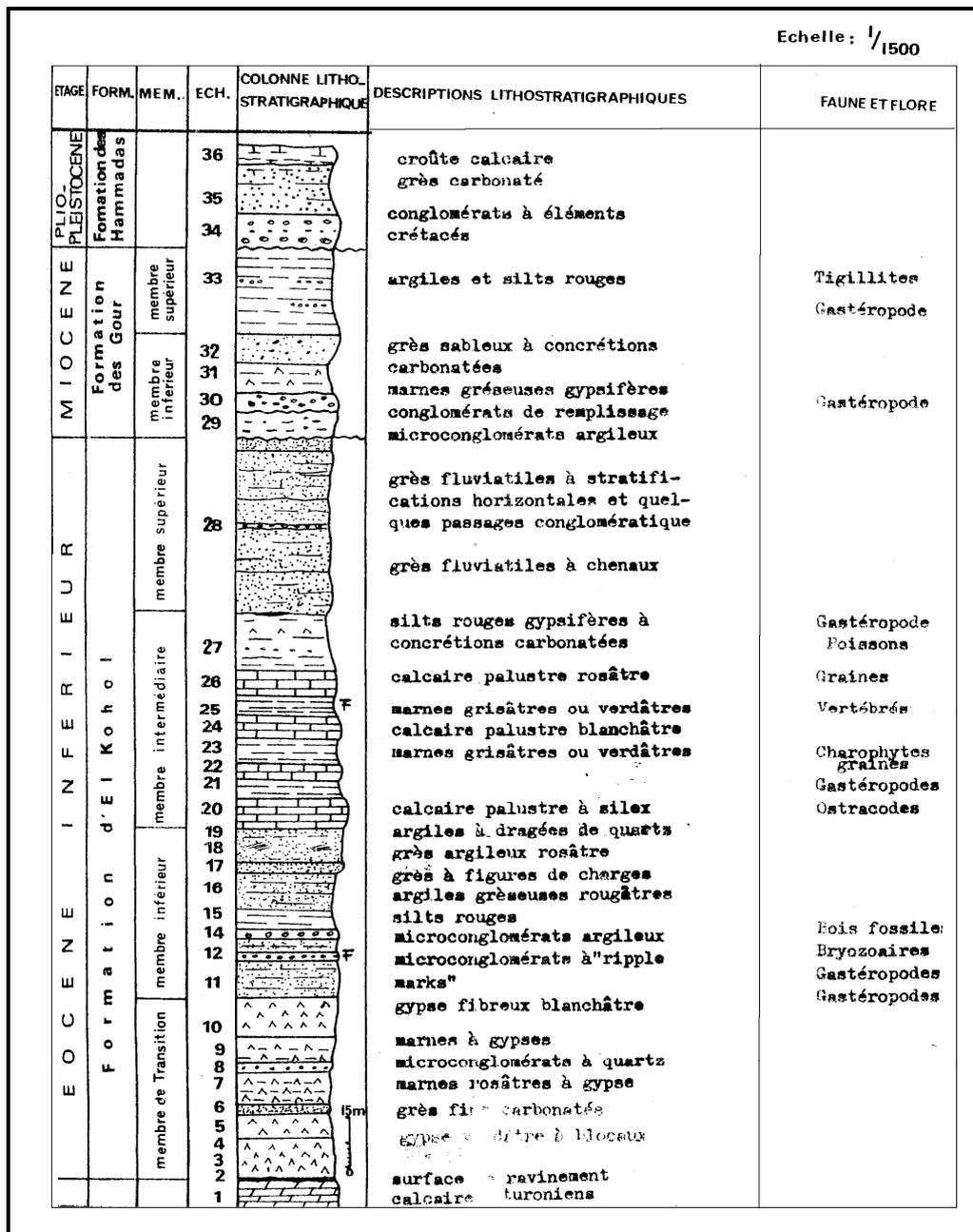


Fig. 23 - Log stratigraphique des formations post-Turoniennes d'El Kohol (Mahboubi, 1983)

En concordance apparente sur le Turonien marin, ces terrains comportent le plus souvent une alternance de faciès détritiques qui va du plus grossier au plus fin et constituent ce que les hydrogéologues dénomment le *Complexe Terminal*. Ces dépôts constituent ainsi le second grand aquifère qui s'ouvre vers la plate forme Saharienne et dont la limite Nord épouse généralement la flexure Sud Atlasique.

Les coupes levées dans la partie occidentale du chaînon et sur le flanc Nord de celui-ci montrent la succession de 03 formations qui sont de haut en bas :

7 – 1. *Carapace calcaire*

C'est une croûte horizontale de 1m à 2m d'épaisseur, connue à travers tout l'Atlas Saharien occidental. Elle est de type zonaire et se serait formée au Villafranchien supérieur (Durand, 1952). Elle se développe le plus souvent au sommet des terrains des Hamadas.

7 – 2. *Terrains des Hamadas ou couches rouges* (fig. 24)

Série attribuée au Pliocène formée de couches rouges argilo-gréseuses, entrecoupées de niveaux gypsifères, reposant généralement en discordance sur le *Continental Intercalaire*. Elle constitue les plateaux Hamadiens au Sud de l'Atlas.

7 – 3. *Poudingues des Ksour* (fig. 24)

Formation épaisse de 30 mètres (plaine de Tiout), rapportée au Pliocène continental, formée de conglomérats hétérométriques.

7 – 4. *Terrains des Gours* (fig. 24)

Définis par Flamand (1911), ces terrains désignent des formations détritiques terrigènes, comblant les grandes étendues des piémonts de la plate forme Saharienne. Dans son ensemble, cette formation continentale est constituée de poudingues, de grès grossiers, de sables et de magma calcaire-siliceux. Deux membres ont été identifiés :

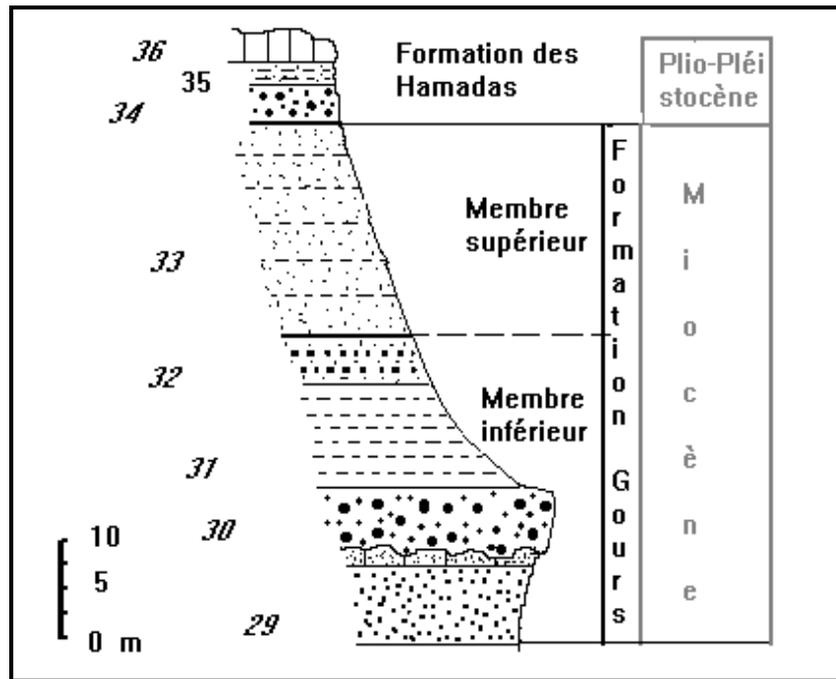


Fig. 24 – Coupe dans les terrains des Gours et des Hamadas au Nord d’El Kohol

7 – 4 - 1. Un membre détritique grossier inférieur

Illustré entre les niveaux 29 et 32. Il débute par un grès fin lité, légèrement carbonaté au sommet. Ce niveau ravine des argiles roses et les chenaux sont remplis par un grès grossier ou des argiles sableuses. Au dessus vient un niveau très grossier formé de poudingues à gros éléments Albiens et Turoniens. Vers le sommet, ce sont des grès sableux à concrétions carbonatées et rubéfiés qui couronnent ce membre.

7 – 4 - 2. Un membre argilo-sableux fin supérieur

Représenté par le niveau 33. Ce sont des sables argileux rouges ou d’argiles rouges. Cette formation a été longtemps considérée comme azoïque. La découverte de moules internes d’*Helix indet* à la base (membre inférieur) et au sommet (membre supérieur), apporte une forte présomption en faveur d’un âge Miocène de ces terrains. Le genre *Helix* étant inconnu en Afrique du Nord avant le Miocène supérieur.

7 – 5. Formation d'El Kohol (Eocène inférieur)

Elle est très développée dans la terminaison occidentale du chaînon d'El Kohol par rapport aux autres formations. Les assises sont plus souvent redressées et montrent parfois un pendage inverse (vers le Sud) donnant au relief une morphologie spectaculaire (fig. 25). La limite inférieure est matérialisée par une surface de ravinement qui sépare le Crétacé supérieur à faciès marin du Tertiaire à faciès continental. La limite supérieure est recouverte en discordance par la formation des Gours. Quatre membres ont été mis en évidence (fig. 25) :

7 – 5 – 1. Membre de transition gypso-marneux (5 – 60m)

Débuté par des gypses très plissés séparés par des calcaires dolomitiques (niveaux 2 à 10).

7 – 5 – 2. Membre détritique inférieur (45m)

Débuté par des silts sableux rouges, surmontés par un banc de grés micro-conglomératique. Au dessus, on note une alternance irrégulière de silts rouges et de grés rougeâtres ou rosâtres mal classés à stratifications obliques et horizontales, contenant des dragées de quartz. Ce membre se termine par des grés argileux rosâtres.

7 – 5 – 3. Membre calcaire-marneux intermédiaire (65m)

Formé par une alternance de calcaires palustres et de marnes. Il débute par une barre de calcaire très redressée formant des crêtes aiguës. Cette succession calcaire – marne se termine par un banc de calcaire rosâtre auquel fait suite une épaisse série de marne (niveau 25). Ce membre se termine par une épaisse série de silts rouges de plus en plus gypseuse.

7 – 5 – 4. Membre détritique supérieur (0-300m)

Le corps principal est constitué par des grés fluviaux à stratifications obliques et horizontales. Ces grés sont le plus souvent argileux grossiers à la base et fins vers le sommet. Son épaisseur augmente considérablement d'Est en Ouest.

L'ensemble des données paléontologiques utilisables (restes de végétaux, mollusques, crustacés, vertébrés inférieur, oiseaux et mammifères) convergent pour attribuer à cette formation, mis à part le membre de transition gypso-marneux, un âge Eocène inférieur.

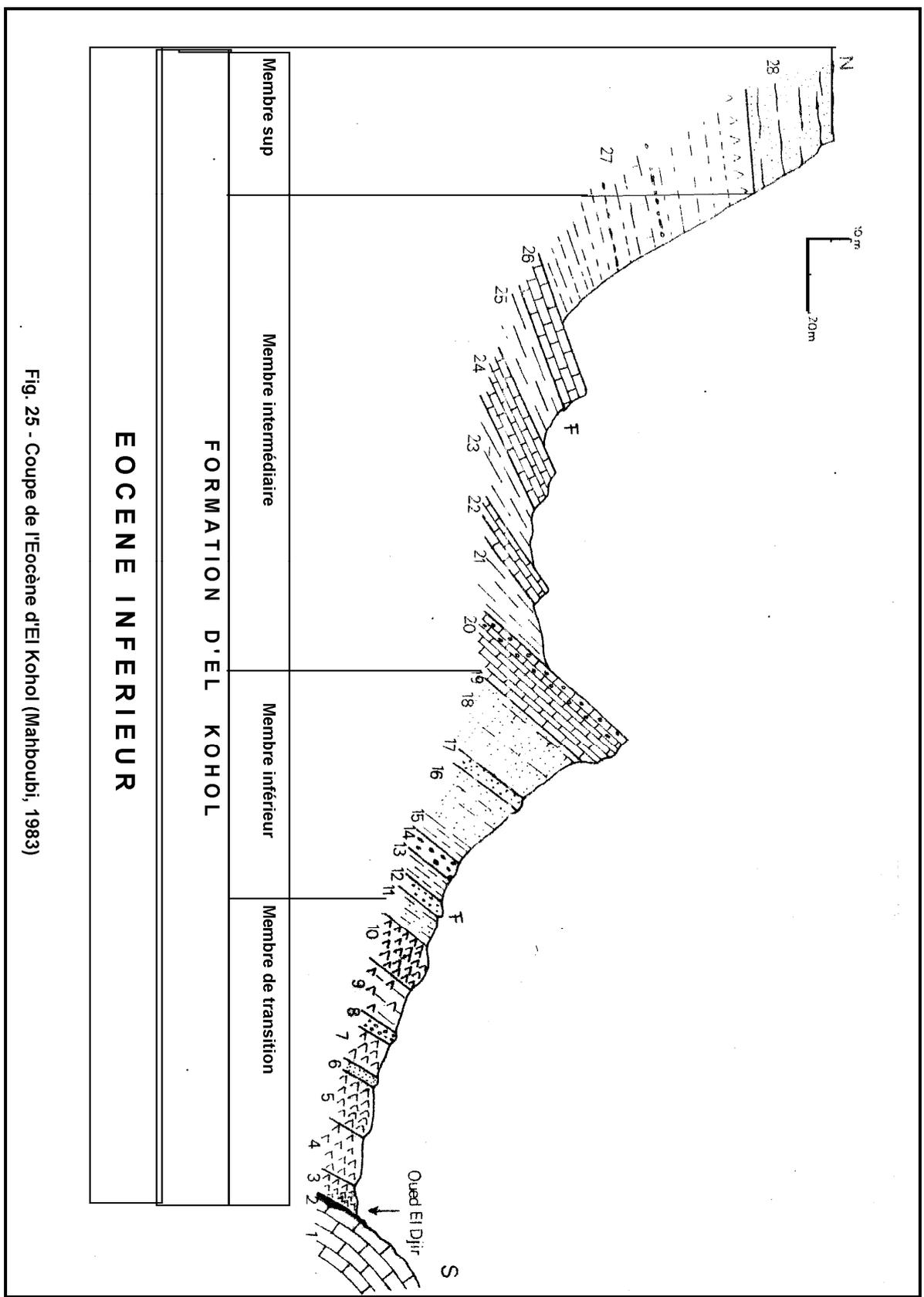


Fig. 25 - Coupe de l'Eocène d'El Kohol (Mahboubi, 1983)

8 – Quaternaire

8 – 1. Limons anciens

Attribués au Plio-Quaternaire et au Quaternaire ancien et qui constituent des alluvions par D. Galmier (1970) sous le terme de formations tufacées. Ils sont constitués de limons fins et de conglomérats. Pour Douihasni (1976), ces limons anciens sont rattachés aux tufs et travertins localisés à proximité des sources et souvent liés à des accidents.

8 – 2. Colluvions et piémonts

Constitués de cailloutis cimentés par des carbonates, formant ainsi des brèches de pente. Ils couvrent les vastes étendues du Sud de Chemarikh et de Boussemgoun.

8 – 3. Alluvions anciennes

Elles sont peu épaisses et localisées sur les étendues planes ou les dépressions à faible pente, caractérisés par un faciès argilo-sableux et conglomératique.

8 – 4. Alluvions récentes

Ils jalonnent les lits des oueds et sont constitués de sables. On peut citer l'oued Atchane (Chellala-Bousemgoun) et l'oued Rhouiba (Sud de Tiout).

8 – 5. Formations éoliennes

Elles sont assez répandues, constituant les dunes qui jalonnent la parie Nord et Nord Est du Djebel Mekhter. La plupart de ces dunes paraissent fossilisées.

III - LES SYNCLINAUX BARREMO-ALBO-APTIEN DES MONTS DES KSOUR

La région est caractérisée par une série de synclinaux et d'anticlinaux plus ou moins parallèles de direction générale Sud Ouest – Nord Est. Les anticlinaux, en général très sur abaissés et les synclinaux ont souvent un fond plat. On passe de l'un à l'autre par une zone très inclinée ou flexure dans laquelle les formations sont très redressées, étirées ou faillées. Parmi les zones déprimées, on prendra en considération celles ayant des impacts directs sur les ressources en eaux des Monts des Ksour.

1 – Synclinal de Aïn Séfra (planche 02)

Aïn séfra est située dans un de ces synclinaux où les couches sont représentées par les grès du Crétacé inférieur, attribués au Barrémo-Albo-Aptien.

Deux anticlinaux, l'un au Nord (Djebel Aïssa) et l'autre au Sud (Djebel Mekhter) encadrent le synclinal. Ils y affleurent des terrains gréseux plus anciens Jurassico-Crétacés. La limite Sud Ouest du synclinal est bien marquée. Il s'agit de la zone disloquée Nord - Sud renfermant les ophites et le cortège Triasique d'El Hendjir. La zone reliant Tiloula à Koudiat Tiourtalt constitue une séparation structurale avec le synclinal de Tiourtalt.

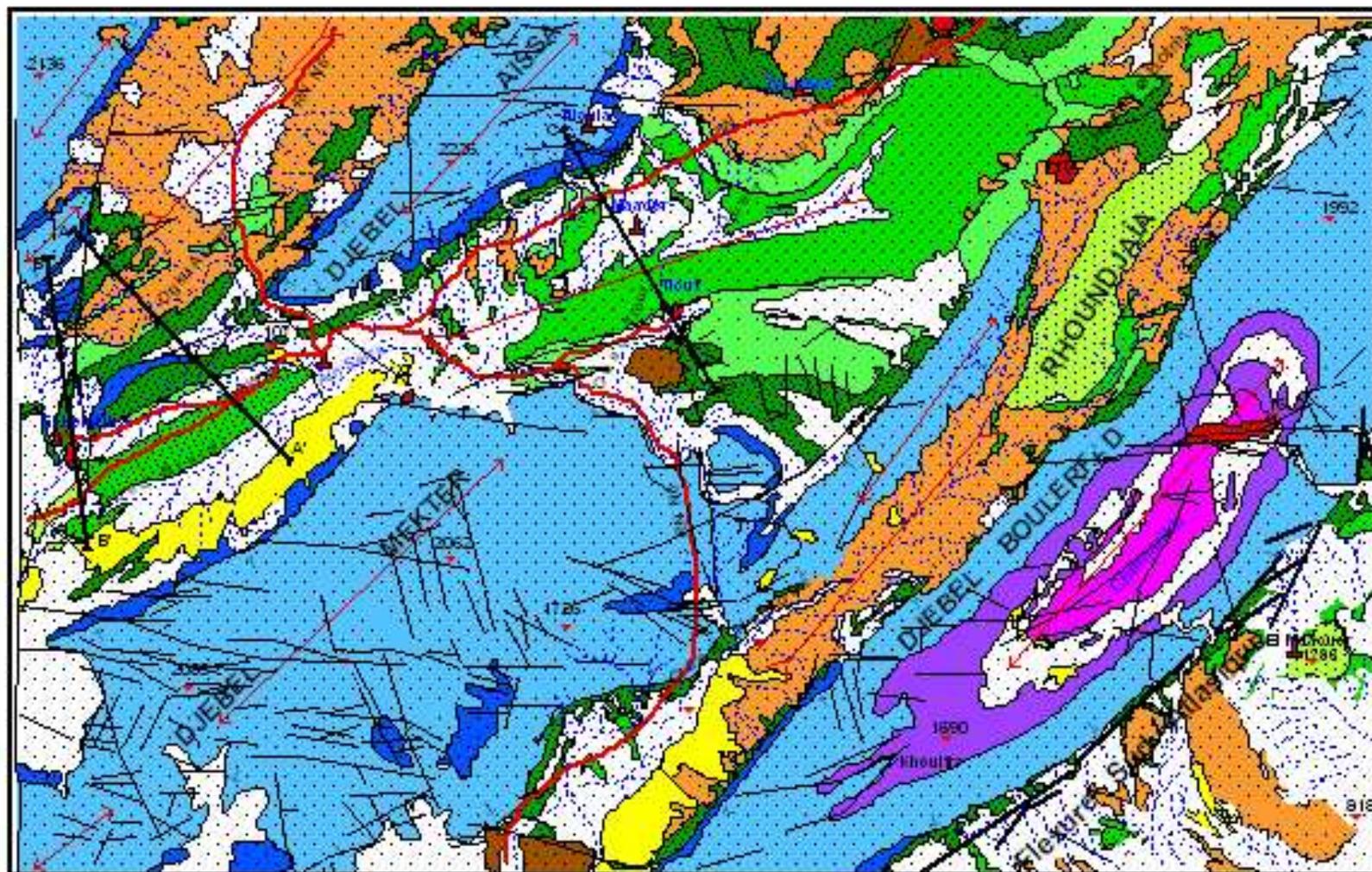
1 – 1. Gouttières synclinales d'Aïn Séfra

Des coupes géologiques (A-A', B-B', C-C') ont été réalisées à travers le synclinal de Aïn Séfra, à partir de la carte géologique (traits de coupes, planche 02).

PLANCHE 02

Planche 02 - Carte géologique des gouttières synclinales El Hendjir - Ain Séfra - Tiout

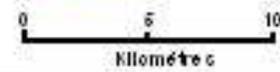
(D. Galmier, 1973), modifiée par ce travail



LEGENDE

Géologie

- Formation s dunale c
- Quaternaire (alluvion c)
- Tertiaire (Calcaire, Argile)
- Tertiaire (Grès, argile)
- Céno-Turonien (Marne, Calcaire)
- Albien (Grès de Tiout)
- Barrémien-Aptien (Grès)
- Aptien (Argile c, Grès)
- Intra-crétacé (Calcaire c, Grès)
- Jurassique sup (Grès)
- Dogger (Grès, Argile)
- Lias (Dolomie c, Calcaire marnés)
- Trias (Argile, gyp c)
- Faille c
- Antiformal
- Synclinal
- Hydrographie
- Trait de coupe AA'



1 – 1 - 1. Synclinal El Hendjir-Aïn Séfra

La première partie du synclinal se situe entre El Hendjir et Aïn Séfra, le flanc Sud Est étant fortement masqué par les dunes d'Aïn Séfra. La structure représentée par les coupes 26a (A-A') et 26b (B-B') se présente comme suit :

- Du Nord au Sud (fig. 26a)

- L'anticlinal Jurassique et Néocomien du Djebel Hairech, accidenté sur son flanc par une faille orientée Sud Ouest – Nord Est, qui met en contact anormal le Néocomien du flanc Sud avec le Jurassique Supérieur.
- Un synclinal Albien à fond très plat.
- L'anticlinal Néocomien de la Garet Deba-Dir Hairech, qui est un prolongement vers le Nord Ouest de l'anticlinal de Djebel Aïssa.
- Le synclinal Albien de l'oued Breïdj, représentant l'unité constituant le bassin d'alimentation d'Aïn Skhouna.

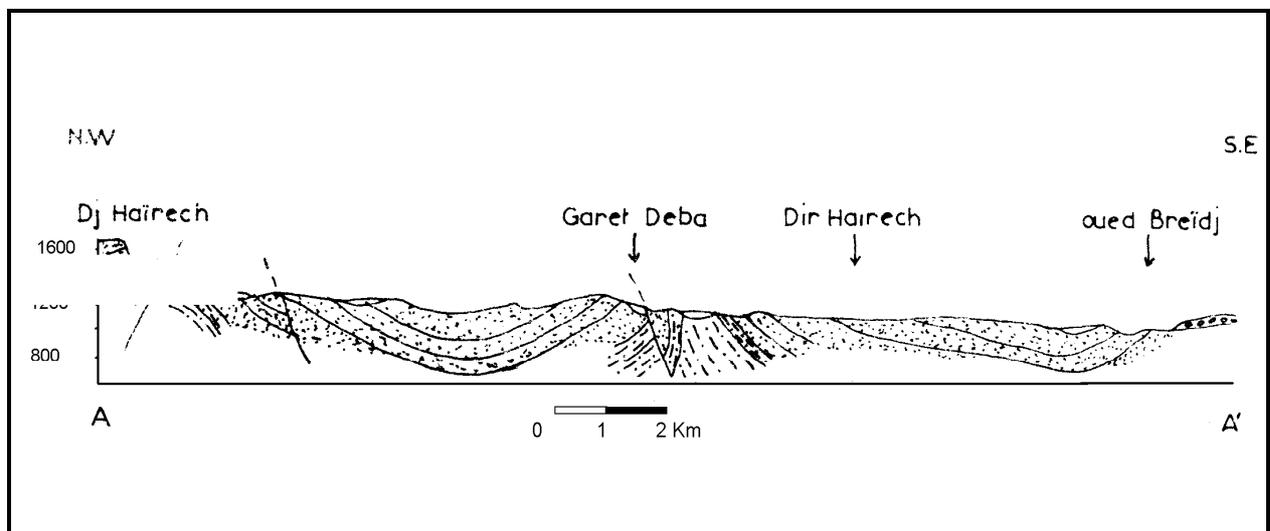


Fig. 26a – Coupe géologique Djebel Hairech – Garet Deba - Oued Breïdj



- Vers l'ouest, côté El Hendjir (fig.26b)

- Au droit d'El Hendjir, une faille méridienne casse l'anticlinal Garet Deba - El Hendjir. A son contact, les couches Néocomiennes des flancs de l'anticlinal se redressent vers le Sud. De cette faille principale se détache vers le Nord - Ouest 02 failles secondaires encadrant le pointement Triasique d'El Hendjir. Au Sud des 02 failles secondaires, apparaît la formation Cénomano-Turonienne de Sefret El Djir.
- A l'ouest de cette zone de fracture, la plaine de l'oued Sfissifa masque un large synclinal à fond plat.

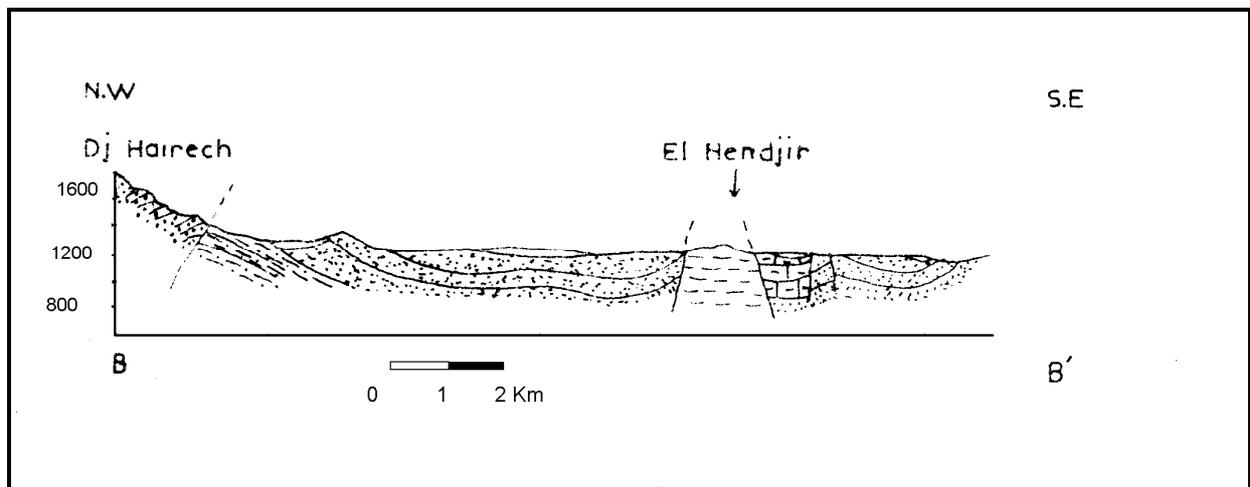


Fig. 26b – Coupe géologique Djebel Hairech – El Hendjir



1 – 1 - 2. Synclinal Aïn Séfra – Tiout (fig.26c)

Constitue la deuxième gouttière du synclinal de Aïn Séfra. Elle se trouve dans la région de Tiout, à l'Est Nord Est de la ville de Aïn Séfra, plus connue sous le nom de Maâder. C'est un synclinal typique des monts des Ksour, à fond plat, d'âge Albien, encadré par les anticlinaux des Djebels Aïssa et Djara.

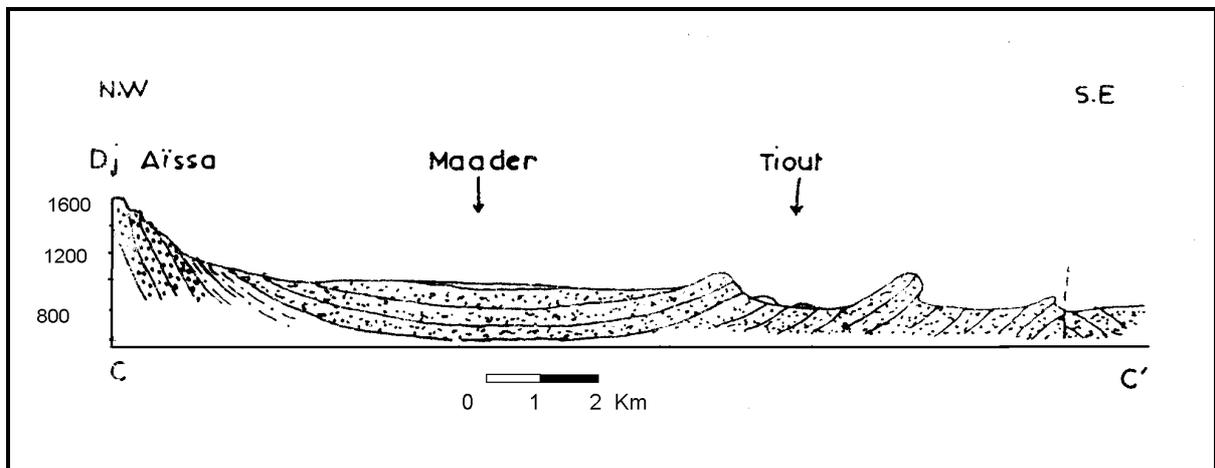
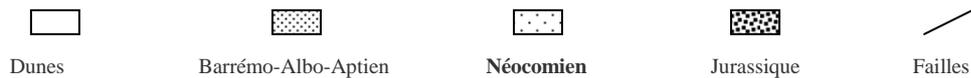


Fig. 26c – Coupe géologique Djebel Aïssa – Maâder – Tiout



1 – 2. Lithologie du synclinal

Les gouttières synclinales sont représentées principalement par la formation de Tiout, attribuée au Barrémo-Albo-Aptien, appelée « groupe des grès à dragées » par Douihasni (1976). Représenté par un faciès caractéristique, quoique pas toujours discerné avec les autres étages gréseux ; Ce sont des grès massifs rouges à stratifications obliques, entrecoupés par des niveaux d'argiles rouges.

Les forages recoupant en partie la formation de Tiout (fig. 27) permettent de bien mettre en relief l'hétérogénéité de la distribution spatiale de ce faciès du *Continental Intercalaire*.

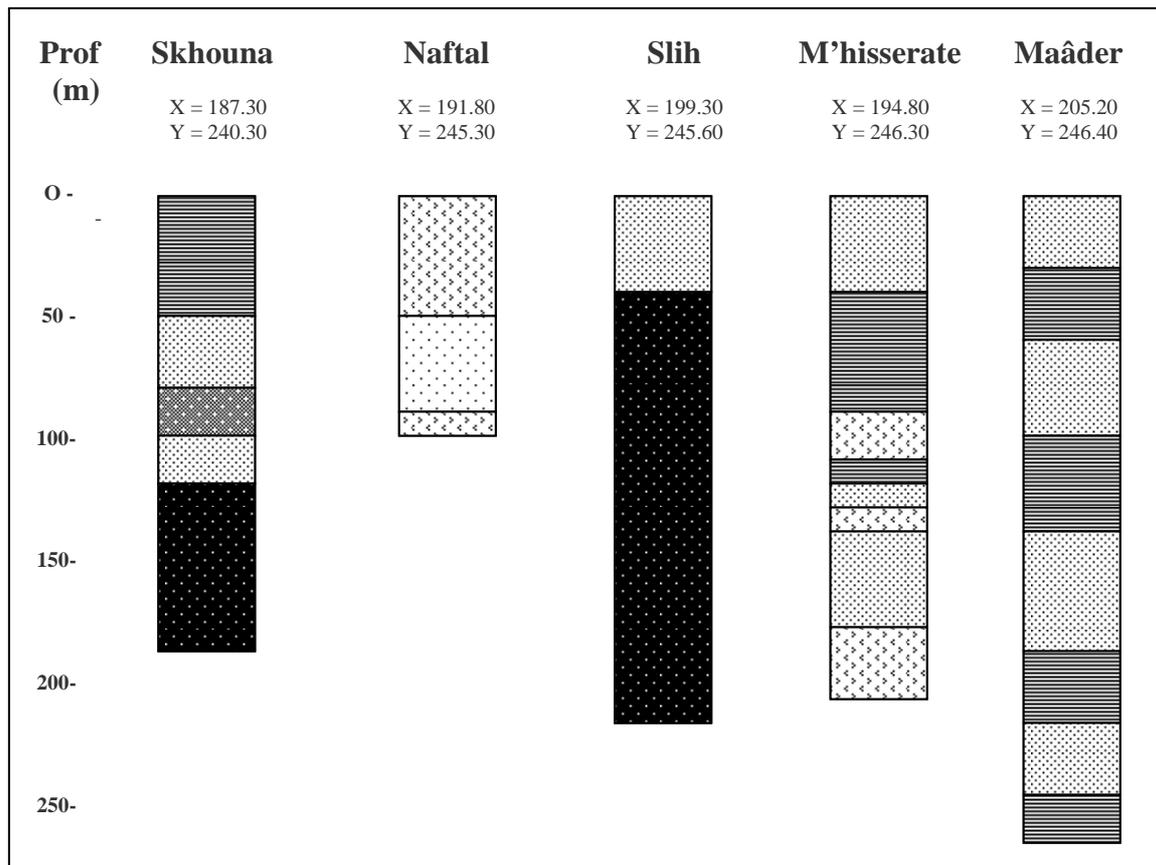


Fig. 27 - Faciès du Crétacé inférieur recoupé par les forages du synclinal de Aïn Séfra



Il est important de signaler que lors des fonçages des forages, des pertes totales de boue ont été signalées dans les grès fissurés, particulièrement au niveau du forage SLIH entre 42 mètres et 188 mètres.

2 – Synclinal d’Asla (planche. 03)

La zone d’Asla correspond à un vaste synclinal orienté N Est – Sud Ouest, qui s’étend depuis l’ouest de Aïn Séfra (synclinal très étroit) jusqu’à la zone de Asla (synclinal très vaste). Il est limité au Nord par l’anticlinal de Djebel Aïssa, au Sud par l’anticlinal du Djebel Mekmen, à l’Est par l’anticlinal du Djebel Boudaoud et à l’ouest par Aïn Séfra.

2 – 1. Lithologie du synclinal

Le synclinal de Asla est encadré par 02 anticlinaux d'âge Jurassique supérieur avec à l'Est l'anticlinal du Djebel Bram et à l'Ouest la chaîne Afzouz – Talbouna. Le centre du synclinal est essentiellement représenté par les grès Barrémo-Albo-Aptien du Crétacé inférieur dont l'épaisseur dépasse 1000 mètres. Les limites Nord et Sud du synclinal sont caractérisés par les recouvrements du tertiaire continental, qui reposent en discordance soit sur le Cénomano-Turonien soit directement sur les grès Barrémo-Albo-Aptien. Les forages d'Asla font ressortir l'importance du faciès grés-argileux, du Barrémo-Albo-Aptien (fig. 28) avec une épaisseur qui peut dépasser 450 mètres au centre du synclinal.

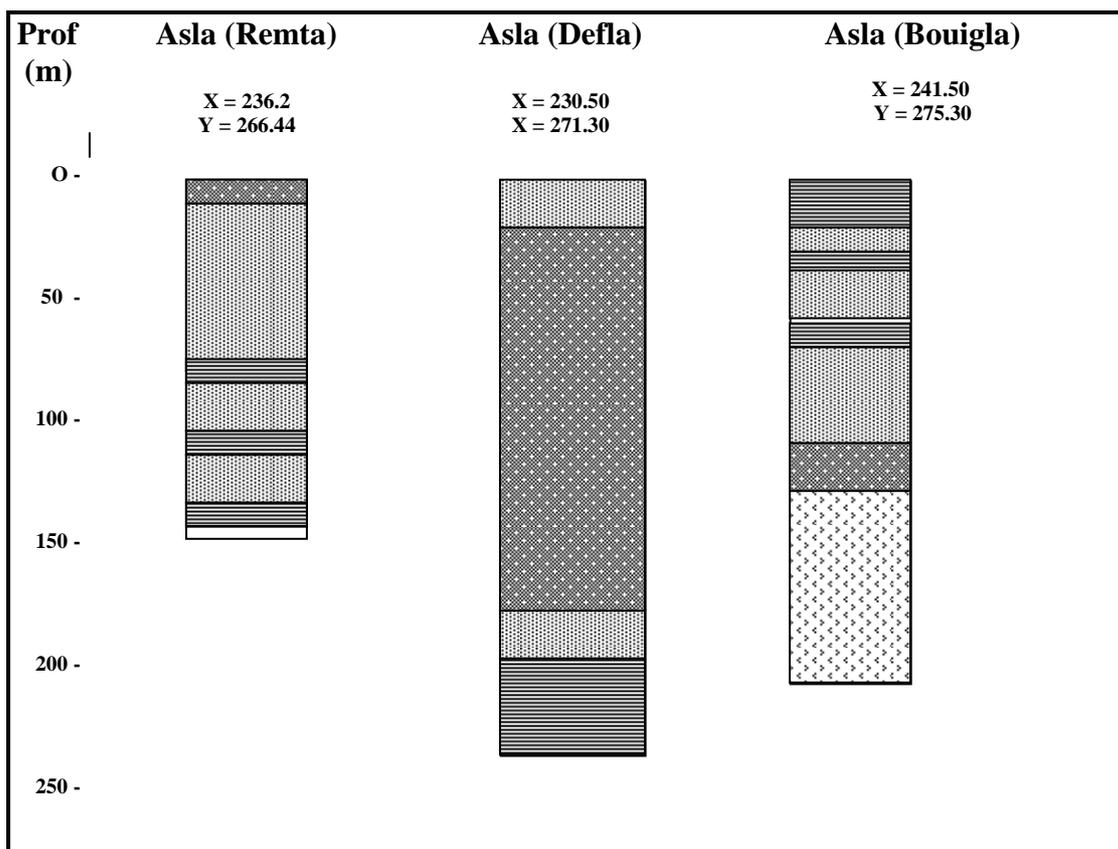
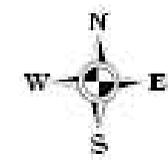
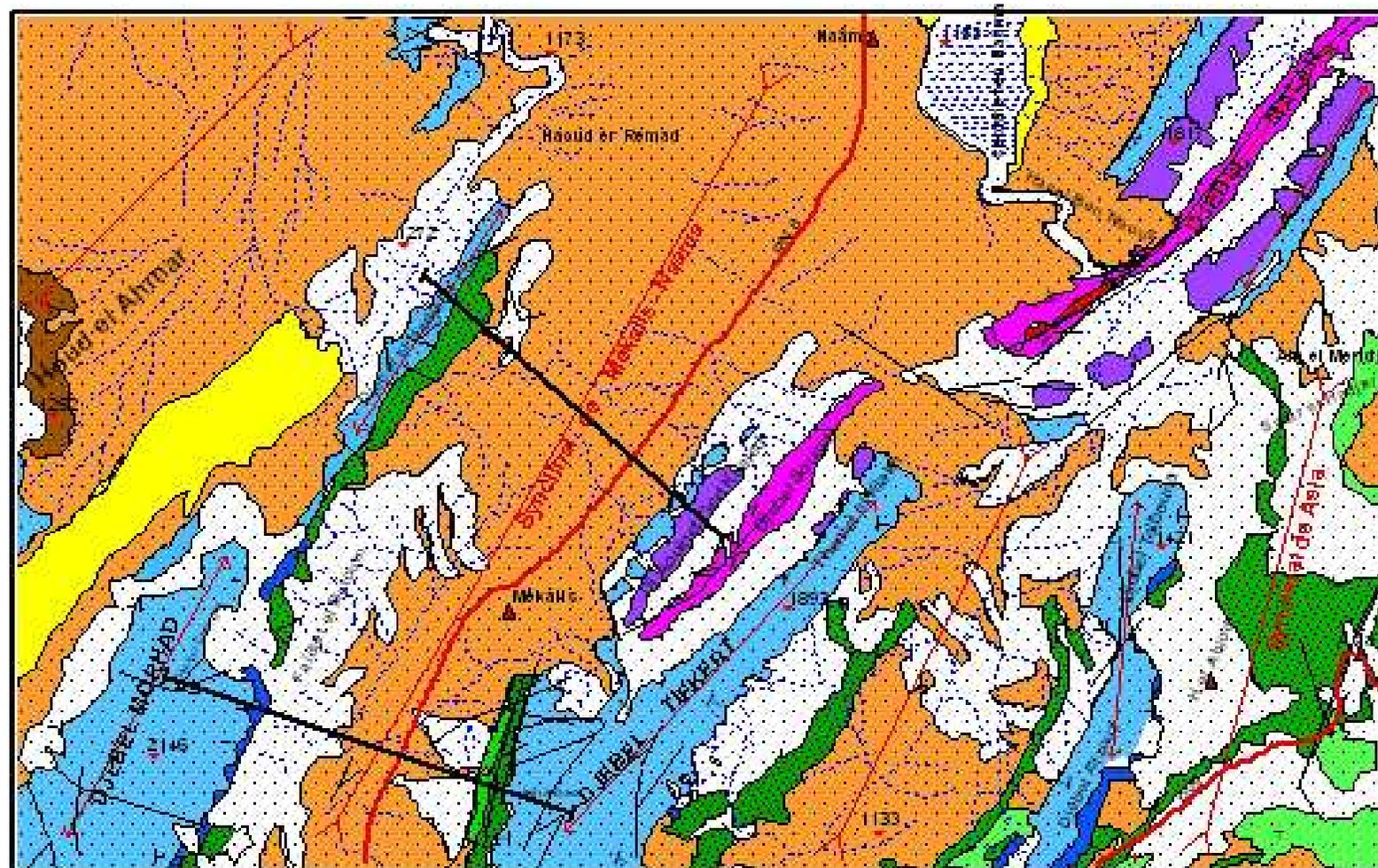


Fig. 28 – Faciès du Crétacé inférieur recoupé par les forages du synclinal d'Asla



PLANCHE 03



LEGENDE

Géologie

- Formation dunaire (s)
 - Quaternaire (alluvion (s))
 - Tertiaire (Calcaire, Argile)
 - Tertiaire (Grès, argile)
 - Céno-Turonien (Marnes, Calcaires)
 - Albien (Grès de Toub)
 - Barrémien-Aptien (Grès)
 - Aptien (Argiles, Grès)
 - Intra-crétacé (Calcaires, Grès)
 - Jurassique sup. cont. (Grès)
 - Dogger (Grès, Argile)
 - Lias (Dolomie, Calcaire marneux)
 - Trias (Argile, gypse)
-
- Faille (s)
 - Antiformal
 - Synclinal
 - Hydrographie
 - Trait de coupe



Planche 03 - Carte géologique des cuvettes synclinales de Naâma et Asla
(D. Galmier, 1878), modifiée par ce travail

2 – 2. Déformations du synclinal

La région de Asla présente des anticlinaux coffrés et faillés (Djebel Talbouna) avec parfois des remontées axiales du Trias et son cortège d'argiles versicolores et de roches vertes (Djebel Bram). Les zones déprimées (synclinal d'Asla et de Haoud El Botma) sont comblées par les grès du Barrémo-Albo-Aptien. La fracturation est présente, notamment dans la région de Remta où sont implantés les champs de captage.

3 – Synclinal de Naâma (planche. 03)

3 – 1. Cadre géologique

La série stratigraphique du synclinal de Naâma montre les formations allant du Secondaire au Quaternaire. Le Trias affleure en pointements au cœur de certains anticlinaux.

Les coupes géologiques réalisées à travers le synclinal de Naâma, à partir de la carte géologique (traits de coupes, planche 03), basées sur les données de forage nous ont permis de reconnaître la série stratigraphique suivante (fig. 29) :

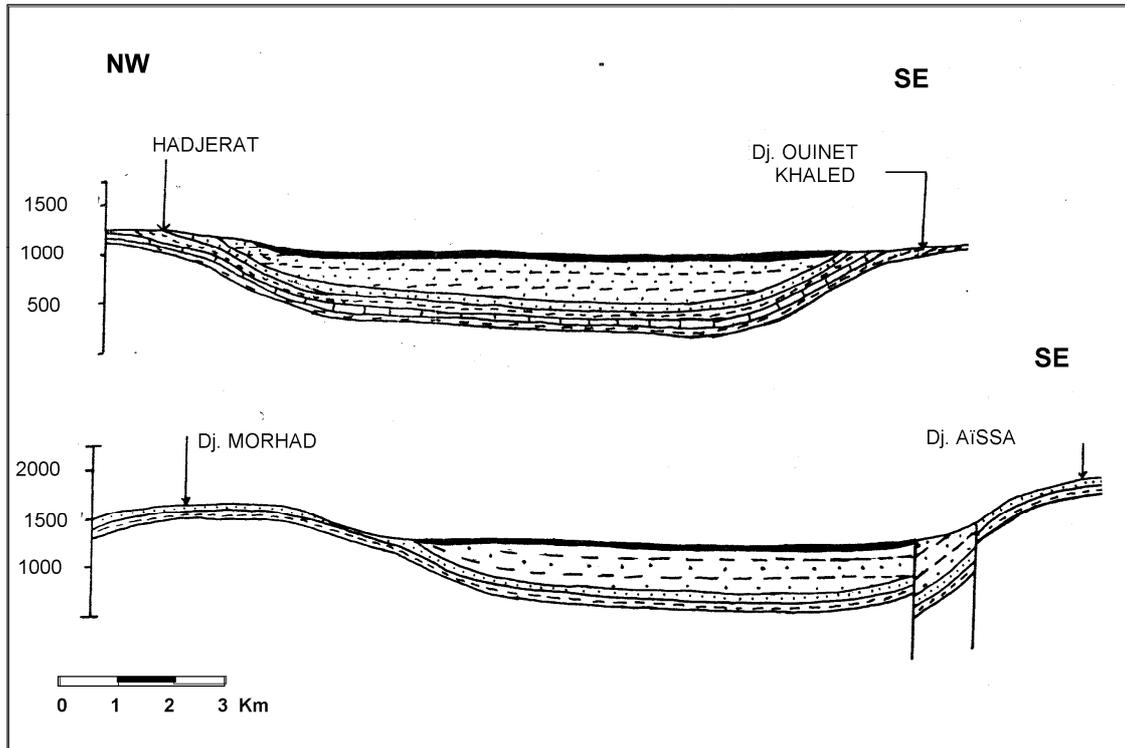


Fig. 29 – Coupes géologiques à travers le synclinal de Naâma



3 – 2. Lithologie du synclinal

A partir d'un essai de corrélation réalisé sur un certain nombre de forages hydrauliques implantés dans le synclinal de Naâma (fig. 30), nous avons pu faire ressortir les principales caractéristiques des formations du synclinal de Naâma.

3 – 2 – 1. Jurassique supérieur-infra Crétacé

En surface essentiellement gréseux de plus de 1000 mètres, formant l'essentiel des reliefs de la région. Il s'étend du Callovo-Oxfordien jusqu'au Néocomien (04 unités) :

- Formation argilo-gréseuse et péltique avec des intercalations de calcaire et de dolomie (Djebel Ouinet Ouled Khaled, Aïn Moktadelli, Nord Est de Tifkirt). Cette unité correspond approximativement à la formation de Djara.
- Ensemble argilo-gréseux, représenté au Djebel Morhad dans une boutonnière au Sud du sommet 2030 mètres.
- Ensemble gréseux continental (Portlandien), représenté par des grés variés assez grossiers, souvent peu consolidés et à stratifications entrecroisées (Djebel Aïssa).
- Série de transition infra Crétacé, apparaît au flanc Est du Djebel Morhad et se poursuit au Nord et à l'Ouest du relief Hadjret Toual pour disparaître sous ce relief.

3 – 2 - 2. Crétacé inférieur (Continental Intercalaire)

- Néocommien : constitue en général une gouttière à la périphérie des grands massifs Jurassique continentaux. Le Néocomien de Garet Deba traverse Aïn Boudema, Tirkount (RN6) et se poursuit au Nord Ouest du Djebel Aïssa. Au Nord de Gour El Amour, il se coude brusquement pour se diriger vers Mekalis où il cesse d'affleurer. Il réapparaît entre Hassi Ben Djerad et Hassi Boughellaba.
- Barrémo-Albo-Aptien : cette formation apparaît entre Djebel Morhad et Aïssa (synclinal de Tirkount orienté SW-NE), en s'infléchissant vers le Nord Nord Est à Boughellaba. Les recouvrements trop importants ne permettent guère d'en préciser la structure. Les forages implantés entre les Djebels Morhad et Aïssa donnent des épaisseurs comprises entre 120 mètres (NA 10) et 350 mètres (AF 41).

3 – 2 – 3. Tertiaire continental

Représenté essentiellement par des faciès lacustres et fluviaux, formés de bas en haut d'argiles sableuses plastiques rougeâtres, couronnées par une carapace calcaire. L'épaisseur moyenne varie entre 25 et 150 mètres.

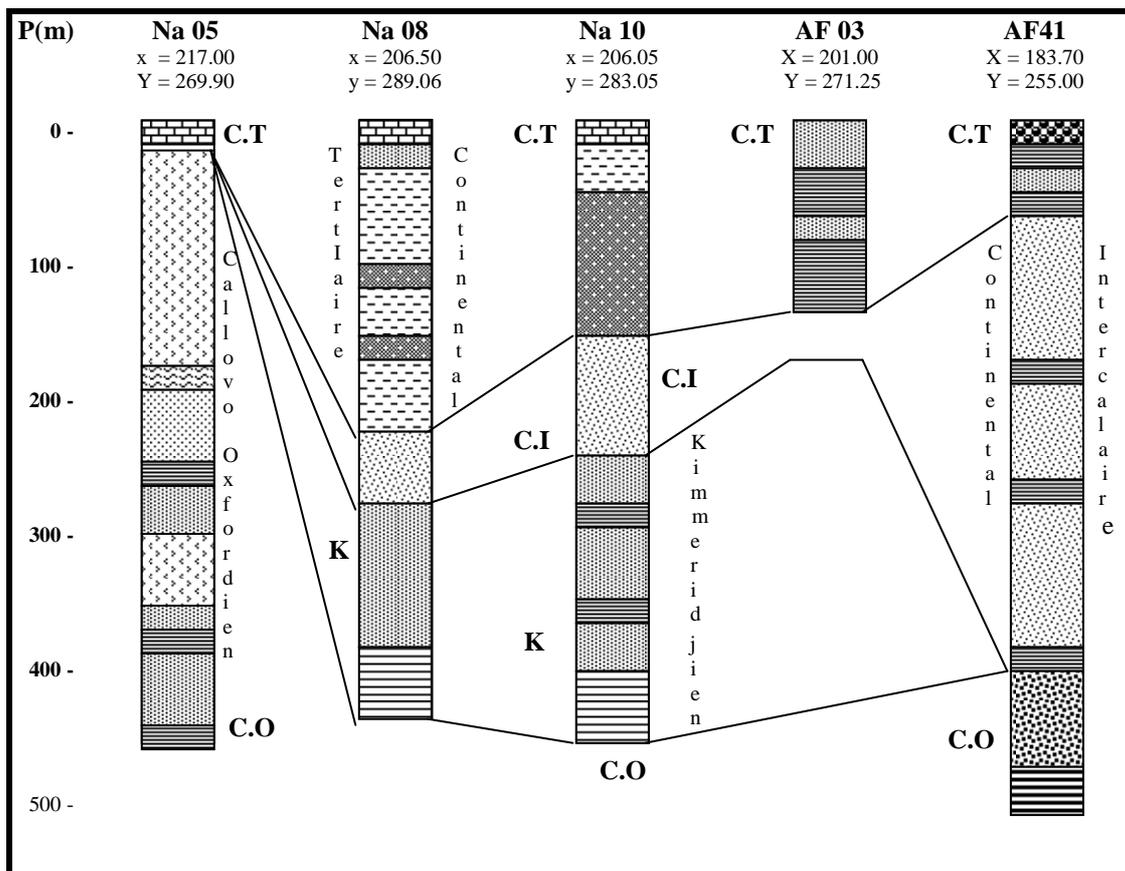
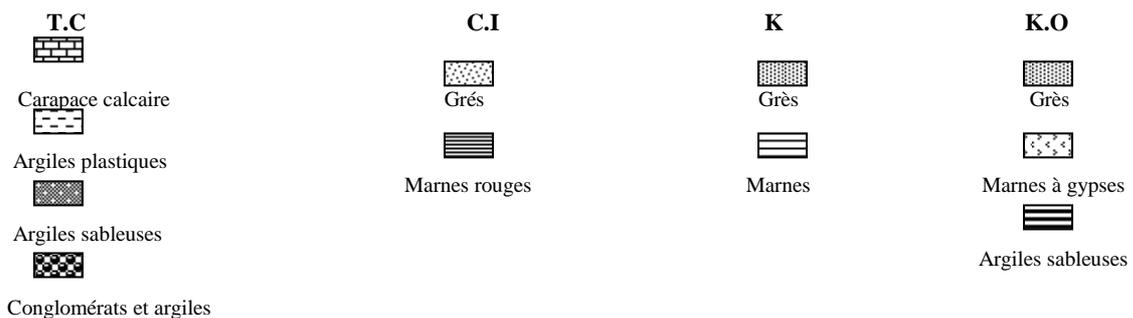


Fig. 30 – Essai de corrélation des coupes de forages du synclinal de Naâma



3 – 3. Déformations du Synclinal

Au flanc Ouest de l'anticlinal du Djebel Souiga, les accidents sont orientés N 30° à N 35° (failles longitudinales) et N 20° à N 60°. Au Sud du Djebel Souiga, l'abaissement de l'axe ne se produit dans la terminaison péri anticlinale qu'après un petit relèvement local découpé par la micro-fracturation. Dans la partie centrale, nous notons un réseau de fractures à la pointe Ouest de Djebel Aïssa (Sud de Mekalis) de direction N 20° E. D'autres directions plus importantes N 50° à 60° E sont pratiquement parallèles à l'axe des plis de l'Atlas Saharien. En ce qui concerne la tectonique souple, le Djebel Aïssa constitue un anticlinal souple long de 22 Km avec un déplacement d'axe au SW avec une direction N 50° à 55° E. Vers le NW, apparaît le synclinal de Tirkount qui est long mais très oblique par rapport à la direction générale, surplombé par l'anticlinal du Djebel Morhad long de 8 Km et présentant une direction N 20° E.

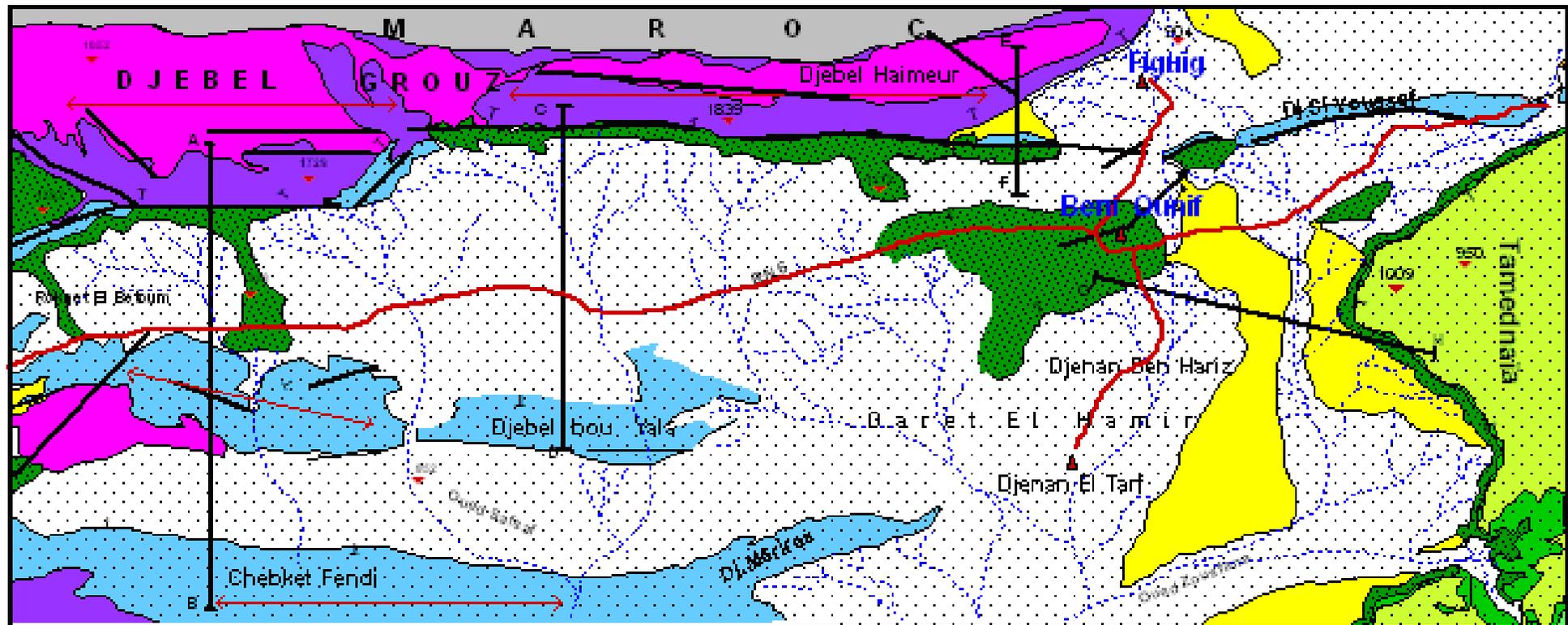
4 – Synclinal de Béni Ounif (Planche 04)

A l'échelle des monts des Ksour, les reliefs dessinent une légère inflexion dont le centre se trouve dans la région de Béni Ounif où les formations gréseuses d'âge Crétacé inférieur constituent les principaux affleurements du synclinal. Plus au Nord, les affleurements essentiellement Jurassique, formant des structures anticlinales longues et étroites, sont l'expression en surface d'accidents profonds et traduisent des failles inverses et des chevauchements (Mansour et al, 1992).

PLANCHE 04

Planche 04 - Carte géologique du synclinal de Beni Ounif

H. Mansour (1992)



LEGENDE:

Formations dunaires	Quaternaire (alluvions, rée, anc)	Tertiaire (Calcaire, Argille-gypseus)
Cénomano-Turonien (Marnes, Calcaire)	Albien (Grès de Tourb)	Aptien (Argiles, Grès)
Jurassique sup continental (Grès)	Dogger (Grès, Argiles)	Lias (Dolomies, Calcaire-marneux)
Faille	Antiformal	Trait de coupe AB

4 – 1. La série stratigraphique

4 – 1 – 1. Le Lias

Le Lias affleure en grande partie le long du Djebel Grouz où il trouve une importante extension latérale et verticale, formant ainsi une véritable muraille (1800m).

- Lias inférieur (140m à 150m) : représenté par une puissante masse calcaire et dolomie qui vers l'Ouest à Djebel Rkina, cette formation affleure au contact des grès du Crétacé inférieur par l'intermédiaire de l'accident Sud Atlasique (carte géologique).

- Lias moyen (60m) : Le passage des calcaires dolomitiques clairs du Lias inférieur aux calcaires sombres disposés en double barres du Lias moyen est assez net au Djebel Rkina.

- Lias supérieur (70m) : correspond à des calcaires massifs noirs ferrugineux dont lesquelles sont intercalés des marnes très inclinées, buttant au Sud du Djebel Ouazzani contre les formations calcaires et dolomitiques du Dogger à la faveur de l'accident Sud Atlasique.

Il est à remarquer que des formations Liasiques affleurent aussi au Sud de Béni Ounif, à Chebket Charef et Chebket Fendi où elles sont parfois masquées par des dépôts plus récents. Leur existence en profondeur serait donc évidente et dont le prolongement serait sans doute raccordé à celles du Djebel Grouz. Les travaux de la SN repal (1951) au niveau de Chebket Charef ont montré les mêmes types de faciès décrits plus haut (fig.31).

4 – 1 – 2. Le Dogger

Le long du djebel Grouz, le Dogger se dispose en couches sensiblement horizontales, formant un ensemble calcaire remarquable au cœur d'une structure en synclinal perché, large de deux kilomètres. Il est

représenté par une succession de calcaires dolomitiques verdâtres et calcaires oolithiques à algues et polypieds et grés (fig. 31). Cette formation est présente sur le flanc Nord de Figuig où l'on assiste à un renversement de cette série sur le Crétacé inférieur gréseux. Au SW du synclinal, le dogger forme des replis anticlinaux de Chebket Charef et Chebket Fendi.

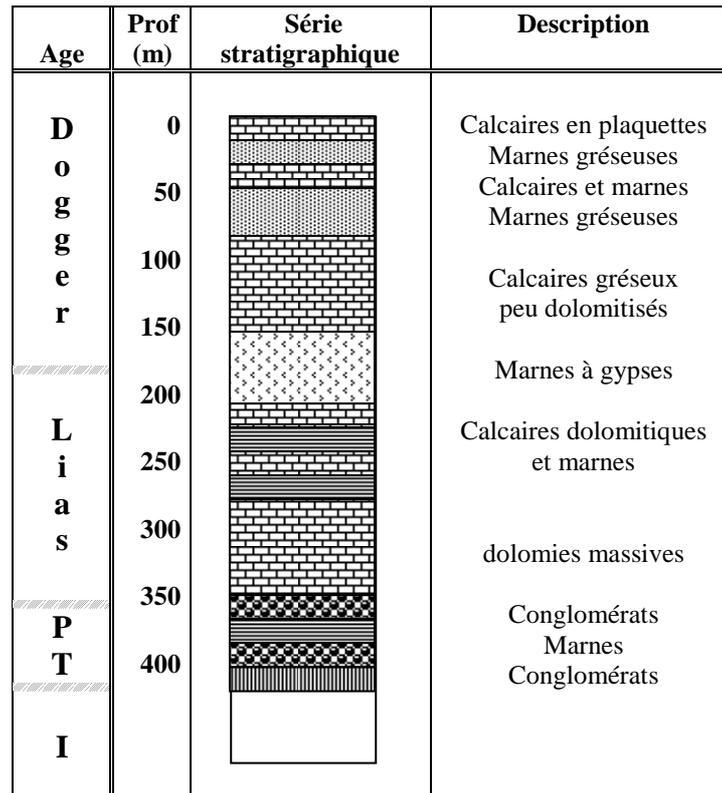


Fig. 31 – Log stratigraphique de la région de Chebket Charef

4 – 1 – 3. Jurassique supérieur-Crétacé inférieur

- Ensemble argilo-gréseux (formation de tifkirt) : formation continentale attribuée au Bajocien supérieur - base du Bathonien, reposant directement sur le Dogger.

- Grés typiquement continentaux (formation de Tiout) : ce sont des dépôts qui se développent en un large synclinal à grandes ondulations formant ainsi la plaine de Béni Ounif, comblée par des remplissages récents. La limite de ces terrains au Nord se matérialise par un renversement total de la série gréseuse sous les assises calcaréo-dolomitiques du Jurassique moyen le

long du profond accident qui borde la limite Sud du Djebel Grouz et les chaînons de Figuig. Vers l'Ouest et le Sud Ouest, ils disparaissent en biseau. A l'Est, ces grès s'enfoncent sous le Crétacé moyen (Cénomano-Turonien) qui affleure à 10 kilomètres sur la rive gauche de la large vallée de la Zousfana et se prolonge sous la Hamada puis sous le grand Erg occidental.

4 – 1 – 4. Cenomano-Turonien

A l'Est du synclinal, Chebket Tamednaïa forme une table Turonienne très étalée, à faible pendage, surplombant les dépôts du crétacé inférieur gréseux. A 30 kilomètres, vers l'Est de Béni Ounif, la corniche Cénomano-Turonienne se dispose en série renversée sous le Jurassique moyen du Djebel Kerdacha où l'on peut observer le basculement d'un anticlinal à cœur Liasique sur les marnes et calcaires crétacés. Le forage réalisé à El Aouedj Daklani, au SE de Béni Ounif a traversé la série sur 75 mètres dont 25 mètres de calcaires Turoniens.

4 – 2. Analyse structurale

Le secteur de Béni Ounif occupe une position particulière au point de vue structural. Il marque en effet, la limite orientale des formations primaires sur laquelle s'est superposée la phase Atlasique.

L'accident Sud Atlasique suit par ses failles et flexures en relais plusieurs directions différentes, depuis le Djebel Ouazzani jusqu'aux chaînons de Figuig avec une direction moyenne N 80° à N 85° E. De petits accidents SW-NE affectent le grand Melias, Zenaga et Djebel Tarhla. Au Djebel Sidi Youssef, 02 accidents approximativement orthogonaux NW-SE et NE-SW remplacent l'accident principal.

La tectonique cassante ayant joué un rôle très important, en particulier la densité de fracturation, d'extension parallèle à la direction de compression. Cette direction est d'environ N 35° N 30° E, qu'on peut voir dans les grès continentaux du synclinal de Béni ounif, les calcaires dolomitisés de Chebket Talmedaïa et la Chebket El Beïda au Sud De Djebel Kerdacha.

Au Nord, le Djebel Grouz apparaît sous forme d'un relais de synclinaux et d'anticlinaux à structure complexe ; les couches du Dogger perché, donnant de hautes falaises à pentes abruptes, replongeant à proximité de Figuig sous les grès continentaux, après un léger basculement, fossilisant dans le paysage frontalier un anticlinal déjeté à cœur Liasique.

Au SW, Chebket Charef et Chebket Fendi correspondent aux replis anticlinaux qui prolongent à l'Est par de petites structures anticlinales dissymétriques. A Djenane Tarf, le Djebel Merires à flanc SE pincé est bordé au Nord par un relais de failles orientés N 50° E.

5 – Gouttières synclinales de Djenien Bou Rezk (Planche 05)

5 – 1. Conséquence de la remontée du Trias

La principale caractéristique étant la présence d'affleurements Triasique (sédimentation silico-clastique associée à des volcanites basiques), apparaissant en boutonnière au sein de la dépression de Djenien Bou rezk. Cette structure a permis la mise en place de 02 cuvettes synclinales (planche 05).

5 – 1 – 1. Synclinal de Hadjerat M'guil

Occupe tout le haut bassin versant de l'oued Dermal et constitue un synclinal tranquille affectant le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur. Il est bordé sur son revers Sud par la grande faille du Djebel Bou Amoud et à l'Est par la faille injectée du Trias du Djebel Zerga, qui le sépare de la cuvette synclinale de Djenien El Oglat.

5 – 1 – 2. Synclinal de Djenien El Oglat

Constitue une structure synclinale typique des monts des Ksour, à fond plat, affectant le crétacé inférieur et l'Albien et bordé par des rides Jurassiques. Vers le SW, il se termine en coin entre les failles du Djebel Bou Amoud et du Djebel Zerga. Vers le NE, il subit une dichotomie par suite de l'avancée du brachi anticlinal de Guetob El Moghrar.

PLANCHE 05

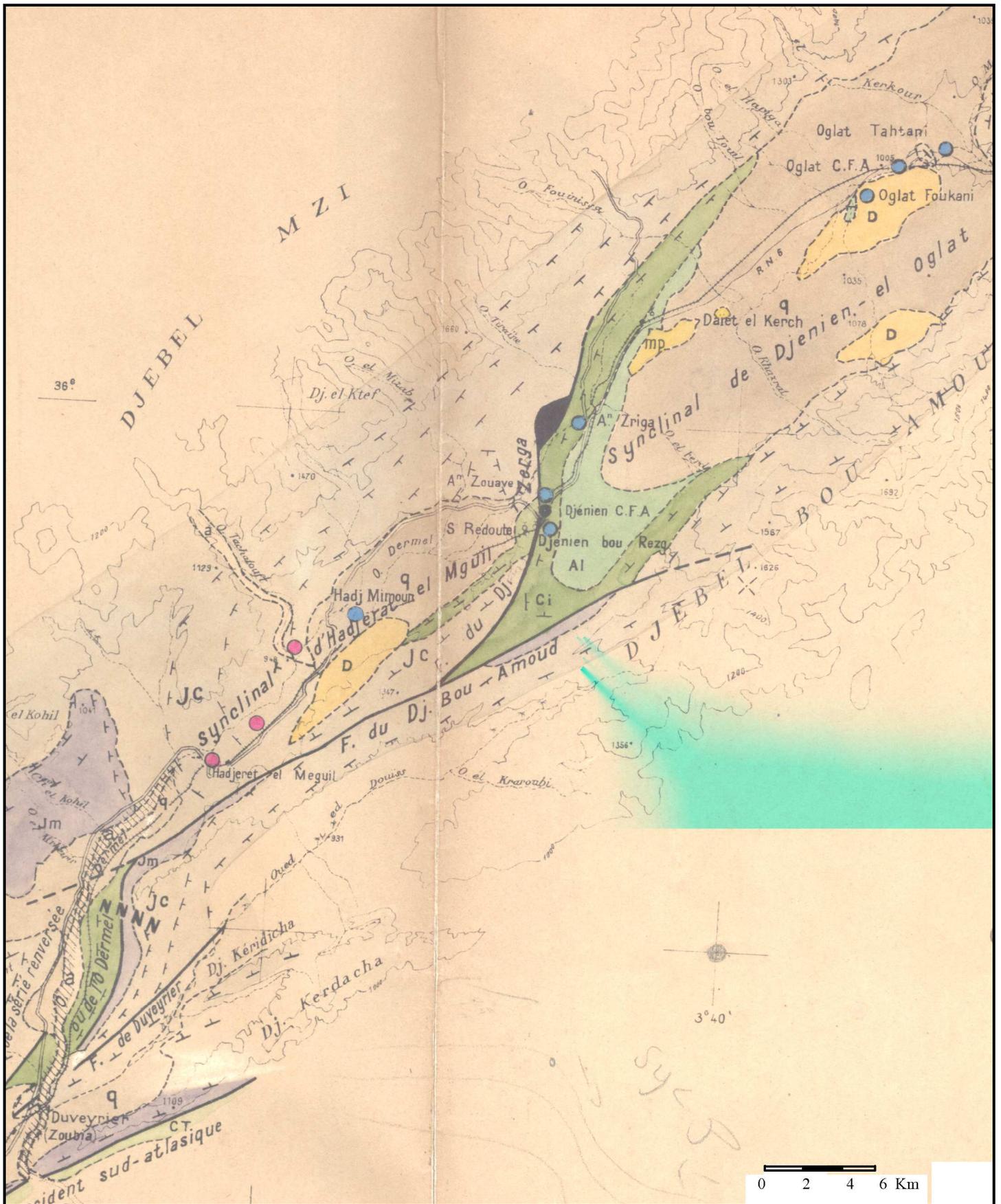


Planche O5 - Carte géologique des gouttières synclinales de Djenien Bourezk

5 – 2. La série stratigraphique

5 – 2 – 1. Le Trias

L’affleurement de Djenien Bou Rezk est une étendue de l’ordre de 04 Km de longueur et de 1.5 Km de largeur, caractérisé par une morphologie ellipsoïdale orientée NE-SW, offrant ainsi une boutonnière qui apparaît au NE du repli anticlinal d’Aïn Zouïa et au niveau du flanc NW du synclinal de Djenien Bou Rezk. Il est en contact anormal avec les séries du crétacé inférieur (fig. 32). C’est une unité volcano-sédimentaire détritique et une autre sédimentaire carbonatée. Il s’agit d’une succession comparable à celle que l’on trouve dans les Monts des Ksour, avec cependant absence de sel à l’affleurement. L’affleurement est affecté par des failles N 10°, E-W et NE-SW, matérialisant des broyages, des rejets ou des effondrements.

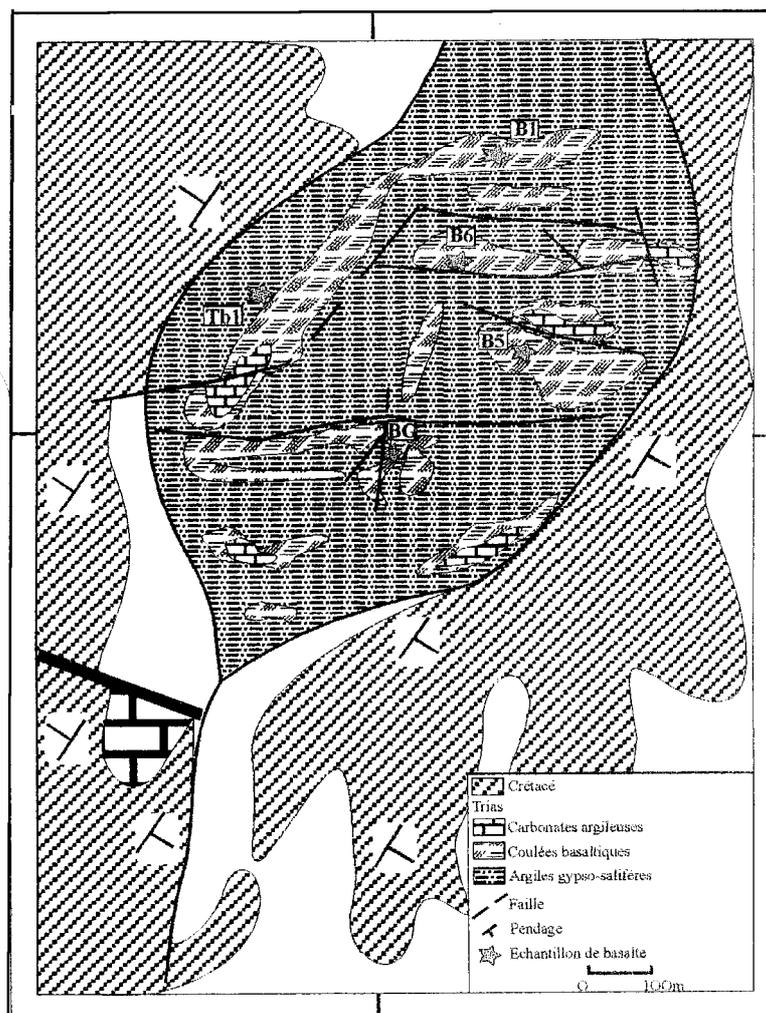


Fig. 32 – Carte géologique de l’affleurement Triasique de Djenien (A. Meddah, 2003)

6 – Synclinal D’El Kheloua – Arbaouet (fig. 34)

La structure synclinale, formée principalement par les terrains d’âge Crétacé montre 02 directions, NW-SE dans la partie occidentale et NE-SW dans la partie orientale (fig. 34). L’axe du synclinal passe au Sud de la butte témoin d’El Kheloua, située à l’intersection de la route nationale qui va à Béchar avec celle secondaire qui mène à El Abiodh Sidi Cheikh.

La terminaison péri synclinale SE est située au niveau d’Ouled Mourad et Hadjeret Bellal. Plus au Nord, une deuxième structure anticlinale Jurassique vient border le synclinal d’El Kheloua-Arbaouet. Il s’agit en effet d’un anticlinal de direction NE-SW qui prend naissance au SW de la ville de Chellala Dahrania, passe au niveau du village de Dheriem, continue par Djebel Gharbi et Djebel Oustani, pour se fermer à Djebel Chergui (terminaison péri anticlinale NE).

6 – 1. Unités lithostratigraphiques (fig. 35a et 35b)

Les coupes levées à Djebel Gharbi et Djebel Chergui permettent une subdivision des assises rencontrées en 04 formations lithostratigraphiques qui correspondent au découpage établi en 1974 par J.P. Bassoulet.

6 – 1 – 1. Jurassique supérieur : formation de Aïssa

Représenté par des grès prédominants en chenaux à inter lits argileux. La limite inférieure est située à la disparition des bancs dolomitiques de la formation de Djara ; la limite supérieure est marquée par l’apparition d’une sédimentation à prédominance argileuse avec des intercalations de lits dolomitiques.

Les coupes de Djebel Chergui et djebel Gharbi ont donné des épaisseurs respectives de 200 mètres et 120 mètres. Ce sont des grès moyens à grossiers, se présentant en chenaux à stratifications obliques, contiennent des niveaux à galets mous et fragments de dolomies. Les intercalations d’argile moins importantes que les grès, de couleur verdâtre sont caractérisées par une épaisseur métrique.

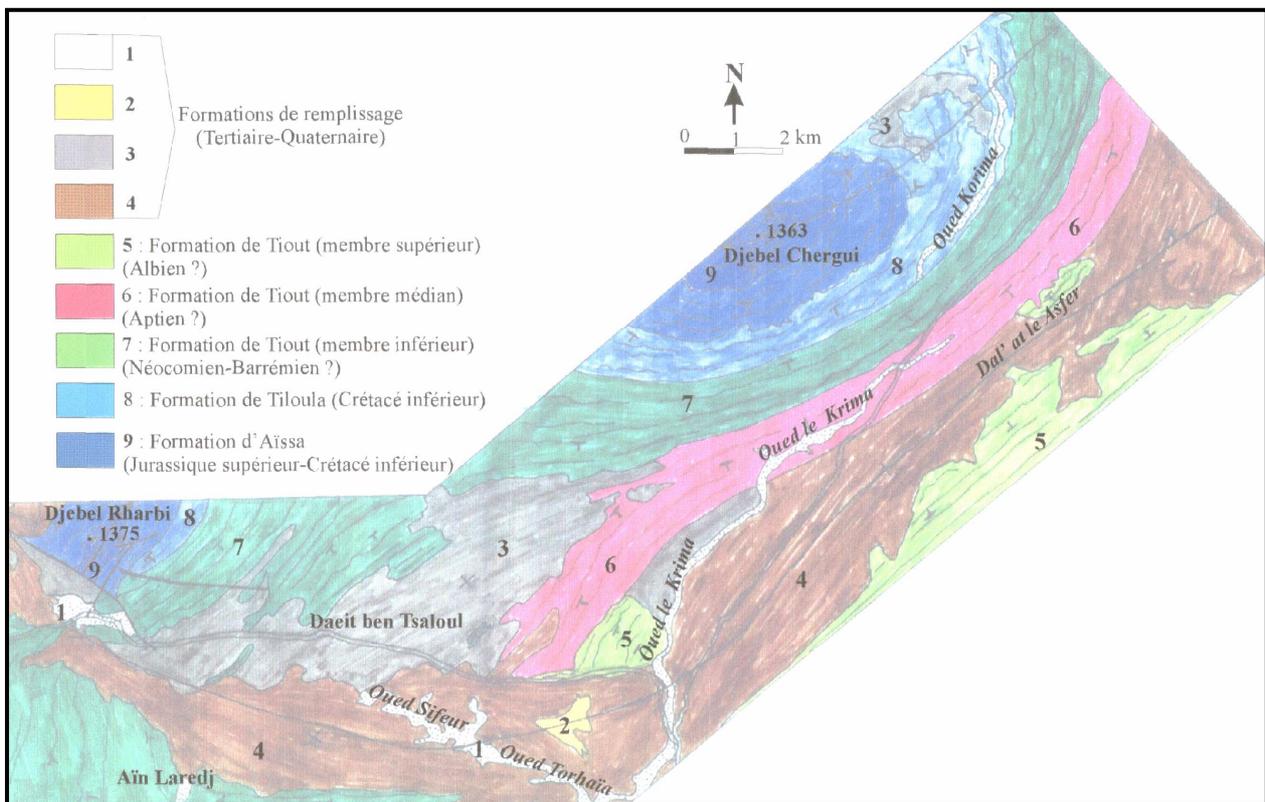


Fig. 34 – Carte géologique du synclinal El Kheloua-Arbaouet (Mansour et Regagba, 2003)

6 – 1 – 2. Jurassico-Crétacé : Formation de Tiloula (fig. 35a et 35b)

Représenté par une alternance de marnes et argilites pélitiques, de grés et de dolomies sub-lithographiques ou vacuolaire. La limite inférieure est placée avec l'apparition des premiers niveaux dolomitiques. La limite supérieure est marquée par l'apparition de gros bancs de grés à dragées.

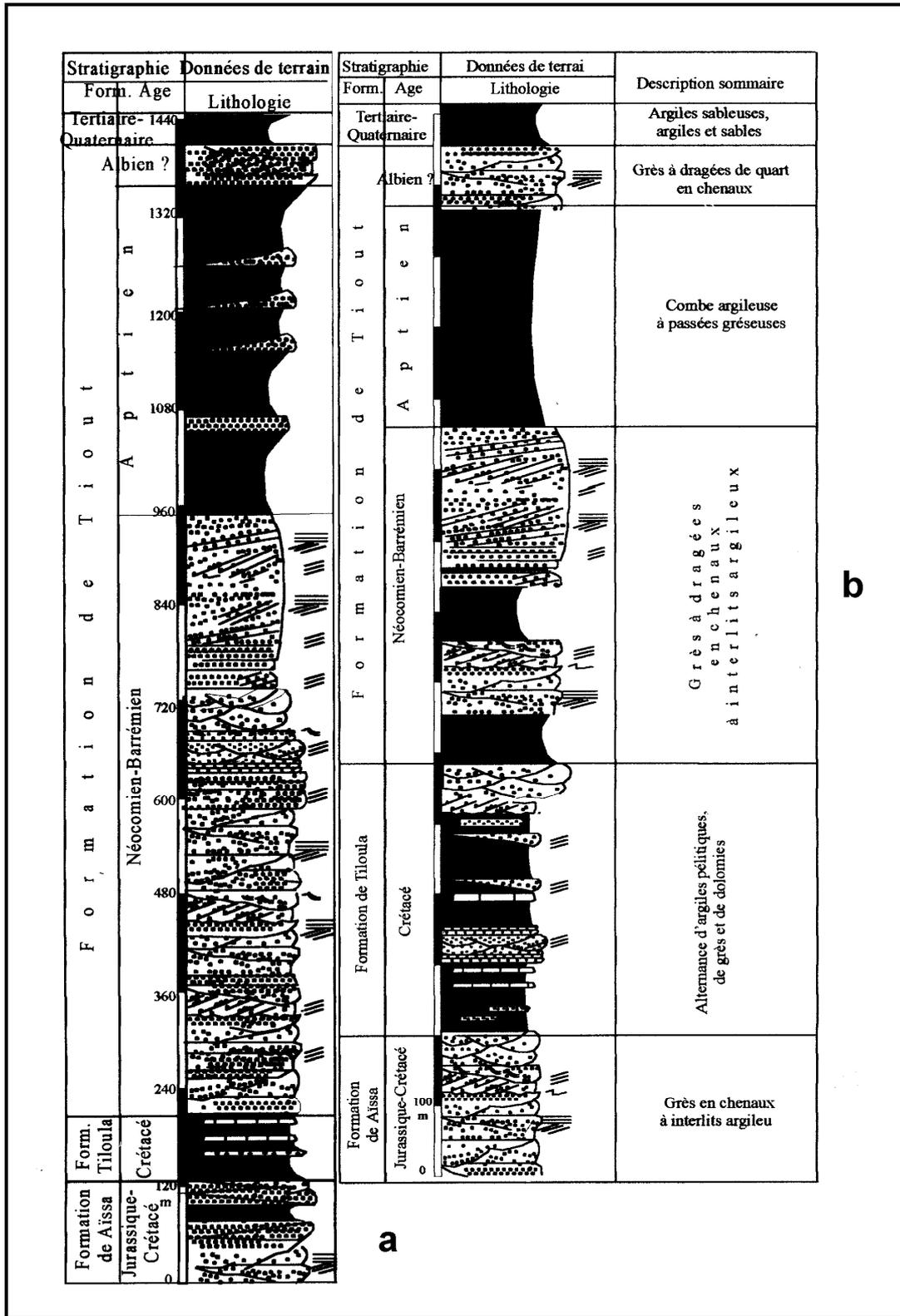


Fig. 35 – Succession lithologique du Djebel Gharbi (a) et Djebel chergui (b) (Mansour et Regagba, 2003)

Dans la coupe du Djebel Chergui, cette formation est représentée par une combe bien visible dans la topographie, constituée dans sa grande totalité (300 m) par des argiles verdâtres gypseuses, admettant le passage de niveaux gréseux décimétriques à métriques. La coupe du Djebel Gharbi présente une épaisseur d'une centaine de mètres, toujours d'argiles verdâtres, admettant quelques niveaux gréseux et dolomitiques.

6 – 1 – 3. Crétacé inférieur : formation de Tiout. (fig. 35a et 35b)

Ce sont des grès roses à passées de dragées de quartz, d'argilites et de sables. Les coupes levées au Djebel Chergui et Djebel Gharbi recoupent 03 membres avec une épaisseur totale qui varie entre 950 et 1200 mètres :

- Membre inférieur : grès en bancs chenalisés, parfois à dragées de quartz de grande taille. Ce membre dont l'épaisseur varie entre 400 m et 750 m est attribué à la limite Néocomien-Barrémien.
- Membre médian : argiles à passées gréseuses (300 m à 400 m), attribué à l'Aptien.
- Membre supérieur : barres de grès à dragées de quartz ou chenaux à stratifications obliques, attribué à l'Albien (80 m à 100 m).

6 – 1 – 4. Terrains post Turoniens : formations de remplissage

Ce sont des argiles rougeâtres (100 m à 120 m). Quand la série est complète, on distingue une partie détritique (argile sableuse) dont les couches sont fortement redressées en même temps que le Turonien. La partie supérieure toujours détritique sub-horizontale en position de discordance cartographique sur les couches précédentes. Souvent une croûte calcaire recouvre cette formation détritique. Notons que la formation Cénomano-Turonienne est absente.

6 – 2. Structure du synclinal d'EL Kheloua-Arbaouet.

La structure générale du synclinal est régie par une tectonique souple et cassante où les failles transversales jouent un rôle très important, notamment celle de direction N-S qui passe entre Djebel Oustani et Djebel Chergui au Nord et Besseba et Bou Mokta au Sud. Cette faille dextre est très

ressentie dans les formations Jurassiques dures et se manifeste par un décalage des structures, alors qu'elle est moindre dans celles Crétacées, plus tendres et plastiques, qui se sont plissées sans être fracturées.

Une autre conséquence de cette faille et notamment de sa dynamique (dextre) est que la structure synclinale est plus large dans sa partie occidentale que dans la partie orientale. On note également 02 autres directions longitudinales de failles au niveau de Djebel Gharbi de direction NE-SW et E-W.

Les atterrissements quaternaires reposent en discordance angulaire sur les formations Jurassiques et Crétacés.

7 – Synclinal de Labiod Sidi Cheikh

Il correspond à un vaste synclinal d'orientation Atlasique NE-SW, s'ouvrant au Sud sur le plateau Saharien du Grand erg occidental. Il représente ainsi le dernier synclinal de la partie méridio-orientale des monts des Ksour.

7 – 1. Lithostratigraphie

7 – 1 – 1. Crétacé inférieur : formation du Continental Intercalaire

Il s'agit de la série monotone des grès à quelques passages marneux, très fissurés ayant généralement une direction dominante N 50°W.

Les coupes réalisées au niveau de Djebel Tismert et de Kheneg Tafarahit (fig. 36) représentent des niveaux fréquemment sableux.

A El Abiodh Sidi Cheikh, les grès continentaux ont une épaisseur totale comprise entre 850 mètres et 1500 mètres dans les affleurements de la dorsale d'El Rhelida et de Kheneg Tafarahit.

Au NW du synclinal, au niveau du Djebel Somm, elle atteint 2300 mètres, au Nord d'El Abiodh Sidi Cheikh, sur la route d'El Bayadh atteint 1300 mètres et vers le SW du Djebel Tismert, on retrouve une épaisseur comprise entre 800 mètres et 900 mètres.

7 – 1 - 2. Cénomaniens inférieurs : formation d'El M'daouar (fig. 36)

Les affleurements de cette formation constituent la base des deux flancs du synclinal du Djebel Rhelida, Msegmet Sidi Cheikh et djebel Tismert au SSW. Le début de cette formation est matérialisé par une alternance de marnes et de calcaire micritique. Au sommet, des marnes vertes, lie de vin ou blanchâtres sont intercalées entre des bancs de gypses massifs. L'épaisseur de cette formation dépasse 200 mètres.

7 – 1 – 3. Cénomano – Turonien : formation d'El Khoundjaïa (fig. 36)

- Membre inférieur calcaire formant une barre.
- Membre intermédiaire marneux, présentant une combe.
- Membre supérieur calcaire constituant une véritable muraille.

Cette formation s'enfonce sous le remplissage tertiaire avec une pente très douce.

7 – 1 – 4. Tertiaire continental

Par analogie de faciès, on peut attribuer la base du Tertiaire continental, représenté par les grès et les conglomérats aux membres détritiques de la formation d'El Kohol et les couches rouges de grès et d'argiles correspondant à la formation du Gour alors que la carapace calcaire forme le sommet de la formation des Hamadas.

Le forage d'El Abiodh Sidi Cheikh réalisé en 1969 a révélé une épaisseur totale de 327 mètres pour les dépôts Tertiaires.

7 – 1 – 5. Quaternaire

- Alluvions anciennes : ce sont des dépôts non fluviatiles, tufacés, localisés pratiquement sur les étendues plates.
- Alluvions récentes : ce sont des dépôts de sables épais, jalonnant les lits d'oueds (oued El Abiodh, oued Djeraf, oued Tafarahit) et les affluents des chenaux de Djebel Tismert ainsi que les fonds des Dayas (Dayas Mechaggine et Oum Djerfane).
- Alluvions éoliennes : elles sont représentées par des dunes comme celles de l'oued Djeraf et celles de Nebka Ntsifa.

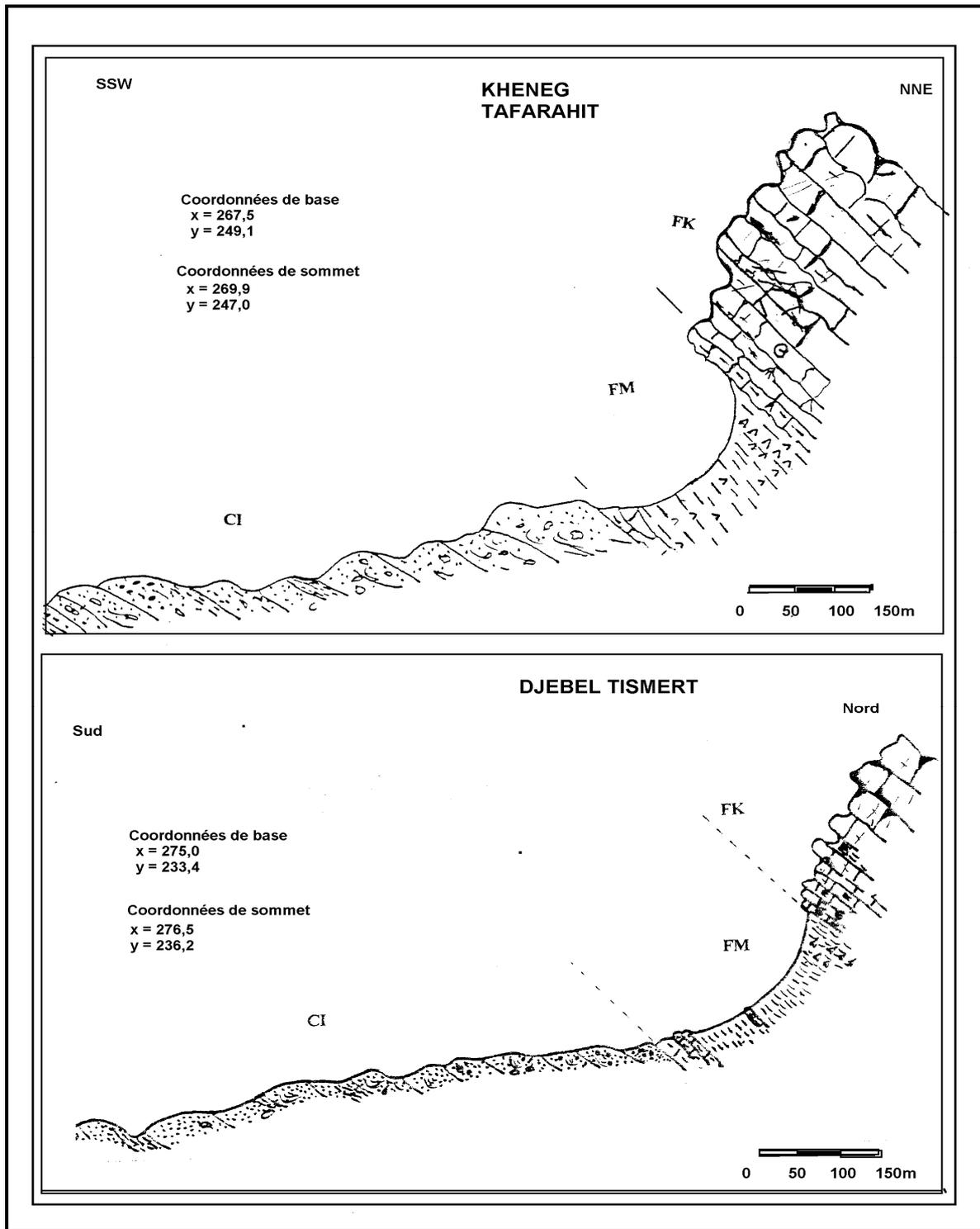


Fig. 36 – Coupes du Continental intercalaire et du Cénomano-Turonien (Djebel Tismert et Kheneg Tafarahit)

- | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  FK |  FM |  CI |
| FORMATION DE KHOUNDJAÏA
Calcaires durs à la base et fissuré dans
La partie supérieure | FORMATION DE M'DAOUER
Marnes à intercalations de gypse
au sommet | FORMATION DE TIOUT
Grés rouges à dragées de quartz |

7 – 2. Structure du synclinal

Le synclinal de Labiodh Sidi Cheikh occupe une position particulière marquée par le prolongement des couches Atlasiques les plus récentes (du Barrémien au Turonien) sous les atterrissements Sahariens par l'intermédiaire d'une flexure brutale, accompagnée le plus souvent d'accidents secondaires.

Il faut noter en général que la continuité des axes est bien marquée et la structure des plis est plus simple. En effet, le flanc Nord du synclinal (Djebel Msegmet Sidi Cheikh) représente le dernier relais de la direction anticlinale SW-NE du Djebel Somm. Ce dernier représente un anticlinal profondément entaillé, caractérisé par un jeu de failles importantes selon plusieurs directions (E-W, N-S) et dont la plus dominante orientée NE-SW, interrompt la continuité des plis.

La formation de Khoundjaïa formant le sommet de Msegmet Sidi Cheikh dessine une corniche calcaire légèrement inclinée vers le SE (40° à la base et 8° au sommet), s'enfonce sous le recouvrement Tertiaire.

Au Nord de Labiodh Sidi Cheikh, cette corniche est bien visible sous forme d'une haute falaise abrupte donnant ainsi vers le SSW la dorsale d'El Rhelida.

Vers la terminaison périclinale SSW (Chebket Brizina), de gros bancs de gypses sont injectés vers les charnières des plis, souvent faillés, coffrés ou perchés, rappelant le style Atlasique.

III - TECTONIQUE

1 – Alignements morpho-tectoniques

Situé à l'emplacement d'un ancien sillon subsident, la chaîne Atlasique de direction générale Sud Ouest – Nord Est, présente un style plus cassant à l'Ouest et plus souple à l'Est. Cette particularité s'explique par le dépôt de l'énorme série gréseuse Jurassico-Crétacée à l'Ouest admettant moins facilement les déformations souples.

Au cours du Tertiaire, cette série a été soumise à un plissement intense suivi d'autres rejeux postérieurs dont l'âge reste encore à préciser.

Le style Atlasique se reconnaît par la discontinuité des anticlinaux. Des diapirs Triasiques associés à des failles inverses longitudinales ou à des chevauchements apparaissent généralement au cœur des plis (Djebels Djara, Djebel Mehirise, Aïn Ouarka, Djenien Bou Rezk).

Les Monts des Ksour représentent le tronçon occidental de l'Atlas Saharien, se subdivisant en une zone pré Atlasique à structure peu marquée et à faible relief topographique et une zone Atlasique (ss), fortement plissée. Ces monts sont limités au Sud par la flexure de l'accident orienté NE – SW.

Kazi Tani (1986), en considérant le schéma structural de l'Atlas proposa 02 subdivisions : l'une longitudinale NE - SW, représentée par le pré Atlas et l'Atlas sens strict, l'autre transversale N-S, caractérisée par un compartiment méridional SW où dominant les affleurements Jurassiques et un compartiment septentrional NE, plutôt ouvert dans le Crétacé.

2 – Etude quantitative de la fracturation

A partir de la photogéologie, regroupant les neuf coupures, réalisées par D. Galmier (1971 – 1974), nous avons dégagé une vue d'ensemble sur les grandes lignes structurales, basée particulièrement sur la

densité du réseau de fracturation et la continuité des accidents tectoniques cassants (fig. 37).

2 – 1. Densité de la fracturation.

- très forte fracturation à l'Est de l'accident Nord Atlasique et à l'Ouest de la ligne N-S joignant Sfissifa à Duveyrier. La densité diminue très rapidement au Nord de Sfissifa et sur le plateau situé entre la chaîne du Djebel Guettaï et Djebel Gharnoug. L'accident Sud Atlasique limite également cette densité.

- Forte fracturation dans une zone montagneuse située entre la ligne Duveyrier-Ich- Sfissifa-Bou Amoud à l'Ouest et la ligne suivant approximativement la vallée de l'oued Namous à l'Est, jalonnée par le Djebel Afzouz et le Djebel Talbouna, la structure de Mehirize et le seuil de Moghrar Tahtania particulièrement fracturé.

- Style Atlasique classique plus à l'Est ; la densité de fracturation devient plus faible et ce sont les phénomènes de coulissage qui deviennent les plus importants.

Nous pouvons dire à travers l'analyse de la densité de fracturation que les monts des Ksour se subdivisent en 03 zones principales d'Ouest en Est : la première à l'Ouest plus fracturée, la seconde étant d'un type intermédiaire avec des petits noyaux rigides (Djebel Mekhter), le troisième répondant au style classique de l'Atlas Saharien.

2 – 2. Longueur et continuités des accidents tectoniques cassants.

Les accidents continus sur une grande longueur apparaissent sur le flanc NW des monts des Ksour, à l'intérieur de la chaîne et dans la zone des relais Sud Atlasiques. Parmi les plus remarquables, nous citerons :

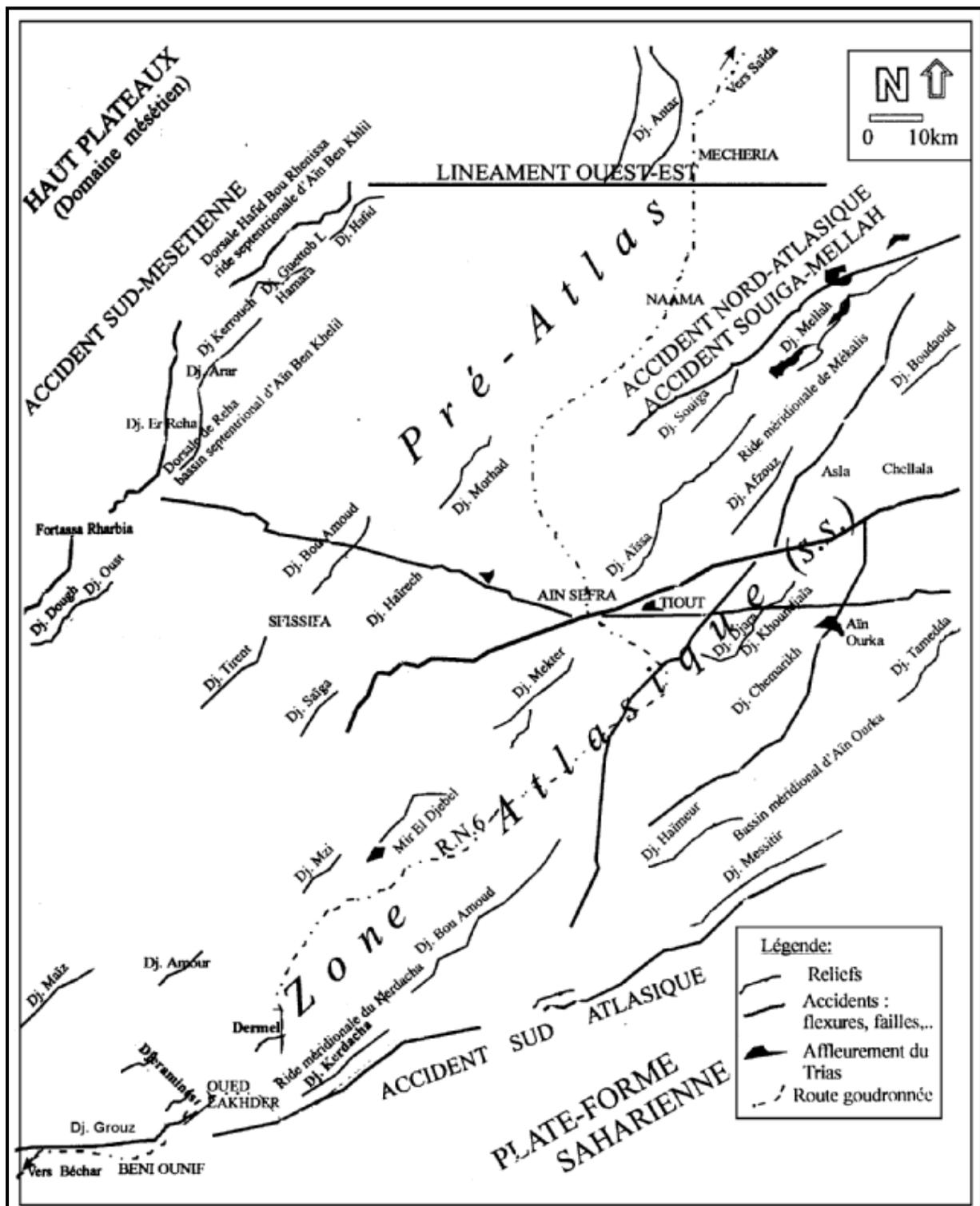


Fig. 37 - Réseau de fracturation et continuité des accidents tectoniques cassants
(Yelles Chaouche et al, 2001)

- Accident Nord Atlasique :

Sans discontinuité depuis le Djebel Dough jusqu'au Djebel Guettaï sur 54 km. Il s'agit d'une faille inverse à pendage 70° SE, qui se redresse vers Forthassa. Cet accident se poursuit avec des directions variées, par le flanc Ouest du Djebel Antar de Mechria et du Djebel Amrag.

- Accidents cassants de la zone occidentale :

- Faille de Sfissifa $N70^\circ$ sur 24 km jusqu'à l'oued Bel Brahmi.
- Faille de Ras Ould Maâmar depuis le Sud de Rhar El Gharnoug jusqu'à Ghar el Ahmar sur 18 km.
- Accident de Djebel Talhemt $N35^\circ$ long de 10 km jusqu'à En Nefouila.
- Faille du Zerga de Sfissifa $N70^\circ$ W sur 4 km.
- Les failles $N30^\circ$ W, parfois discontinues sur 7 à 8 km, telles la faille Sfissifa NW et celle d'Oulakak.

- Principaux accidents de la zone centrale entre la ligne de Sfissifa-Duveyrier et la coupure de l'oued Namous. Parmi les plus importants, nous citerons :

- Accident $N40^\circ$ E qui longe le flanc Sud Du Djebel Hairech et vient se coincer contre l'accident N-S d'El Hendjir (13 km).
- Failles d'hadjeret El M'guil et de Keridicha ($N60^\circ$ E), affectant l'axe Duveyrier-Djenien Bou Rezk le long de la RN 6.
- Djebel Moghrar ($N10^\circ$ à $N20^\circ$ W) et djebel Mekhter ($N80^\circ$ W) avec notamment Teniet El Djebila (8 km), faille Tiout-El Hadjadj (10 km), faille axiale Tiout Sud (6 km), accident de la région Tiourtelt ($N30^\circ$ E à $N40^\circ$ E). Dans la région de Tirkount, plusieurs accidents $N70^\circ$ E, en partie recouverts par les atterrissements Plio-quadernaires.

- Zone orientale des Monts des Ksour : à l'Est de la grande coupure de l'oued Namous, des accidents restent visibles. Parmi les plus importants, nous citerons :

- Faille d'Asla qui peut constituer l'un des relais de la grande limite de l'oued Namous.
- Faille du djebel Oustani N 50° E sur 7 km.
- Charnière d'Aïn Ouaka : faille d'Aïn Ouarka E-W sur 13 km, accidents N55° N70° E au SW du Djebel Bou Lerhafad sur 8 km et faille axiale N20° E du Djebel Chemarikh.

- Bande Sud Atlasique : le secteur de Béni Ounif marque la limite occidentale des formations primaires Africaines, localement plissées par l'orogénèse hercynienne. L'accident Sud Atlasique au Sud de Figuig orienté E - W se suit depuis le Sud du Djebel Ouazzani jusqu'à la pointe SW du Djermane Tahtani.

3 – Accident Sud Atlasique

3 – 1. Evolution morpho-tectonique (fig. 38)

Après les premières phases de distension et d'ouverture au Trias, l'Atlas Saharien a connu pendant le Lias et le Dogger (Bajocien inférieur) une grande transgression marine. Il se développe d'abord une plate forme carbonatée qui est soumise ensuite à un régime de mer ouverte qui va peu à peu de différencier en un bassin de sédimentation pélagique.

Au Bajocien supérieur la région subit un événement majeur où s'amorce une phase de comblement. Ce sont d'abord les premières arrivées du matériel gréseux ; ensuite, on assiste à une sédimentation fluvio-deltaïque qui dure jusqu'au crétacé inférieur avec surtout les dépôts de Tiloula et de Tiout. Cette sédimentation détritique prend fin d'une façon assez brutale avec la transgression mondiale Crétacé, représentée dans la région par une série marine peu épaisse mais très étendue Cénomano-Turonienne.

L'exondation définitive de la plate forme se fait dans la région au Turonien inférieur. Cette immersion est la conséquence du comblement du bassin par un taux d'apport sédimentaire qui dépassait largement la subsidence (fig.38a).

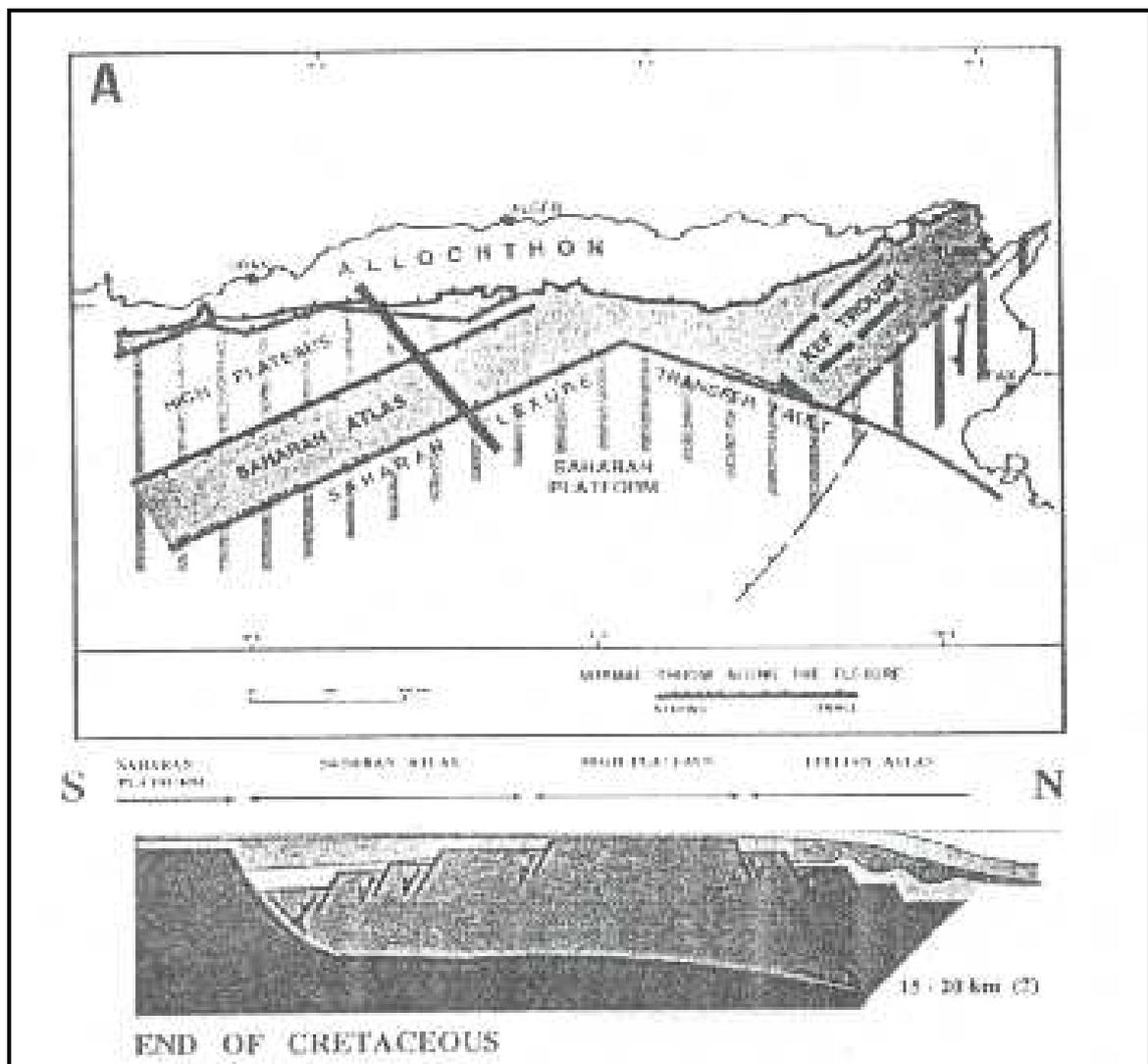


Fig. 38 a – Schéma tectonique (extension) de l'Atlas Saharien du Trias au Crétacé

(Letouzey, 1992)

Ces 03 méga séquences qui s'intègrent dans 02 grands cycles sédimentaires, sont soumises dès l'Eocène à des phases orogéniques (orogénèse alpine), qui ont conduit à la genèse des chaînes de montagnes Atlasiques actuelles. Le résultat de ces manifestations est représenté par les formations de

remplissage Tertiaire et Quaternaire, qui occupent les dépressions et reposent en discordance angulaire sur la couverture Mésozoïque (fig.38 b).

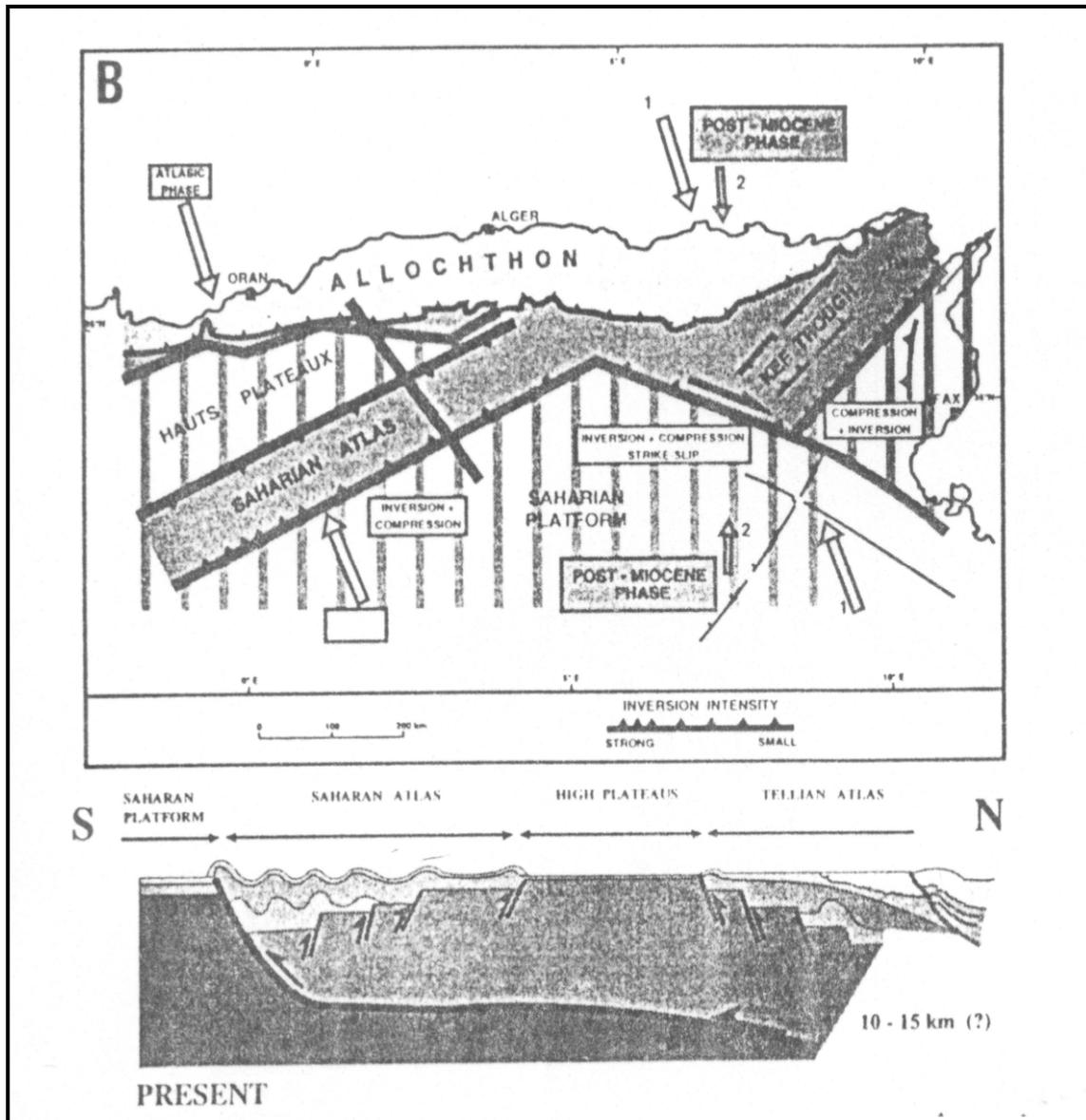


Fig. 38 b – Schéma tectonique (compression) de l'Atlas Saharien du Tertiaire au présent

(Letouzey, 1992)

Notons enfin qu'un basculement général d'Ouest en Est a provoqué une érosion très active des domaines occidentaux ; les terrains Liasiques

affleurent dans les Ksour alors que dans le djebel Amour, seules les séries du Jurassique supérieur sont mises à jour.

3 – 2. L'inversion tectonique de l'accident Sud Atlasique

3 – 2 – 1. Echelle régionale

La limite séparant l'Atlas Saharien de la plate forme est marquée avec beaucoup plus de précision par une série d'accidents en coulisse qui se présentent en forme de flexure, de plis failles ou de failles dont l'ensemble constitue la flexure Saharienne (Fig. 39 a).

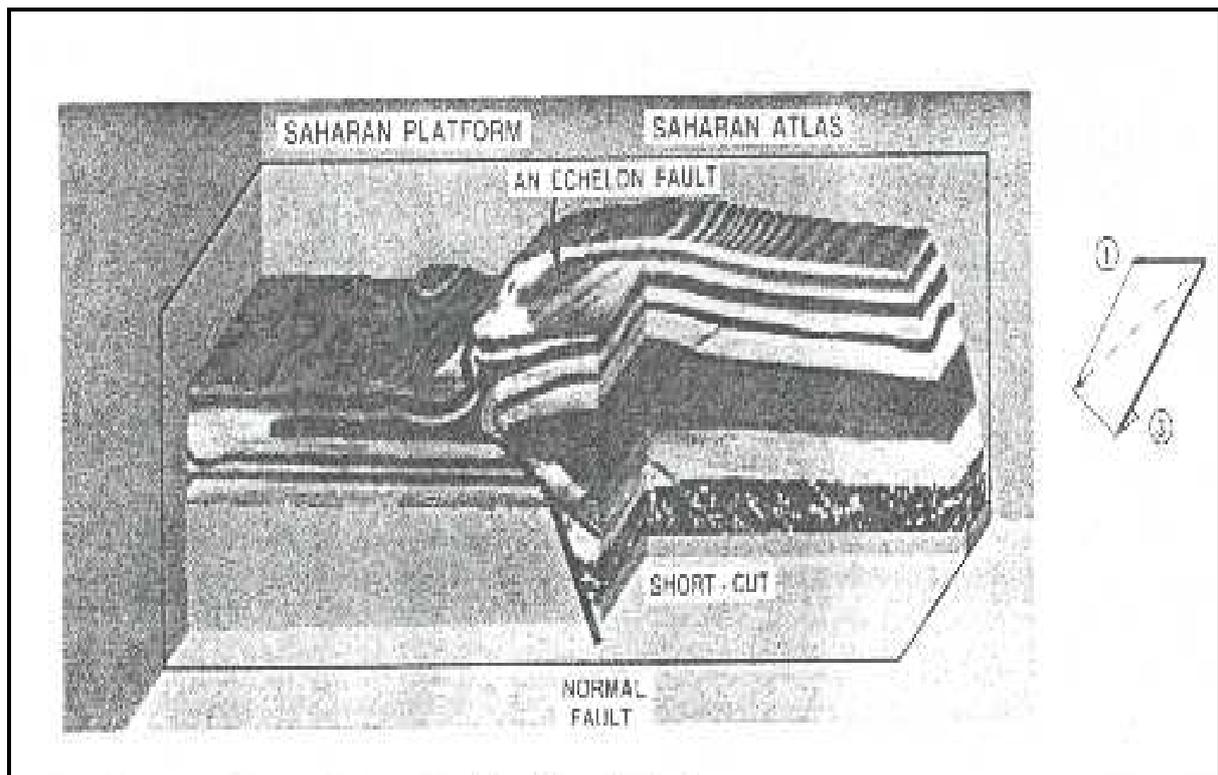


Fig.39 a – Diagramme représentant un modèle expérimental d'une faille de chevauchement décrochante Sud Atlasique (Letouzey, 1992)

Une meilleure compréhension de l'inversion tectonique est obtenue grâce à la sismique par l'imagerie des failles réactivées. L'architecture des structures compressives dépend en partie du pendage des failles normales

préexistantes et sur leur azimuth en relation avec les paléocontraintes durant la compression (fig. 39 b).

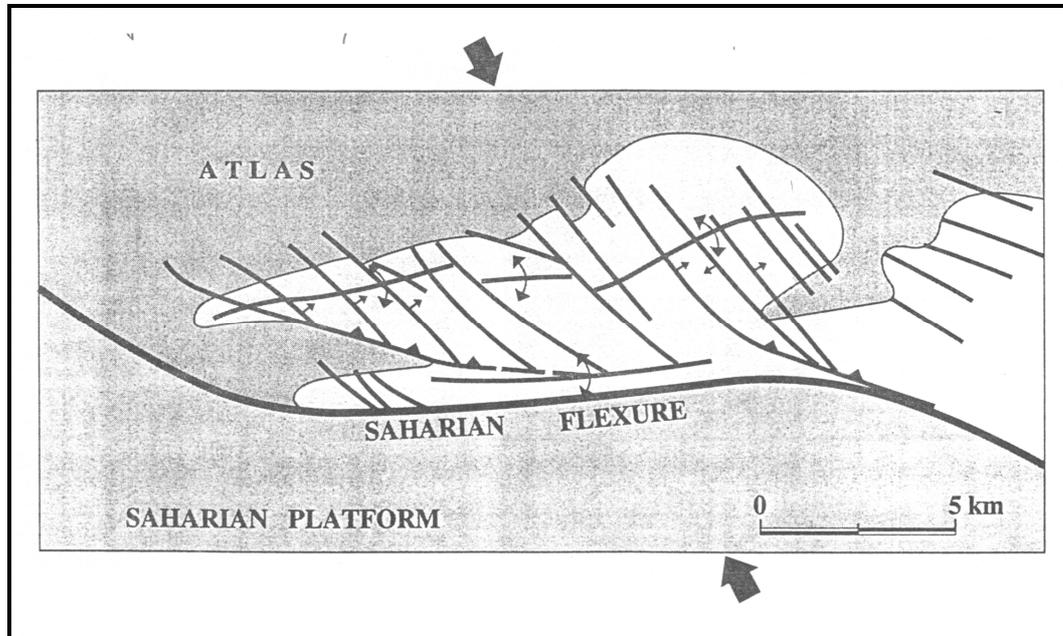


Fig.39 b – Faille décrochante et fracturations associées avec des plis en échelons (Letouzey, 1992)

3 – 2 – 2. Les sites représentatifs

La flexure Sud Atlasique a pu être illustrée à partir de coupes géologiques levées sur 03 sites représentatifs.

- Oued Lakhdar (Djebel Kerdacha) fig. 40

La région de djebel Kerdacha montre une structure anticlinale en genou, parfois en pli faillé déversé vers le Sud de Djebel Kerdacha. Le cœur de l'anticlinal se montre de plus en plus ancien en direction du NE du Djebel, en parallèle avec l'élévation de l'altitude. A ce niveau, les terrains Crétacé sont à pendage inversés, dessinant une structure synclinale à flancs renversés.

On y repère la barre Cénomano-Turonienne qui affleure d'une façon ininterrompue parallèlement au Djebel Kerdacha. Les affleurements des

argiles rougeâtres microconglomératiques gypsifères et de grès blanchâtres du Crétacé inférieur et du Cénomaniens sont limités surtout sur le flanc NE de Kerdacha où le cœur Liasique plus ancien affleure. La structure anticlinale fait ressortir plusieurs replissements secondaires de directions diverses.

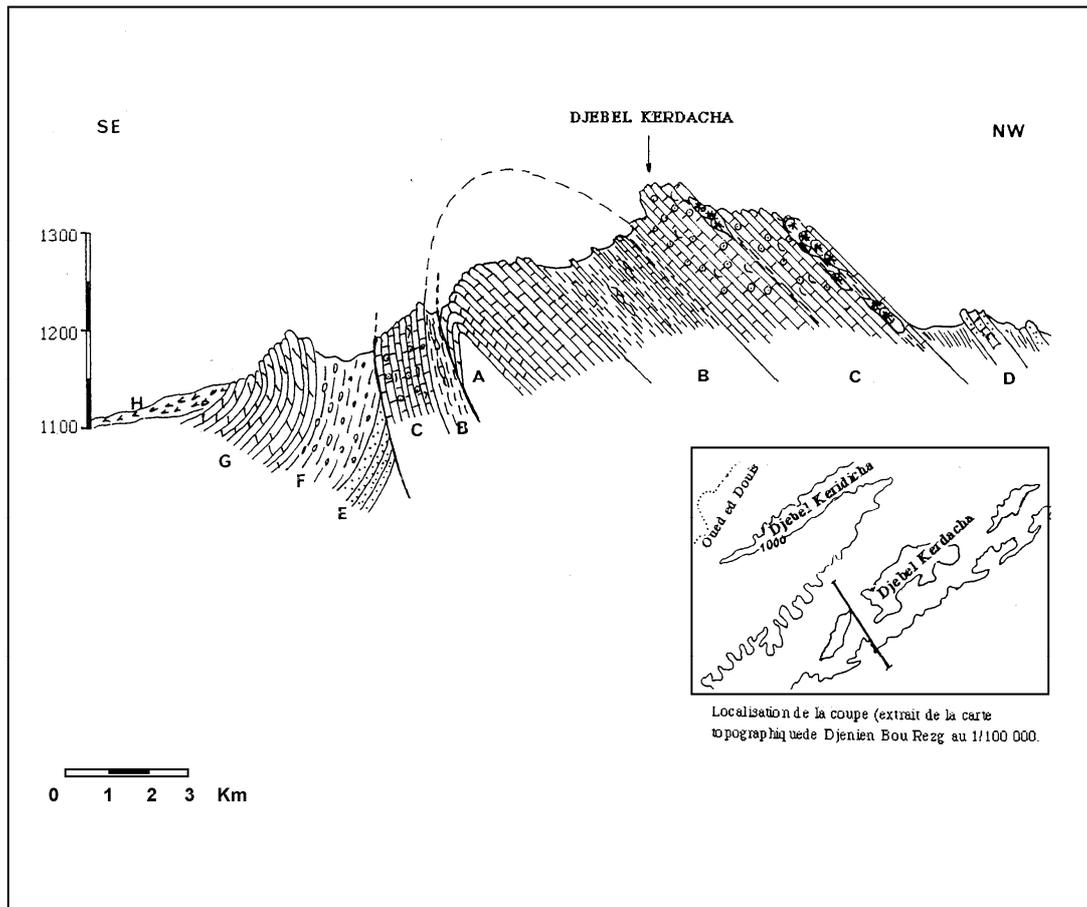


Fig. 40 – La flexure Sud Atlasique affectant le chaînon de Kerdacha

A : Calcaires lités noirs (Lias moyen), **B** : Marno-calcaires (Lias supérieur), **C** : Calcaire de la formation de Kerdacha (Bojocien), **D** : ensemble argilo-gréseux de la formation de Tifkirt (Bajo-Bathonien), **E** : Grés de la formation de Tiout (Crétacé inférieur), **F** : Argiles gypsifères (Cénomaniens inférieur), **G** : Calcaires dolomitiques de la formation de Khoundjaïa (Cénomano-Tutonien), **H** : Eboulis récents.

- Région Béni Ounif – Figuig (Djebel Grouz) fig. 41

Le secteur de Béni Ounif occupe une position structurale particulière. A l'Ouest de Figuig, la flexure se subdivise en 02 grandes failles :

- la faille du djebel Grouz au Maroc au Nord ;
- la faille de Djebel Antar et Arrid au Sud ;

Le Lias supérieur (Toarcien et Aalénien) correspond à 70 mètres de calcaires massifs moins ferrugineux à faune importante. Les couches sont très inclinées butant au Sud du Djebel Ouazzani contre les couches dolomitiques du dogger à la faveur de l'accident Sud Atlasique.

Le dogger se dispose en couches sensiblement horizontales, formant un ensemble calcaire remarquable au cœur d'une structure en position de synclinal perché, formant des falaises abruptes le long de la faille Sud Atlasique.

Le dogger est représenté par une succession de calcaire dolomitique et calcaire à algues et polypiers, présent sur le flanc Nord des petites collines de Figuig où l'on assiste à un renversement de cette série sur le Crétacé inférieur gréseux.

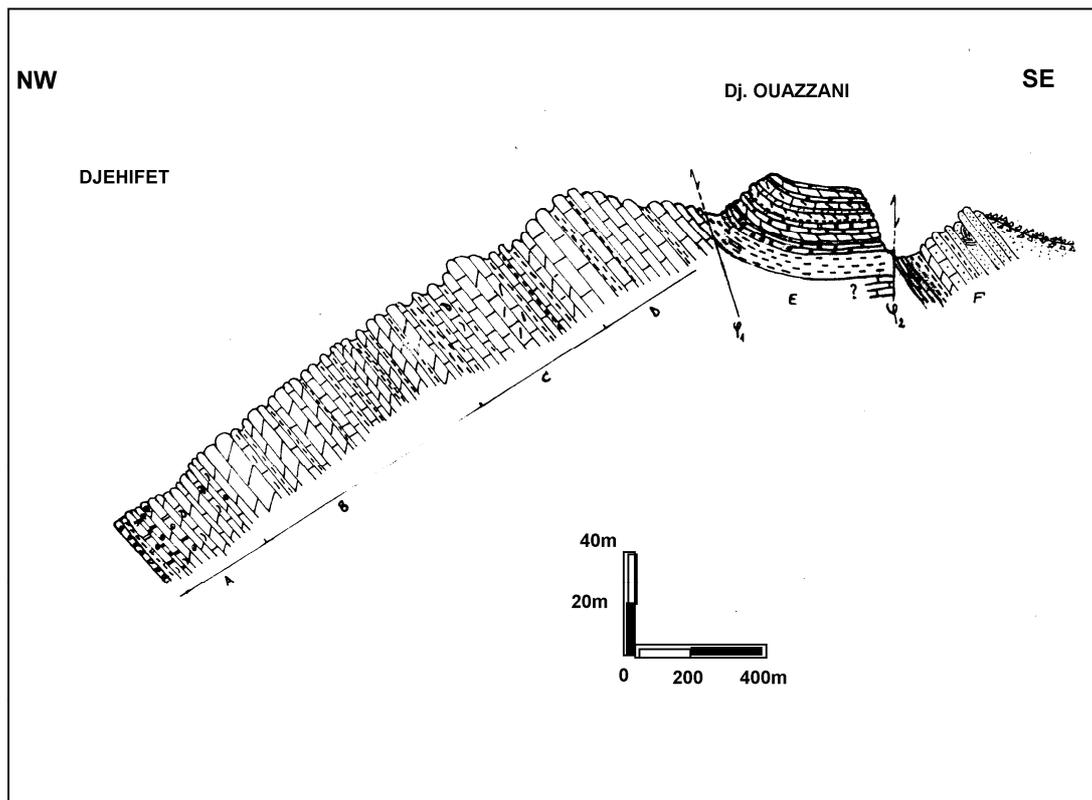


Fig. 41 – Relais de la faille Sud Atlasique à Djebel Ouazzani (Nord de Béni Ounif)

A : Infra-lias (Conglomérats et Calcaires à polypieds), **B** : Lias inférieur (Dolomies en plaquettes et marnes), **C** : Lias moyen (Calcaires), **D** : Lias supérieur (Marno-Calcaires), **E** : Dogger (Argiles et marnes surmontés par des calcaires dolomitisés massifs), **F** : grès continentaux Jurassico-Crétacés,

- Région de Labiodh Sidi Cheikh (Djebel Tismert) fig. 42

Le synclinal de Labiodh Sidi Cheikh occupe également une position particulière, marquée par le plongement des couches Atlasiques Crétacées sur les atterrissements plus récents selon une flexure brutale, accompagnée le plus souvent d'accidents secondaires.

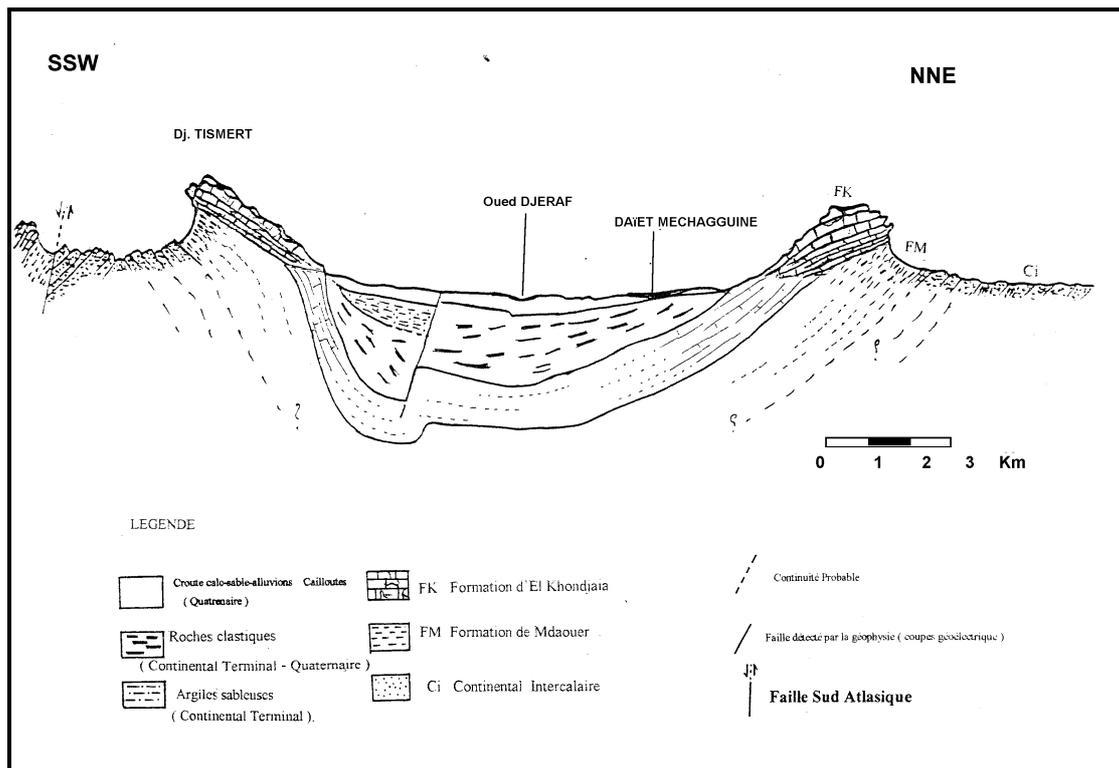


Fig. 42 – La faille Sud Atlasique à Djebel Tismert (Labioudh Sidi Cheikh)

C'est ainsi qu'on retrouve les formations crétacées, notamment les grès continentaux coiffés par la corniche calcaire Turonienne très fissurée qui correspond à une flexure orientée NE-SW ($N35^\circ$ à $N40^\circ$ E). Une deuxième flexure longe le flanc Sud de l'anticlinal du Djebel Tismert où les couches sont pratiquement renversées. Ce sera la flexure la plus méridionale qui matérialise la limite Atlas – Sahara.

CHAPITRE TROISIEME

HYDROCLIMATOLOGIE

I - INTRODUCTION

II - CLIMATOLOGIE DES MONTS DES KSOUR

1 – Caractéristiques climatiques

1 – 1. Régimes pluviométriques

1 – 2. Températures

1 – 3. Nébulosité

1 – 4. Humidité – Evaporation

2 – Pluviométrie

2 – 1. Climat

2 – 2. Pluviométrie annuelle

2 – 3. Distribution mensuelle des pluies

2 – 4. Pluies de courte durée

III - HYDROLOGIE SUPERFICIELLE

1 – Domaine oriental

1 – 1. Situation des bassins versants

1 – 2. Caractéristiques générales des bassins

1 – 3. Apports liquides

1 – 4. Etudes des crues

2 – Domaine occidental

2 – 1. Situation du domaine occidental

2 – 2. Aperçu sur l'hydrologie de la Saoura

2 – 3. La Zousfana

3 – Conclusion

CHAPITRE TROISIEME

HYDROCLIMATOLOGIE DES VERSANTS SUD DES MONTS DES KSOUR

I - INTRODUCTION

Pour la commodité de l'étude, nous présenterons dans un premier volet une synthèse climatologique dont laquelle nous ferons ressortir les éléments essentiels nécessaires à la compréhension du bilan hydrique régional tant pour les ressources superficielles que souterraines.

Dans un deuxième volet relatif à l'hydrologie superficielle, nous subdiviserons le versant Sud des Monts des Ksour en deux domaines bien distincts :

- Domaine oriental, représenté par les piémonts et la plate forme Saharienne, alimenté par le système hydrographique des oueds :

- Namous (Aïn Hadjadj) : Aïn séfra.
- Gharbi (O. Mellah, Rechag et Tafarhit) : Asla – Boussemgoun – Labiod S/C.
- Segguer (bassin de kheneg Larouia) : Brizina.

- Domaine occidental, représenté principalement par la vallée de la Saoura et alimenté par les oueds :

- Zoubia
- Zousfana.

La région de l'Atlas saharien a déjà fait l'objet de plusieurs études dont l'évaluation hydrologique des apports effectués sur la base des "séries synthétiques" fragmentaires du réseau hydrométrique. L'analyse de données exploitées dans ces études semble moins fondée étant donné que les

mesures et observations hydrologiques des bassins projetés, n'étaient pas suffisantes pour déterminer les résultats escomptés. La valorisation des données mesurées sur le régime d'écoulement de la région avoisinante, pendant les deux dernières décennies, a permis de préciser les paramètres en question de manière convenable.

Ainsi, les méthodes les plus rationnelles, basées sur l'adéquation des formules régionales, ont été utilisées, tout en ayant pris en compte les résultats des études réalisées dans ce même bassin. A ce titre, l'estimation des différents paramètres étant basée, d'une part, sur les observations hydro pluviométriques enregistrées pendant une période suffisamment longue en matière statistique, et d'autre part, sur l'analyse des coefficients correctifs appliqués aux méthodes et approches d'études de projet.

II - CLIMATOLOGIE DES MONTS DES KSOUR

Si les méthodes classiques permettent d'atteindre des résultats intéressants en régime méditerranéen, force pour nous est de reconnaître que leur intérêt est très réduit lorsque l'on est en présence d'un domaine hyper aride. Ainsi, les méthodes des courbes pluviothermiques (**Guaussen et Bagnouls**) et ombrothermiques (**Euverte**) définissent une période déficitaire qui s'étale sur toute l'année.

L'indice de **De Martonne** ainsi que celui de **Moral** montrent que la région en question est soumise à un climat hyper aride.

La méthode d'Emberger et de **Stewart** précisent qu'il s'agit d'un climat Saharien à hiver tempéré.

Toutes les méthodes de calcul du déficit d'écoulement et de l'évapotranspiration réelle (**Coutagne, Wundt, Turc, Thorntwaite et Verdeil**) se sont avérées très en deçà de nos attentes. Nous sommes partout déficitaires ; les quantités d'eau apportées par les pluies sont insignifiantes par rapport à la capacité évaporatoire de l'atmosphère.

Compte tenu de l'inadéquation de ces méthodes classiques en domaine Saharien, nous tenterons une autre approche, fondée sur l'utilisation des méthodes géostatistiques.

1 - Caractéristiques climatiques

1 – 1. Régime pluviométrique

Positionné dans la zone subtropicale, flanc sud de l'Atlas Saharien, la région étudiée est soumise à l'influence de deux régimes entièrement opposés en matière de formation de précipitations. L'un, méditerranéen au Nord, agit directement par des entrées marines, provoquant de fortes précipitations, en saison d'hiver ; l'autre, saharien, est marqué par la vaste étendue continentale, où la pluviométrie, plus intense, est caractérisée par les effets orageux des saisons estivales.

Le fait que la région est une formation montagneuse située entre deux vastes territoires dont les caractéristiques climatiques diffèrent nettement, le régime pluviométrique est conditionné sur une zone étroite par un changement du climat brusque. En effet, une diminution de l'ordre du simple au double, voire au triple de la quantité des précipitations du Nord vers le Sud.

Ce phénomène trouve son explication dans le transfert des masses d'air très chargées en vapeur d'eau vers le Sud, en passant sans encombre, le long des Monts des Ksour où la région est nettement plus arrosée. Ayant passé ces crêtes, les masses d'air se réchauffent en réduisant brusquement le volume potentiel susceptible de générer les pluies. C'est pour cette raison que les moyennes inter annuelles passent de 280 - 300mm dans les hautes montagnes, aux environs de Naâma, à 130 - 150 mm, au Sud, dans l'extrême limite des piémonts à El Abiodh Sidi Cheikh à l'Est.

Les principales stations pluviométriques des Monts des Ksour (1969 – 2001) résumées tableau n° 01, nous ont permis de donner le répartition des précipitations en courbes isohyètes (fig. 43)

Tableau 01 : Stations pluviométriques de Monts des Ksour

Stations	Altitudes (mètres)	Coordonnées lamberts		Moyennes 1969-2001
		x	y	
El Kheiter	1000	260.5	397.5	198
Mecheria	1187	225.0	330.5	244
El Bayadh	1310	346.5	344.7	266
Aïn Séfra	1058	275.7	271.4	168
El Abiod	904	300.0	225.0	111
BeniOunif	825	127.5	168.0	100
Béchar	777	57.7	345.0	85

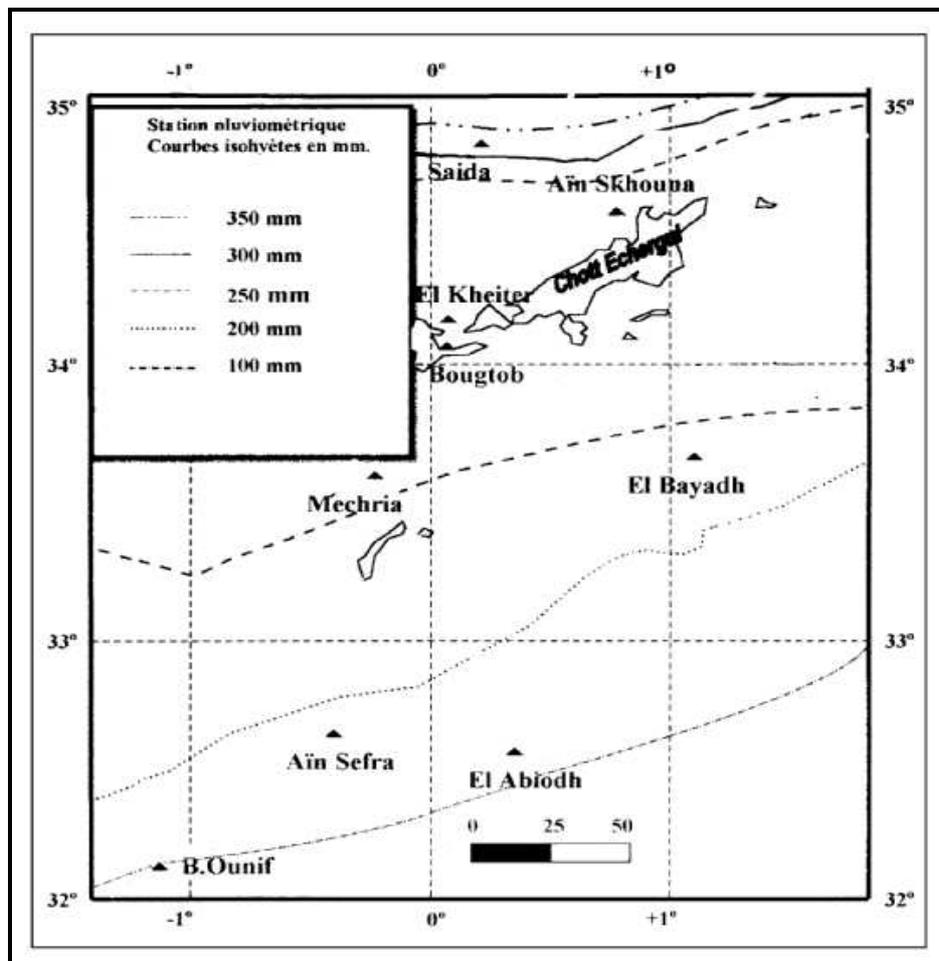


Fig. 43 – Représentation des précipitations moyennes annuelles (1969 - 2001)

1 – 2. Températures

Les relevés climatologiques disponibles intéressent particulièrement les stations d'El Kheiter et Aïn Séfra, dont l'extrapolation sur l'ensemble du bassin est admise avec quelques précautions. La répartition géographique des températures dans le bassin, montre aussi bien pour les valeurs extrêmes que pour les moyennes, deux contrastes thermiques remarquables, épousant l'orographie locale.

En prenant en exemple la station d'El Kheiter, la température moyenne est estimée à 15,7°C dont le maximum moyen, avec 27,4°C, est enregistré au mois de juillet et le minimum (5,3°C), au mois de janvier. Annuellement, les minima absolus, atteignant des valeurs négatives de l'ordre de -8°C, apparaissent en hiver entre décembre et février, et les maxima, en Juillet-Août, pouvant atteindre plus de 38°C.

Ce bassin se caractérise, dans ce contexte, par une amplitude thermique diurne importante du fait du régime continental que subit l'ensemble du territoire du bassin. L'écart saisonnier moyen peut atteindre plus de 20°C, favorisant ainsi la dégradation du sol par la décontraction des roches friables en matière d'érosion sous les deux formes éolienne et hydrique.

Le tableau n° 02 résume les paramètres moyens thermiques estimés à la station d'El Kheiter et Aïn séfra (1979-2001), extraits des différentes séries d'observations météorologiques et des annuaires édités antérieurement. La figure 44 illustre la distribution des températures.

Tableau 02 : Répartition mensuelle de la température à El Kheiter et Aïn Séfra

Répartition mensuelle de la température												
Station d'El Kheiter												
SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	MOY
22,3	16,0	10,4	6,64	5,30	7,79	10,5	13,1	17,8	23,3	27,4	27,0	15,7
Station de Aïn Séfra												
SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	MOY
27,2	17,5	11,8	7,80	6,80	9,20	12,1	15,5	20,2	25,7	29,6	28,8	17,6

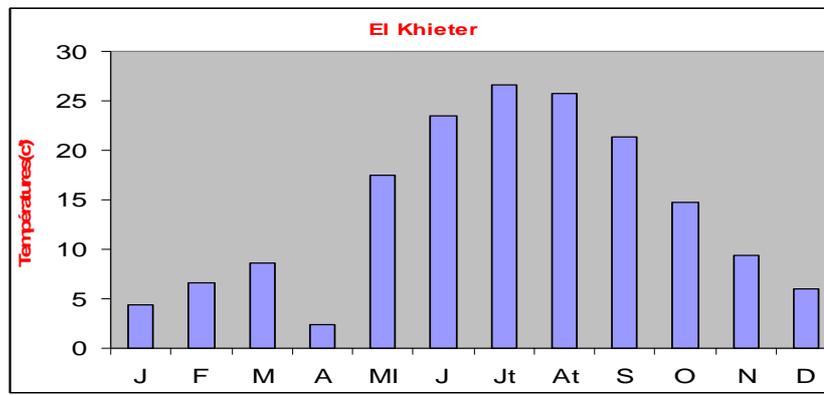
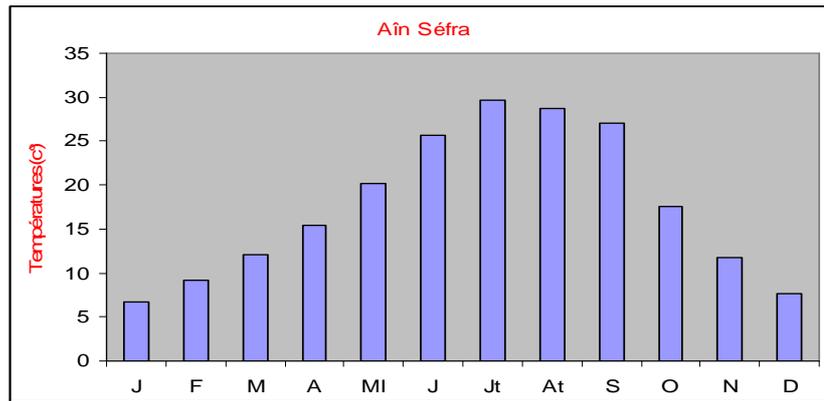


Fig. 44 – Distribution des températures à Ain Séfra et El Kheïter (1979 – 2001)

1 - 3. La Nébulosité

Ce paramètre consiste à donner l'état nuageux de la voûte céleste localisée dans une région donnée. Le type de temps, en effet, est directement lié à cet aspect qui, le plus souvent, détermine la durée d'insolation agissant en évolution inverse avec la nébulosité.

Les observations du ciel, enregistrées dans la région, jugées à priori fragmentaires, ont permis de dresser en moyenne la répartition mensuelle de la nébulosité. Il est à remarquer que les mois, les plus couverts en nuages, sont observés en hiver notamment, mais sans pour autant négliger la période estivale dont la fraction nuageuse, pouvant avoir plus de 2 octas en Août, est caractéristique au type de temps orageux.

Tableau 03 : Nébulosité moyenne (en octas)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aût	An
Néb	2.8	3.2	4.0	4.2	4.7	4.8	4.1	3.8	3.6	3.0	2.0	2.21	3.5

Ce tableau montre, en effet, une régularité d'apparition des nuages tant en période humide qu'en période estivale. Ceci pourrait être expliqué par le déphasage des régimes de types de temps qui règnent dans la région, en se relayant en fin de chaque cycle saisonnier. Par conséquent, la répartition mensuelle des précipitations, en étroite liaison avec ce paramètre, ne distingue point la grande saison humide de la petite saison sèche en matière pluviométrique. En revanche, les autres paramètres climatologiques (T°C, Humidité, ETR, Vent...) sont les seuls nettement dominants sur les caractéristiques saisonnières du bassin.

1 – 4. Humidité – Evaporation

La répartition de l'humidité relative, aux époques critiques froides et chaudes, se manifeste généralement par une décroissance régulière du nord vers le sud. Ce bassin étudié, situé à près de 500 Km du littoral, est à peine frappé par les entrées marines des masses d'air relativement chargées en vapeur d'eau. L'humidité moyenne varie dans la journée comme dans l'année selon le type de temps dominant (continental Saharien ou méditerranéen faiblement).

Tableau 04 : Humidité relative moyenne de la région projetée.

M	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aût	An
%	46	57	64	73	67	68	59	52	45	36	32	32	53

Compte tenu des valeurs observées, il est évident que l'état hydrométrique du bassin se présente de manière sévère en atteignant le seuil critique en été (25%). Cet apport de sécheresse est expliqué par la conjugaison des facteurs locaux tels que le relief sans couverture végétale et la position du bassin sous le vent qui appauvrissent l'invasion des masses d'air en vapeur d'eau. Quant à l'évaporation qui constitue un facteur essentiel pour établir un bilan hydrique, les mesures effectuées à la même station, montrent une extrême dissipation d'eau par les conditions climatiques favorables de la région. Le pouvoir évaporant, très accentué en période d'été, exige près de 60% du total annuel. Les variations dans la journée sont extrêmement importantes dont les valeurs, selon le mois, passent du simple au triple.

La répartition mensuelle illustre notamment ce type de variations irrégulières dont les écarts à la moyenne est nettement considérable pendant la journée. C'est l'effet caractéristique du climat continental qui agit directement sur le comportement des facteurs évaporant.

Tableau 05 : Moyennes mensuelles d'évapotranspiration. Site d'étude (en mm)

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Ma r	<i>Avr</i>	Mai	Jun	Jul	Aût	An
ETP	141	87	53	32	33	44	81	114	150	184	226	202	1345

La tranche d'eau évaporée annuellement sur une surface libre est estimée à près de 1350 mm. Elle est d'autant plus importante que l'aridité du climat est sévère. C'est le cas de notre bassin qui peut évaporer l'équivalent du total annuel pluviométrique en une période d'un seul mois (Juillet).

Le déficit hygrométrique et l'évaporation ainsi observés dans le bassin, montrent combien les influences Sahariennes affectent la région. En été, le climat est véritablement désertique sans aucun écoulement apparent de surface.

Les valeurs moyennes de l'évaporation potentielle, relevées dans des stations voisines, donnent une quantité évaporable sur l'ensemble du bassin, proche de 1300 mm, tel que le montre le tableau n° 06 :

Tableau 06 : Evaporation Potentielle enregistrée dans les stations voisines

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Ma r	Avr	Mai	Jun	Jul	Aût	Anné e
Djelfa	119	76	43	25	23	36	66	95	137	171	215	192	1207
Lagouat	148	95	61	42	43	57	93	130	169	205	230	204	1478
A.Dheb	147	86	51	34	35	49	78	104	141	185	238	191	1340

2 - Pluviométrie

2 – 1. Le climat

Au climat de montagne semi-aride, le bassin de la région d'étude se caractérise par deux grandes saisons, respectivement très froides et pluvieuses en hiver, et désertique presque sans précipitations significatives, en été. Les indices climatiques, appliqués à cette région, donnent un caractère du type de climat sub-aride à semi-aride, compte tenu du régime moyen à l'échelle séculaire. La notion de climat se trouve interférée dans cette zone par deux indices conditionnés par la pluviométrie irrégulière et la température forte des valeurs extrêmes.

2 – 1 – 1. Climagramme d'Emberger

En analysant le climagramme de la station d'Aïn Séfra et celui d'El Abiodh Sidi Cheikh, tous les paramètres, basés sur les données climatologiques observées, confirment l'hypothèse d'un climat multi régime spécifique aux deux saisons caractéristiques de la région (fig. 45).

La station d'Aïn séfra présente un climat aride à hiver tempéré alors que celle d'El Abiodh Sidi Cheikh, le climat est plutôt Saharien à hiver frais.

CLIMAGRAMME D'EMBERGER

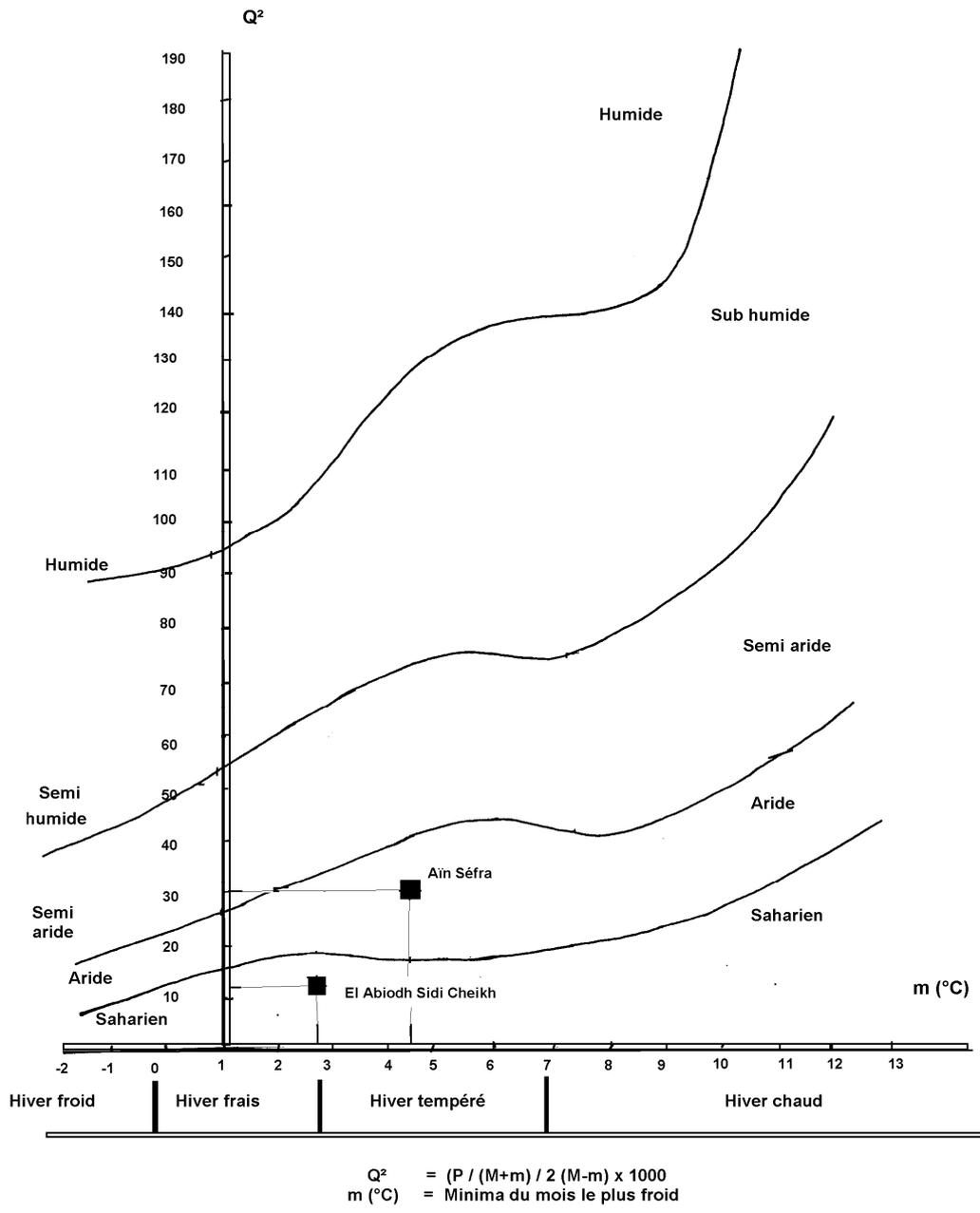


Fig.45 - Climagramme de Aïn Séfra et El Abiod Sidi Cheikh

2 – 1 – 2. Diagramme pluviothermique

Cette méthode mise au point par Euverte est fondée sur l'activité biologique des végétaux. La méthode permet la visualisation des périodes sèches et humides, exprimée par la relation : $P = 2.T$ avec :

P : précipitations (mm).

T : températures (°C)

Tableau 07 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures à Aïn Séfra

Mois	J	F	M	A	MI	J	Jt	At	S	O	N	D	An
Précipitations	18	13.7	24.8	22.9	20.3	8	2.9	5	11.1	17.6	19.2	10.4	168
Températures	6.79	9.2	12.1	15.5	20.2	25.7	29.6	28.8	24	17.5	11.8	7.7	17.4

Aux points d'intersection entre les deux courbes (P) et (T), les besoins en eau sont couverts. Lorsque la courbe des températures (T) passe au dessus de la courbe des précipitations (P), on est en présence d'une période déficitaire (mai à Octobre). Lorsque la courbe des précipitations (P) passe au dessus de celle des températures (T), on est en période excédentaire. C'est*particulièrement le cas d'une alimentation par les crues de printemps observées dans les monts des Ksour (fig. 46).

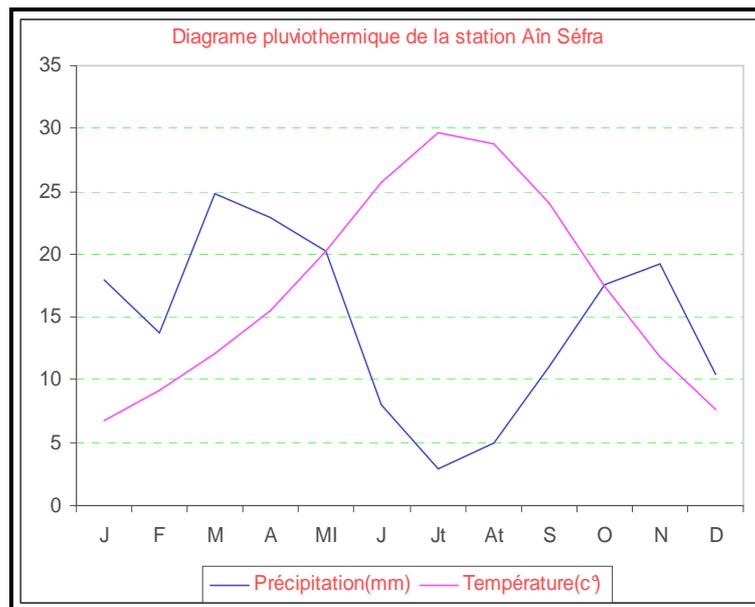


Fig. 46 – Diagramme pluviothermique à Aïn Séfra

2 – 1 – 3. Indice de Martonne

De Martonne (1923) a défini un indice d'aridité $I = P/T + 10$, dans lequel P représente les précipitations moyennes annuelles en mm et T les températures moyennes annuelles en °C. Le type de climat d'une région est ainsi défini de la façon suivante selon la valeur de l'indice trouvé :

$I_a > 20$: Climat humide (de montagne)

$10 < I_a < 20$: Climat semi aride

$5 < I_a < 10$: Climat steppique

$I_a < 5$: Climat hyperaride

Pour les stations de Mécheria et El Kheiter (fig. 47), les valeurs sont respectivement de 9,3 et 7,7 traduisant un climat steppique. le climat est désertique pour les stations d'Aïn Séfra avec une valeur de 6,13. En ce qui concerne la station d' El ABiod Sidi Chiekh, le climat est hyperaride avec une valeur de 4,25.

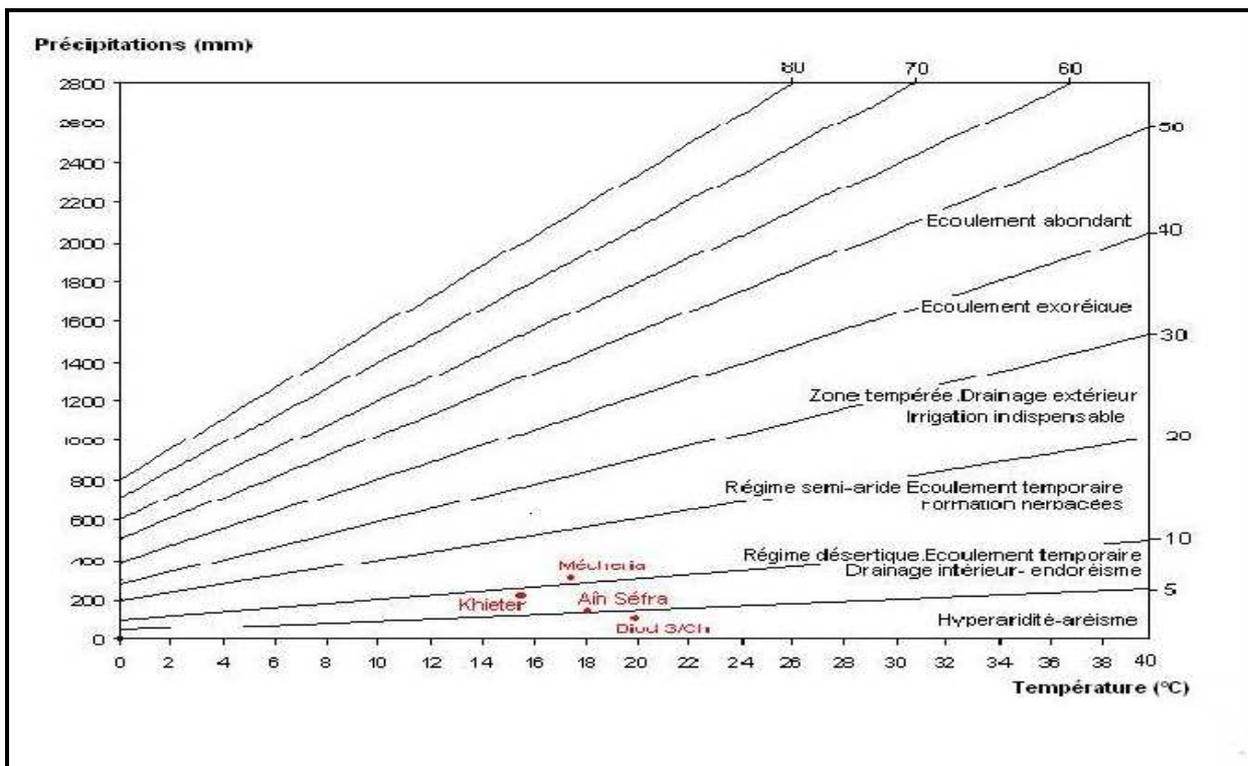


Fig. 47 - Indice d'aridité annuel de De Martonne

Grossièrement, le climat présente, comme pour tout le grand bassin des Hauts Plateaux, des affinités du régime méditerranéen, moins marquées par l'invasion de masses d'air doux et humide.

Le réseau pluviométrique, bien que peu étoffé, est cependant réparti d'une façon suffisamment satisfaisante pour évaluer, sans trop d'erreurs, les précipitations annuelles sur l'ensemble du bassin. Les données disponibles couvrent, en effet, une période longue pour les stations d'Ain Séfra, de Naâma et d'El Abiodh S/C dont d'autres stations auxiliaires, situées à la périphérie du bassin, ont été traitées en termes d'extrapolation spatiale de la pluie.

Il existe à l'intérieur comme aux alentours du bassin, près de dix stations pluviométriques ayant fonctionné sur une période suffisante pour déterminer la lame d'eau précipitée. Seules, les trois stations sus indiquées, présentant une longue période d'observations fiables qui pourraient servir de base pour l'ensemble du bassin. Aussi, les données disponibles exploitables font référence aux cartes pluviométriques éditées par les différents auteurs.

2 - 2. Pluviométrie annuelle

Comme les périodes diffèrent, d'une station à l'autre, pour estimer la pluviométrie annuelle, il a été étudié pour ces trois stations l'évolution de ce paramètre pratiquement sur l'ensemble de phases humides et sèches des trois dernières décennies. La répartition de la pluviométrie mensuelle de la région d'étude a été analysée convenablement comme suit (tableau n° 07) :

Tableau 07 : Répartition mensuelle de la pluviométrie (1973-2002)

Pluie	Sep	Oct	Nov	Dé c	Jan	Fév	Ma r	Avr	Mai	Jun	Ju l	Aût	An
El Abiodh	11,4	15,1	11,7	14, 4	12,7	9,7	13,9	16,5	11,5	4,6	1, 3	3,2	126
Naama	18. 3	24. 5	13. 8	10.	14.0	12. 5	31. 5	19. 2	16. 8	13. 1	4. 4	12. 3	187,6
A. Séfra	13. 0	17. 5	13. 4	7.1	14.1	11. 2	20. 8	18. 8	15. 5	7.3	3. 0	5.9	147.5

Il faut noter que, contrairement aux régions côtières qui ont, en général, des précipitations insignifiantes en été (3 à 7 mm), le bassin étudié voit l'effet des pluies orageuses liées au front des Alizés - Atlantiques, donnant des quantités non négligeables de 20 à 40 mm la même période.

Pour la période de 1972 à 2000, compte tenu de la sécheresse récente, la plus longue et la plus sévère du siècle, les précipitations ont diminué, certes, de quantité, mais le nombre moyen de jours a légèrement augmenté des effets orageux affectant la région des hauts plateaux.

D'après certains auteurs, le climat de la région avait évolué par rapport à la période du 19^{ème} siècle, 1878 -1938, et que cette évolution s'est caractérisée par une augmentation des précipitations sur des régions arrosées plus humides, et par une diminution sur les régions dites très sèches, à raison d'un coefficient-rapport variant entre 0.9 à 0.98. Pour l'étude du bassin projeté, ce coefficient est estimé à 0.9 d'évolution climatique.

Ainsi, l'analyse de la carte pluviométrique établie, à l'échelle nationale par le secteur des ressources hydrauliques, édition 1992, montre que ce coefficient est d'autant plus accentué dans les plaines que dans les montagnes. Néanmoins, à l'échelle de notre bassin, la région d'étude est située à une altitude moyenne de 1400 m qui est légèrement supérieure à la moyenne du bassin.

L'estimation de la pluie moyenne du bassin peut être diminuée du fait du gradient pluviométrique, pris généralement entre 0.8 à 1 mm tous les 10 mètres d'altitude.

Aussi, la carte des isohètes, ainsi établie, indique que la pluviométrie annuelle dans le bassin varie entre 250 mm et 300 mm dont le pic est enregistré sur les crêtes dans la région d'El Bayadh.

Tableau 08 : Comparaison des totaux pluviométriques
Annuels dans le bassin étudié

Stations	Val. Proposées
<i>El Abiodh S/C</i>	125
<i>Ain Séfra</i>	150
<i>Naama</i>	180
<i>El Bayadh</i>	285

Le manque de cohérence des valeurs pluviométriques entre les stations sus indiquées tant dans leurs périodes d'observation que dans leur répartition géographique, tend à sous-estimer la pluie annuelle dans les plaines et surestimer celle des régions d'altitude supérieure. Ainsi, en prenant en considération les remarques précédemment énumérées, la pluviométrie inter annuelle du bassin doit être comprise entre *130 et 180 mm*. Il paraît raisonnable de proposer la valeur de **160 mm**, représentant alors la lame d'eau moyenne précipitée sur l'ensemble du bassin du site projeté.

2 – 3. **Distribution mensuelle des pluies**

La saison pluvieuse est généralement active entre le mois de septembre et le mois de mai. Les données pluviométriques montrent que les pluies sont relativement bien réparties au cours de l'année, à l'exception des mois d'été (Juin à Août) où la précipitation, sous forme d'averses peu durables, peut être moins significative. Les mois les plus pluvieux sont enregistrés aux mois d'octobre et mars, favorisés par les intensités de type orageux. Aux sites étudiés, la répartition mensuelle est prise identique à la moyenne du bassin, de manière proportionnelle aux quantités mensuelles précipitées. Généralement, il est admis à déterminer la lame précipitée dans le bassin comme la pluviométrie moyenne annuelle retenue aux sites projetés (fig. 48).

Tableau 09 : Répartition mensuelle moyenne de la pluviométrie dans la région des sites projetés

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aût	Année
P (mm)	14	20	13	11	15	12	23	18	15	8	3	8	160
P(%)	9	12	8	7	9	7	14	12	10	5	2	5	100

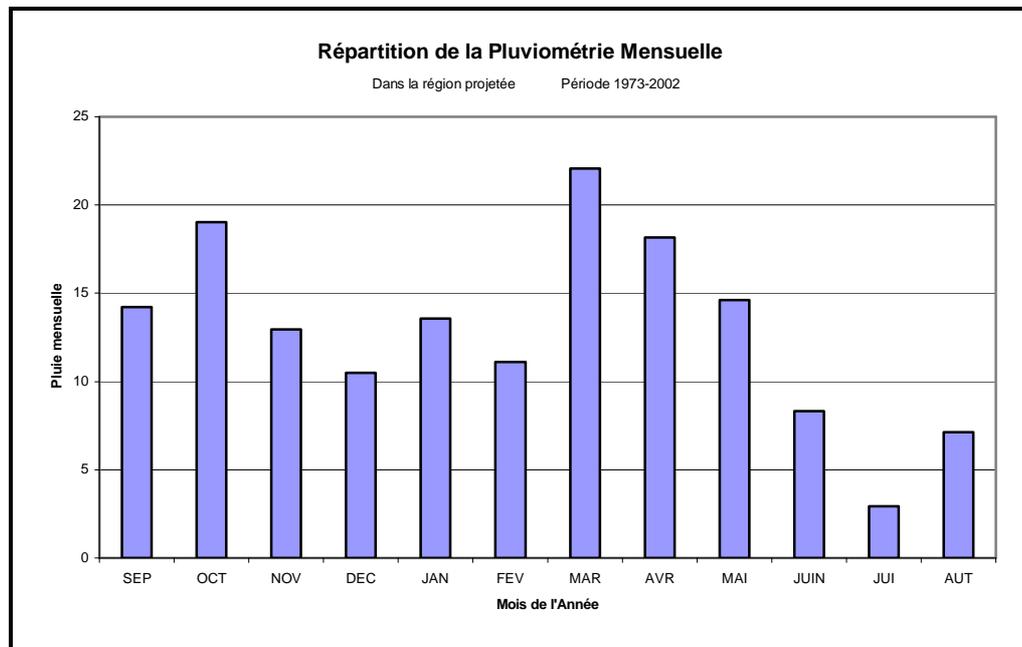


Fig. 48 – Répartition de la pluviométrie mensuelle de la région projetée (1973-2002)

Il est admis de préciser que pendant la saison pluviale, la quantité précipitée peut constituer près de 75 % du total annuel, sans pour autant négliger les pluies orageuses de la période estivale sous forme d'averses très intenses.

2 – 4. Pluies de courtes durées

Afin d'étudier le caractère intensif des précipitations dans le bassin, il est nécessaire de formuler à partir du paramètre pluviométrique journalier, une expression mathématique déterminant les intensités de courtes durées significatives. Pour cela, on dispose d'un fichier d'observation standard, relevant les pluies quotidiennes maximales annuelles dont il est possible d'extrapoler, d'une zone à l'autre. En utilisant des méthodes statistiques appropriées.

Ainsi, la quantité de pluie tombée, en une durée d'intensité donnée, est admise si on la lie à la pluie maximale journalière par la formule décrite par **Montana**, et corrigée statiquement selon les coefficients climatiques adéquats. Compte tenu des études réalisées dans les régions proches de notre bassin, les intensités-durées-fréquences sont déterminées par la formule régionale élaborée pour les zones des hauts plateaux, et affinée notamment en fonction du relief de l'Atlas Saharien.

Cette formule se définit en relation avec les pluies maximales quotidiennes fréquentielles statistiquement déterminées, et ce par l'expression :

$$P(t) \% = a * P_{jmax} * t^b$$

a et **b** : Coefficients climatiques ajusté convenablement au bassin projeté,
(dans ce cas, $a = 0,347$ et $b = 0$, extrapolation régionale),

P_{jmax} : pluie de 24h pour une fréquence donnée,

P(t) : pluie de durée **t** pour la même fréquence.

L'ajustement statistique de la série des pluies maximales quotidiennes de la station de Mécheria, semble être mieux adapté à la loi de Galton (**fig. 44**). Pour le site projeté, il apparaît logique de traiter cette station en matière d'intensité qui, selon le principe de formation d'écoulement, dispose d'un fichier plus représentatif des pluies journalières génératrices de violentes crues dans le bassin.

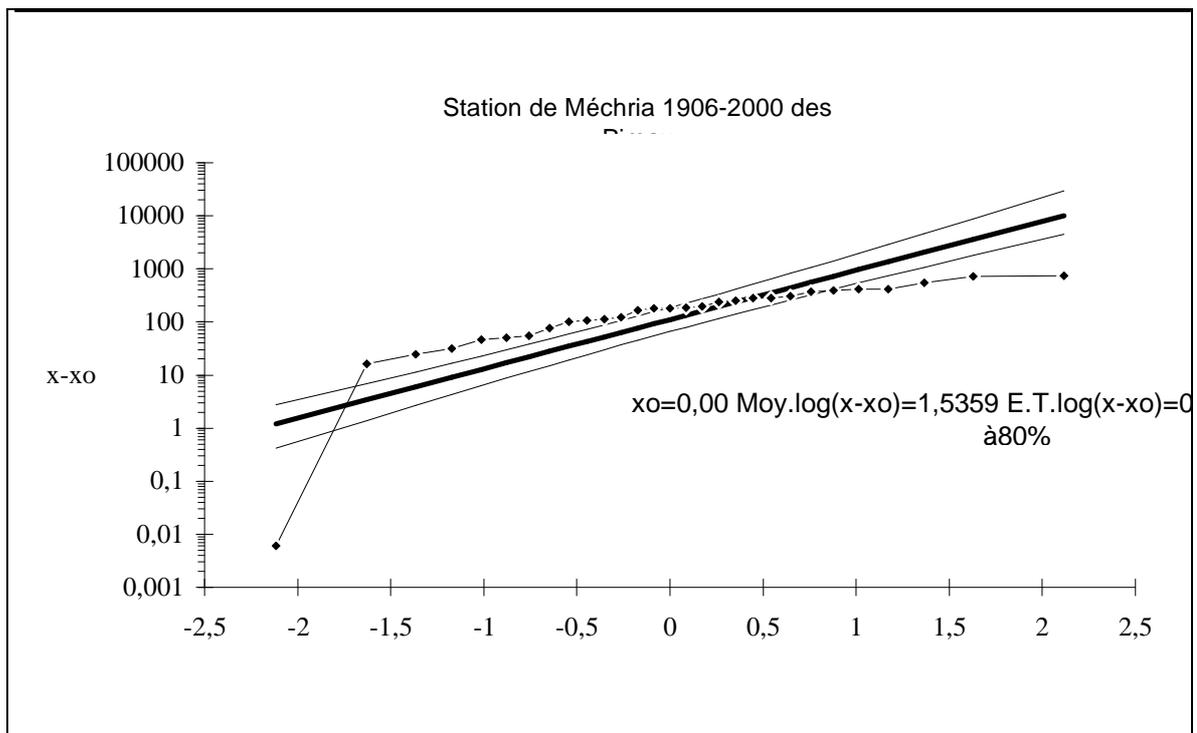


Fig. 44 – Ajustement à une loi Log-normale : station de Mechria (1970-2002)

Les crues de ces Oueds sont, d'après une enquête de reconnaissance sur les lieux, effectuée avec les populations riveraines, brusques et violentes. Selon des témoignages recueillis sur le terrain, lors de notre mission sur site, les crues, bien qu'elles soient rares mais considérables, peuvent durer plusieurs heures, voire des jours. Elles peuvent rouler des dizaines de millions de mètres cubes très chargés en matières en suspension. Ce caractère est, en effet, caractéristique de l'Atlas Saharien dont les intensités de courtes durées, génératrices d'importantes crues, sont

accentuées par le relief dans son aspect intensif. Les averses sont rarement généralisées sur le bassin, mais localisées dans les versants selon l'origine du flux pluvial. Un tel processus provoque, dans ce cas, des crues catastrophiques générées d'une situation potentiellement agressive en matière d'intensité.

Ainsi, l'estimation statistique de ce paramètre donne aussi bien pour la loi de Galton que pour la loi de Gumbel, des valeurs fréquentielles qui se rapprochent convenablement. D'où l'adéquation d'ajustement statistique réduisant les erreurs d'estimation à un niveau acceptable au point de vue des valeurs fréquentielles escomptées.

Pour différentes méthodes utilisées, on obtient ainsi les valeurs des intensités durées fréquences qui pourraient servir de base pour les calculs des débits de pointe au site projeté dans la région (tableau n° 10):

*Tableau 10 : Résultats des estimations statistiques
des Intensités Durées Fréquences
(Station de Mécheria)*

$p(t)=0,347 \cdot P_{jmx} \cdot t^{0,173}$								
Tps de retour	2	5	10	20	50	100	1000	
P_{jmx}	34	53	66	80	99	112	169	
Pluies de courte durée T_c								
Mellah h	tc=18	16,2	27,1	35,6	44,4	57,1	66,4	108,6
Réchag h	tc=16	16,9	28,3	37,1	46,4	59,7	69,4	113,4
Tafarhit h	tc=8	15,3	25,6	33,5	41,9	53,9	62,7	102,5

Les équations d'ajustement de ces valeurs fréquentielles s'expriment sous forme de droite des P_{jmx} d'ajustement à deux paramètres :

$$\text{Ajustement par la loi de Galton : } \text{Log}(\mathbf{Pu}) = \mathbf{0.2245} * \mathbf{U} + \mathbf{1.537}$$

III – HYDROLOGIE SUPERFICIELLE

L'étude hydrologique a porté sur les différents sous bassins versants, constituant le flanc sud de l'Atlas saharien occidental, qu'on subdivisera en deux grands domaines :

1 – Domaines oriental

1 – 1. Situation des bassins versants (fig. 45)

En coordonnées géographiques Lambert, la région projetée, couvrant une superficie estimée à environ de 4000 km², est située selon le fond topographique conforme, entre les *Longitudes X* et les *latitudes Y*, comme suit :

$$X = 220 - 315 \text{ km}$$

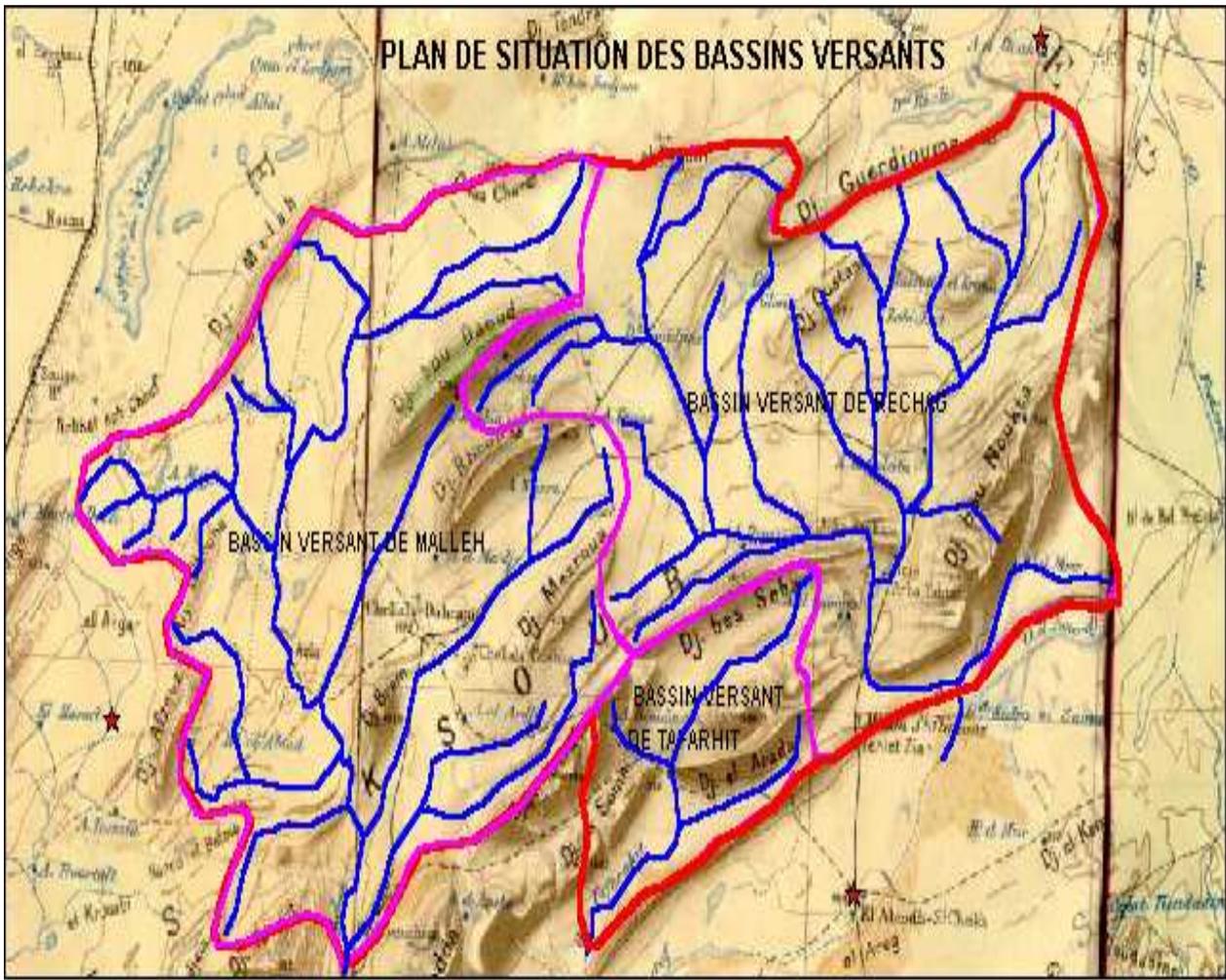
$$Y = 260 - 315 \text{ km}$$

Cette région est limitée à l'Ouest au droit d'Aïn séfra (Station de Aïn Hadjadj) par le bassin de l'Oued Namous et à l'Est au droit de Brizina (station de kheneg Larouia) par le bassin de l'Oued Seggeur.

Encerclée, au sud comme au Nord-Ouest, par une série de Djebels élevés (Guerdjouma à 1364 m, Es Sebaa à 1524 m et Mellah à 1874m), la région d'étude s'allonge du Sud-Ouest au Nord-Est parallèlement aux affleurements dominants des crêtes limitantes. L'agglomération, moins développée, est concentrée à l'Est dans la ville d'El-Abiodh, des Arbaouats et à Asla-Boussemgoun à l'Ouest. Il s'agit des bassins hydrographiques respectivement d'Ouest en Est des oueds de Mellah à Asla, de Tafarhit au centre et Réchag à l'Est dans les Arbaouats (tableau n° 11).

Tableau 11 : Caractéristiques physiques des bassins du domaine oriental

Caractéristiques Physiques des bassins étudiés								
Bassins versants	Périm	Surf	Hmx	Hmn	Lth	TcG	X	Y
Mellah	212	1700	1874	940	88	18	247,50	247,50
Réchag	207	1625	1524	980	70	16	605,20	273,30
Tafarhit	84	345	1617	880	35	8	271,5	261,3



Légende

 Chevelu hydrographique

 Limite du bassin versant du domaine d'étude : bassin versant de Rechag

 Limite des bassins versants

 Limite de l'ensemble des bassins versants

Fig. 45 – Plan de situation des bassins versants du domaine oriental

1 – 2. Caractéristiques générales des bassins

Les bassins étudiés, au nombre de trois, s'étendent dans la chaîne de montagnes, constituant l'Atlas Saharien occidental, versant sud des Monts de Ksour s'élevant à près de 2000 m dont certaines côtes peuvent atteindre les 2200m d'altitude.

La zone des hauts plateaux, dont le relief est moins marqué, favorise ainsi les phénomènes du processus d'endoréisme sous un climat parfois extrêmement aride. Le régime d'écoulement, soumis au caractère très irrégulier, subit directement l'influence continentale, traduisant un ruissellement rapide et violent de type orageux. Le réseau hygrométrique actuel n'est pas suffisant pour donner une réponse exhaustive sur les ressources en eau de cette région, mais la lame précipitée est nettement contrôlée tant en qualité qu'en quantité, par un bon nombre de stations pluviométriques limitrophes aux bassins.

Enclavée au Sud des hautes chaînes de montagnes Atlasique, les bassins étudiés, relativement importants, couvrent une superficie estimée à 3962 km². L'altitude moyenne est évaluée à près de 1380 m. Les lignes de crêtes, situées entre 1200 et 1800 m dont le point culminant étant 1874 m, forment des chaînons montagneux, très arrosés en hiver. Par conséquent, les affluents afférents, assez importants, drainent de manière énergique la partie latérale des versants montagneux.

Aux sites projetés, sur les deux principaux affluents, les caractéristiques physiques du bassin ont été déterminées à partir des estimations physiographiques, effectuées à échelle de 1/500 000ème du fond topographique conforme dont l'erreur commise ne peut dépasser les 15 %. Les paramètres essentiels de base, donnant le caractère morphologique du bassin sont résumés tableau n° 12 :

Tableau 12 : Récapitulatif des Caractéristiques Morphométriques

Paramètres	Mellah	Réchag	Tafarhit
Superficie du bassin	1700	1625	345
Périmètre du bassin	212	207	84
Altitude maximale	1874	1524	1524
Altitude moyenne	1520	1340	1470
Altitude minimale	1202	1205	1407
Longueur du Thalweg principal	88	70	34
Indice de compacité K_C	1.33	1.43	1.27
Pente moyenne en %	0.7	0.45	0.3
Vitesse de transfert d'écoulement V_t	4.8	4.1	3.1

Les Oueds présentent une pente régulière moins active longeant les plaines. Cet aspect orographique permettrait, en effet, d'emmagasinier un volume d'eau considérable sous les dépôts alluvionnaires sur de vastes étendues dans la cuvette.

1 – 3. Apports Liquides

En l'absence de données d'observations suffisantes sur le bassin, nos estimations de l'apport liquide moyen annuel se sont basées sur les caractéristiques morphologiques ainsi que sur les enregistrements hydrologiques du bassin de Khneg Larouia (Oued Seggueur), au site de Brézina, et celui du bassin d'Ain Hadjadj à Ain Séfra dont les conditions d'écoulement, présentent des analogies convenables avec notre bassin étudié (fig. 46). Aussi, une étude bibliographique des régions ayant les mêmes caractéristiques physiques que notre bassin, a fait l'objet d'une analyse globale pour déterminer au mieux l'écoulement annuel probable au site projeté.

Tableau 13 : Répartition Mensuelle des Apports annuels (stations hydrométriques ANRH)

Apports	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fevr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Ain Hadjadj	3,08	3,76	2,44	0,92	1,06	0,8	3,11	2,37	3,17	0,93	0,9	0,64	23,2
Larouia	6,71	4,65	5,05	0,8	0,66	0,19	1,82	1,84	3,02	2,52	1,87	0,9	30

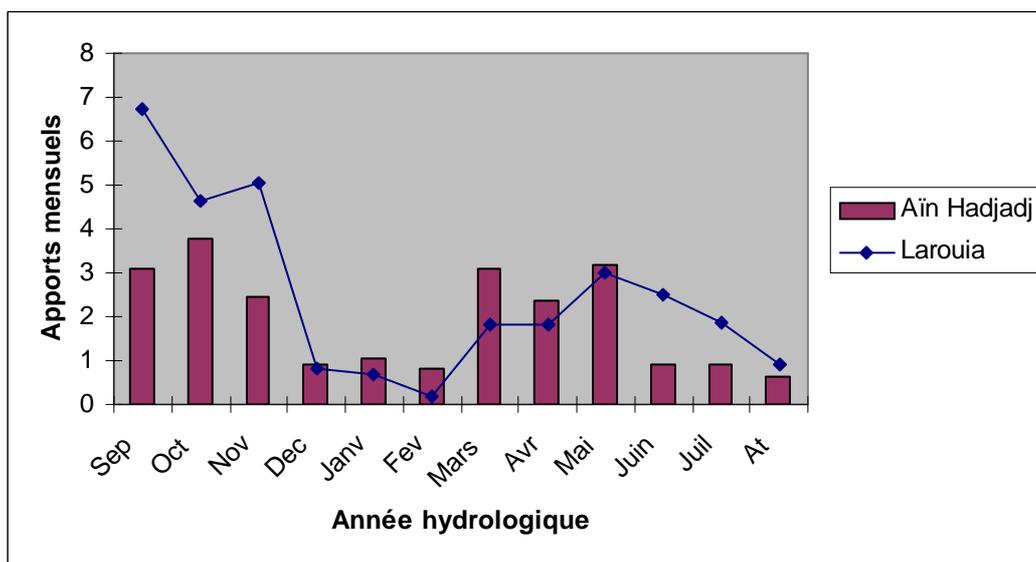


Fig. 46 – Les apports mensuels à Ain Hadjadj (Ain Séfra) et Larouia (Brizina)

En outre, il a été appliqué plusieurs formules empiriques pour estimer cet apport dont les paramètres correctifs ont été, de manière approfondie, ajustés conformément aux études similaires. Sachant convenablement l'état physique de notre bassin, ainsi que les propriétés morphométriques du site, et ce, lors de notre mission de terrain, les lois qui régissent l'écoulement annuel ont été longuement discutées selon leur adaptation régionale.

1 – 3 – 1. Estimation par rapport à un bassin de référence

Ayant une analogie globale acceptable entre le bassin étudié et celui de référence dans le domaine de la géomorphologie, de l'hydrologie fluviale et de l'état de recouvrement végétal, il a été transformé les valeurs calculées sur les deux sites de Brézina et de Hadjadj dont on connaît les valeurs des apports annuels, en fonction de la superficie variée du bassin étudié. Les caractéristiques morphologiques, sont résumées, ci-dessous pour les bassins étudiés.

La formule de transformation s'exprime par analogie, en fonction des valeurs moyennes prises du bassin de référence. Ainsi, nous obtenons les résultats qui semblent conformes aux différentes études réalisées dans ce cadre :

$$A_M = (A_S * S_M * Cr) / S_S$$

A_M = Apport moyen annuel au site projeté du bassin de Mellah.

A_S = Apport moyen annuel du bassin de Référence, à Brézina.

S_M et S_S = Superficies respectives des deux bassins.

Cr = Coefficient correctif lié au climat et type d'écoulement.
Pris égal à 1,2
($Cr = 1$ pour la même région climatique).

Connaissant les données fréquentielles des apports liquides aux sites de Aïn Hadjadj (**fig. 47**) et de Brizina (**Fig. 48**), tirées des études hydrologiques basées sur les débits réellement enregistrés aux stations hydrométriques ANRH (Brézina et Hadjadj), il est établi les valeurs de mêmes fréquences pour les bassins projetés, dont les apports annuels sont évalués convenablement.

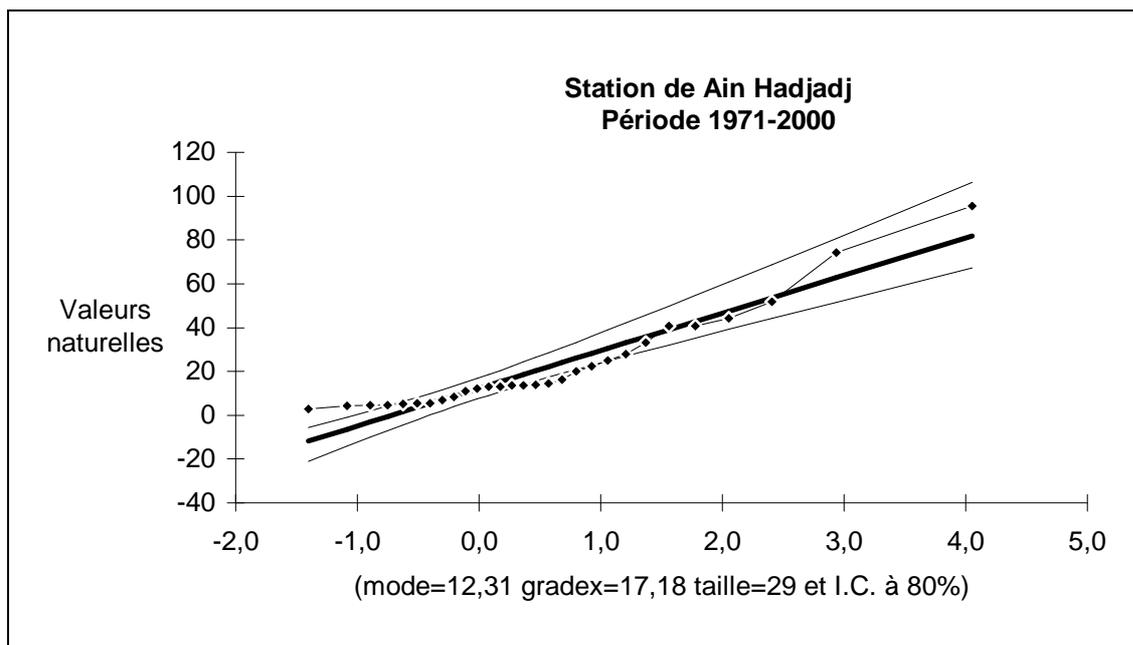


Fig. 47 – Ajustement à une loi de Gumbel des apports annuels (station de Ain Hadjadj à Ain Séfra: 1971 – 2000)

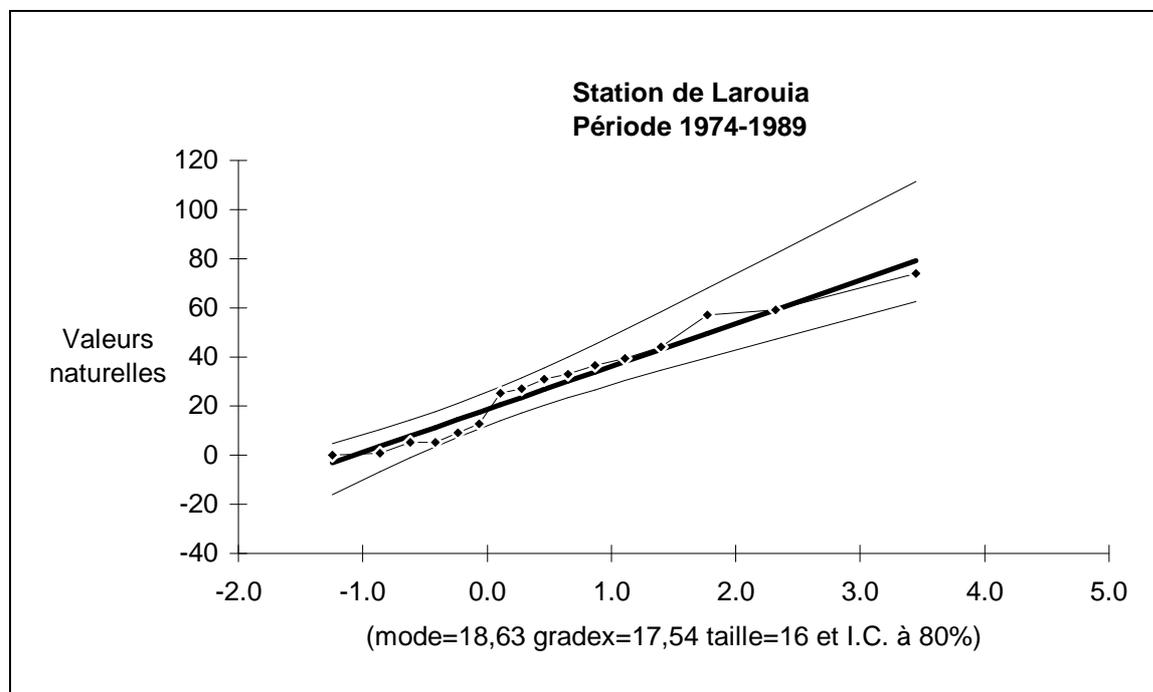


Fig. 48 – Ajustement à une loi de Gumbel des apports annuels (station de Larouia à Brizina: 1974 – 1989)

1 – 3 – 2. Synthèse des résultats

Tableau 14 : Récapitulatif des résultats des Apports Fréquentiels

$A_T = (A_S * S_T * Cr) / S_s$													
Apports mensuels (Hm3)	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fevr	Mar s	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Ain Hadjadj	3,08	3,76	2,44	0,92	1,06	0,8	3,11	2,37	3,17	0,93	0,9	0,64	23,2
Larouia	6,71	4,65	5,05	0,8	0,66	0,19	1,82	1,84	3,02	2,52	1,87	0,9	30
Mellah	2,08	2,53	1,64	0,62	0,71	0,54	2,1	1,6	2,14	0,63	0,61	0,43	15,5
Réchag	3,13	2,17	2,36	0,37	0,31	0,09	0,85	0,86	1,41	1,18	0,87	0,42	14
Tafarhit	0,4	0,49	0,32	0,12	0,14	0,1	0,41	0,31	0,41	0,12	0,12	0,08	3

T		2	5	10	20	50	100	100	S
F	Moy	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0,1/	Km ²
App Larouia	30	25,04	44,91	58,07	70,69	87,04	99,28	139,7	360
App Hadjadj	23,2	18,61	38,10	51,00	63,38	79,41	91,42	131,1	280
Mellah% Larouia	16,88	12,92	23,17	29,95	36,47	44,9	51,22	72,09	170
Mellah% Hadjadj	14,09	11,3	23,13	30,96	38,48	48,22	55,51	79,6	
Valeur Proposée	15,48	12,11	23,15	30,46	37,48	46,56	53,36	75,84	
Rechag% Larouia	16,14	13,47	24,16	31,23	38,03	46,82	53,41	75,18	162
Réchag% Hadjadj	13,46	10,8	22,11	29,6	36,79	46,09	53,06	76,09	
Valeur Proposée	14,8	12,14	23,14	30,42	37,41	45,46	52,23	72,63	
Tafarhit% Larouia	3,426	2,859	5,129	6,631	8,074	9,941	11,34	15,96	345
Tafarhit% Hadjadj	2,859	2,293	4,694	6,284	7,815	9,785	11,26	16,15	
Valeur Proposée	3,142	2,576	4,912	6,458	7,942	9,863	11,3	16,06	

1 – 4. Etude des crues

Les pluies sont rarement généralisées sur le bassin compte tenu de sa grande étendue. Dans ces conditions, les crues sont catastrophiques et provoquent des inondations en aval de notre site. S'il on se réfère au profil en travers du lit majeur, de section large de 100 m environ, les crues sont considérables malgré la faiblesse de la pente au voisinage du site. La violence des crues pouvait être expliquée par l'affouillement des berges très visibles sur site du cours d'eau.

Aussi, il est à signaler que les premières crues, après une longue période d'étiage, emportent des milliers de tonnes en apports solides qui peuvent être justifiés par les dépôts fameux, constitués de grès et de marnes sableuses, longeant l'oued en son lit mineur.

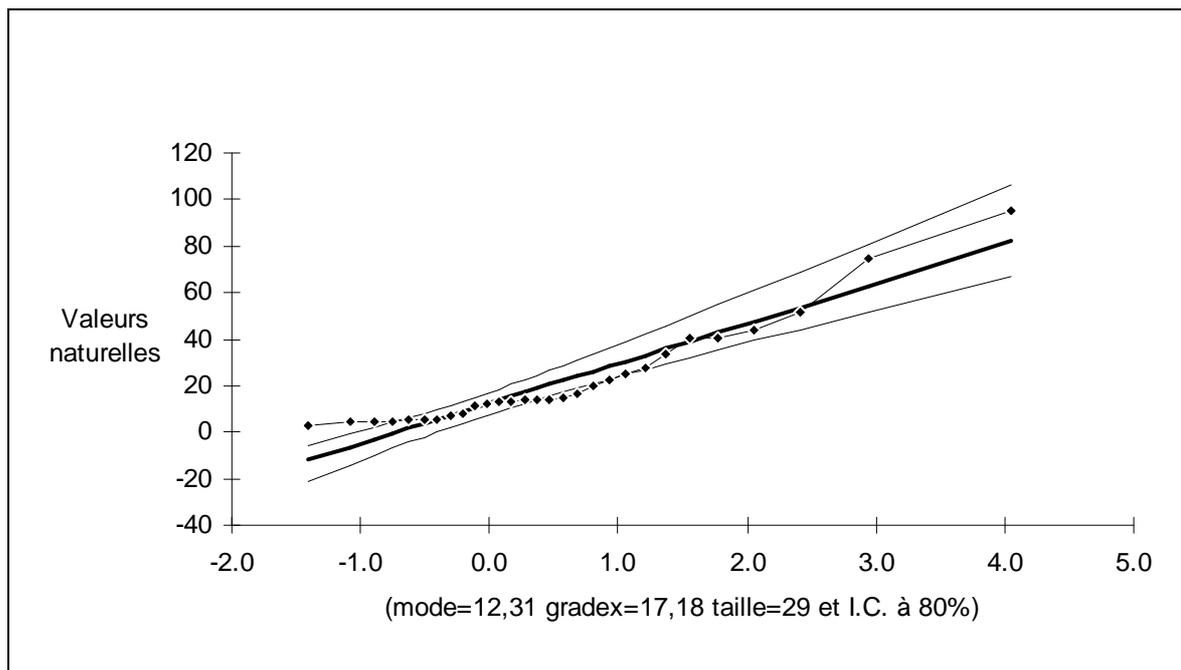
Ainsi, l'étude des crues a été basée sur plusieurs méthodes en tenant compte des études hydrologiques réalisées dans la région. D'autre part, les calculs reposent sur l'hypothèse qu'il n'existe aucune retenue en amont du site pouvant jouer le rôle d'ouvrage lamineur des crues extraordinaires.

1 – 4 – 1. Analyse statistique des débits maxima

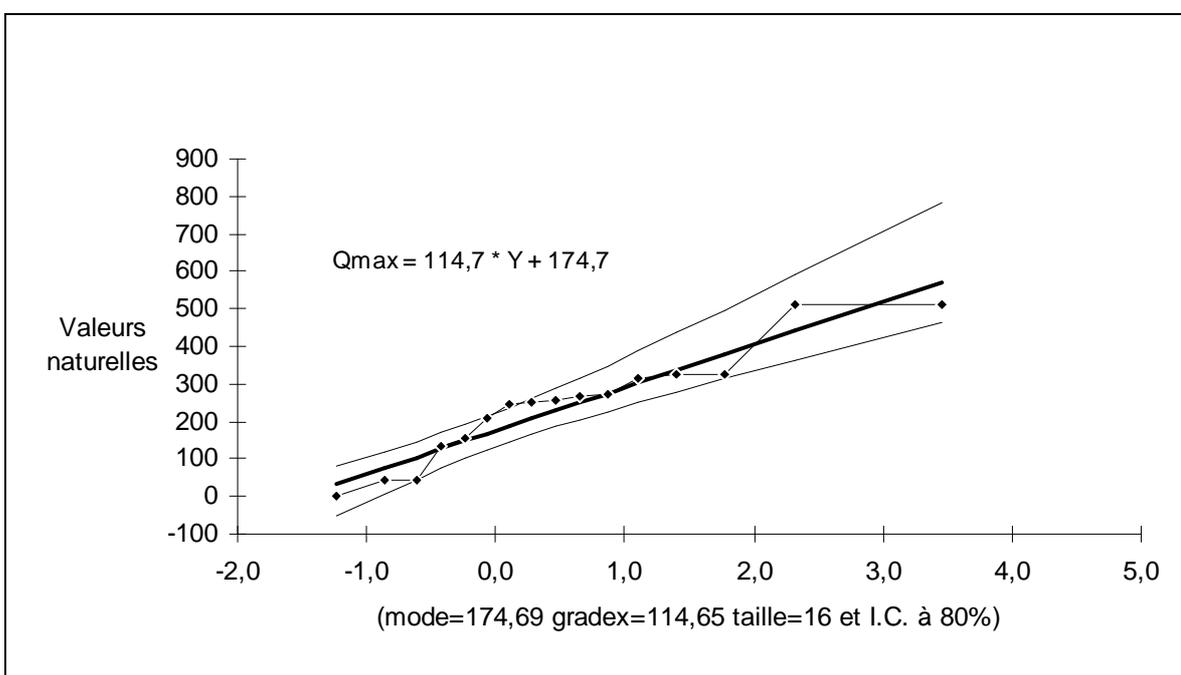
Reposant sur l'étude réalisée dans le bassin Seggeur et Namous, limitrophes des bassins de la région, l'analyse statistique donnerait comme valeurs fréquentielles des débits de pointe, en s'ajustant au mieux à la loi Gumbel.

Ayant une analogie convenable, à un coefficient près, avec le bassin d'étude, il a été appliqué la formule de transfert développée par **Coutagne**, donnant généralement de résultats satisfaisants.

Ces bassins de référence sont alors ceux d'Ain Hadjadj (**fig. 49**) et Larouia (**fig. 50**) dont le coefficient correctif serait le paramètre qui caractérise le passage d'un régime aride Saharien au régime semi-aride continental. Selon l'influence des précipitations de ce bassin sur celui de référence, ce coefficient est pris égal à 1,2.



**Fig. 49 – Ajustement à une loi de Gumbel des débits maxims annuels
(Station d’Aïn Hadjadj : 1972 – 2001)**



**Fig. 50 – Ajustement à une loi de Gumbel des débits maxims annuels
(Station de Larouia : 1974 – 1989)**

Cette méthode surestime généralement les valeurs des débits de fréquences moins faibles (0,9 ; 0,95 ; 0,99...).

Tableau 16 : Débit de pointe de temps de retour T selon la méthode de Mallet-Gautier

Méthode Mallet-Gautier	2	5	10	20	50	100	1000
Mellah	-	214	378	490	607	682	888
Rechag	-	185	324	419	519	583	758
Tafarahit	-	91	128	156	187	207	264

1 – 4 – 3. Méthode synthétique

Se basant simplement sur les caractéristiques morphologiques du bassin la méthode synthétique semble la plus fidèle des pratiques empiriques, où l'analyse par subjectivité est moins impliquée. Non seulement, elle détermine les débits de projet, mais elle permet, entre autres, d'obtenir l'hydrogramme de crue pour les différentes fréquences.

En effet, cette formule suppose que l'averse susceptible de générer la crue de projet, est uniformément répartie sur l'ensemble du bassin, et que la vitesse instantanée de transfert de l'écoulement est prise égale à la moyenne le long du réseau hydrographique.

Dans ce cas, la propagation de l'onde de crue n'est autre que la vitesse de ruissellement d'amplitude maximale, par rapport au temps de concentration déterminé à pas horaire.

La formule générale s'exprime en fonction de la surface participante au transfert de l'onde, obtenue par les courbes d'isochrones pour chaque heure de ruissellement.

$$Q_{\max}(t) = (C_e * P_{j\max} * S_i * f) / (3.6 * t)$$

P_{jmax} = Pluie journalière maximale pour une fréquence donnée,

C_e = Coefficient de ruissellement,

S_i = Surface participante partielle entre deux isochrones consécutives,

f = Facteur de forme, pris égal à 1 pour notre bassin,

t = temps horaire de crue.

Le paramètre de base pour justifier la fiabilité de cette méthode est la pluie maximale quotidienne annuelle, analysée statistiquement pour différentes

fréquences. Ainsi, les valeurs de projet de cette variable, étudiée sur une longue période d'observation, sont évaluées suivant le graphe dont l'ajustement semble adéquat selon la loi log normale comme selon la loi de Gumbel.

L'équation de droite, donnée en fonction des deux paramètres statistiques qui sont la moyenne et l'écart type, s'exprime par :

$$\text{Galton : } \mathbf{Log P_{jmax}} = \mathbf{0,2667 * U + 1,47}, \quad U \text{ (variable de Gauss)}$$

La relation, donnant les intensités de courtes durées, après avoir effectué une analyse d'application locale très détaillée, s'exprime sous la forme usuelle de **Montana**, et ce, en fonction de la pluie journalière maximale pour une fréquence donnée :

$$\mathbf{P(t)\% = 0,347 * P_{jmax}\% * t^{0,17}}$$

Pour une durée équivalente au temps de concentration t_c , les intensités fréquentielles, sont résumées pour les différents temps de retour ci après (tableau n° 17). En particulier, pour le temps t_c , où le bassin risque le maximum de ruissellement, les intensités sont évaluées.

En effet, cette formule ne tient pas compte des caractéristiques physiques du bassin, en matière de pente et de propriétés lithologiques, traduisant la perméabilité des sols. Cet aspect, agissant directement sur la crue, nécessite une correction paramétrique du fait que notre bassin, ayant une pente faible, est plus ou moins favorable à l'infiltration. Le paramètre réducteur varie généralement de 1,3 pour les faibles fréquences à 1,2 pour les plus faibles, selon notamment le caractère climatique de la région.

Tableau 17 : Intensités fréquentielles pour différents temps de retour

$p(t)=0,347 * P_{jmx}^{*0,173}$							
Temps de retour	2	5	10	20	50	100	1000
Pluie jmx	34	53	66	80	99	112	169

Débits de pointe de crue

Tableau 18 : Débits de crue maxima

T		2	5	10	20	50	100	1000	S
F	Moy	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0,1/%	Km ²
Hadjadj	228	195	371	487	598,4	743	851	1209	2800
Larouia	240	217	347	433	515,1	622	701,7	965,9	3625
Méthode statistique									
Mellah	165	149	238	297	353	426	481	661	1700
Réchag	155	145	232	290	345	416	470	647	1625
Tafarhit	55	67,2	107	134	159	193	217	299	345

Méthode synthétique									
Mellah 165		180	351	504	674	913	1102	1868	1700
Réchag 155		140	273	391	523	709	856	1451	1625
Tafarhit 55		48	94	135	181	245	296	501	345

Valeurs de Débits de pointe Proposés

Tableau 19 : Débits de crues maxima proposés

T de retour		2	5	10	20	50	100	1000	S
Fréquence		50%	20%	10%	5%	2%	1%	0,1/%	Km ²
Mellah 165		165	285	370	510	710	800	1050	1700
Réchag 155		140	240	320	430	580	690	970	1625
Tafarhit 55		58	95	130	165	235	270	420	345

D'autre part, la forme de l'hydrogramme de ruissellement peut être représentée par l'équation adimensionnelle d'**Epson** qui s'exprime en fonction du temps de montée de la façon suivante:

$$Q(t) = Q_{\max} * (t/t_m)^4 * \exp [4 * (1 - t/t_m)],$$

L'intégration de cette équation conduit aisément au volume ruisselé de la crue :

$$V_R = 1,28 * Q_{\max} * t_m$$

1 – 4 – 4. Volumes des crues fréquentielles

Le débit de crue de fréquence donnée est déterminé pratiquement en fonction de la lame ruisselée pour la même fréquence. Donc, on reporte les débits fréquents pour un temps de concentration T_c de chaque des bassins que l'on transforme en temps de montée de la crue. On obtient alors les différentes lames ruisselées correspondant aux différents temps de retour. On en déduit finalement les volumes de crue pour chaque fréquence, sachant que :

$$Q_{\max} = V_R / (1.28 * tm)$$

Tableau 20 : Volumes de crues pour chaque fréquence

Temps de retour		2	5	10	20	50	100	1000
Fréquence	Moy	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0,1/%
Mellah		175	165	285	370	510	710	800
Réchag		155	140	240	320	430	580	690
Tafarhit		55	58	95	130	165	235	270

Tableau 21 : Evaluation des crues fréquentielles en Hm^3

$V_R = 1,28 * Q_{\max} * tm$								
Temps de retour		2	5	10	20	50	100	1000
Fréquence	Moy	50%	20%	10%	5%	2%	1%	0,1/%
Mellah 14 h		11,3	10,6	18,4	23,9	32,9	45,8	51,6
Réchag 11 h		7,9	7,1	12,2	16,2	21,8	29,4	35,0
Tafarhit 7 h		1,8	1,9	3,1	4,2	5,3	7,6	8,7

En matière graphique, les hydrogrammes de crue peuvent être déterminés pour les fréquences de temps de retour respectifs de 10, de 100, de 1000 ans, selon les valeurs de débits de pointe correspondants. L'équation qui régit la courbe de l'hydrogramme est celle proposée par **Epson**, ci-dessus indiquée, en appliquant la forme triangulaire au moyen des temps de montée respectifs des bassins projetés.

2 – Domaine occidental

2 – 1. Situation du domaine occidental

Le système hydrographique Guir-Zousfana-Saoura constitue le plus important cours d'eau du Sahara, long de plus de 900 km. Ce cours d'eau qui descend de l'Atlas Marocain, draine un bassin de l'ordre de 100.000 km². La Zousfana et son principal affluent l'oued Zoubia (ex Duveyrier), alimentent la Saoura au droit de Béni Ounif lors des crues exceptionnelles. Il s'agira pour nous de quantifier ces apports superficiels.

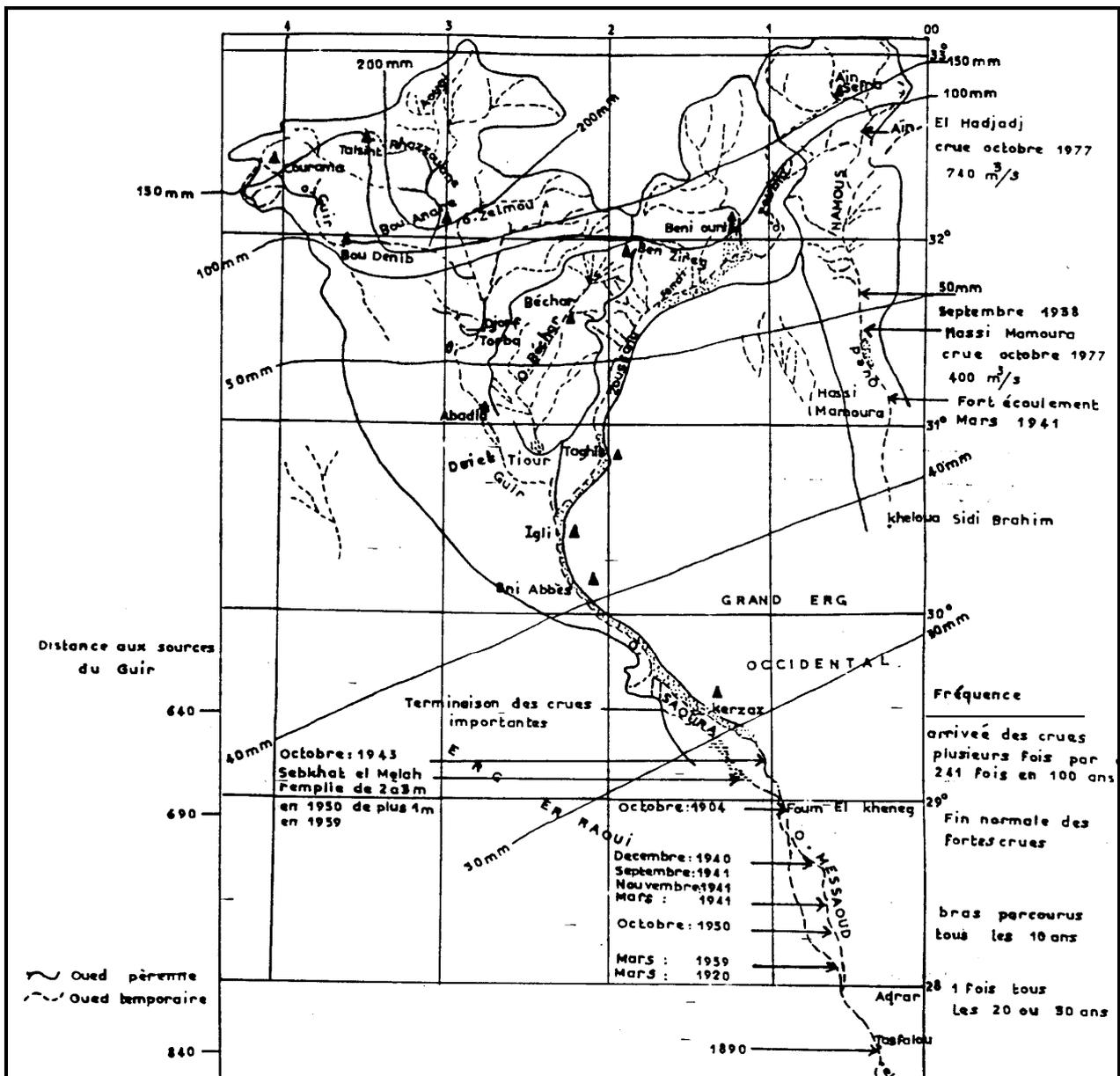


Fig. 56 – Carte en courbes isohyètes et propagation des crues du domaine occidental

La pluviométrie a été représentée en courbes isohyètes (fig. 56) à partir d'un réseau pluviométrique relativement dense dans la zone pré saharienne, plus lâche vers le Sud. La carte montre que la pluviométrie décroît du Nord Ouest vers le Sud, suivant l'abaissement des altitudes. Elle passe du Nord au Sud de 100 mm (Béni Ounif) à 30 mm (Kerzaz).

2 – 2. Aperçu sur l'hydrologie de la Saoura

2 – 2 – 1. Bassin de l'Oued Guir

La superficie drainée de l'Oued Guir en amont du barrage de Djorf-Torba est d'environ 22.000 km². Les débits de crues ont été estimés à 1500 m³/s (crue annuelle), 2500 m³/s (crue décennale), 5000 m³/s (crue centennale) et 10.000 m³/s (crue exceptionnelle).

- Apports du Guir à Djorf-Torba

En 1966, trois crues en septembre, octobre et novembre ont été mesurées. La plus importante étant celle d'octobre avec 3114 m³/s, donnant un apport de 140 millions de m³. En 1967, six crues ont été dénombrées (mai, juin, septembre, octobre et novembre) avec un débit de pointe de 6400 m³/s en octobre, équivalent à un apport de 350 millions de mètres cubes (fig. 57).

A partir de la relation entre les volumes écoulés (Millions m³) et les débits de pointe (m³/s), on peut constater aisément que les débits de pointe les plus élevés ne correspondent pas nécessairement aux volumes des crues les plus importants (fig. 58).

Ainsi pour un volume maximum de 481 millions m³, le débit de pointe serait de 1090 m³/s alors que pour le débit de pointe le plus élevé (3100 m³/s), le volume écoulé n'était que de 165 millions m³.

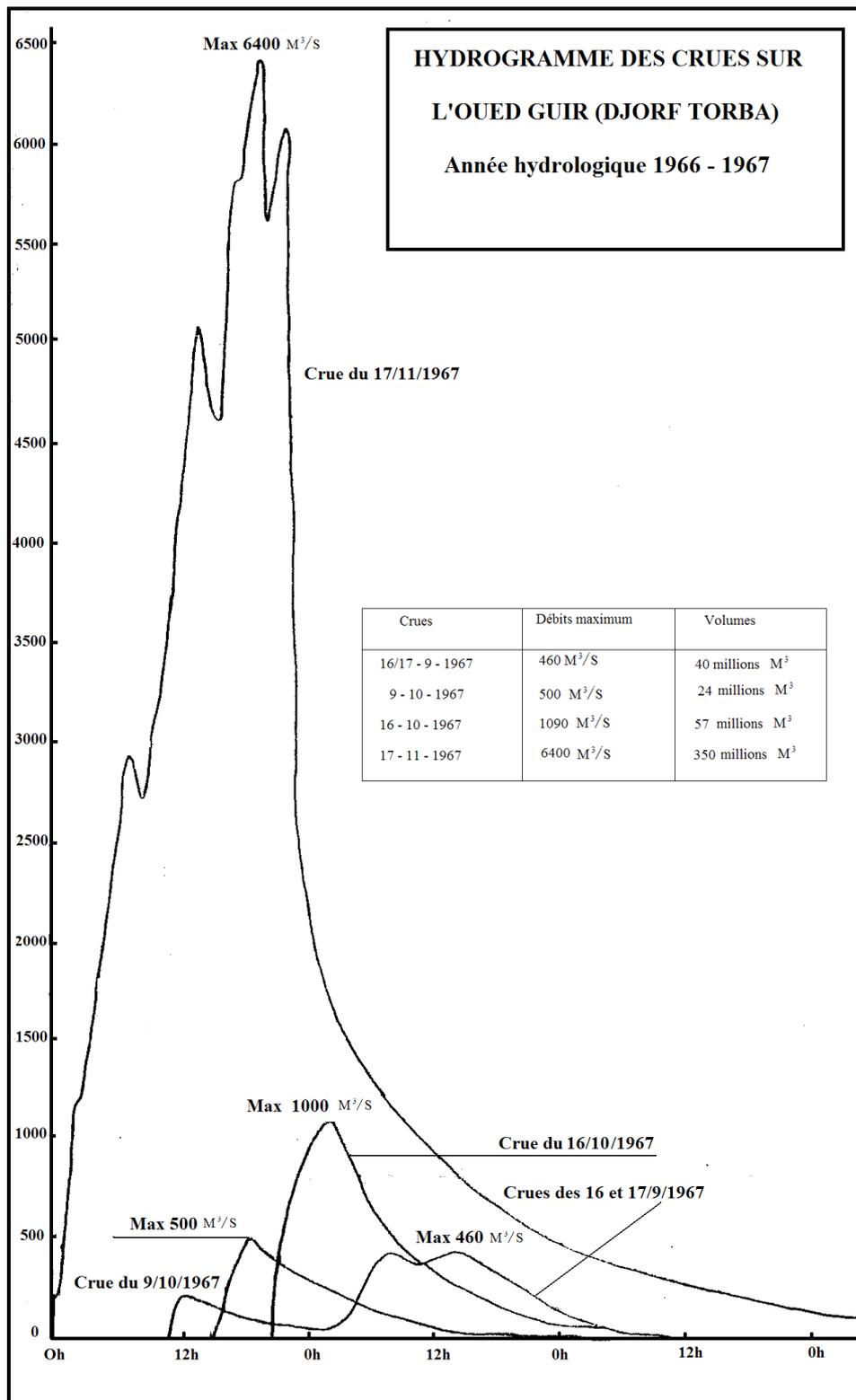


Fig. 57 – Débits et volumes écoulés du Guir à Djorf-Torba (1967-1968)

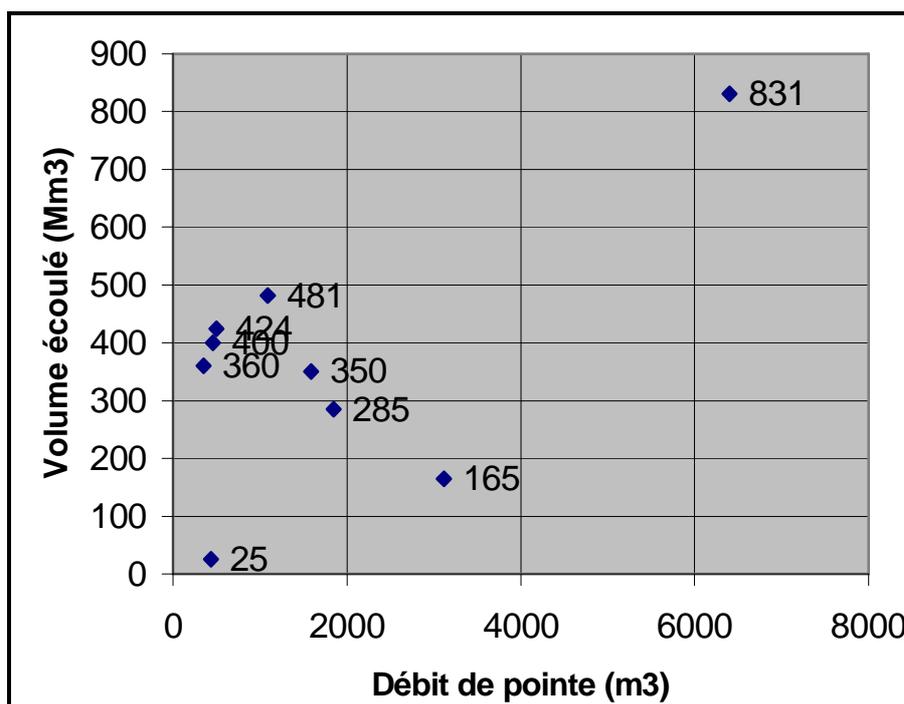


Fig. 58 – Débits et volumes maximaux annuels écoulés (1966-1967)

Deux séries de débits ont été observées durant les périodes 1952/1953 – 1955/1956 (avant la construction du barrage) et 1969/1970 – 1991/1992 (après la construction du barrage). Il s'agit d'une série homogène, qui donne un débit moyen inter annuel de $6.32 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un apport de 200 millions de m^3 . Le débit spécifique serait de 0.287 l/s/km^2 .

- Apports du Guir à Abadla

Avant la construction du barrage, l'oued Guir était permanent jusqu'aux plaines d'Abadla où il s'infiltrait et disparaît dans les alluvions. Actuellement, le barrage retient la presque totalité des débits. Sa capacité est de 316.4 Mm^3 .

Durant la crue d'octobre 1979, le barrage a déversé un volume de 38.4 Mm^3 . Pour l'année 1989-1990, le déversement a été de 17 Mm^3 .

La crue d'octobre 1979 a continué en aval du barrage du 18/10/1979 au 07/11/1979. Le débit maximum a atteint $370 \text{ m}^3/\text{s}$. Après un parcours de

400 km du barrage la crue se perd dans la Sebket El Melah, aux environs de Béni Abbès.

2 – 2 – 2. La Saoura à Béni Abbès

Seules les pluies intenses du printemps et de la fin d'automne sont capables de générer des crues importantes (fig. 59). En moyenne, les crues mettent 02 jours et demi pour franchir les 100 premiers kilomètres en aval d'Abadla, soit une vitesse de 1.6 km/h et 01 jour et demi pour les 50 kilomètres suivants, soit 1.3 km/h.

Roche. A, entre 1901 et 1907 a noté au moins 40 mois au cours desquels se sont produits dans la Saoura une ou plusieurs crues de forte importance (soit plus d'une fois tous les 02 ans). Il est cependant intéressant de noter que ces crues peuvent se manifester à n'importe époque de l'année.

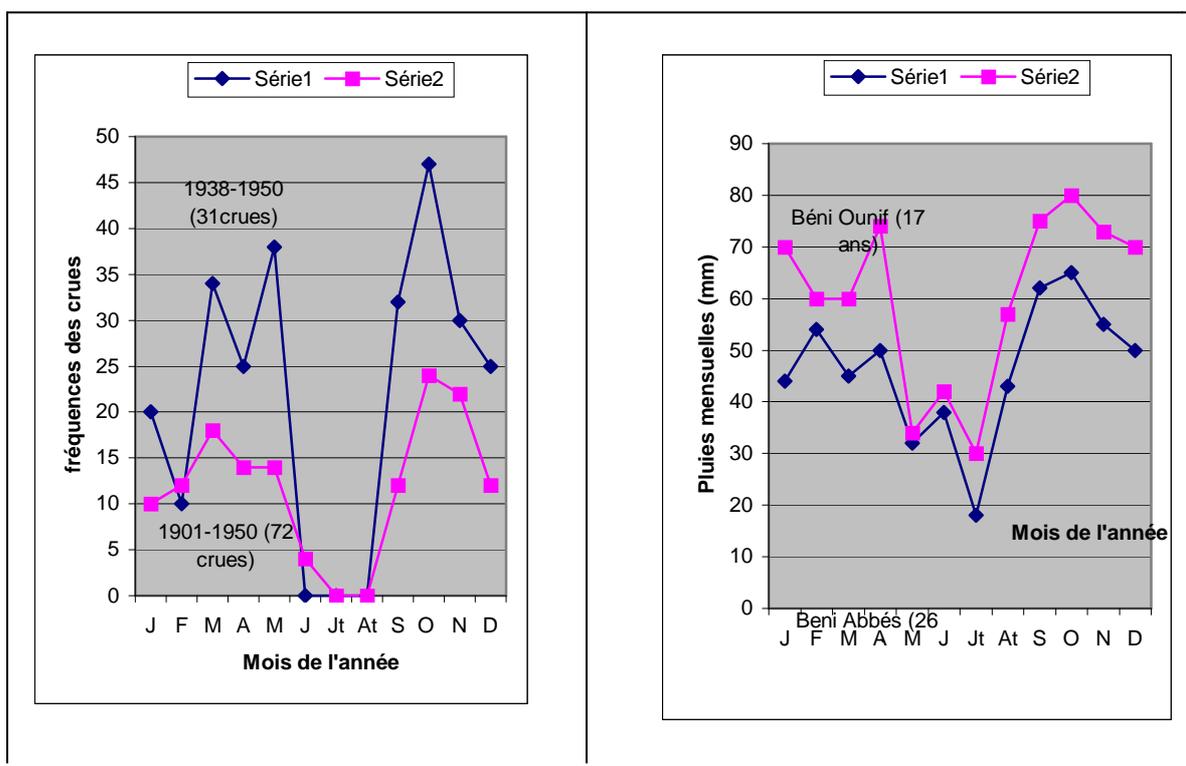


Fig. 59 – Fréquences mensuelles des pluies et des crues dans le bassin de la Saoura (J. Dubief, 1953)

2 – 3. La Zousfana

2 – 3 – 1. Evaluation des apports annuels

- Par comparaison avec le bassin du Guir

La moyenne annuelle des mois de crue est assez importante à la hauteur de Beni Ounif avec 4.4 par an.

Par comparaison avec le bassin du Guir où on dispose des données de débit pour la période 1969 – 1992, l'apport moyen annuel pour la Zousfana est de l'ordre de 43.450.000 m³, correspondant à une période de retour T = 02 ans pour un apport fréquentiel de 46.600.000 m³ (fig. 60).

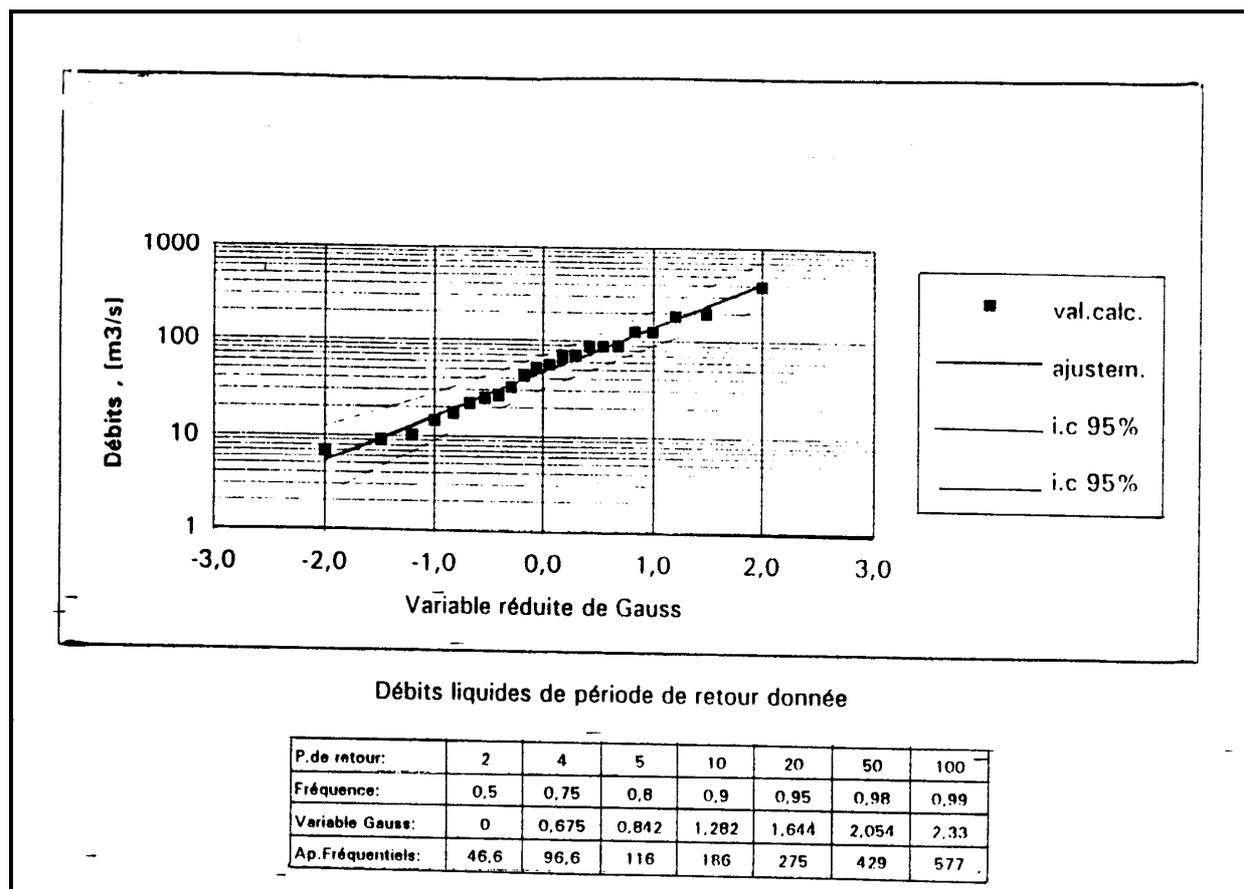


Fig. 60 – Ajustement des débits annuels à une loi log-normale (station Djorf-Torba) (Période 1969 – 1992)

- Utilisation des formules de comparaison

Partant des formules de corrélation entre pluies et débits, , deux formules de corrélation entre pluies et débits ont été établies, qui font intervenir la surface du bassin versant ne recevant que de très faibles quantités d'eau. Elles s'écrivent :

$$Q = (0.164 - 0.00145 v S) \quad H_1 \quad \mathbf{(1)}$$

$$Q = (0.240 - 0.0014 v S) \quad H_2 \quad \mathbf{(2)}$$

Pour l'évaluation des hauteurs de pluies moyennes annuelles H_1 , nous disposons de quelques postes :

- Figuig (à l'exutoire du bassin) : 116 mm
- Béni Ounif (à 8 km de Figuig) : 119mm
- Aïn Séfra (au Nord de Aïn Hadjadj) : 158 mm
- Bou Arfa (Nord Ouest du bassin) : 205 mm

En prenant comme hauteur moyenne des précipitations sur le bassin $H_1 = 160$ mm et hauteur minimale $H_2 = 26$ mm, nous aurons pour la relation **(1)** un écoulement de 12 mm et pour la relation **(2)** un écoulement de 4 mm. Si nous retenons un apport moyen de 9 mm, nous aurons un débit annuel moyen de $Q = H_{\text{(hauteur)}} \times S_{\text{(surface)}}$

$$\mathbf{Q = 9 \times 3950. 10^3 = 35.550.000 \text{ m}^3/\text{an}}$$

En rapprochant cette valeur de celle trouvée en partant du Guir, nous pensons raisonnable d'estimer l'apport moyen de la Zousfana à **40 millions de m³/an**

2 – 3 – 2. Fréquence des crues :

Si l'on suit la variation annuelle des débits à Béni Ounif, on constate la présence de 02 maxima, l'un au printemps en avril, l'autre en automne et en hiver (fig. 59). Seules les crues des mois froids arrivent à Taghit. A la hauteur de Figuig, la Zousfana présente une moyenne de 4 à 5 crues par an ; c'est en avril, octobre et décembre que les crues sont le plus fréquemment observées.

Le débit peut être évalué de 03 façons par comparaison avec le bassin du Guir où les mesures hydrométriques ont été réalisées dans de bonnes conditions :

- Formule de Maillet-Gauthier

$$C = 2 K \text{ Log } (1 + A H). S / \sqrt{L} \cdot \sqrt{1 + 4 \text{ Log } T - \text{Log } S}$$

Les coefficients K et A dépendant des caractères topographiques et climatologiques du bassin. Pour la Zousfana K = 0.8 et A = 20 ; dans ce cas la crue de fréquence centennale aurait un débit maximal de :

$$C = 2 \times 0.8 \text{ Log } (1 + 20 \times 0.16). 3950 / \sqrt{85} \cdot \sqrt{9 - \text{Log } 3950} = 970$$

$C = 970 \text{ m}^3/\text{s}$

- Comparaison avec le Guir

Pour le Guir, les débits spécifiques de crue peuvent atteindre exceptionnellement 200 à 250 l/s au km². Si nous admettons des valeurs identiques pour la Zousfana, nous aurons :

$$C = 3950 \times 0.20 = 790 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = 3950 \times 0.25 = 987 \text{ m}^3/\text{s}$$

$800 \text{ m}^3/\text{s} > C > 1000 \text{ m}^3/\text{s}$

- Précipitations journalières maximales

Dans la bande climatique qui nous intéresse, 02 postes disposent de séries de mesures supérieures à 40 années où les valeurs maximales suivantes ont été observées à la station de Aïn Séfra (62 mm) et de Beni Ounif (exutoire du bassin de la Zousfana). Deux autres postes ont des séries portant sur un quinzaine d'années ont été pris en considération. Il s'agit de :

- Bou-Arfa (au Nord Ouest du bassin) 87.5 mm le 15/03/1941
- Tendirara (au Nord Ouest également mais plus excentré) 51 mm le 27/09/1938.

L'ajustement des précipitations maximales journalières à une loi log-normale au droit de la station de Béni Ounif (vallée de la Zousfana) a donné pour une période de retour $T = 20$ années, une pluie fréquentielle de 57 mm (fig. 61).

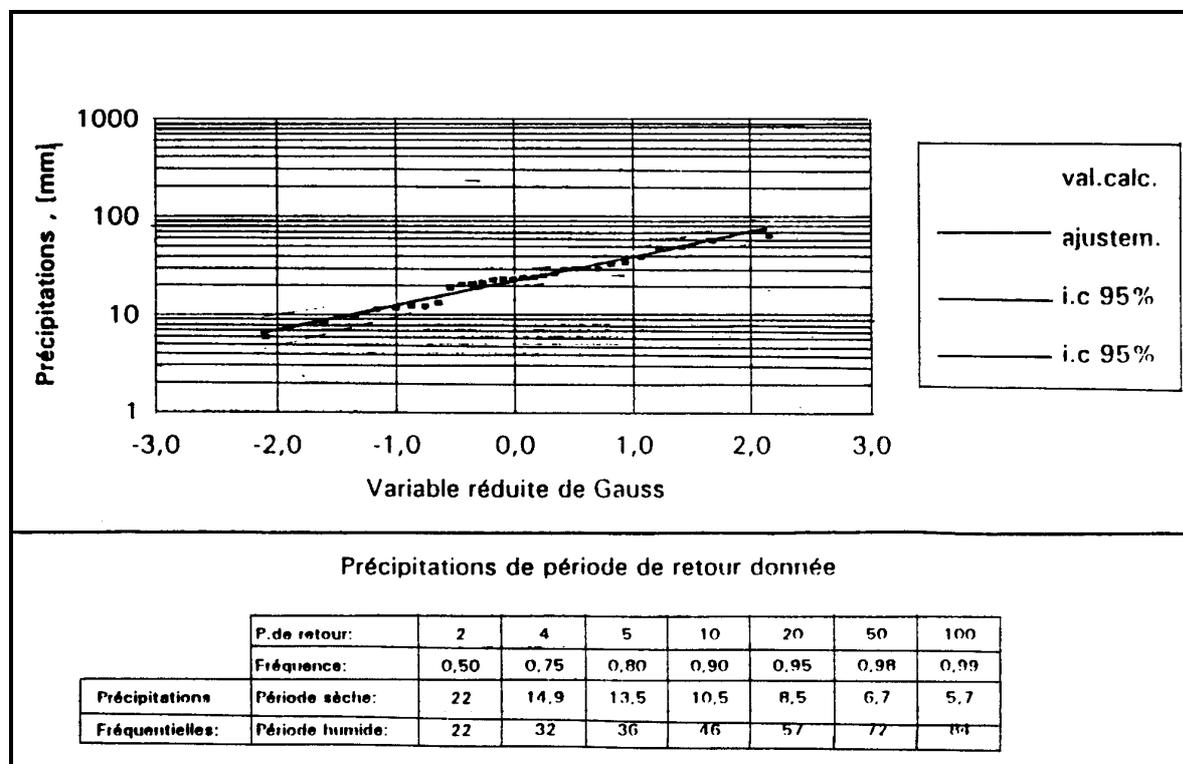


Fig. 61 – Ajustement des précipitations maximales journalières à une loi log-normale Station de Béni Ounif (Période 1969 – 1992)

En tenant compte des stations situées à la périphérie du bassin de la Zousfana ainsi que des données des précipitations maximales relatives à la station de Béni Ounif qui, à notre avis se rapproche le plus de la réalité, on peut admettre une précipitation moyenne de 60 mm, correspondante à une probabilité de fréquence de 20 années ; ce qui revient à dire qu'une précipitation de cette importance se produit en moyenne 05 fois par siècle. En admettant un coefficient de ruissellement égal à 30 %, l'écoulement serait :

$$60 \times 3950.10^3 \times 0.30 = 71.100.000 \text{ m}^3$$

Les caractéristiques du bassin sont telles que le temps de concentration T est égal suivant la formule de **Giandotti** à :

$$T = 4 \sqrt{S} + 1.5 L / 0.8 \sqrt{R} =$$

$$4 \sqrt{3950} + 1.5 \times 85 / 0.8 \sqrt{400} = 24 \text{ heures}$$

Dans ces conditions, nous avons $Q_{\max} = Q_j \times 24/T = Q_j$, nous avons donc :

$$Q_{\max} = 71.100.000 / 86400 = 820 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau 22 : Résultats des apports et fréquences des crues

Apports annuels des crues	Fréquences des crues
Par comparaison avec le Guir 43.450.000 m ³	Formule de Maillet-Gauthier C = 970 m ³ /s
Formules de corrélation 35.550.000 m ³	Comparaison avec le Guir C1 = 790 m ³ /s C2 = 987 m ³ /s
	A partir des précipitations journalières maximales C = 820 m ³ /s

Nous admettrons que les crues exceptionnelles peuvent atteindre lors des paroxysmes des débits instantanés compris entre 800 et 1000 mètres cubes par secondes.

3 - Conclusion.

Du point de vue climatologique, une synthèse des principaux paramètres, régissant le climat des Monts des Ksour et de la plate forme a été proposée. On citera particulièrement l'apport par les précipitations, représentant une lame d'eau moyenne de 160 mm relative à l'ensemble de la zone cartographiée.

L'étude hydrologique a pris en compte les grands émissaires descendant de l'Atlas Saharien occidental. Elle a permis ainsi de faire ressortir les apports alimentant d'une part la plate forme (domaine oriental) à partir des :

- Oued Namous (Aïn séfra au droit d'Aïn Hadjadj): 23 millions de m³
- Oued Gharbi (Mellah, Rechag et Tafarhit) : 34 millions de m³
- Oued Segguer (Brizina au droit Larouia): 30 millions de m³

et d'autre part les apports alimentant en partie la vallée de la Saoura (domaine occidental), à partir de l'oued Zousfana et son affluent principal l'oued Zoubia : soit un apport de 40 millions de m³.

Les crues exceptionnelles ayant un débit notable, permettant de régénérer les eaux souterraines du *Continental Intercalaire*, du *Complexe Terminal* et les terrasses des grands inféro flux peuvent atteindre des débits instantanés compris entre 600 et 1000 m³/s :

Le tableau récapitulatif ci dessous (tableau n° 23) permet de synthétiser l'ensemble des données hydrologiques en résultats. Ainsi la lame d'eau tombée sur le bassin versant de l'oued Rechag a été estimée à 160 mm, l'évapotranspiration potentielle (ETP) à 1345 mm, les apports liquides annuels moyens à Rechag Arbaouet (AP) à 155 Hm³, les débits de pointe des

crues à Rechag Arbaouet (Q_{max}) compris entre 140 m³/s pour une fréquence de 0.5 et 970 m³/s pour une fréquence de 0.001.

Tableau 23 : tableau récapitulatif des résultats

<i>Désignation des Données</i>	<i>Fréquence</i>	<i>Unités</i>	Valeurs
Précipitation Moyenne Annuelle (P_{moy})	Année	mm	160
	0.5		34
	0.2		53
	0.1		66
	Moyenne		160
Pluies Maximales Quotidiennes Annuelles (P_{jmax})	0.02	mm	99
	0.01		112
	0.001		169
	Moyenne		112
Evaporation Potentielle (ETP) Température Moyenne (T_{moy}) Humidité Relative Moyenne	année	mm	1345
	année	T°c	13
	année	%	53
	Moyenne		16
Apports Liquides Annuels à Mellah Bousseghoun (A_p)	0.5	Hm ³	13
	0.1		31
	0.02		46
	0.01		53
	0.001		76
	Moyenne		175
Débits de Pointe de Crue à Mellah Bousseghoun (Q_{max})	0.5	m ³ /s	165
	0.1		370
	0.02		710
	0.01		800
	0.001		1050
	Moyenne		15
Apports Liquides Annuels à Rechag Arbaouat (A_p)	0.5	Hm ³	12
	0.1		30
	0.02		45
	0.01		50
	0.001		72
	Moyenne		155
Débits de Pointe des Crues à Rechag Arbaouat (Q_{max})	0.5	m ³ /s	140
	0.1		320
	0.02		580
	0.01		690
	0.001		970

En région Saharienne, les conditions d'écoulement font que les débits diminuent d'amont vers l'aval. Cette décroissance s'expliquerait par :

- L'étalement des crues à la sortie de la zone pré Saharienne, accompagné d'une forte évaporation (3000 mm).
- Le relief plat et les diverses accumulations sableuses qui parsèment le cours des oueds favorisent l'infiltration d'un important volume d'eau.
- La dégradation du réseau hydrographique du Nord vers le Sud, qui constitue la zone d'épandage.

L'évaluation de cette décroissance pourrait se faire à l'aide de la crue observée sur l'oued Zousfana le 22/01/1979. Les mesures de cette crue ont donné à Béni ounif un débit de pointe de $36.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Le débit de son affluent principal est estimé à $22.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

A Taghit ($S = 10525 \text{ km}^2$), à moins de 200 km à l'aval, le débit de pointe de la Zousfana n'est plus que de $34.3 \text{ m}^3/\text{s}$, soit seulement 59 % des écoulements.

CHAPITRE QUATRIEME

HYDROGEOLOGIE

INTRODUCTION

I – HYDROGEOLOGIE REGIONALE

- 1 – Piémonts Nord des monts des Ksour
 - 1 – 1. Cadre géologique
 - 1 – 2. Les principaux aquifères

- 2 – Piémonts Sud des monts des Ksour
 - 2 – 1. Nappes des terrasses des grands oueds
 - 2 – 2. Nappes du Complexe Terminal

- 3 – Plate forme Saharienne
 - 3 – 1. Hamada Sud Oranaise
 - 3 – 2. Hamada du Guir
 - 3 – 3. Grand Erg Occidental

- 4 – Vallée de la Saoura
 - 4 – 1. Introduction
 - 4 – 2. Hydrogéologie de la vallée de la Saoura
 - 4 – 3. Aquifères de la Saoura

- 5 – Apport de l'hydrologie isotopique
 - 5 – 1. Introduction
 - 5 – 2. Teneurs isotopiques des eaux souterraines
 - 5 – 3. Teneurs isotopiques des eaux superficielles

II – CONSEQUENCE HYDROGEOLOGIQUE DE LA LITHOLOGIE ET LA FRACTURATION SUR LES EMERGENCES DES MONTS DES KSOUR

1 – La lithologie

- 1 – 1. Sables argileux du Complexe Terminal
- 1 – 2. Grés fissurés du Continental Intercalaire
- 1 – 3. Calcaires et dolomies du Jurassique

2 – Etude de la fracturation et de la fissuration

- 2 – 1. Structure de Tiout – Aïn El Hadjadj – Asla
- 2 – 2. Fracturation et fissuration

3 – Les sources et leurs conditions d'émergence

- 3 – 1. Emergences d'origine structurale
- 3 – 2. Emergences liées à la fracturation

III – SYNCLINAUX DES MONTS DES KSOUR

1 – Synclinaux de la partie occidentale

- 1 – 1. Unités hydrogéologiques de Djenien Bou Rezk – Moghrar
- 1 – 2. Synclinal de Béni Ounif

2 – Synclinaux de la partie centrale

- 2 – 1. Gouttières synclinales de Aïn Séfra
- 2 – 2. Synclinal de Naäma
- 2 – 3. Synclinal de Asla

3 – Synclinaux de la partie orientale

- 3 – 1. Synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh
- 3 – 2. Synclinal El Kheloua - Arbaouet

CHAPITRE QUATRIEME

H Y D R O G E O L O G I E

INTRODUCTION

Après l'examen des interprétations tirées de l'analyse des caractéristiques hydrologiques, lithologiques et structurales, il s'est avéré que la chaîne des Monts des Ksour n'en constitue qu'un maillon de l'immense appareil hydraulique d'une partie du Nord Ouest Saharien auquel il lui est rattaché en plusieurs endroits, par liaison hydrodynamique.

Nous serons donc amené à prendre en considération dans une première approche un système hydrogéologique d'échelle régionale englobant les piémonts Nord des Monts des Ksour (bordure Sud du Chott Gharbi), les piémonts Sud des Monts des Ksour (les inféro flux et le *Complexe Terminal* de la Hamadet Bent Touadjine), la plate forme Saharienne (Hamadas et grand Erg occidental) et la vallée de la Saoura. Il nous sera ensuite plus objectif pour appréhender et comprendre les phénomènes hydrogéologiques spécifiques aux Monts des Ksour, régissant la dynamique des écoulements souterrains.

Ainsi cette démarche nous conduira à aborder le sujet sur deux volets, l'un se rapportant au cadre hydrogéologique régional de la partie du Nord Ouest Saharien, l'autre à l'hydrogéologie du *Continental Intercalaire*, centrée particulièrement au sein des synclinaux des monts des Ksour.

I – HYDROGEOLOGIQUE REGIONALE

On peut distinguer un substratum formé de terrains Paléozoïques plissés et pénéplanés s'étendant du Nord au Sud depuis les contreforts de l'Atlas Saharien dont il est séparé par l'accident Sud Atlasique jusqu'au bassin de Tindouf.

Le Cénomano-Turonien, étant absent au Sud, se limite à une centaine de kilomètres de la bordure de l'Atlas. Le Barrémo-Albo-Aptien, représenté par le *Continental Intercalaire* s'étend largement vers le Sud. Le Mio-Pliocène, représenté par le *Complexe Terminal*, caractérisé par les formations rougeâtres continentales, repose en discordance vers le Sud de la plate forme sur le *Continental Intercalaire*. Il constitue un système hydrogéologique complexe.

Des niveaux d'anciens dépôts lacustres ou croûtes calcaires épaisses protègent les formations sous jacentes, donnant l'aspect typique des Hamadas.

Lors des phases humides du Quaternaire, les cours d'eau descendus de l'Atlas et affluents de la rive gauche de la Saoura ont établi un ensemble de Talwegs qui seront fossilisés par l'importante couche sableuse constituant le grand Erg occidental.

1 – Piémonts Nord des Monts des Ksour.

1 – 1. Cadre géologique.

Le raccordement des hautes plaines Oranaises dans sa partie Sud avec les Monts des Ksour se fait par l'intermédiaire de l'accident Nord Atlasique (décrochement avec un rejet qui, le plus souvent varie entre 1500 m et 2000 m).

La carte des grandes coupures tectoniques des Monts des Ksour (fig. 62) permet de situer la position de cette discontinuité Nord Atlasique.

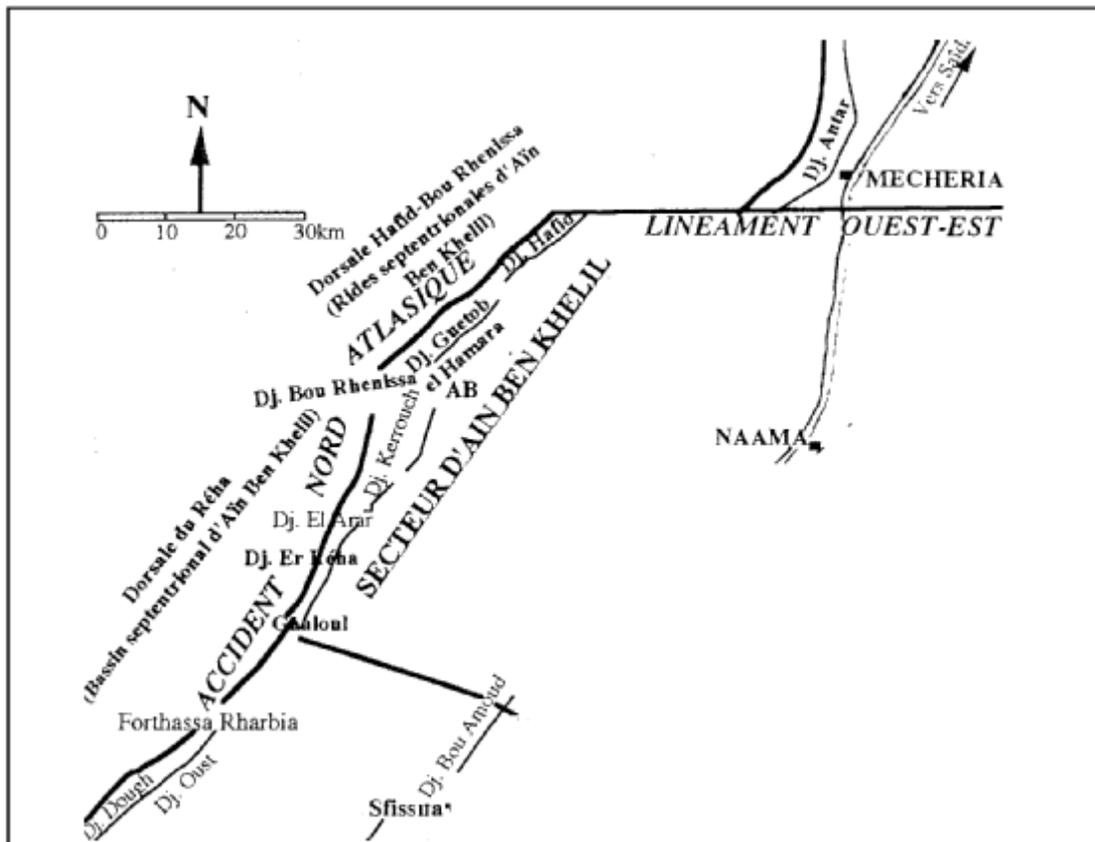


Fig. 62 – Situation de l'accident Nord Atlasique

Au pied des Djebels Oust et Gaâloul, on note des terrains appartenant au Crétacé supérieur continental, au Turonien et Cénomaniens. Au Sud des Djebels, s'étale une vaste étendue de grès Jurassique supérieur, surmontées plus au Sud à Sfisifa par les grès Crétacé inférieur du *Continental Intercalaire*.

La coupe schématique (fig. 63) établie par ALGEO (1977) montre un plissement assez important de synclinaux et d'anticlinaux séparés des hauts djebels par une faille majeure alignée Sud Ouest - Nord Est (faille de Forthassa), faisant partie des satellites de l'accident Nord Atlasique.

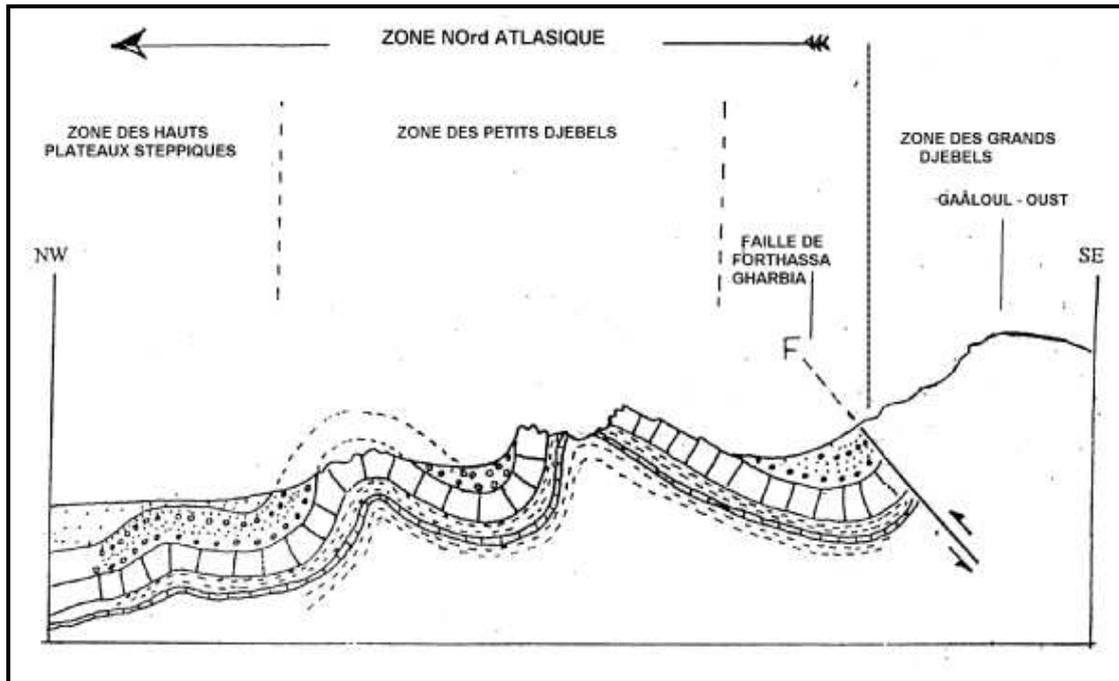
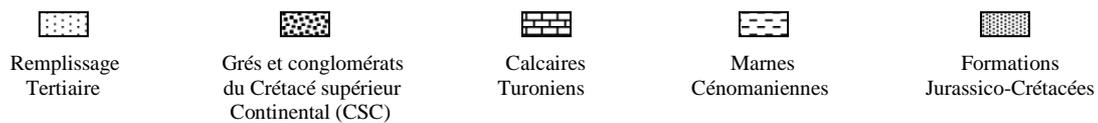


Fig. 63 – Coupe schématique de la structure Jurassico-Crétacée des piémonts Nord des Monts des Ksour (in ALGEO, 1977)



Les terrains secondaires affleurent depuis la dorsale djebel Guetob El Hamara - le djebel Hafid, près de Aïn Benkhelil, jusqu'à l'autre dorsale Gaâloul - Djebel Reha au Nord Est de Forthassa Gharbia. Les formations rencontrées présentent généralement un faciès calcaire-dolomitique de type plate forme. On distinguera :

- Dorsale du Reha (fig. 64) : (Djebel Reha et Djebel Raha Zerga)

- Djebel Reha : correspond à une structure en forme de moulin arrondi d'où son nom. Il culmine 1581m et comprend un autre grand relief, le Guetob Moulay Mohammed.
- Le Djebel Raha Zerga, forme une montagne (1457m) entre Djebel Reha et Djebel El Arar.

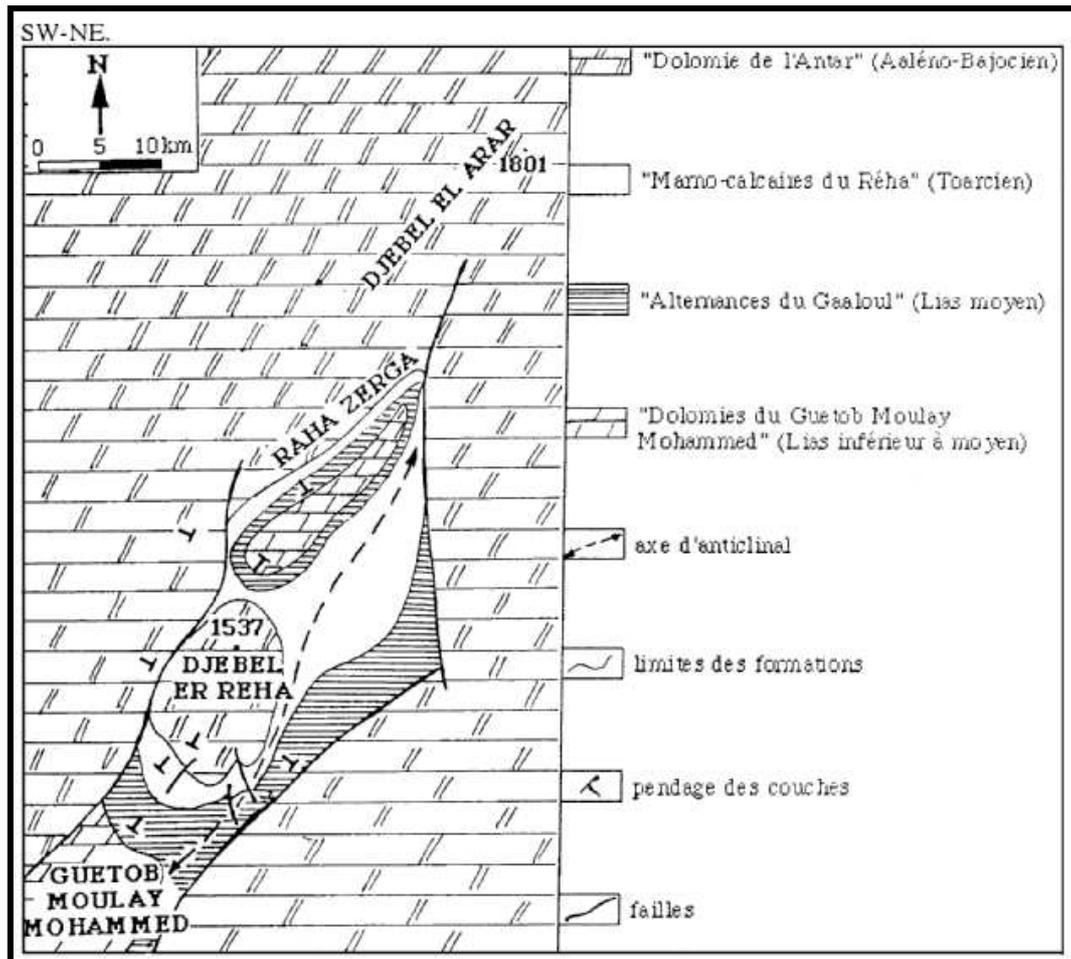


Fig. 64 – Carte géologique de la dorsale du Réha (région de Aïn Ben Khelil)

Cette dorsale montre une structure d'anticlinal éventré du coté SW au niveau de Guetob Moulay Mohammed où la série plonge de part et d'autre d'un axe orienté SW - NE sous les dépôts Tertiaires et Quaternaires. Au centre, affleurent des terrains plus anciens (Lias inférieur à moyen), représentés par des calcaires dolomitiques qui forment au SW le Djebel Guetob Moulay Mohammed. Ils sont surmontés par des calcaires micritiques, séparés par des niveaux de marnes (alternances du Gaâloul), suivis par des marno-calcaires d'âge Toarcien (marno-calcaire du Reha). La série se termine par une grande masse dolomitique, attribuée à l'Aaleno-Bajocien (dolomie de l'Antar) et qui constitue l'aquifère le plus important de la région.

- Dorsale Hafid-Bou Rhenissa (fig. 65):

- Djebel Bou Rhenissa
- Djebel Guetob El Hamara
- Djebel Hafid

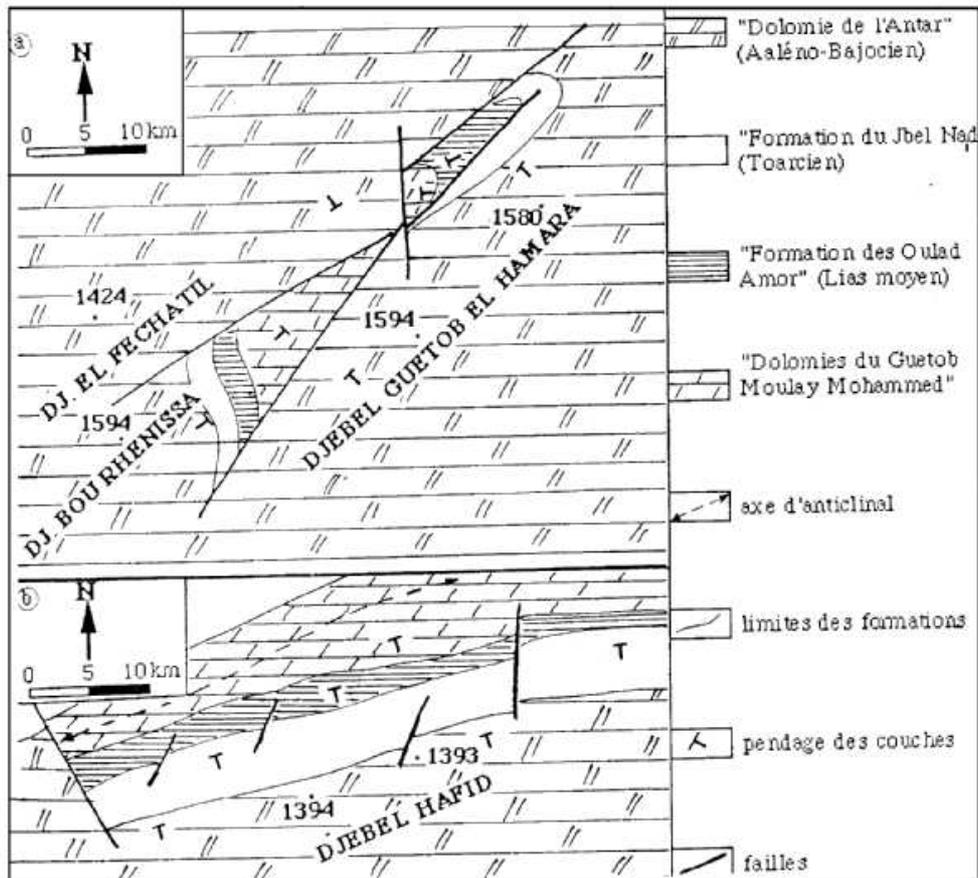


Fig. 65 - Carte géologique de la dorsale Hafid - Bou Rhenissa

Le levé géologique (fig. 65 a et 65 b) montre une structure anticlinale affectée par un réseau de failles de direction généralement Sud Ouest - Nord Est. La formation la plus récente, représentée par les dolomies aquifères de l'Aaléno-Bajocien s'enneie au Sud sous les dépôts de la dépression de Aïn Benkhelil.

1 - 2. Les principaux aquifères.

1 - 2 - 1. Aquifère des calcaires Turoniens

Après avoir recoupé la série des conglomérats et grès du Crétacé supérieur Continental, faiblement aquifère, le forage de Forthassa Gharbia

atteint l'aquifère captif des calcaires Turoniens fissurés à partir d'une profondeur de 110 mètres. Le niveau statique s'est stabilisé à 14.40 mètres (fig. 66). Vers l'ouest au Maroc, un certain nombre de puits captent ces calcaires Turonien à substratum Cénomaniens.

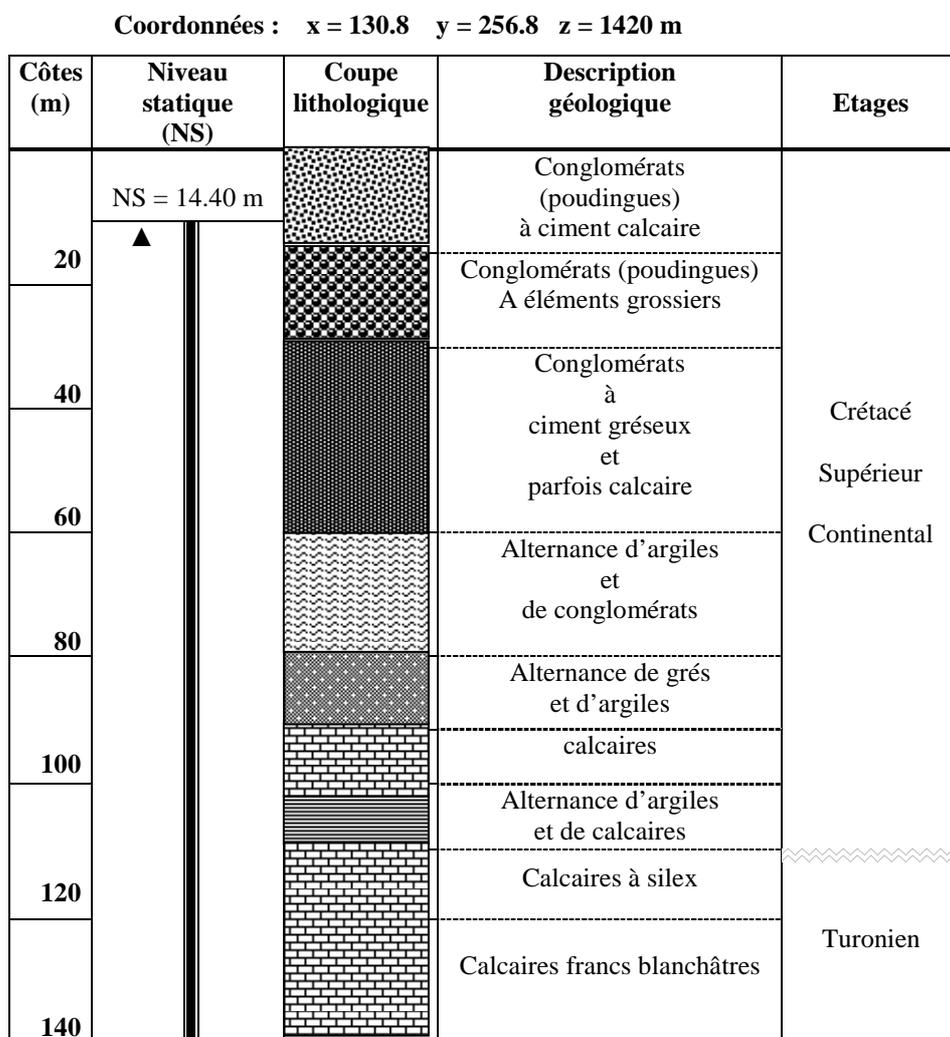


Fig. 66 - Coupe du forage hydraulique de Forthassa Gharbia

1 - 2 - 2. Aquifères des grés du Crétacé inférieur continental et du Callovo-Oxfordien

Les grés du Continental Intercalaire atteignent 150 à 200 mètres au centre de la dépression du Chott. Le toit est représenté par les marnes versicolores du Cénomaniens. Le mur étant constitué de marnes entrecoupées de bancs de grés du Callovo-Oxfordien, pouvant présenter en plusieurs endroits de grandes possibilités aquifères. Il est important de

signaler qu'il est très difficile dans cette région de différencier l'aquifère des grés du Crétacé inférieur de ceux du Jurassique supérieur. Le forage de Mesdouria n° 01 (fig. 67a), près d'Aïn Benkhelil, profond de 150 mètres a donné un débit de 70 l/s pendant une durée de pompage de 72 heures. Le niveau statique s'est stabilisé à 4.70 mètres.

Coordonnées x = 174,4 y = 301.7

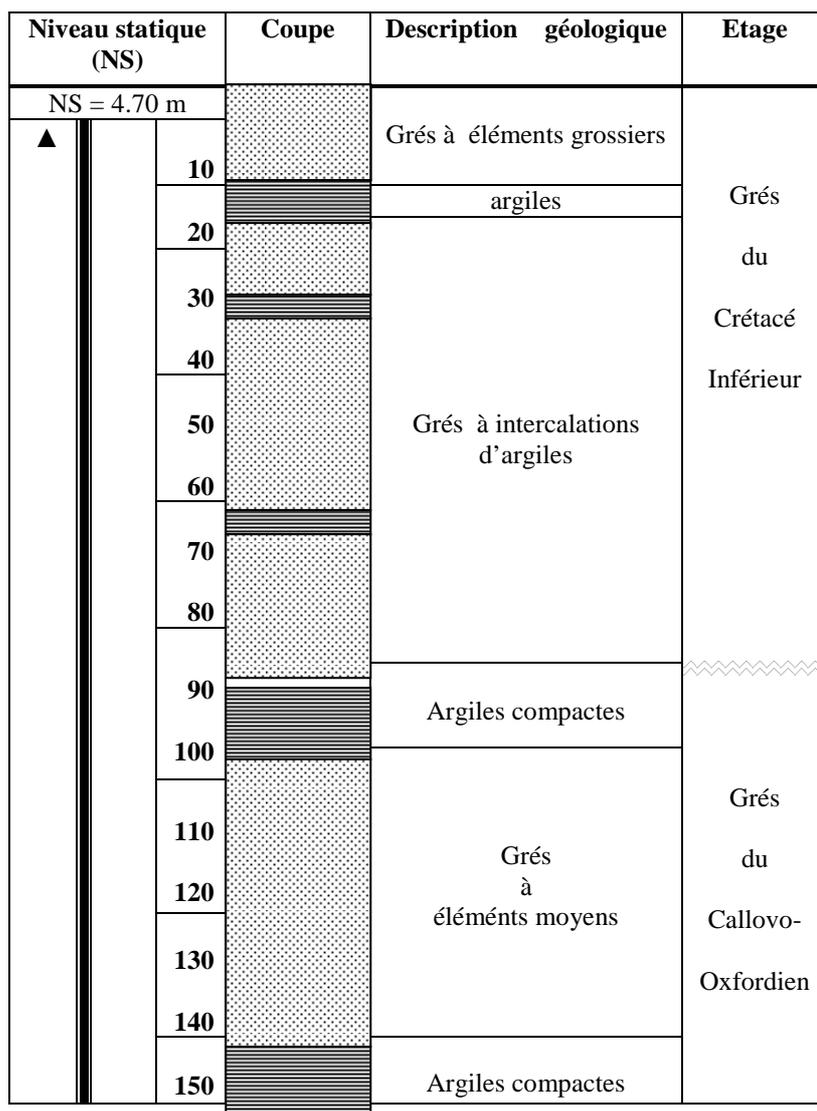


Fig. 67 a - Forage de Mesdouria n°1 (Aïn Ben Khalil)

La courbe d'essai (fig. 67 b) marque un palier de stabilisation au bout de 20 minutes de pompage jusqu'à la fin de la courbe de descente.

Le rabattement correspondant à la stabilisation a atteint 40 mètres de profondeur. En parallèle, la remontée des eaux a été observée pendant une durée de 05 heures.

Ces quelques observations dénotent ainsi l'importance des grandes possibilités aquifères des formations gréseuses Jurassico-Crétacées dans la région d'Ain Ben khalil.

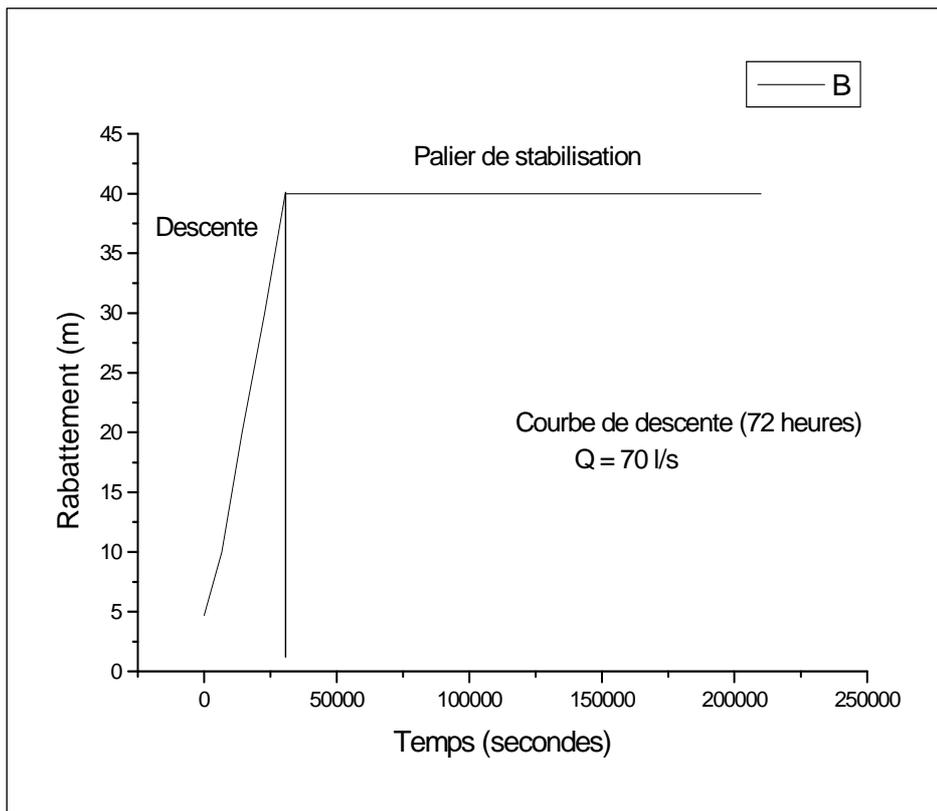


Fig. 67 b – Courbe de pompage : forage Mesdouria n° 01

1 – 2 – 3. Aquifère des calcaires dolomitiques du Jurassique moyen

L'aquifère est formé essentiellement par des calcaires dolomitiques, finement cristallins, d'une puissance variable, qui diminuent généralement vers le Nord.

Cette formation très fissurée est mise en évidence, particulièrement par l'ancien forage réalisé par la SN REAH ($x = 127.55$, $y = 338.55$) à 320 mètres de profondeur dans le Chott Gharbi.

D'autres forages, plus récents (2000 - 2001) captent cette formation. On citera particulièrement:

- Forage Oglat Maghboura (région de Kasdir): $x = 115.00$, $y = 375.00$

Profond de 392 mètres, le forage recoupe des calcaires blancs, parfois dolomitisés épais de 70 mètres, rencontrés à une profondeur de 296 mètres, reposant sur un substratum formé par des roches vertes et des ophites. L'aquifère, dont le niveau statique s'est équilibré à 100 mètres, a été rabattu de 5 mètres lors du pompage d'essai pour un débit constant de 40 l/s. Une épaisse formation argilo-gypseuse surmonte cet aquifère, lui conférant un faciès chimique sulfaté sodique (fig. 68).

- Forage Ras Guenatis (région de Mechria) : $x = 258.10$, $y = 337.30$

Profond de 350 mètres, le forage recoupe des calcaires à intercalations marneuses à partir de 40 mètres jusqu'à une profondeur de 340 mètres. Le niveau statique, stabilisé à 38 mètres a été rabattu de 59 mètres lors du pompage à débit constant de 25 l/s (04/02/2001 au 06/02/2001). Cet aquifère est caractérisé par un faciès chimique bicarbonaté magnésien, classé dans les eaux de bonne qualité (fig. 68).

Les affleurements sont observés au SW dans le Djebel Mezioud (Maroc), au SE dans les Djebels Antar et Amrag ainsi que dans la région de Aïn Benkhelil où la formation dolomitique est marquée par l'érosion du cœur de l'anticlinal entre Djebel Er Rich et Djebel El Arar.

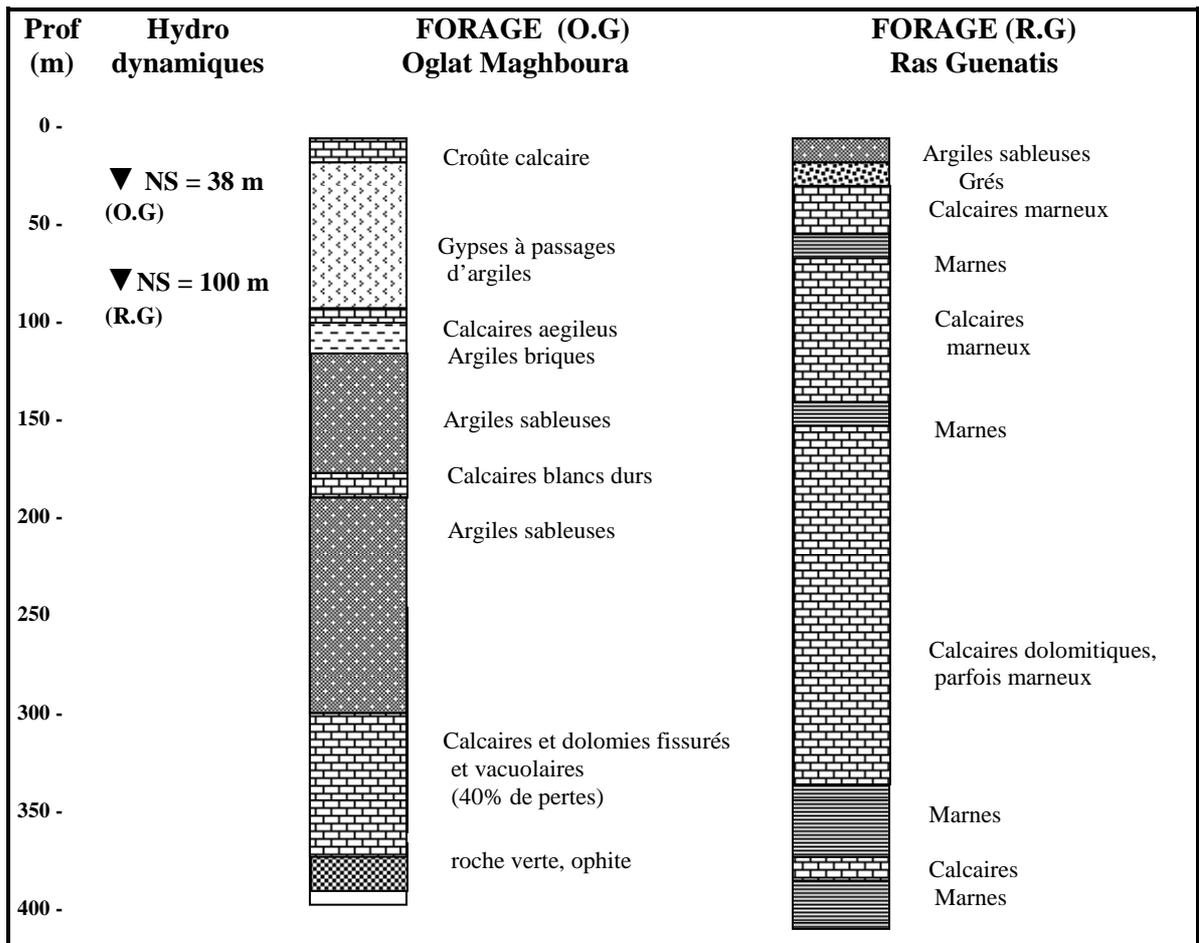


Fig. 68 – Aquifères des calcaires dolomitiques dans le Jurassique moyen

1 – 3. Les zones d'alimentation.

L'alimentation se fait à partir des piémonts Nord des Monts des Ksour par :

- Voie hydrodynamique entre les formations gréseuses Jurassico-Crétacées et les calcaires dolomitique de l'Aaleno-Bajocien.
- Ecoulement hypodermique particulièrement au droit des Teniet qui constituent des couloirs privilégiés d'alimentation (photos 1 et 2). On notera principalement :

- Teniet Chiakha entre Djebel Guetob El Hamara et Djebel Hafid (fig. 69 a)

- Teniet Guetob El Hamara entre Djebel Bou Rhenissa et Djebel Guetob El Hamara (fig. 69 a)
- Teniet allant vers Daiet doui Menia entre Guetob Moulay Mohammed et Djebel Gaâloul (fig. 69 b)
- Cluse de Forthassa Gharbia entre Djebel Gaâloul et Djebel Dough (Maroc). (fig. 69 b)

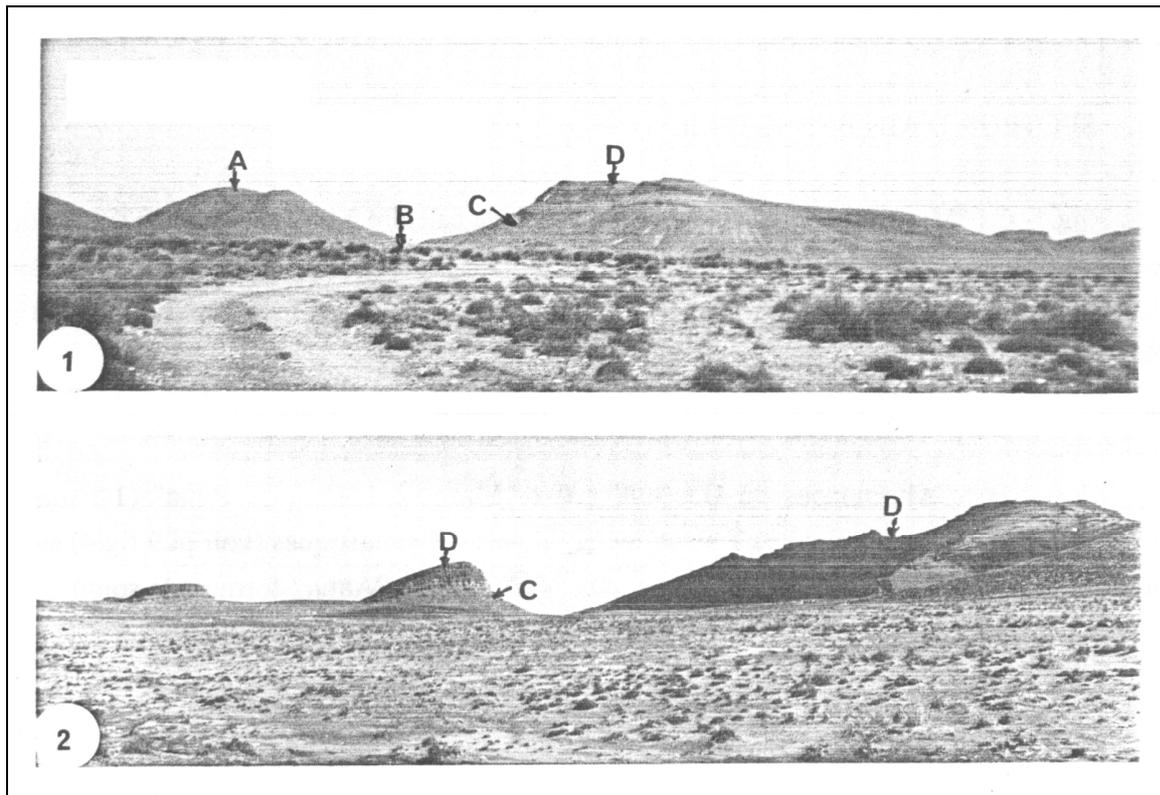


Photo 01 : Djebel Moulay Guetob Mohammed

A : Dolomies de Moulay Guetob Mohammed formant les 02 monticules du même nom

B : Alternances du Gaâloul

C : Marno-calcaires du Djebel Reha

D : Dolomies formant le sommet du Djebel Reha

Photo 02 : Djebel Reha Zerga

C : Marno-calcaires du Reha

D : Dolomies formant le sommet

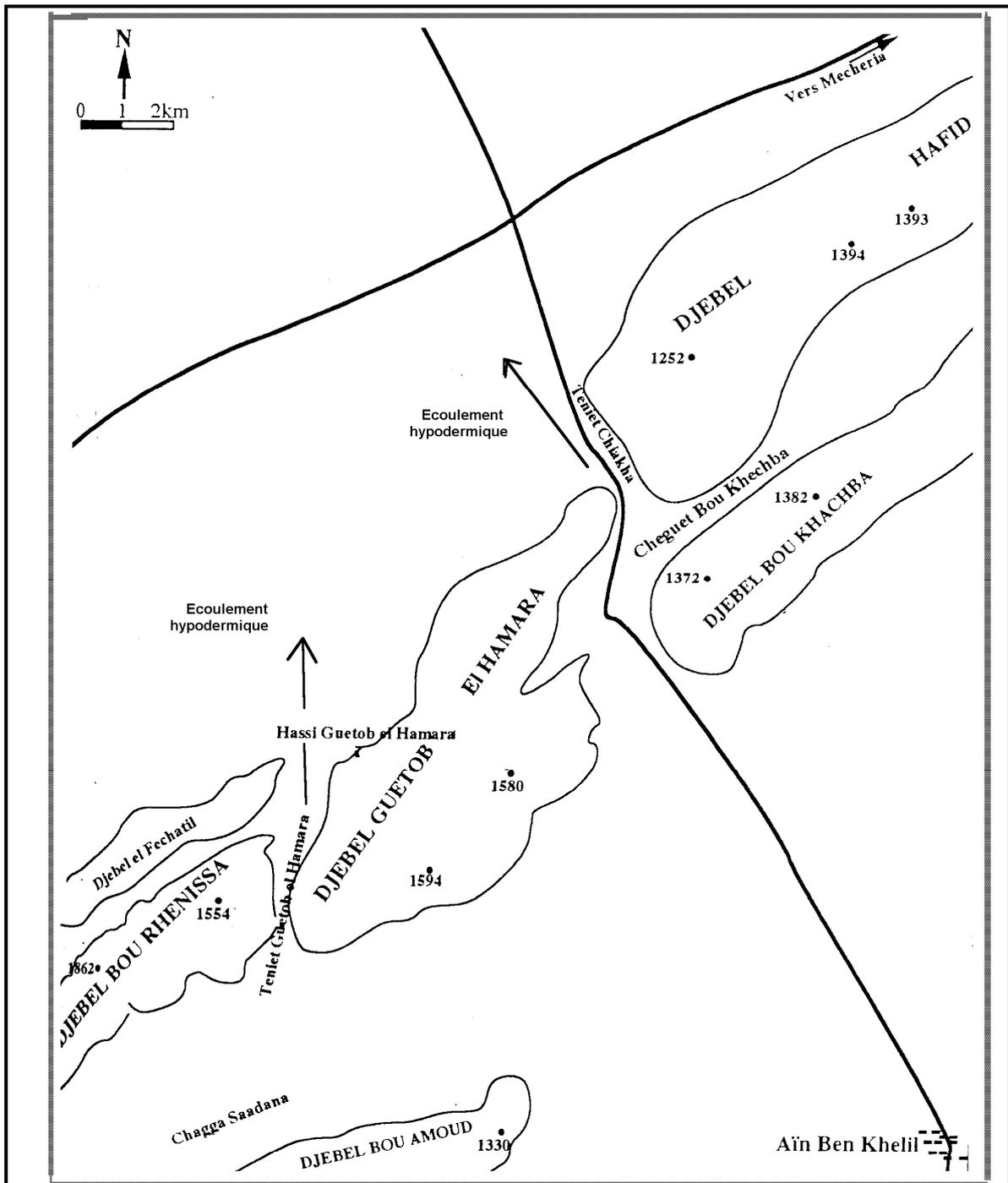


Fig. 69 a - Zones d'alimentation par écoulement hypodermique

Extrait de la carte topographique de Guetob El Hamara au 1/100.000°

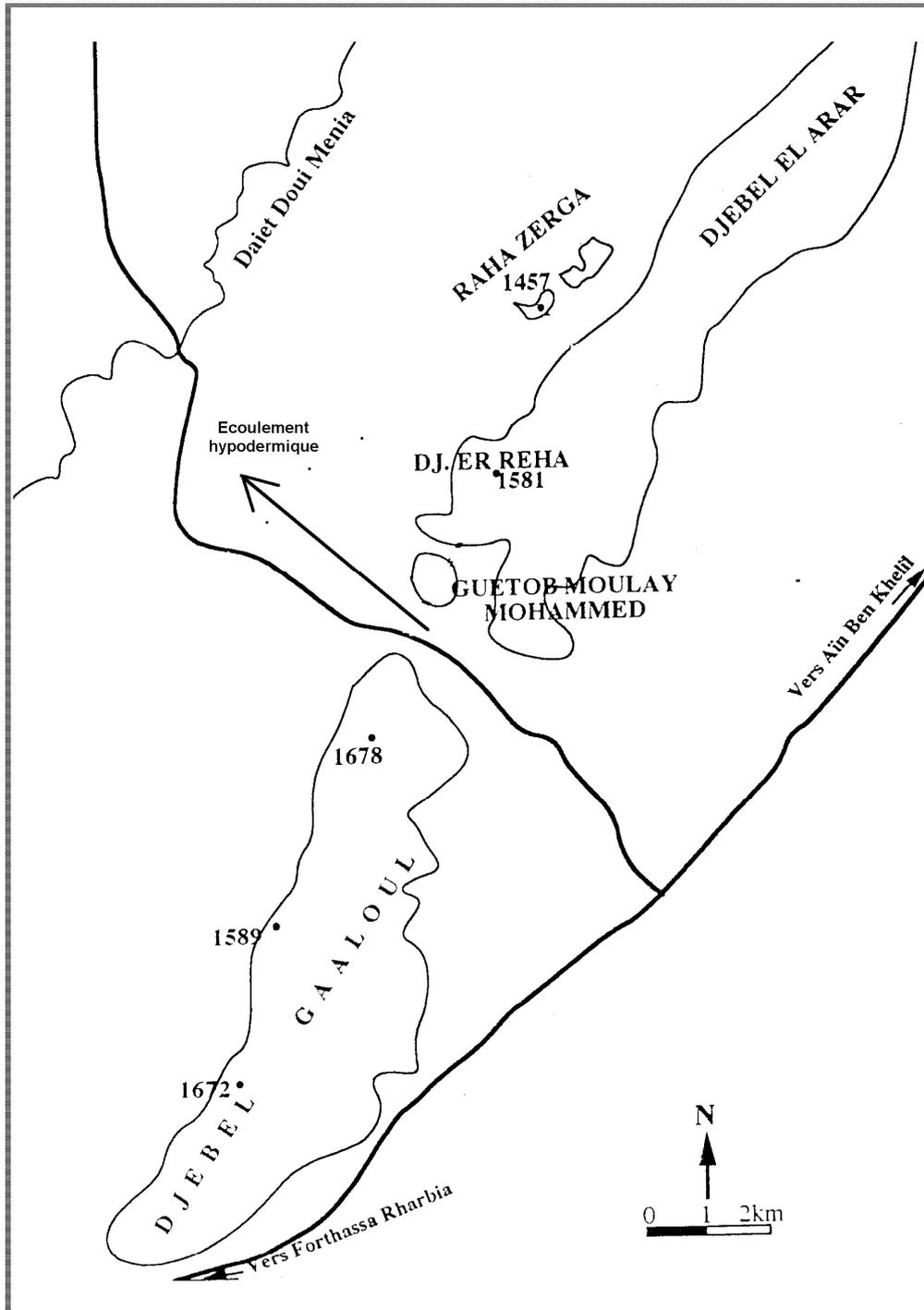


Fig. 69 b - Zones d'alimentation par écoulement hypodermique

Extrait de la carte topographique de Djebel Arar au 1/100.000°

2 – Piémonts Sud des Monts des Ksour

La région Oued Namous – Oued Gharbi constitue un vaste système hydrogéologique jouant le rôle de carrefour entre la chaîne Atlasique au Nord et les terrains de couches rouges du *Complexe terminal*, sous jacents à la dalle Hamadienne au Sud.

Par définition, on désigne sous le terme de nappe du *Complexe Terminal* un ensemble de plusieurs aquifères, situés au dessus du Cénomaniens imperméable. Elle se différencie nettement de la nappe du *Continental Intercalaire*, dont elle est séparée par le Cénomaniens, lequel disparaît plus au Sud.

Les intercommunications entre le Sénonien, l'Eocène, et le Mio-Pliocène sont évidentes, à l'exception de la région des Chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméables vient s'intercaler.

Il y a lieu de distinguer 02 grands ensembles morphologiques différents : les nappes des terrasses des grands oueds (nappes des inféro-flux) et la nappe du *Complexe Terminal* (Hamada Bent Touadgine).

2 – 1. Nappes des terrasses des grands oueds

Les eaux sont contenues dans les terrasses des grands oueds, constituant des ressources, généralement exploitées par les nomades. Malgré la très forte évapotranspiration, les niveaux piézométriques sont maintenus grâce aux crues, génératrices de débits importants, issues de l'Atlas Saharien.

2 – 1 – 1. Inféro flux de l'oued Segguer

C'est au niveau de Hassi Sebaïhi, dans le lit majeur que l'on retrouve les différentes terrasses qui composent l'inféro flux. Il n'existe aucun puits à l'aval de Hassi Sebaïhi :

- 1^{ère} terrasse : poudingues grossiers (5 à 6 m).

- 2^{ème} terrasse : sables rouges à galets de calcaires blancs, recouverts de poudingues grossiers (20 m).
 - 3^{ème} terrasse : grés friable rouge, entablé par un poudingue grossier (40 m).
- La phase d'érosion a été tellement forte que même le substratum, représenté par les terrains des Gours a été entaillé.

2 – 1 – 2. Inféro flux de l'oued Gharbi

A proximité de Hassi Khranfoussi, on retrouve 02 terrasses de 20 mètres, ne laissant pas apercevoir le substratum Miocène. En plusieurs points, on peut voir les terrasses s'incliner fortement et passer de l'une à l'autre. Sur la rive gauche de l'oued entre M'tifla et Rocknet El Alib, un banc de poudingue coiffant une terrasse de plus de 54 mètres, s'abaisse rapidement vers le Nord. On doit voir là encore, une conséquence de l'intensité des phases d'érosion qui peut creuser des vallées de 80 à 100 mètres dans les terrains des Gours.

Parmi les points d'eau, on citera Hassi Bouzid, Hassi Izi, Hassi Tseldja et Hassi Zebirat. Dans la partie moyenne de ces deux grands oueds, au niveau de la Hamada, la nappe superficielle ne peut être contenue que dans les couches rouges ou terrains des Gours.

2 – 1 – 3. Inféro flux de l'oued Namous

Le lit de l'oued Namous entre Hassi Guetrani et Hassi Mamoura a une largeur variant entre 700 et 1000 mètres, irrigué et fertilisé directement par les crues. Un certain nombre de puits, longeant l'oued captent la nappe.

On citera :

- Au Nord, sur la feuille de Aïn Séfra : Hassi El Botma, Hassi Laouted et Hassi Sedra où les niveaux statiques ne dépassent guère 7 mètres.
- Vers le Sud, sur la feuille de Maâmoura : Hassi Guetrani (NS = 8.7 mètres), Hassi El Attak, Hassi Maâmoura et Hassi Khelouat Sidi Cheikh (NS = 15.2 mètres).

2 – 2. Nappe du Complexe Terminal

2 – 2 – 1. Considérations générales

Il s'agit de formations sablo-argileuses de couleur rouge avec quelques passages de calcaires lacustres et de grès. L'épaisseur recoupée par les forages varie entre 150 et 350 mètres. Les formations sous jacentes sont constituées par le complexe Cénomano-Turonien, épais de 150 mètres.

Selon les sondages pétroliers, la limite méridionale d'extension du Cénomaniens le long de l'oued Namous se situe approximativement entre Garet Es Slougui et Djorf El Atfal. Au Sud de cette zone, le *Complexe Terminal* repose directement sur le *Continental intercalaire*.

La nappe du *Complexe Terminal* a été bien mise en évidence au niveau de la Hamada Bent Touadjine, entre l'oued Namous et l'oued Gharbi, grâce aux forages hydrauliques et pétroliers. Par contre, aucun point d'eau n'a été réalisé sur la Hamada entre Oued Gharbi et oued Segguer.

2 – 2 – 2. Les données d'anciens puits

La Hamada Bent Touadjine est plutôt une région d'affleurement de couches rouges qu'une plaine Quaternaire ; les quelques puits très profonds vont chercher l'eau bien en dessous de la Hamada.

Les couches rouges visibles dans les Gours ou traversées par les puits sont bien en place depuis l'époque de leur élaboration (au moins Miocène). A titre d'exemple, il est difficile d'admettre qu'un puits comme Hassi Guebeirat, dans l'axe de l'oued Namous traverse 105 mètres d'alluvions Quaternaires ; il est certainement plus probable qu'il s'enfonce dans les couches rouges.

L'examen des puits de Zebirat, Boukhala et du Nord de Garet Yamina montre des coupes très semblables avec de la base au sommet :

- sables gréseux jaunâtres.
- sables à peine cimentés rouges bruns.
- grès rouges (30 m) avec au sommet des concrétions cylindriques.
- Grès grisâtres (30 m) recouverts de débits d'une carapace calcaire.

En résumé, l'épaisseur examinée sur une même verticale du terrain des Gours atteint 125 mètres. Ce sont uniquement des sables rouges et grès mal agglomérés.

2 – 2 – 3. Les données de forages

- Hamada Bent Touadjine

- Forages hydrauliques :

Les forages recoupent la totalité du *Complexe Terminal* ; certains pénètrent en partie dans le *Continental Intercalaire*. Les caractéristiques du forage le plus occidental (Djefra) sont difficilement décelables en raison de la similitude des faciès rencontrés.

Les épaisseurs du *Complexe Terminal* et du *Continental Intercalaire* diminuent vers l'Ouest (Hamada comprise entre Oued Namous et Oued Zoubia) où le Jurassique est moins profond. Un forage d'eau de la Sonatrach Draâ El Kheïma (x = 0°40'27", y = 30°40'58") s'étant avéré négatif, a atteint le Jurassique avant la côte 110 mètres.

Tableau 24 : Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages hydrauliques

Nom du forage	Profondeur (m)	Altitude (m)	Niveau statique (m)	Epaisseur du Complexe Terminal	Débit l/s	Résidu sec mg/l
42 (B ₂ N ₃)	230	841	130	214,7	----	555
43 (B ₂ N ₄)	200	810	119	192,4	02	1150
56 (Ni1) O.Namous	963	695	206	200	1,5	740
57 (AmgH ₁) Djorf.Atfal	260,8	650	163	224	4,0	450
58 (AmgH ₂) Arch.Megta	260	635	160	240	2,0	470
40 (Nm ₁) H.Guebairat	1620,7	562	83,40	160	2,5	414
44 Guer-Zaï	160	805	19.20	92	17,5	480
46 H.Touadjine	1921,4	785				

Le tableau n° 24 résume les caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages hydrauliques, inventoriés sur la carte géologique de la Hamada Bent Touadjine (planche 06).

Les caractéristiques hydrogéologiques des différents forages hydrauliques nous indiquent qu'on est en présence d'une nappe très complexe, contenue à la fois dans deux horizons aquifères, l'un attribué au Mio-Pliocène (*Complexe Terminal*), l'autre plus profond, attribué au Barrémo-Albo-Aptien (*Continental Intercalaire*).

Cependant, on peut remarquer que les niveaux statiques varient entre 19 m (forage n°44, Guern-Zaïa) et 206 m (forage n°56, Ni-1), signe évident de la présence d'un système aquifère multicouche, conditionné particulièrement par des échanges hydrodynamiques verticaux. Nous assistons ainsi à un phénomène de drainance ascendante, impliquant l'alimentation du *Complexe Terminal* par le *Continental Intercalaire*.

Pour comprendre ce phénomène, il y a lieu de l'expliquer de la façon suivante :

Les débits sont généralement faibles, inférieurs à 04 l/s, caractéristiques des points d'eau de la Hamada Bent Touadjine. Toutefois le forage n° 44 (Guer-Zaïa), recoupant le *Complexe Terminal* sur 92 mètres et profond de 160 mètres, capte également le *Continental Intercalaire* avec un niveau statique de 19,20 m. Il donne un débit relativement important de 17,5 l/s avec un résidu sec de 480 mg/l, caractéristique des eaux du *Continental Intercalaire*.

Tout ceci dénote que la charge (19,20 m) représente bien le niveau statique du *Continental Intercalaire* et que par conséquent les eaux du Crétacé inférieur (*Continental Intercalaire*) alimentent celles du Mio-Pliocène (*Complexe Terminal*).

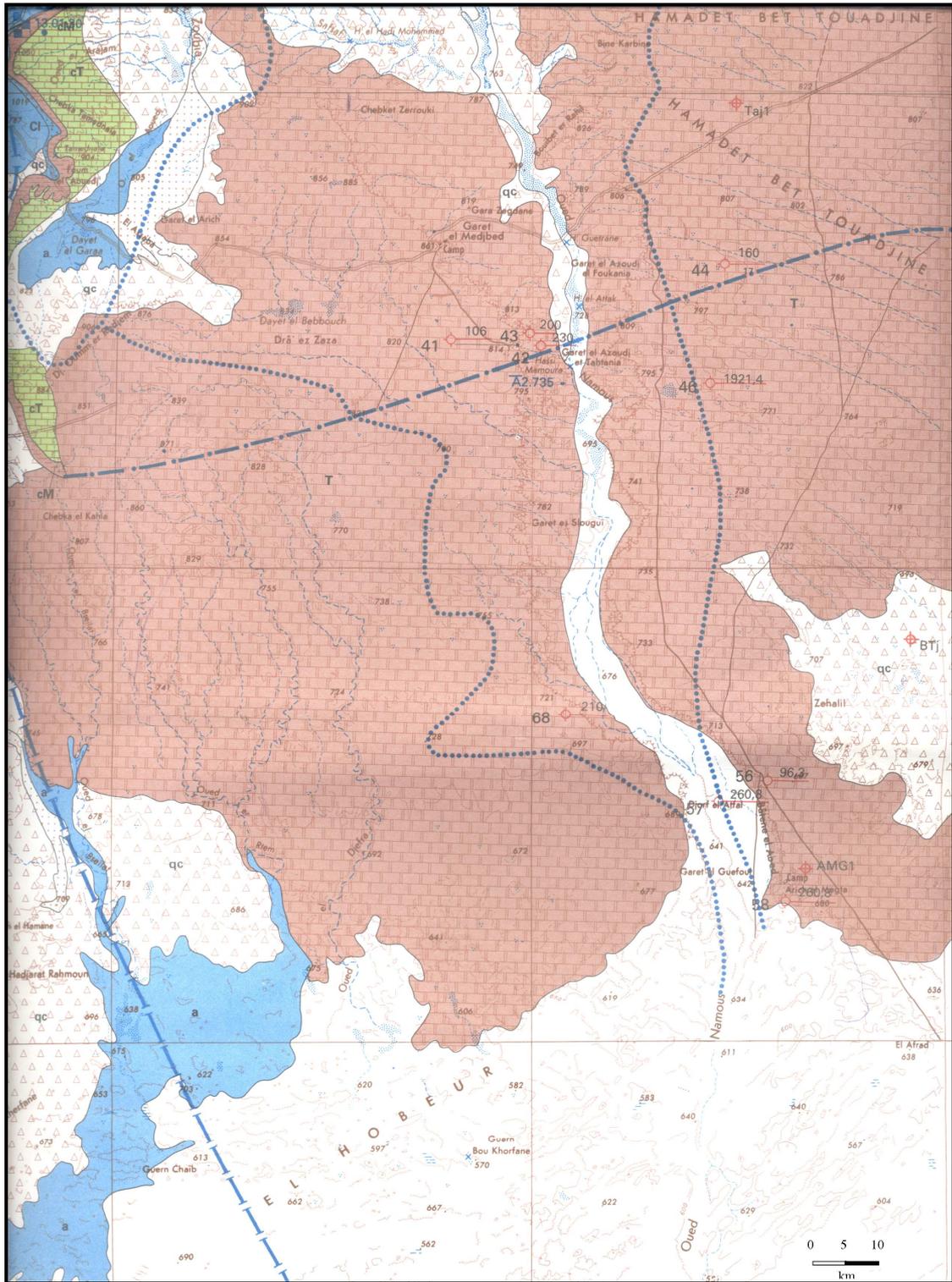
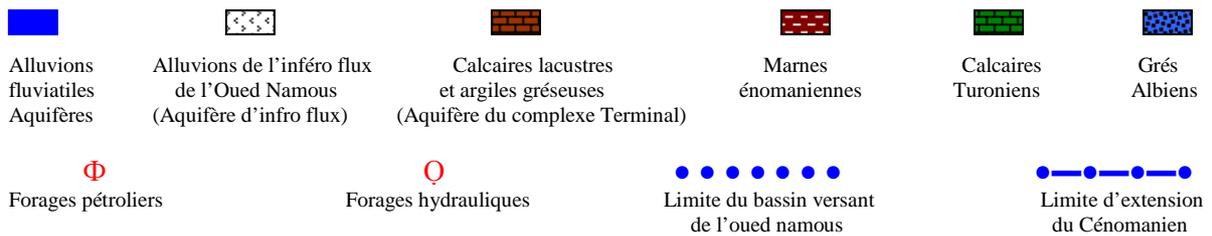


Planche. 06 - Carte géologique de la Hamadet Bent Touadjine : région Oued Namous – Oued Gharbi
(Extrait de la carte hydrogéologique de Béchar au 1/500.000^e)



- *forages pétroliers* (fig. 70)

Dans la Hamada comprise entre l'oued Namous et l'oued Gharbi (Hamada Bent Touadjine), des sondages profonds réalisés par des firmes pétrolières (SN Répal, Sonatrach) ont permis de mettre en évidence un certain nombre d'informations, relatives à la limite d'extension du Cénomaniens ainsi que de l'épaisseur du *Complexe Terminal* et du *Continental Intercalaire*.

* Coupes des sondages de l'Oued Namous (fig. 70 a)

Tableau 24 : Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages pétroliers

Sondages pétroliers	Profondeur (mètres)	Complexe Terminal	Cénomano- Turonien	Continental Intercalaire
Taj.1 Touadjine	3800	350	140	480
Btji.1 et Touadjine	1950	250	0	300
Ni.1 D.Namous	1980	200	0	280
Amg.1 Arch Megta	2000	200	0	260
Nm.1 Guebâiret	2000	220	0	250

Epais de 140 m, Le Cénomaniens disparaît entre les forages Taj.1 et Btji.1 laissant reposer directement le *Complexe Terminal* sur le *Continental Intercalaire*. Ces deux unités hydrogéologiques diminuent d'épaisseur du Nord vers le Sud.

Le Trias profond de 1940 m au forage taj.1 remonte à 500 m au niveau du forage Nm.1, caractérisant un bassin subsident au niveau de Hamadet Bent Touadjine.

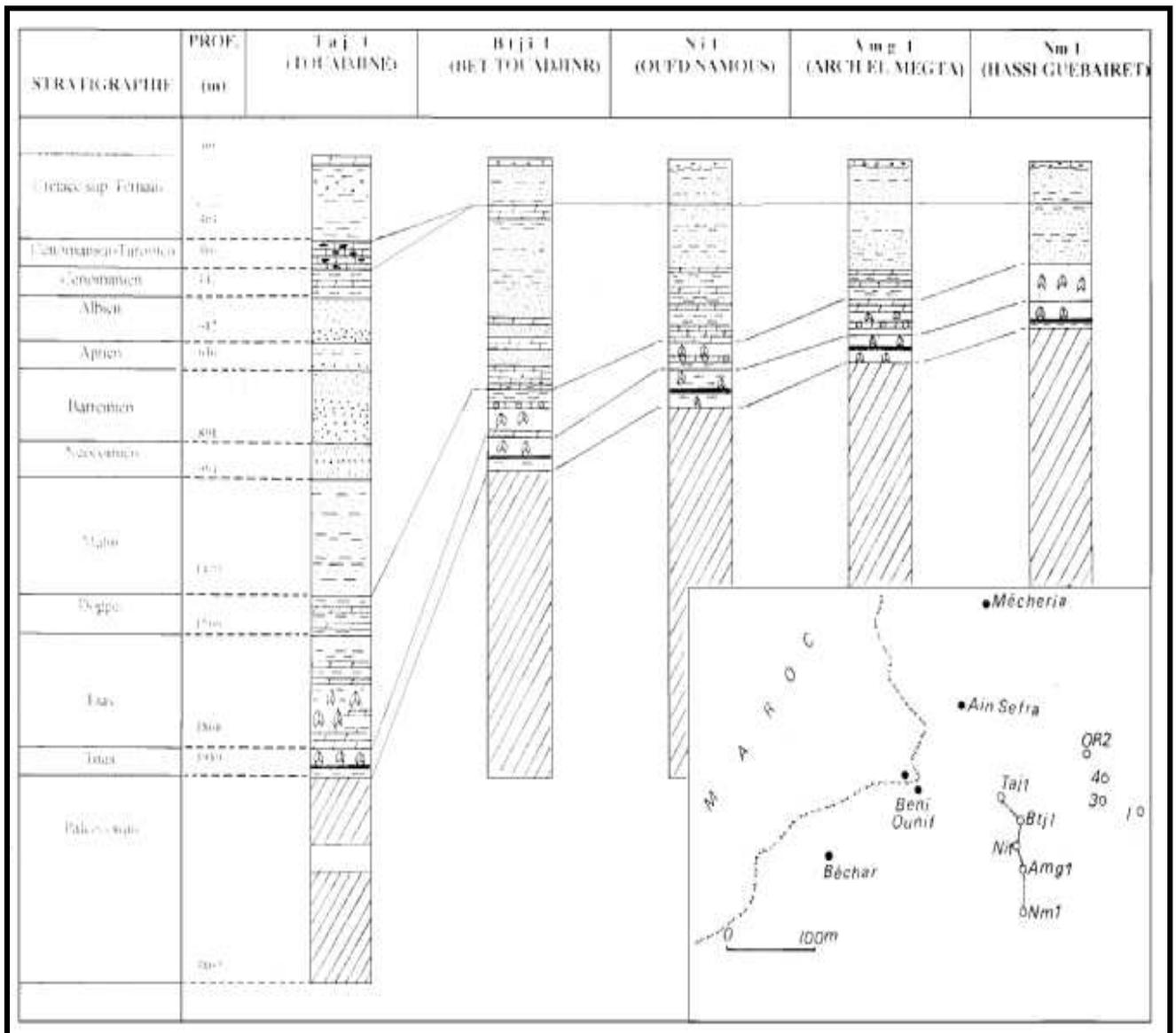


Fig. 70 a – Coupes des sondages pétroliers de l'Oued Namous

* Coupes des sondages de l'Oued Gharbi (fig. 70 b)

Tableau 25 : Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages pétroliers

Sondages Pétroliers	Profondeur (mètres)	Epaisseurs (mètres)		
		Crétacé sup et Tertiaire	Continental Intercalaire	Profondeur Trias
OR1	1921,4	300	600	1100
OR2	1709,4	280	300	850
OR3	1600,0	310	350	870
OR4	1500,0	270	450	890

Nous assistons à la même configuration mais avec un Trias moins profond (1100 m). Le *Complexe Terminal* garde une épaisseur relativement constante alors que le *Continental Intercalaire* épais de 600 m (OR1), diminue de 300 m (OR2), puis augmente à 450 m (OR4).

- Hamada de l'Oued Segguer

Les forages, exécutés pour le compte de l'organisation commune des régions Sahariennes a pour objet la recherche et le captage d'eau en vue de créer des centres de regroupements. Ils ont été implantés dans la Hamada à une centaine de kilomètres d'El Abiodh Sidi Cheikh.

- Forage Hassi Mokta : près de Bordj Thersen sur la piste d'El Abiod S/C
- Forage Oued Kerche : dans le lit de l'oued qui porte le même nom.
- Forage Oued Gherbi : dans le lit de l'oued au Sud Est de Benoud.
- Sondage Hassi Djader.

Tableau 26 : Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages

Forages	Profondeur (m)	Niveau Statique (m)	Débit l/s	Rabattement (m)	Epaisseurs		
					Ceno- manien	Turonien	Complexe Terminal
H. Mokta	248	158.0	4.70	10		51	197
O.Kerche	235	93.30	2.90	67			120
O.Gherbi	300	76.26	0.50	61	114	41	145
H.Djader	200	77.00	0.05	---			186

Ce sont des forages à faible débit, ne dépassant guère 5 l/s. Le *Complexe Terminal* d'épaisseur comprise entre 120 et 197 m paraît très peu aquifère

suite à sa faible perméabilité. L'alimentation provient principalement des calcaires Turoniens sous jacents, particulièrement au niveau du forage de Hassi. Mokta où on observe un meilleur débit pour un rabattement de 10 mètres.

Le *Continental Intercalaire* n'a pu être recoupé à travers ces forages. Sa profondeur doit dépasser 300 mètres

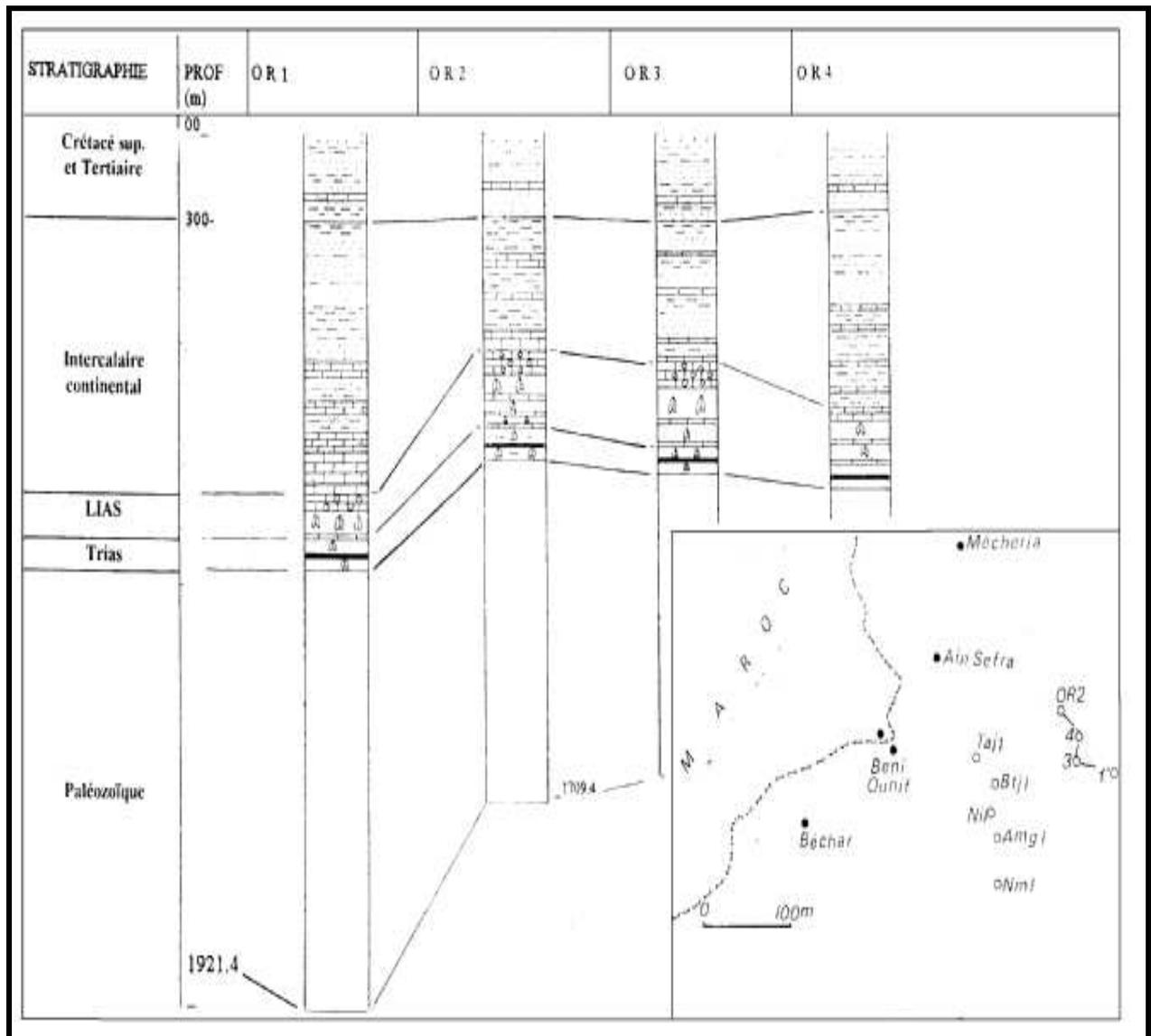


Fig. 70 b – Coupes des sondages pétroliers de l'Oued Gharbi

3 – Plate forme Saharienne

3 – 1 Hamada Sud Oranaise (fig.71)

La base de la série est représentée par des formations grossières, fortement redressées au pied des monts des Ksour. Au delà, viennent des sables et argiles rouges qui atteignent de grandes épaisseurs au Nord, en raison du fléchissement de la plate forme Saharienne au contact de l'accident Sud Atlasique.

Sachant que le Cénomaniens disparaît à l'amont des forages des oueds Rharbi et Namous, il faut admettre que dans ce secteur sables et argiles rouges viennent directement au contact du *Continental Intercalaire* et par conséquent des connections hydrodynamiques existent entre les deux aquifères. Les limites occidentales et méridionales du *Continental Intercalaire* étant mal connues, nous ne pouvons savoir à quel niveau les formations primaires plissées jouent le rôle de substratum pour le Néogène.

Par contre, un élément important est à retenir, étant qu'à l'aval de Hamada, sable et argiles rouges ont fait place à une formation marneuse blanche appelée Torba.

A Béni Abbas, la dalle des calcaires lacustres Pliocène surmonte cette Torba qui repose elle même sur le dévonien plissé. Sur ces calcaires, viennent des niveaux sablonneux dans lesquels s'intercalent des argiles rouges nommées Tachenrit. La dalle des calcaires Pliocènes a pour mur la Torba et pour toit le Tachenrit. Elle constitue ainsi le seul aquiducte possible pour les eaux de la nappe du grand Erg.

L'ensemble Hamadien a été largement disséqué par les oueds Quaternaires (Zousfana, Namous, Gharbi et Seggueur) qui dévalent à partir des piémonts Atlasiques. Par la suite, l'instauration du climat désertique en permettant la mobilisation par les vents de sables entraînés au Sud lors des phases

pluviales, va permettre la formation du Grand Erg Occidental qui fossilisera par la suite les lits des paléo oueds. La Hamada elle même disparaissant sous l'épais manteau sableux.

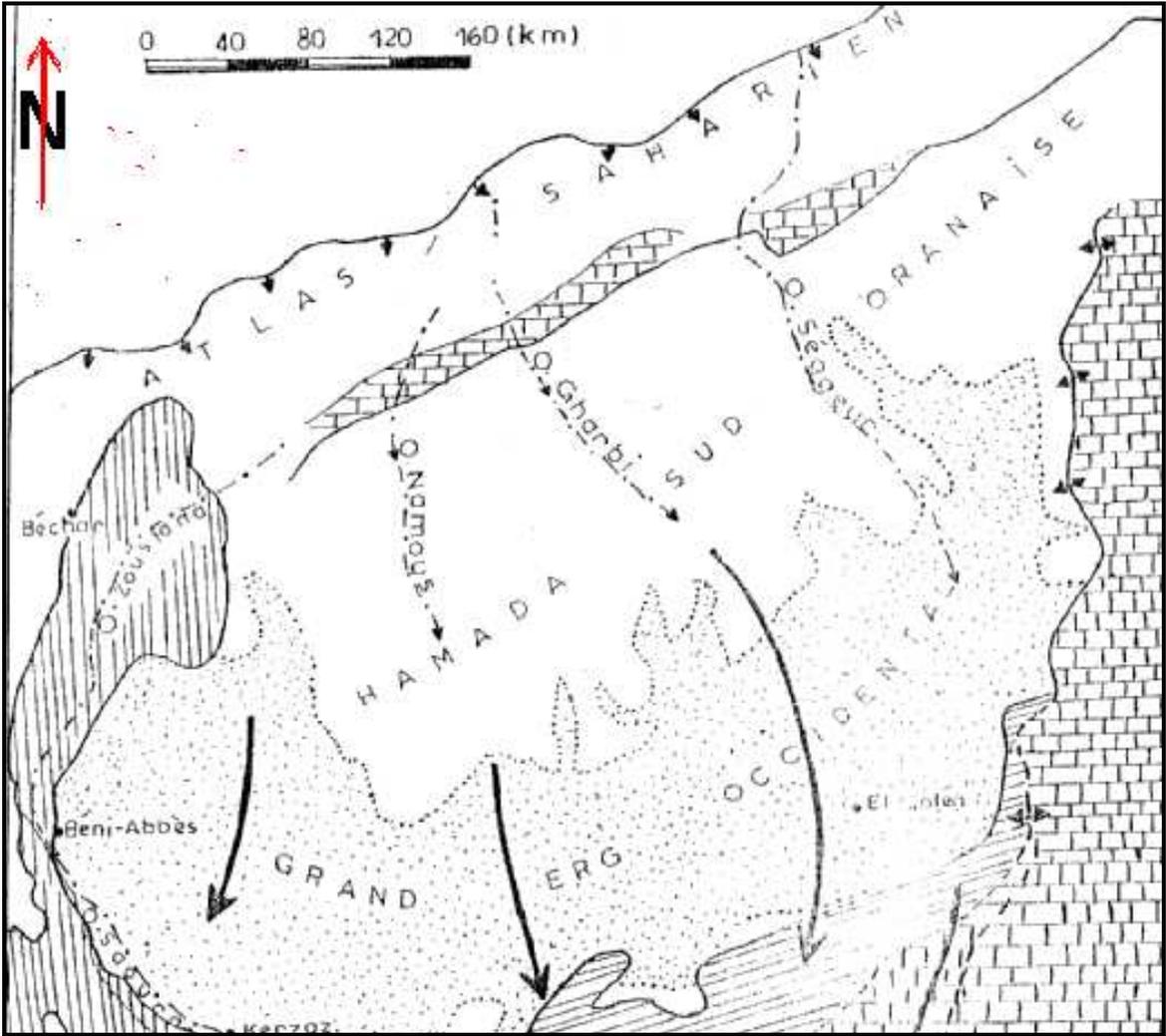
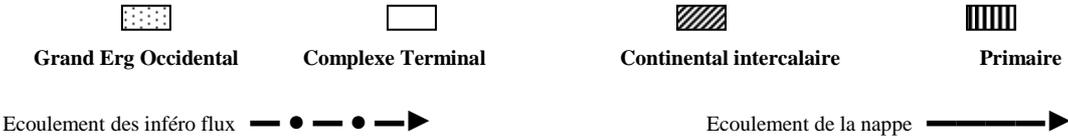


Fig. 71 – Carte hydrogéologique de la Hamada Sud Oranaise

(Extrait de la carte hydrogéologique du Sahara Nord Occidental.
 (R. Gonfiantini, G. Conrad, J. CH. Fontes – 1974)



La coupe schématique établie entre l'Atlas des Monts des Ksour et la vallée de la Saoura (fig. 72) permet de faire ressortir la complexité du système hydrogéologique du Nord Ouest Saharien. En effet, l'entablement des calcaires Pliocènes joue un rôle de relais, permettant de drainer les eaux souterraines, issues de la Hamada et la nappe sous l'Erg vers la vallée de la Saoura.

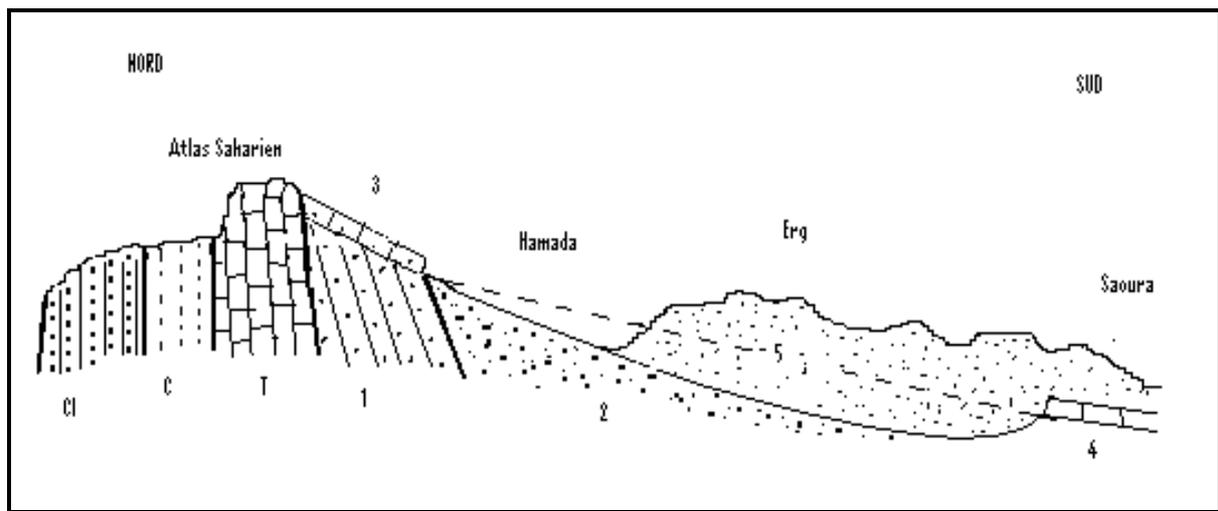


Fig. 72 – Coupe géologique schématique Atlas Saharien – Hamada – Grand Erg - Saoura

T : Barre de calcaires Turonien de la bordure Atlasique, **C** : Cénomaniens, **Ci** : Continental Intercalaire
1 : Formations détritiques grossières à la base e la série, **2** : Sables et argiles rouges, **3** : Poudingues de carapace calcaire,
4 : Entablement calcaire, **5** : Grand Erg

Au Nord, la limite de l'aquifère est indissociable des contreforts de l'Atlas et des apports du *Continental Intercalaire* (liaison hydrodynamique). Les inféro flux (Zousfana et Namous) quant à eux qui drainent le versant méridional de l'Atlas, interviennent principalement par voie aérienne (crues de printemps) et écoulement hypodermique.

La limite occidentale du système est intimement liée à la présence des formations Carbonifères du bassin Taghit – Béchar, qui à leur tour peuvent intervenir pour suralimenter l'aquifère de la hamada Sud Oranaise.

3 – 2 Hammada du Guir

Il s'agit d'un plateau faiblement incliné depuis Boudenib (1150m) jusqu'aux chaînes d'Ougarta (650m). Long de 200 km et large de 110 km, le plateau est orienté du NW au SE.

La butte témoin de Gara Diba (Béni Abbes) permet de faire le passage à la Hamada Sud Oranaise dont elle est séparée par l'oued Saoura.

A priori, la Hamada du Guir constitue morphologiquement un ensemble homogène en raison de la carapace calcaire qui arme sa surface ; il n'en est pas de même au plan lithostratigraphique et de ce fait il ne faut pas s'attendre à l'existence d'un système hydrogéologique cohérent.

A. Schoeller (1945) penchait pour l'existence de circulations individualisées, marquées par la présence de niveaux de travertins qui témoignent de circulations plus importantes lors des phases humides du Quaternaire.

Pour A. Cornet et M.A. Roche (1965), cette nappe existerait tout au moins au Nord de Ouarourout grâce à la présence sur la rive droite de la Saoura des Hassis Zguilma, d'Aïn Boulmane et des forages d'Hamaguir

M. Combes (1966) dans son étude hydrogéologique de la Hamada du Guir, a fondé ses conclusions sur les exutoires naturels de la nappe (fig. 73) mais aussi sur les points d'eau (05 forages Hamaguir, 02 forages d'oued Aïcha, le forage d'Igli n° 01 et le puits Ferrando).

Pour lui, malgré les conditions pluviométriques très déficitaires, l'alimentation de la nappe du *Complexe Terminal* et de la Hamada du Guir se fait uniquement par infiltration des pluies sur l'impluvium qu'elle représente.

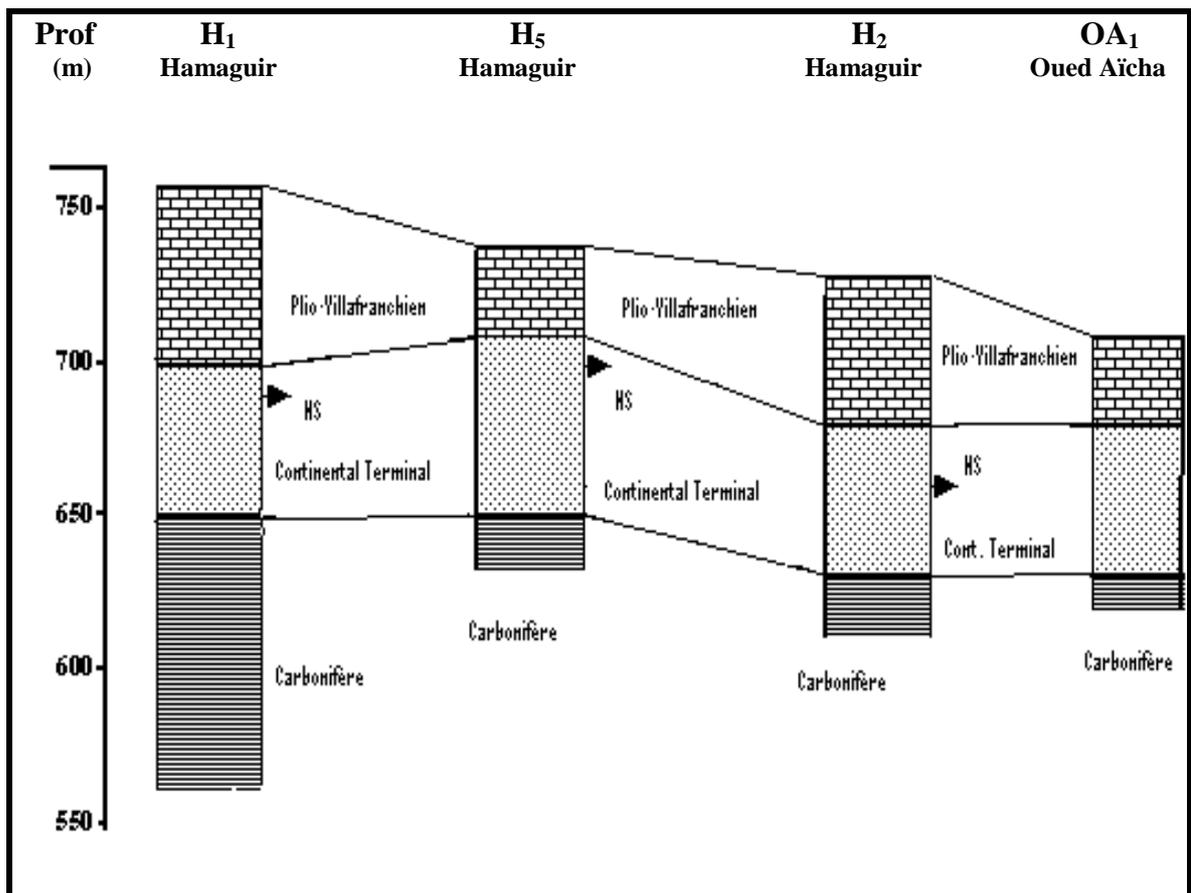


Fig. 73 – Corrélation entre les sondages de la hamada du Guir

En survolant la Hamada du Guir, après les fortes pluies d'octobre 1965 (98.3 mm à Béchar), il a observé que tous les petits oueds avaient coulé et les dayas étaient remplies. Or ce sont les eaux infiltrées au niveau des dayas qui réalimenteraient l'aquifère de la Hamada. Partant des données disponibles sur l'ensemble de la Hamada, M. Combes a pu établir les isopièzes de la nappe (fig. 74) :

Il n'existe aucun point d'eau au Nord de la ligne Oglat – Berraber – Hamaguir. L'écoulement d'ensemble se ferait suivant l'allongement de la Hamada du Nord Ouest vers le Sud Est. La présence des monts d'Ougarta entraîne une bifurcation des écoulements.

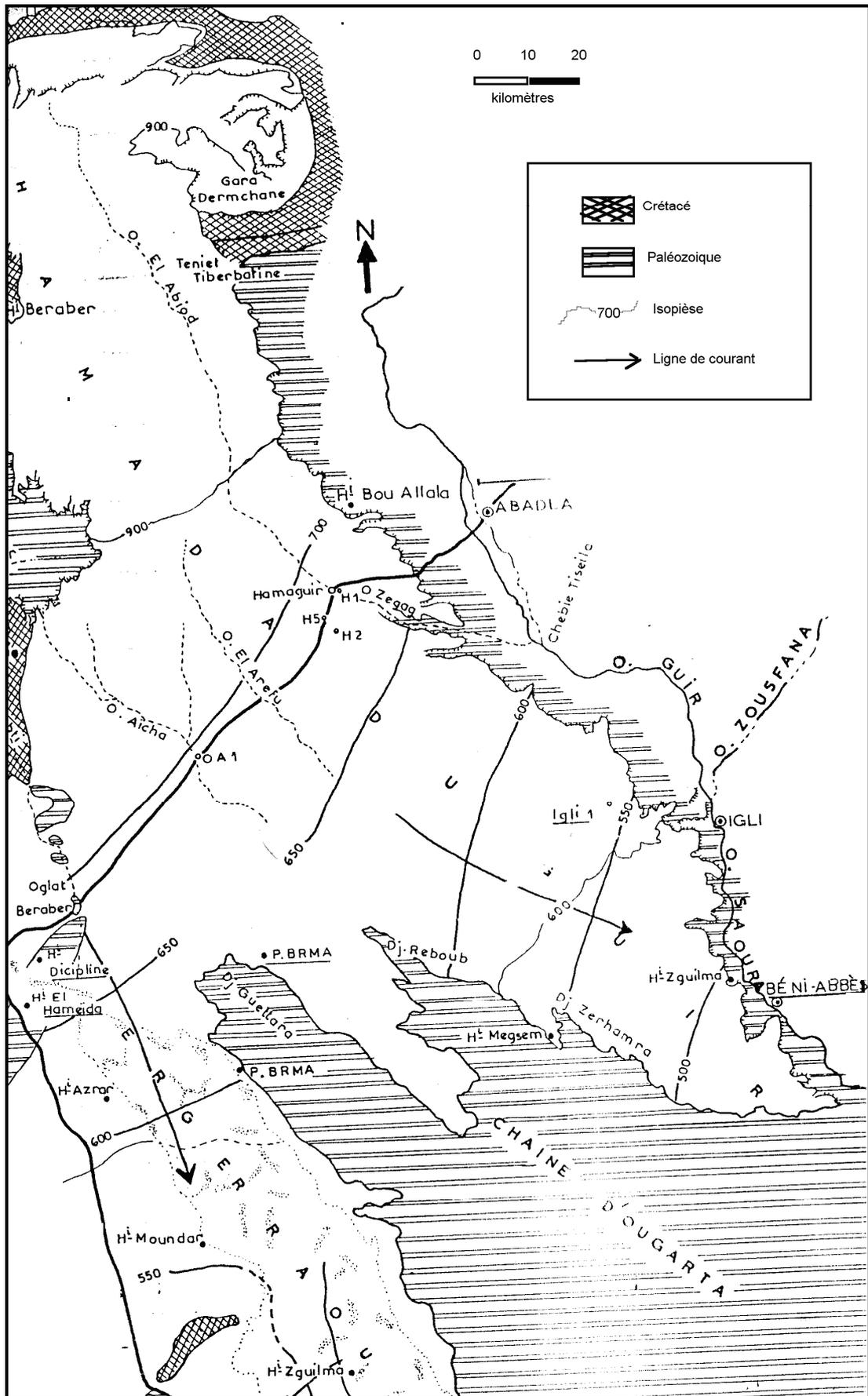


Fig. 74 – Esquisse des hydroisohypses de la nappe de la Hamada du Guir (M. Combes, 1966)

M. A. Roche (1973) admet :

- Au Sud Est, la nappe aurait comme exutoires naturels les 'puits sources' de Zguilma (photo 02); le sondage d'Igli n° 01 montrera qu'il y a également des apports depuis les calcaires gris bleus à entroques du Viséen. Les eaux qui émergent à la base de la Hamada sont en partie drainées par la Saoura.

- Au Sud, l'écoulement des eaux de la Hamada se trouverait bloqué par la présence de formations Primaires. M. Combes admet alors une accumulation des eaux dans les petites structures synclinales, sujettes à une forte évaporation (Hassi Magsem El Abiod avec un résidu sec de 9.7 g/l). Parallèlement, les eaux ruisselant sur les formations Primaires suralimentent l'aquifère de la Hamada ; Le Hassi BRMA creusé sur les piémonts du Djebel Guettara présente un résidu sec de 0.77 g/l.

- Au Sud Ouest, la présence de l'oued Berraber dont les eaux de crue s'infiltrent sous les sables de l'erg Er Raoui, justifient les ressources disponibles plus au Sud dans la région de Tabelbala qui serait alimentée à la fois par la chaîne de l'Ougarta et les formations Hamadiennes.

En tout état de cause, nous admettons que la dalle Hamadienne peut constituer un karst parsemé de dayas qui joueraient le rôle de dolines. Les eaux de pluie ruissellent sur la Hamada et viennent s'accumuler dans les dayas où une grande partie s'évaporerait, le reste s'infiltrerait.

Par référence au karst, nous aurions un ensemble de drains partant des différentes dayas et pouvant donner un conduit principal au droit des paléo oueds.

Nous n'aurons donc pas une nappe continue mais un ensemble de réseaux karstiques pouvant évoluer séparément. La photo 03 illustre bien ce phénomène où le point d'eau *Hassi Zguilma es Sghir* (puits-source) est creusé dans les couches inférieures du Mio-Pliocène de la hamada du Guir.



Photo 03 : Hassi Zguilma, creusé juste avant les palmiers dans une doline

3 – 3 Le Grand Erg Occidental.

3 – 3 – 1. Etat des connaissances

C'est H. Schoeller (1945) qui, étudiant l'hydrogéologie de la région de Béni Abbes emploiera pour la première fois, en se fondant sur l'étude piézométrique, l'appellation de Nappe du Grand Erg Occidental. S'avancant jusqu'au niveau de Hassi Fokra, il a pu relever quelques côtes approximatives qui lui ont permis de tracer une carte en courbes isopièzes avec une équidistance de 10 mètres (fig. 75). Ainsi la nappe descend du massif Dinantien d'El Khella et se dirige vers la Saoura.

L'inventaire des sources et Foggaras établis entre Mazzer et Béni Abbes a permis de faire ressortir une très grande parenté entre les eaux des sources et celles de la nappe de l'Erg. A. Cornet (1964) établira une nouvelle carte en courbes isopièzes comportant une équidistance de 50 mètres (fig. 76).

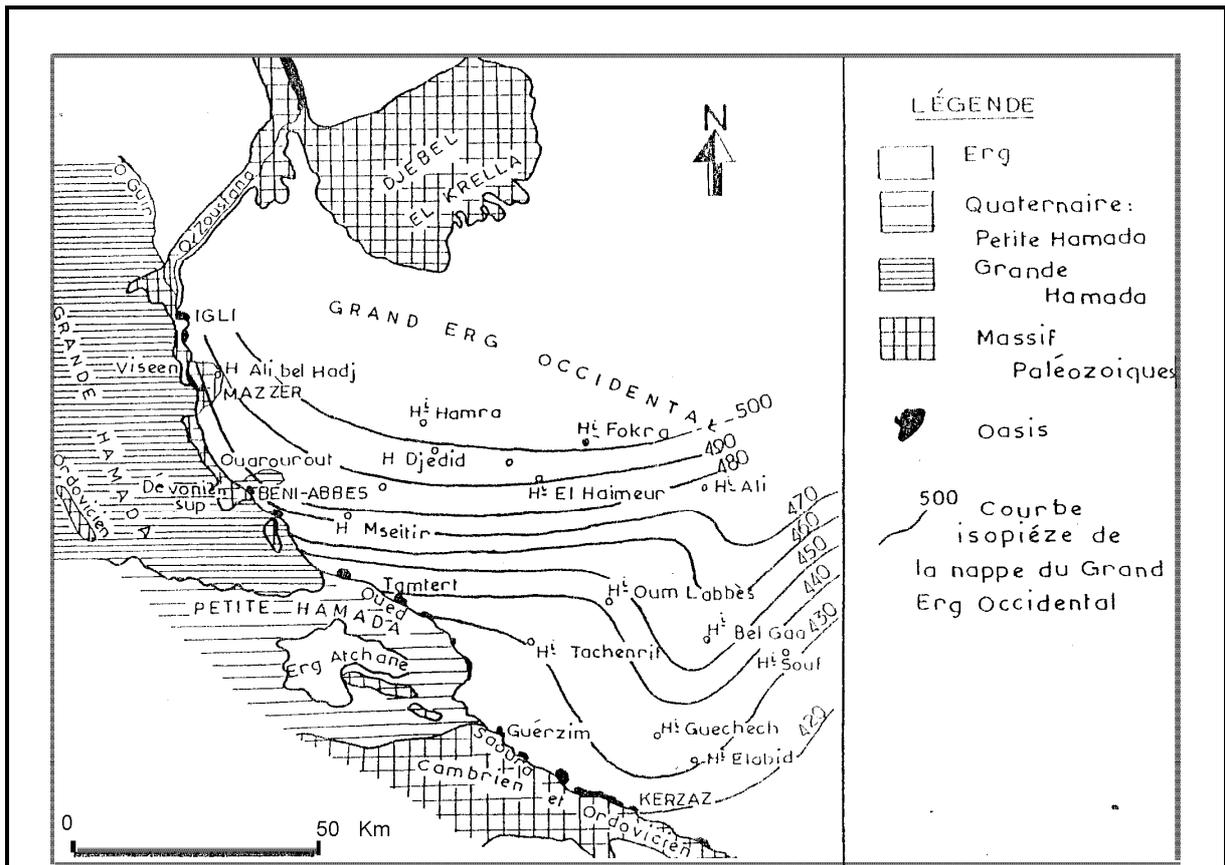


Fig. 75 - Esquisse hydrogéologique de la bordure du Grand Erg Occidental (Schoeller, 1945)

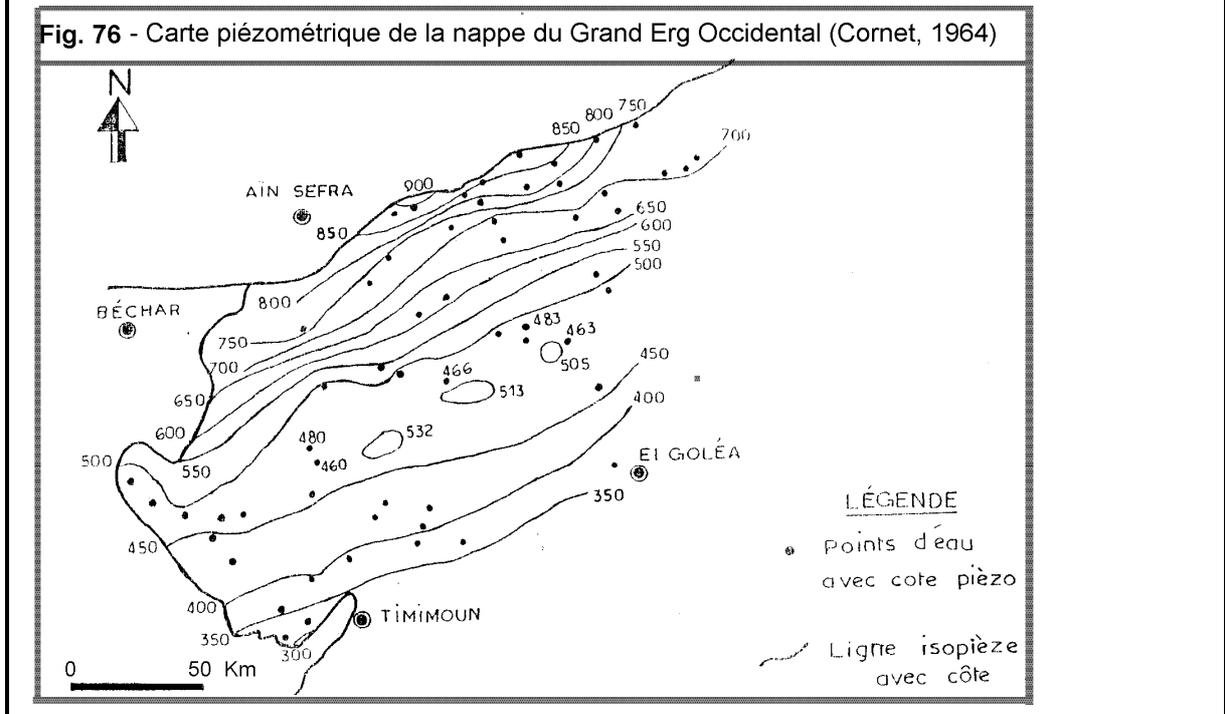


Fig. 76 - Carte piézométrique de la nappe du Grand Erg Occidental (Cornet, 1964)

- Au pied de l'Atlas, communication directe du *Tertiaire Continental* avec les calcaires Turoniens. L'ensemble reste cependant séparé de celui du *Continental Intercalaire* par les formations du Cénomaniens.

- Plus au Sud, à une centaine de kilomètres de l'Atlas, le Crétacé ayant disparu, enlevé par l'érosion, les 02 aquifères se trouvent en contact : au Nord, ce serait le *Continental Intercalaire* qui réalimenterait le complexe terminal.

Ailleurs, ce serait l'inverse et Cornet donne l'exemple des 02 forages exécutés à proximité de l'oued Mehaiguène : le premier dans le *Continental Intercalaire* avec une cote piézométrique de 468 mètres, le second dans le Tertiaire avec une cote piézométrique de 660 mètres.

M. A. Roche (1973) publie une carte très semblable où chaque puits comporte la cote du sol et le niveau piézométrique (fig. 77).

M.A. Roche nous apporte des renseignements intéressants pour ce qui concerne les nappes liées aux terrasses Quaternaires et à l'inféro flux de la Saoura. Un parallélisme plus marqué entre les izopièses et la Saoura, dénote l'alimentation de cette partie de la Saoura par la nappe sous le Grand Erg.

La grande source de Beni Abbés constitue l'exutoire par excellence de la nappe de l'Erg au droit de Béni Abbés.

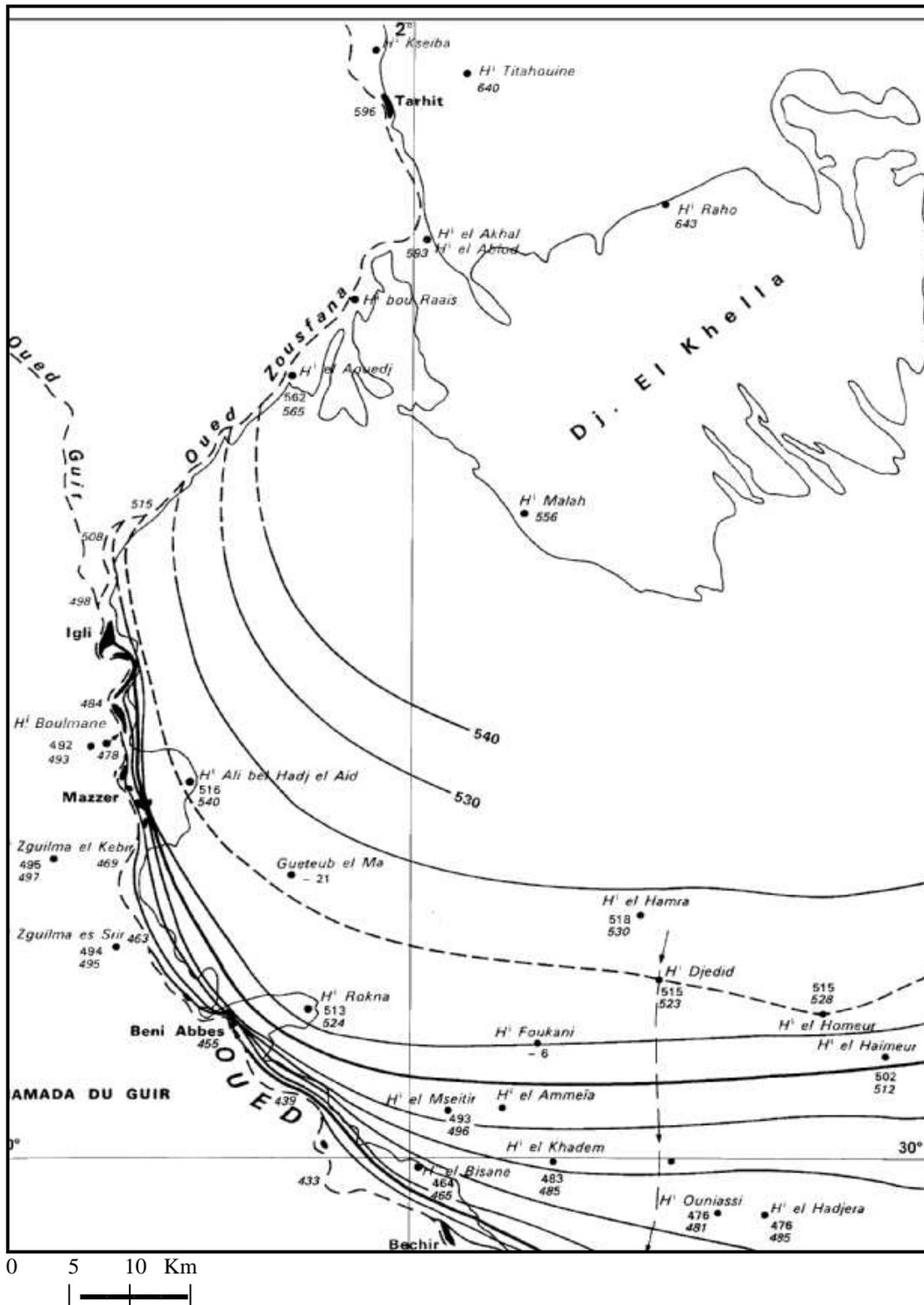


Fig. 77 – Extrait de la carte piézométrique de la nappe du Grand Erg Occidental au droit de la Saoura entre le massif d'El Khella et Béni Abbas (A. Roche, 1973)

- Puits avec côte piézométrique (haut) et côte du sol (bas)
- 440 — Courbes izopièzes
- ▶ —▶ Ligne de courant de la nappe
- Palmeriaes

3 – 3 – 2. Réflexions sur la nappe du grand Erg

- Massif d'El Khella :

La distribution des courbes isopièzes autour du massif d'El Khella confirme son rôle dans l'alimentation de la nappe de l'Erg (fig. 77).

Les pertes observées sur l'oued Zousfana en amont de Taghit, traduisent l'existence de réseaux karstiques dans les calcaires Carbonifères. Etant donné l'importance des pluviaux Quaternaires, il est évident que ces réseaux karstiques peuvent être très développés. Ainsi les eaux qui ruissellent sur les calcaires pourront être piégées dans les fissures et entraînées en profondeur. Il faudra donc :

- Etudier le ruissellement et les conditions d'alimentation des nappes profondes ; les indications données par les forages ne correspondant qu'à une très large approximation.
- Estimer les apports par les précipitations, qui étant donné la latitude et l'altitude du massif d'El Khella doivent être beaucoup plus importantes qu'à Béni Abbes.

- Signification des dômes piézométriques au Sud.

A la lisière septentrionale du grand Erg, trois dômes piézométriques qui correspondent exactement aux secteurs où les oueds Namous, Gharbi et Seggueur perdent leur tracé linéaire pour s'épandre à la surface de la Hamada (fig. 76). La recharge de la nappe sur ces trois points nous paraît tout à fait évidente.

- Les gradients hydrauliques.

Les gradients élevés de la bordure Atlasique décroissent rapidement pour n'être plus que de 0.8 à 0.5 ‰ à une centaine de kilomètres, à l'emplacement des dômes piézométriques. C'est également là que le *Continental Intercalaire* passe au contact direct du *Tertiaire Continental*, l'un réalimentant l'autre

3 – 3 – 3. Rapport entre la nappe du Grand Erg et celle du Continental Intercalaire

- Niveaux piézométriques : (fig. 78)

La nappe du *Continental Intercalaire* se rencontre sous le Grand Erg et la Hamada Sud oranaise. Elle s'écoule vers le Sud Est dans la partie Ouest du Grand Erg. La limite occidentale de la nappe se situe parallèlement à l'Oued Saoura, à une vingtaine de kilomètres de la vallée (photos 04 et 05).

Le niveau piézométrique est nettement inférieur à celui de la nappe de l'Erg (fig. 78). On observera ainsi au droit d'Igli une côte de 425 m qui s'abaisse à 395 m au droit de Béni Abbés et à 325 m au droit de Ksabi. Aux mêmes points, le niveau piézométrique de la nappe de l'Erg se situe respectivement à 135 m, 105 m, et 20 m plus haut.

Ainsi l'hypothèse de l'alimentation de la nappe de l'Erg par celle du *Continental Intercalaire* reste très hypothétique ; par contre des pertes de la 1^{ère} au profit de la 2^{ème} pourrait se produire. Ph. Rognon (1964) estime les débits d'infiltration sur la Hamada Sud oranaise et le Grand Erg à 4 m³/s sur tout l'ensemble de la nappe.



Photo 04 : Puits appelé Berda, en bordure du Grand Erg Occidental

Les sables sont creusés jusqu'à proximité de la surface piézométrique (région d'El Ouata)

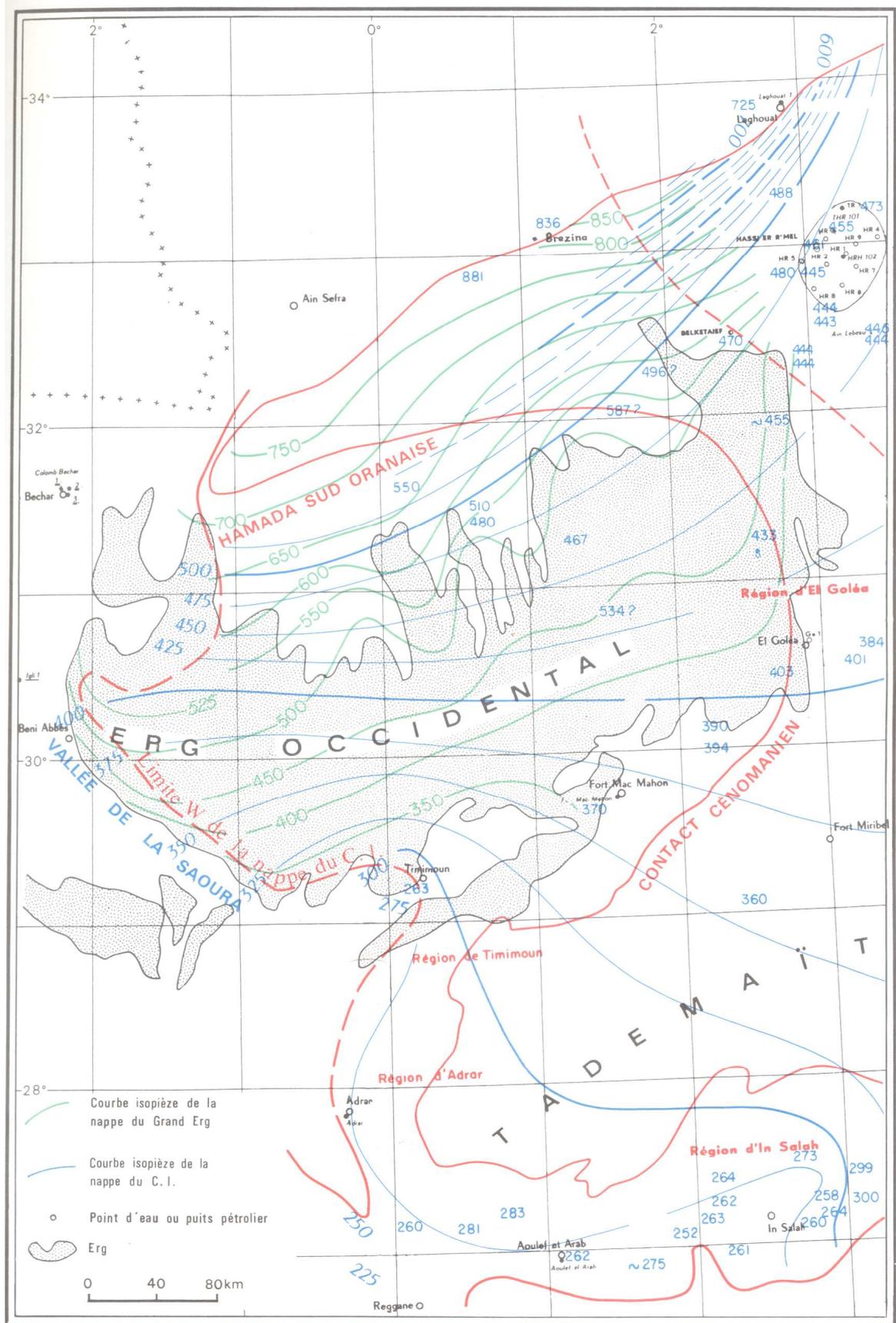


Fig. 78 – Carte piézométrique de la nappe du Continental Intercalaire et du Grand Erg Occidental (Burgeap, A. Cornet et M. A. Roche, 1973)



Photo 05 : Puits de la bordure du Grand Erg Occidental (près de Béni Abbés)

L'aquifère est représenté par le Mio-Pliocène ou le Plio-Villafranchien

Hydrochimie :

Des prélèvements ont été effectués sur la bordure et à l'intérieur de l'Erg d'Igli à El Beïda sur un front de nappe de 100 km.

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (fig. 79) présente les résultats d'analyses chimiques des eaux souterraines choisies pour leur situation.

Ce sont du Nord au Sud : Seguiet Haboussa d'Igli (205), source Hamam de Mazzer (214), Guetob El Ma dans l'Erg (284), Foggara d'Ouaourout (228), grande source de Béni Abbés (181), Hassi Rokna de golfe de Béni Abbés (286), Puits de Marhouma (277), puits du château d'eau d'El Ouata (267), Puits d'Anefid (247), Hassi Mayouch d'Aguedal (232).



Les formules caractéristiques se présentent toutes avec un faciès bicarbonaté calcique, les résidus secs très faibles pour des régions aussi arides (340 à 600 mg/l) nous amènent à penser que les pertes par évaporation sont pratiquement nulles. La profondeur assez élevée des eaux et la relative épaisseur de la nappe sous l'Erg contribuent à une protection efficace contre l'évaporation.

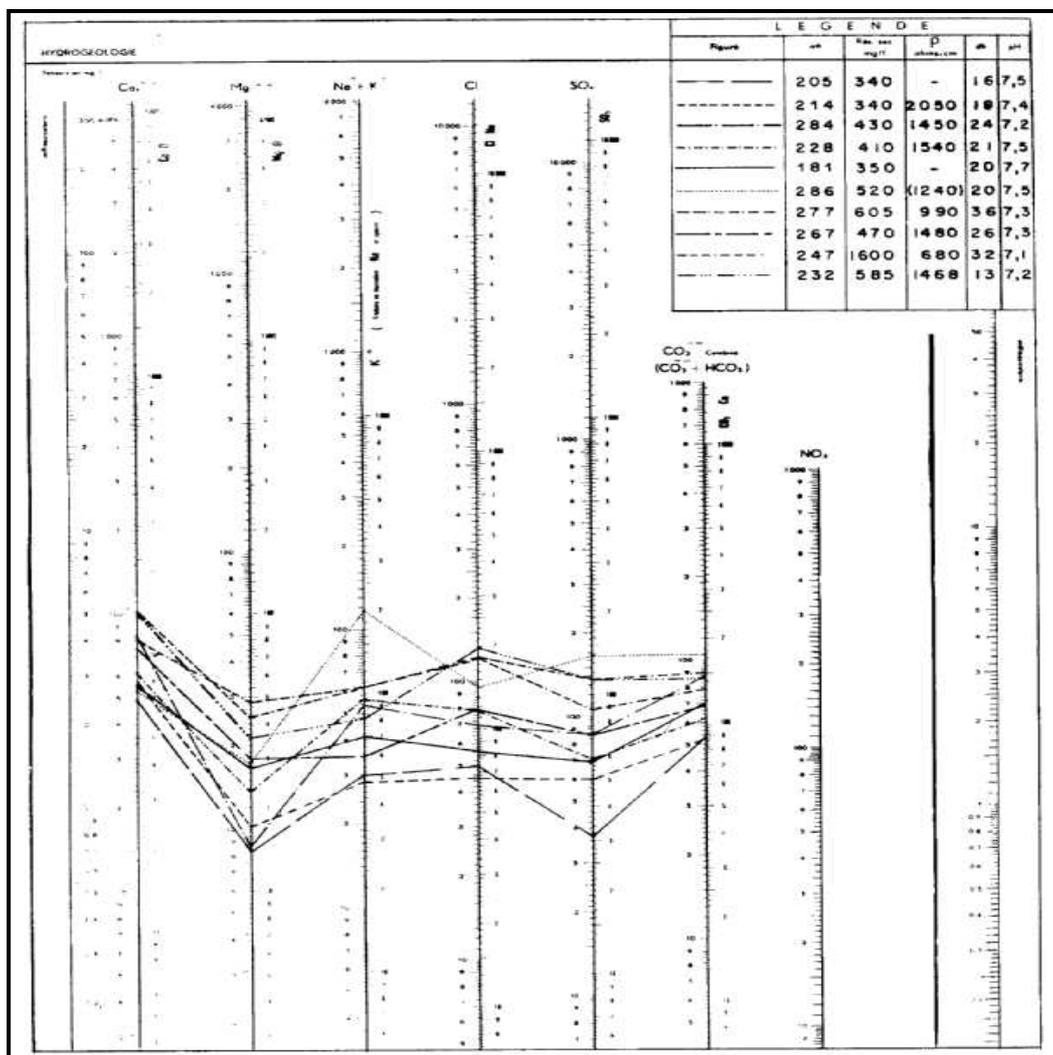


Fig. 79 – Diagramme d'analyses d'eaux de la bordure Ouest de la nappe sous le grand Erg

4 – Vallée de la Saoura.

4 – 1. Introduction.

Né à Igli, de la confluence du Guir et de Zousfana, l'oued Saoura s'enfonce vers le Sud sur plus de 500 kilomètres.

L'oued Zousfana prend sa source dans la partie occidentale des Monts des Ksour sur le revers méridional du Djebel Er Rhaïz (2160m). Après un tracé en baïonnette, il prend à partir de Djenane Ed Dar une direction Sud Sud Ouest, bordé par le Grand Erg Occidental sur sa rive gauche.

E. F. Gautier (1928) a montré qu'en amont de Taghit, la Zousfana coulait dans un chenal Quaternaire bien individualisé par un système de terrasses. Au niveau de Zaouïa Tahtania, Gautier a décrit un ancien chenal Quaternaire s'enfonçant sous les sables de l'Erg qui le fossilisait, tandis que le chenal actuel se détournerait vers l'Ouest pour suivre la limite entre l'Erg et les formations Primaires.

Il est important de signaler que ce n'est que lors des crues tout à fait exceptionnelles que la Saoura, après avoir fait le plein de la sebkhet El Maleh emprunte le parcours de l'oued Messaoud en direction d'Adrar.

4 – 2. Hydrogéologie de la vallée de la Saoura

4 – 2 – 1. La Saoura à Igli (fig. 80 a)

- Contexte hydrogéologique :

Le Viséen supérieur forme l'assise géologique de la région, représenté de schistes, de grès et de calcaires. Les vallées creusées dans les assises monoclinales de faible pendage vers le Nord ont été comblées par les dépôts sableux du Saourien. Sous les dunes, la Hamada doit succéder au Saourien et recouvrir le relief Paléozoïque.

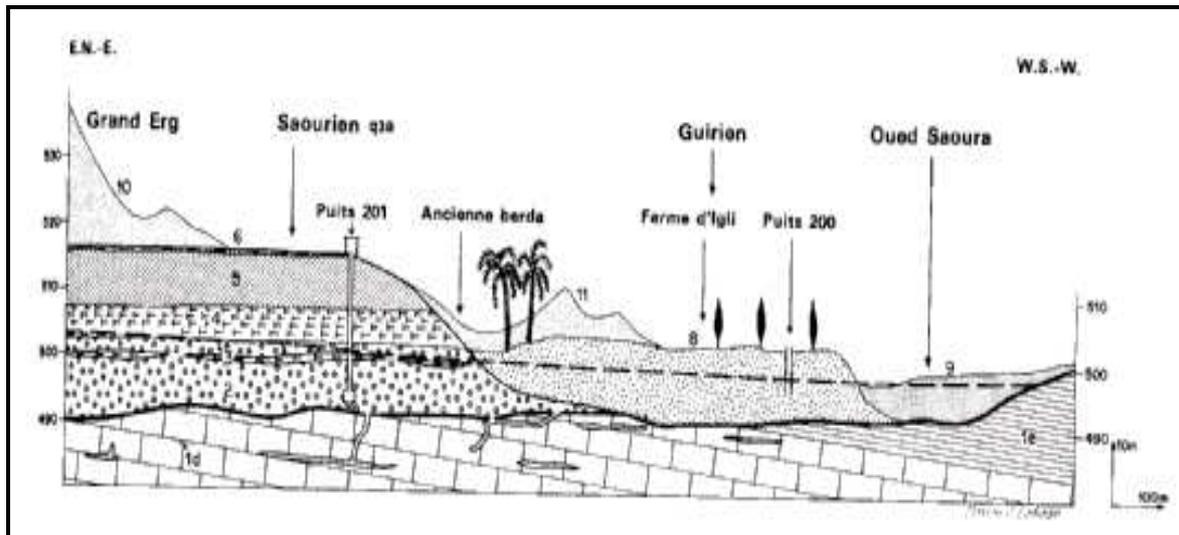


Fig. 80 a – Coupe hydrogéologique à travers la Saoura au droit de la ferme d'Igli

(M.A. Roche, 1973)

1d : Calcaires du Viséen supérieur – **1^e** : Schistes du Viséen supérieur – **2** : Poudingues à encroûtement calcaire – **3 et 4** : Calcaire marneux et sableux – **5** : Sables gris blancs fins (Saourien) – **6** : Marnes sableuses (Saourien ou Guirien) – **8** : sables avec passées d'argiles et de graviers (Guirien) – **9** : Sables très fins – **10** : Dune du Grand Erg – **11** : Dunes

Le puits n° 201 (fig. 80 a) est creusé en bordure de l'Erg dans les dépôts Quaternaires. A la base, reposant directement sur les calcaires d'Igli (1d) où s'observent des boyaux de dissolution, on rencontre des poudingues (2) à éléments calcaires, très perméables. Vers le haut, ce poudingue passe à un calcaire marneux et sableux (3 à 4). Le sommet de la terrasse est formé de 10 m de sable Saourien gris blanc très fin (5), surmonté par 01 mètre de marnes sableuses (6). La terrasse Guirienne, dans laquelle est creusée le puits n° 200 est formée de sables (8) plus ou moins riches en graviers et en minces passées argileuses.

La coupe de la figure 80 b montre une disposition d'ensemble identique. Sur le Primaire (1a - 1d) reposent des sables gris Saouriens (2 - 4), la terrasse Guirienne (6), les alluvions actuelles de l'oued (7) et les dunes de l'Erg (9). Les puits sont creusés soit dans le Guirien soit dans le Saourien.

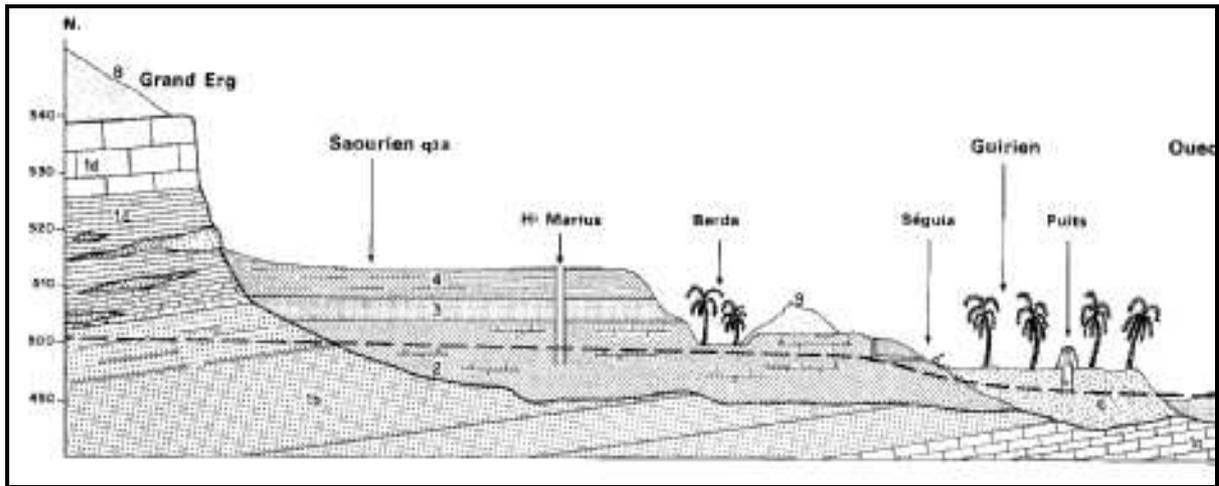


Fig. 80 b – Coupe hydrogéologique à travers la Saoura au droit de la séguia Haboussa d'Igli

(M.A. Roche, 1973)

1a-1d : Calcaires, grés et schistes du Viséen supérieur – **2 à 4** : Sables gris et jaunes à passées marneuses (Saourien) – **6** : Sables très fins (Guirien) – Sables thixotropiques – **8** : Dune du Grand erg – **9** : Dunes blanches

Les terrains Primaires, excepté les schistes sont susceptibles de laisser circuler l'eau. Des traces de circulations anciennes d'eaux sont observées, sous forme de boyaux de dissolution (calcaires d'Igli communiquant avec les poudingues de la base de la terrasse Quaternaire.

- Piézométrie

A la lisière de l'Erg, le niveau piézométrique domine de plusieurs mètres l'inféro flux de la Saoura (fig. 80 a et 80 b). En étiage, la nappe de l'Erg se déverse dans l'inféro flux qu'elle alimente alors qu'en période de crue, elles tendent à s'équilibrer.

- Chimie des eaux

Un certain nombre d'échantillons ont été analysés d'Igli à Touzdit (fig. 81) où on a pu reconnaître 03 catégories :

- Eaux typiques de l'Erg : ce sont les eaux les moins chargées, avec un résidu sec de 340 mg/l aux environs d'Igli, à Seguiet Haboussa.



- Eaux à caractères intermédiaires : elles constituent un stade intermédiaire entre les eaux de l'Erg et celles de l'oued. Les résidu sec est compris entre 500 et 2000 mg/l.



- Eaux des alluvions de l'Oued : les résidus secs dépassent 6000 mg/l



Le puits n° 201, creusé dans le Saourien a donné des eaux à composition chimique pratiquement constante. Le puits n° 200, creusé dans le Guirien quant à lui a donné au cours de son exploitation des eaux de plus en plus chargées, faisant appel ainsi aux eaux des alluvions de l'Oued.

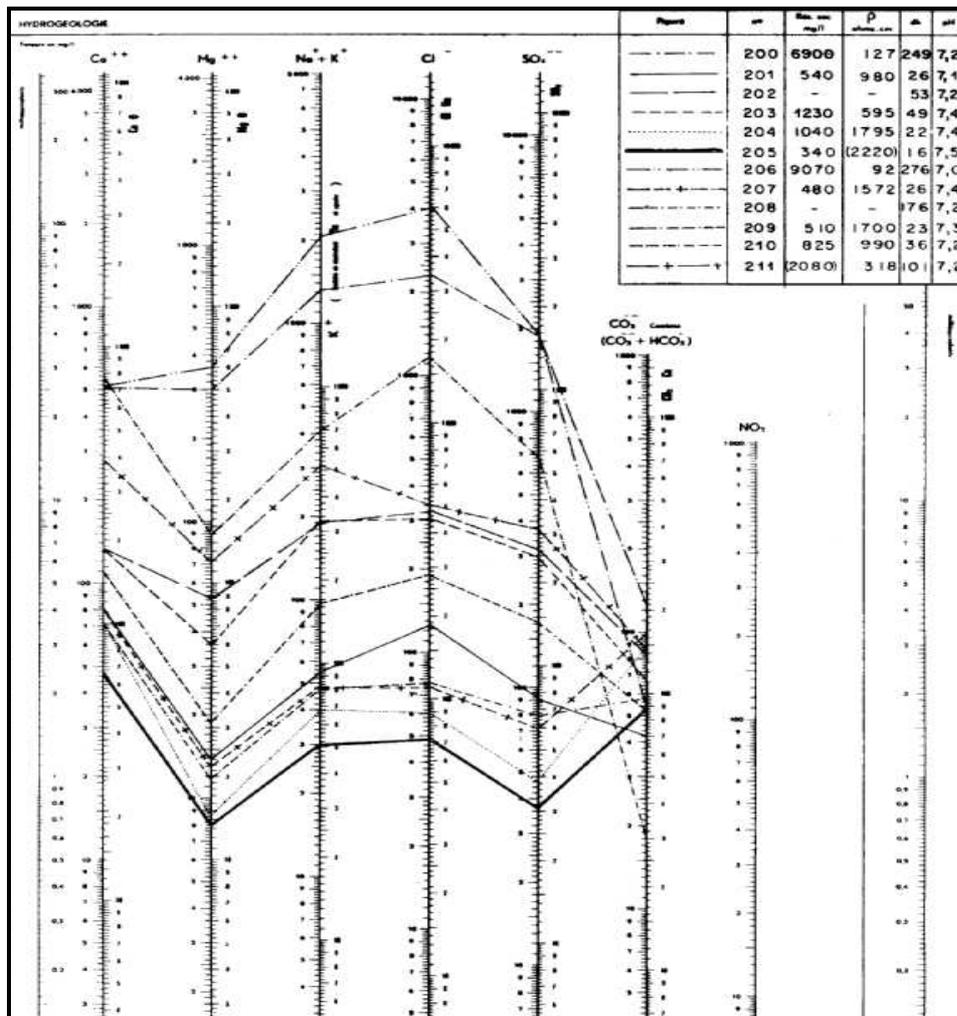


Fig. 81 – Diagramme d'analyses d'eaux de la région d'Igli à Touzdit

4 – 2 – 2. La Saoura à Mazzer

Les palmeraies de Mazzer, s'étalant en rive gauche sur la terrasse Saourienne sont principalement alimentées par les sources de la Hamada. Le primaire représenté le Tournaisien (H. Zguilma) et le Viséen (formation de Mazzer) forment le substratum de la région, affleurant dans la vallée. Ces terrains sont représentés par des grès et des argiles. La coupe (fig. 82) montre les relations entre les terrains Hamadiens et les terrasses Quaternaires, reposant en discordance sur le Primaire.

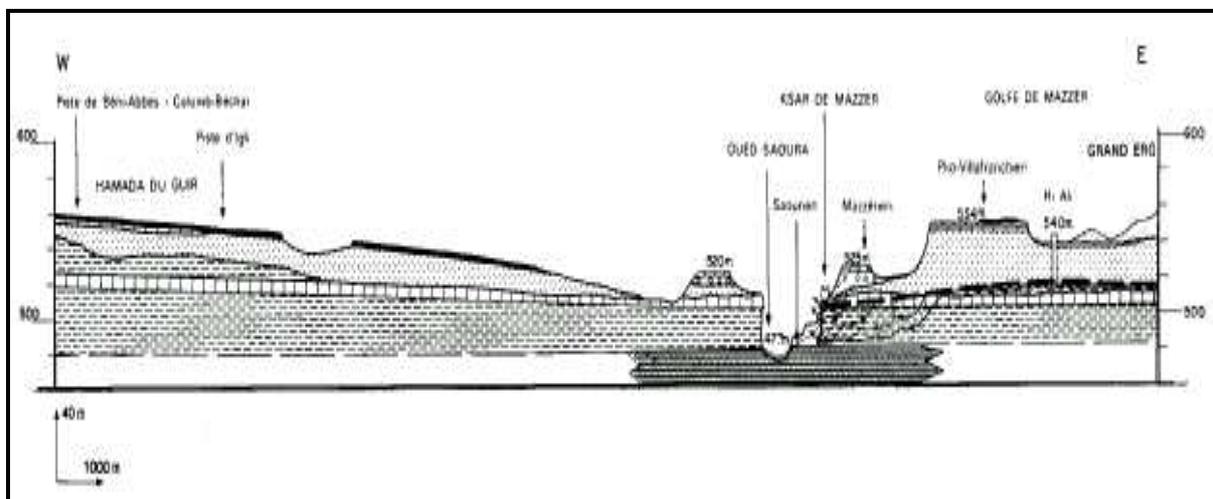
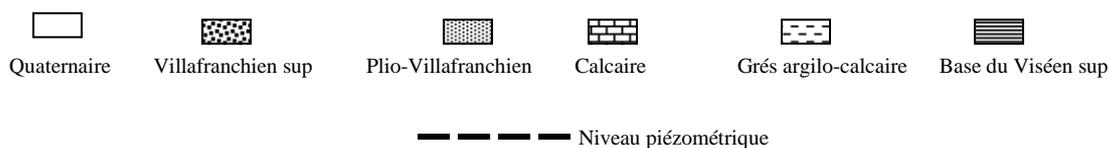


Fig. 82 – Coupe hydrogéologique E – W au Droit de Mazzer (Hamada du Guir)

(G. Conrad et M. A. Roche, 1965)



Les sources de Mazzer s'étagent à tous les niveaux du talus Hamadien, en sortant de boyaux de dissolution, disposés en réseaux karstiques (Aïn Hemam), ayant sûrement joué un rôle important lors des pluviaux Quaternaires.

La photo 06 permet de distinguer nettement les boyaux de dissolution qui représentent les vestiges de l'écoulement de la nappe du Grand Erg aux phases humides du Quaternaire. Ce système de type Karstique est encore utilisé partiellement en bordure et totalement sous l'Erg.

Il doit certainement exister des sources cachées par le Quaternaire, qui s'écoulent vers les alluvions, alimentant les palmeraies et les jardins. L'hydrochimie reste identique à celle d'Igli.

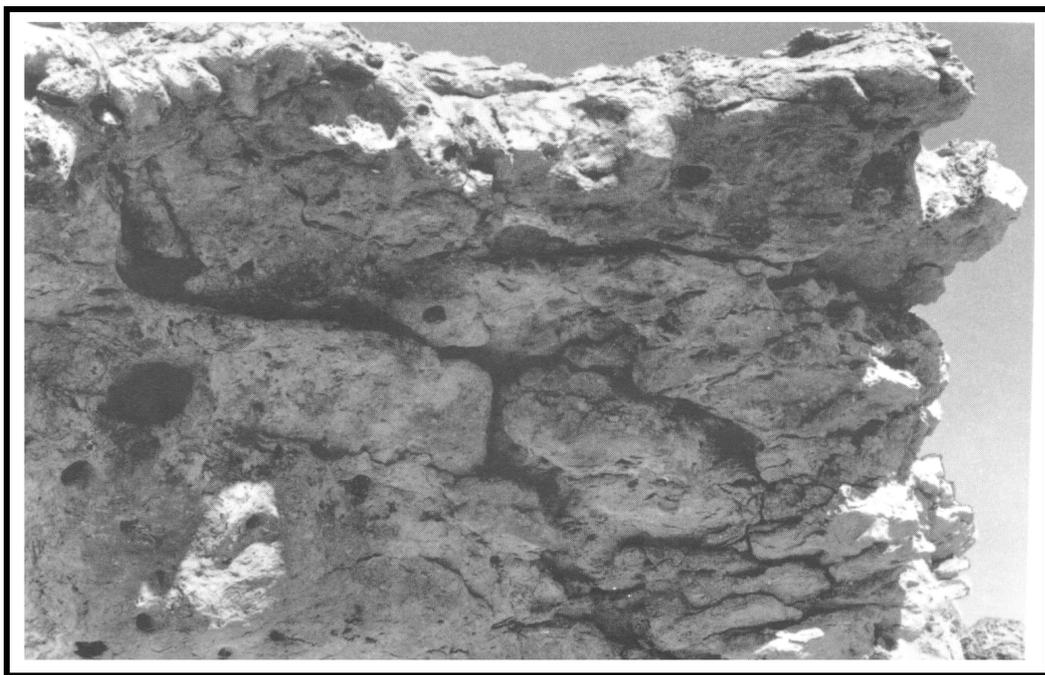


Photo 06 : Aspect à boyaux de dissolution de la dalle Hamadienne à Mazzer

4 - 2 - 3. La Saoura à Béni Abbès

Le Dévonien moyen et supérieur constitue dans la région le substratum de la Hamada, recoupé en plusieurs endroits sous le Quaternaire. La nappe se localise en rive gauche dans les terrains Hamadiens et Quaternaires. Prés de Béni Abbés, à Hémama (fig. 83) au niveau du puits n° 279, s'observent au dessus des schistes des calcaires à gros éléments du primaire (1), au dessus près de 20 mètres de Torba (2), constitue l'essentiel du talus Hamadien.

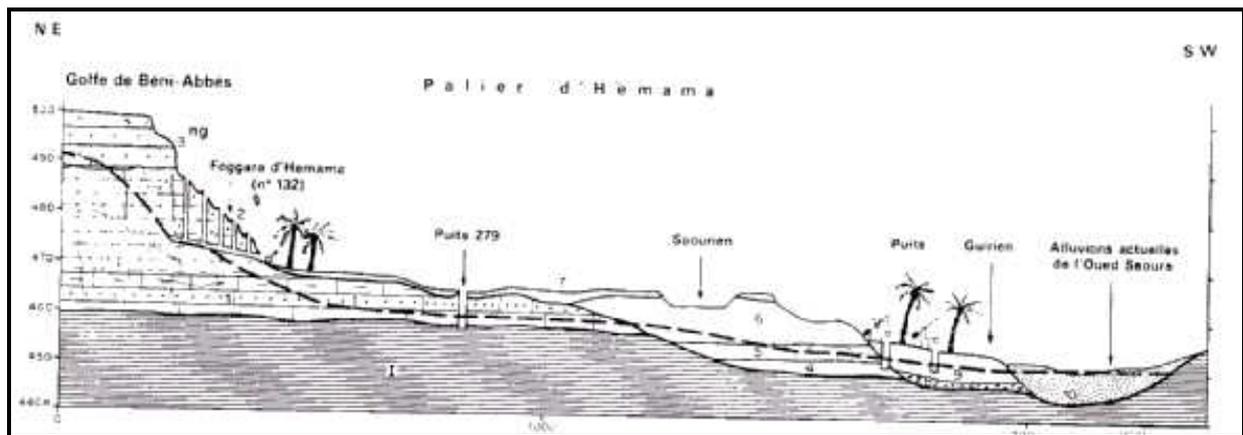


Fig. 83 – Coupe hydrogéologique à travers le palier d’Hémama de Béni Abbes

(M.A. Roche, 1973)

I : Schistes rouges (Dévonien supérieur) – 1 : Calcaires à éléments du Primaire (Néogène) – 2 : Torba (grés argilo calcaire Néogène) – 3 : Dalle calcaire Hamadienne inférieure (Néogène) – 4 à 6 : Sables et marnes sableuses (Saourien) – 8 : Cailloutis (Guirien) – 9 : Sables fins (Guirien) – 10 : Sables à débris du Primaire.

La dalle Hamadienne inférieure est constituée à la base de calcaire gréseux (3) de 10 m d'épaisseur. Au dessus de l'ensemble Néogène érodé, repose le Plio-Villafranchien de même type de Mazzer.

La terrasse Saourienne se développe en rive gauche, représentée par des sables gris, jaunes ou bruns (4 à 7) avec une épaisseur d'une quinzaine de mètres. Le Guirien, représenté par des cailloutis à la base (8) se termine par 4 à 5 m de sables fins aquifères (9).

4 – 3. Les aquifères de la Saoura

4 – 3 – 1. Aquifères du Paléozoïque

Particulièrement importants dans les régions de Béchar, Taghit, Béni Abbes et l'Ougarta, les affleurements du Primaire ont été découverts sur la rive droite de la Zousfana, festonnant ainsi le contour de la Hamada (fig. 84).

- Infra Cambrien de l'Ougarta :

Représenté par des rhyolites, surmontées par des grès et quartzites, intercalés de niveaux schisteux qui servent de toit ou de mur à de petites nappes très localisées, dans la chaîne de l'Ougarta.

- Quartzites de l'Ordovicien - Silurien inférieur :

Le débit d'ensemble de ces formations reste quand même faible et ne dépasse guère 5 l/s. La température relativement élevée aux émergences (34°C) laisse présager à des venues profondes des eaux qui paraissent circuler lentement, confirmée par les analyses isotopiques qui témoignent de la participation d'eaux anciennes.

Cependant les sources du Cambrien et les foggaras établies dans le Silurien montrent une part d'eaux actuelles :

- Aïn Ed Dhabb : cambrien = 12 ± 3 U.T.
- Aïn En Nechéa : cambrien = 17 ± 3 U.T.
- Foggaras : Silurien = 17 à 18 U.T.

A Aïn Ed Dhabb, le carbone 14 qui donne $106.6 \pm 1\%$ confirme l'actualité de la recharge. Au niveau de Béni Abbes, le Dévonien moyen et supérieur étant imperméable, les eaux emmagasinées dans les formations détritiques du Cambro-Ordovicien sous jacentes pourraient témoigner d'un certain artésianisme si elles étaient touchées par un forage.

Les formations Carbonifères :

Peu représentées dans la région de Béni Abbes où quelques lambeaux apparaissent dans le lit de la Saoura. Le Carbonifère se développe largement plus au Nord, particulièrement le Djebel El Khella sur la rive gauche de la Zousfana à l'Est de Taghit.

Les calcaires du Viséen et les grès du Westphalien du fait de leur importante capacité d'ingestion, peuvent constituer des systèmes hydrogéologiques intéressants (Fig. 84).

Dans les calcaires et les dolomies, des réseaux karstiques ont pu se développer durant les phases humides du Quaternaire. Actuellement, nous connaissons une perte importante sur la Zousfana en amont de Taghit.

Nous avons pu disposer des données intéressantes de deux forages (1977) :

- Forage du Djebel Mertouma n°03 (fig. 85 a) $x = 579.6; y = 3426.7; z = 641m$:

Après avoir recoupé 40 mètres de sables et galets Tertiaires, l'ouvrage profond de 345m recoupe le carbonifère. Deux niveaux aquifères ont été identifiés ; dans le Djenien où le niveau statique s'est équilibré à 150m par rapport au niveau du sol et dans la formation d'El Guelmouna entre 200m et 250m, donnant la majeure partie du débit d'exploitation.

- Forage d'Oum El Graf n°03 (fig.85 b) $x = 577.3; y = 3483.1; z = 813m$:

Le niveau aquifère est rencontré dans les dolomies fissurées de la formation de Djenien. Il est important de noter que malgré sa position élevée sur la bordure du bassin, le Djenien présente des possibilités intéressantes d'exploitation des ressources en eau.

Age	Formation	Lithologie	Description géologique	Age	formation	Lithologie	Description lithologique
III ^{aire}	Hamada	40	Intercalations de sables et de galets	IV ^{aire}	10		Conglomérats
				N a m u r i e n	Tagnana	40	
Djenien	160		Intercalations de dolomies Et argiles				
					Dolomie marneuse Argiles		
						Intercalations de bancs d'argiles et de marnes	
I n f é r i e u r	El Guelmouna	340		Dolomies Argiles			
					Argiles		
						A Intercalations De calcaires	
Fin de forage à 210 mètres							

Fig. 85 a – Forage Mertouma n°3

Fig. 85 b – Forage Oum El Graf

4 – 3 – 2. Aquifères du Néogène et de l'inféro flux de la Saoura

La région de Béni Abbes présente à notre sens un site hydrogéologique stratégique, située sur la berge de la Saoura entre le grand Erg occidental à l'Est et la Hamada du Guir à l'Ouest. Plus au Nord dans la région d'Igli, ce sont les talwegs de la Zousfana et de la Saoura qui profondément enfoncés dans les formations Hamadiennes assurent l'émergence des eaux venues du Nord, donnant ainsi un ensemble de sources qui jalonnent la rive gauche de la Saoura d'Igli à Foug El Kheneg.

- La grande source de Béni Abbes.

- Cadre d'émergence :

L'émergence de la grande source de Béni Abbes sur la rive gauche de la Saoura dont le bassin d'alimentation est à rechercher plus au Nord sur des centaines de kilomètres nous a conduits à considérer cette région. La source est située à environ 2 km au SSE de la ville à une altitude de 487m. Le captage est représenté par une galerie naturelle ouverte dans des silicites, pénétrable sur quelques mètres. Le débit mesuré serait de 18 l/s.

La source émerge à quelques mètres en dessous de la dalle hamadienne très silicifiée, au contact avec les marnes. Son origine est due probablement à un développement exceptionnel du réseau de type karstique. Ainsi l'importance du débit de la source peut être expliquée par le fait de l'existence d'un barrage souterrain naturel (relèvement du substratum Paléozoïque), qui sans arrêter l'écoulement surélèverait le niveau de la nappe, constituant un trop plein débitant sur la vallée.

- Apport de la prospection électrique :

L'étude par prospection électrique montre que la dalle Hamadienne à cet endroit, est très épaisse. C'est dans ces niveaux de forte épaisseur que s'effectuent probablement les écoulements de la nappe qui aboutissent à la grande source. Les zones résistantes semblent indiquer l'existence d'un

parcours préférentiel perpendiculaire à la vallée, plutôt qu'une vaste nappe souterraine, du moins en ce qui concerne le périmètre à moyenne distance de la grande source. Ainsi, la sortie des eaux peut être expliquée par la mise en évidence de la remontée du substratum Primaire au niveau de la grande source de Béni Abbès.

- Hydrochimie :

La source caractérisée par une eau légère ne dépassant guère 350 mg/l comporte une teneur en bicarbonates représentant le 1/3 de la minéralisation. Ce qui dénote l'effet d'une circulation des eaux dans la dalle calcaire Hamadienne.

- Nappes du Néogène

Sur la rive gauche de la Saoura, formations Hamadiennes et Quaternaires se caractérisent par la présence d'aquifères étroitement liés.

Les séries Viséennes, faisant place aux schistes rouges du Dévonien constituent le mur imperméable. Un forage profond de 300m, implanté au pied même de la Gara Diba s'est avéré négatif.

- La Torba :

Le Néogène débute par des sables éolisés et des grès rougeâtres. Au Sud Est, au niveau de la foggara d'Hemama, ce sont des calcaires fissurés à gros éléments du Primaire, reposant sur le substratum Dévonien qui peuvent jouer un rôle hydrogéologique important. Ces niveaux de base sont surmontés par une vingtaine de mètres de Torba qui constituent le talus Hamadien. Il s'agit d'un grès argilo-calcaire de couleur claire, présentant des passées vertes ou lie de vin. La perméabilité d'interstice permet par endroits l'enfouissement des eaux venues de la dalle Hamadienne et leur transfert jusqu'à la base du Mio-Pliocène, où l'écoulement est pris en charge par les calcaires lorsqu'ils existent.

Au niveau de la rupture de pente, plusieurs foggaras ont été établies sur le talus, permettant par voie gravitaire la récupération des eaux (coupe hydrogéologique du palier de Hémama, fig. 83).

- La dalle Hamadienne :

On distinguera du bas vers le haut sur une épaisseur de 10m à 15m des calcaire gréseux à passées sableuses riches en CaCo_3 , des grés tendres clairs et des calcaires silicifiés en bancs discontinus à importants rognons de silex.

L'ensemble reposant sur un grés à ciment calcaire. De nombreux chenaux de dissolution, prenant de l'importance vers la base de la dalle, au contact de la Torba peuvent donner de véritables zones cavernueuses. Il faut voir là, le système hydraulique d'écoulement de la nappe du Grand Erg Occidental qui était plus activé lors des phases humides du Quaternaire (photo 07).

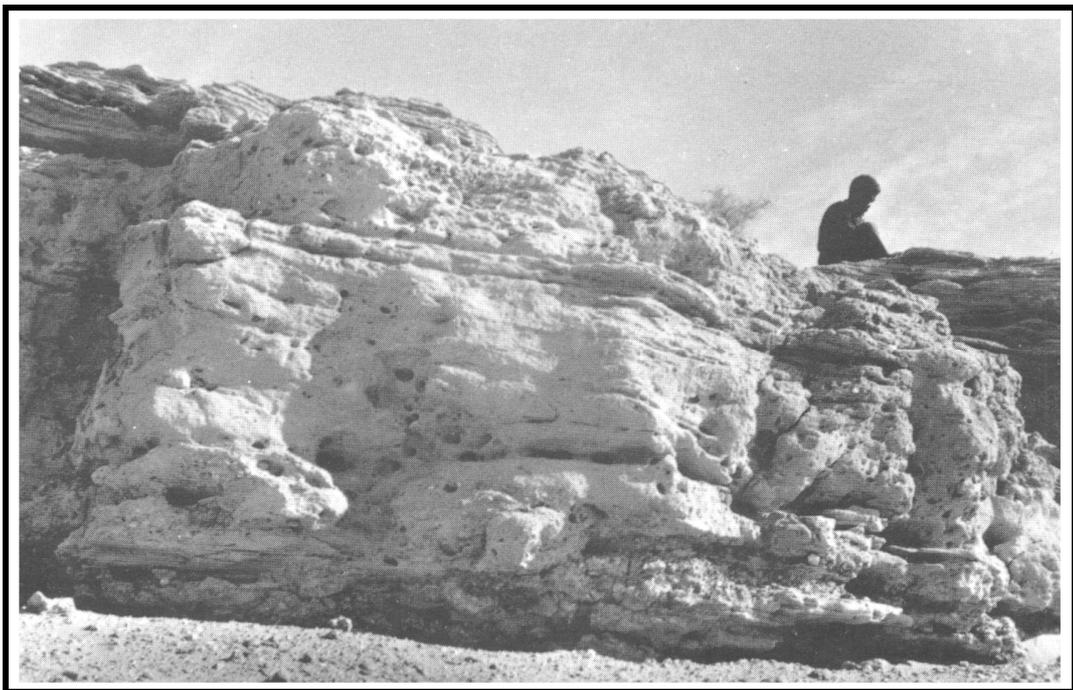


Photo 07 : Niveaux de grés et de poudingues à ciment calcaire affectés d'importants

Chenaux de dissolution

Les calcaires silicifiés, caractérisés par une certaine fissuration commandent la circulation des eaux qui peuvent se rassembler au niveau des systèmes plus importants pour des sources. La source de la grande dune de Béni Abbes est de ce type.

- Nappe de l'inféro flux : terrasses Quaternaires (photo 08)

Les eaux qui circulent à la base des formations Néogènes pénètrent sans transition dans les séries perméables des terrasses où elles vont constituer un aquifère d'imprégnation aussi bien dans les formations sableuses du Saourien que dans les cailloutis et sables du Guirien. L'hydrodynamique de cet ensemble est commandée par la présence de passées argileuses et la variation de dimension des éléments sableux.

- Piézométrie d avril 1991. (fig. 86)

La carte en courbes isopièzes de la nappe de la palmeraie permet d'individualiser 02 unités hydrogéologiques de part et d'autre du vieux Ksar :

* Unité hydrogéologique au Nord : dans la partie Est du Ksar, on note un petit axe de drainage orienté SE-NW alimentant la Saoura.

* Unité hydrogéologique Sud : caractérisé par un important axe de drainage où les écoulements se font vers la Saoura du NNE vers le SSW.

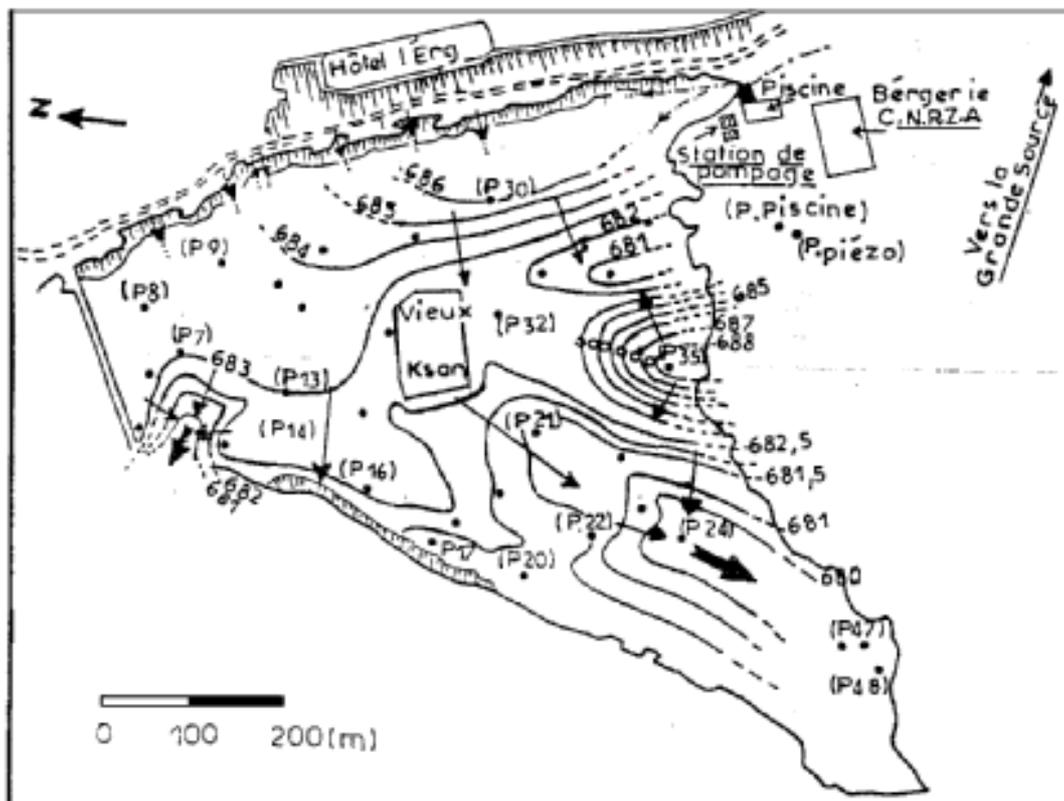


Fig. 86 – Carte piézométrique de la nappe de la palmeraie de Beni Abbes (avril 1991)

- Piézométrie M. Roche (1973)

La carte en courbes isopièzes montre un dôme piézométrique au niveau du vieux Ksar ; les écoulements se faisant vers le Nord comme vers le Sud. La piézométrie de 1991 a montré que le dôme s'est déplacé au niveau du puits n°35. On peut voir là une action de la modification de la distribution des débits en AEP, irrigation de la palmeraie, fonçage de puits à grands diamètres, représentant des sources d'importants phénomènes évaporatoires.

- Apports de la nappe

- * Apports de la dalle Hamadienne à partir du grand Erg.
- * Apports par la Séguia provenant de la piscine qui véhicule les eaux de la grande source.
- * Crues exceptionnelles lors des lâchées du barrage de Djorf Torba.



Photo 08 : Béni Abbes et sa palmeraie prise de la grande dune, s'étendant en rive gauche

Sur le Saourien et le Guirien, au pied du talus Hamadien.

De l'autre côté de l'oued Saoura commence la Hamada du Guir

5 – Apport de l'hydrologie isotopique

Les principaux travaux ont été réalisés entre 1966 et 1975 dans le cadre du projet CNRS, complétés par des observations de la SONAREM de Béchar. D'autres travaux réalisés dans le cadre d'une thèse de Doctorat (Yousfi, 1984) ont permis d'apporter certains nouveaux éléments.

5 – 1. Introduction

Les techniques isotopiques sont particulièrement adaptées aux régions caractérisées par de rapides et importantes variations d'altitude, souvent soumises à des conditions climatiques très marquées (Blavoux et al., 1979 ; Aranyossy, 1989). Elles permettent d'obtenir des informations difficilement acquises ou inaccessibles par les méthodes hydrogéologiques, en zones arides et semi arides où les techniques classiques sont souvent difficiles à mettre en œuvre. Les isotopes naturels intéressant les phénomènes hydrogéologiques sont de 02 types :

5 - 1 – 1. Isotopes stables : Oxygène-18, deutérium

Les éléments constitutifs de la molécule d'eau donnent des informations sur l'origine et l'histoire de l'eau. On peut les utiliser (Blavoux, 1978) soit :

- En reconnaissance d'une région donnée ; ce qui permet :
 - d'établir un cliché isotopique instantané d'une province hydrogéologique
 - de comparer des teneurs
 - de confronter les teneurs de l'aquifère à celles de la pluie

- Par l'étude détaillée d'écoulements particuliers :

En recherchant les réactions de l'aquifère ou signal d'entrée constitué par des variations annuelles ou saisonnières des teneurs de la pluie ou de l'infiltration. Cette permet de préciser les caractéristiques de l'aquifère et les mécanismes de son fonctionnement (alimentation en particulier).

Les teneurs en isotopes stables font l'objet de mesures relatives. Elles sont exprimées à l'aide de la notation (δ), définie par Craig (1961) :

$$\delta = \left[\frac{R_{\text{échantillon}}}{R_{\text{étalon}}} \right] - 1 \times 1000 \text{ ‰} \quad (\mathbf{R} \text{ rapport d'abondance isotopique})$$

$$^{18}\text{O} / ^{16}\text{O} \quad \text{ou} \quad ^2\text{H} / ^1\text{H}$$

D'après cette relation les valeurs de δ positives indiquent que l'échantillon est enrichi vis à vis de l'étalon de référence et inversement. Pour toutes les eaux qui ne sont pas soumises à des évaporations intenses, le rapport entre la concentration en Deutérium et Oxygène-18 est exprimé par la relation (fig. 87) :

$$\delta \text{ D} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$$

Etudiant les différents stades de l'évaporation d'un Chott Algérien, J. Ch. Fontes et R. Gonfiantini (1967) ont donné la relation (fig. 82) :

$$\delta \text{ D} = 4,6 \cdot \delta^{18}\text{O} - 13$$

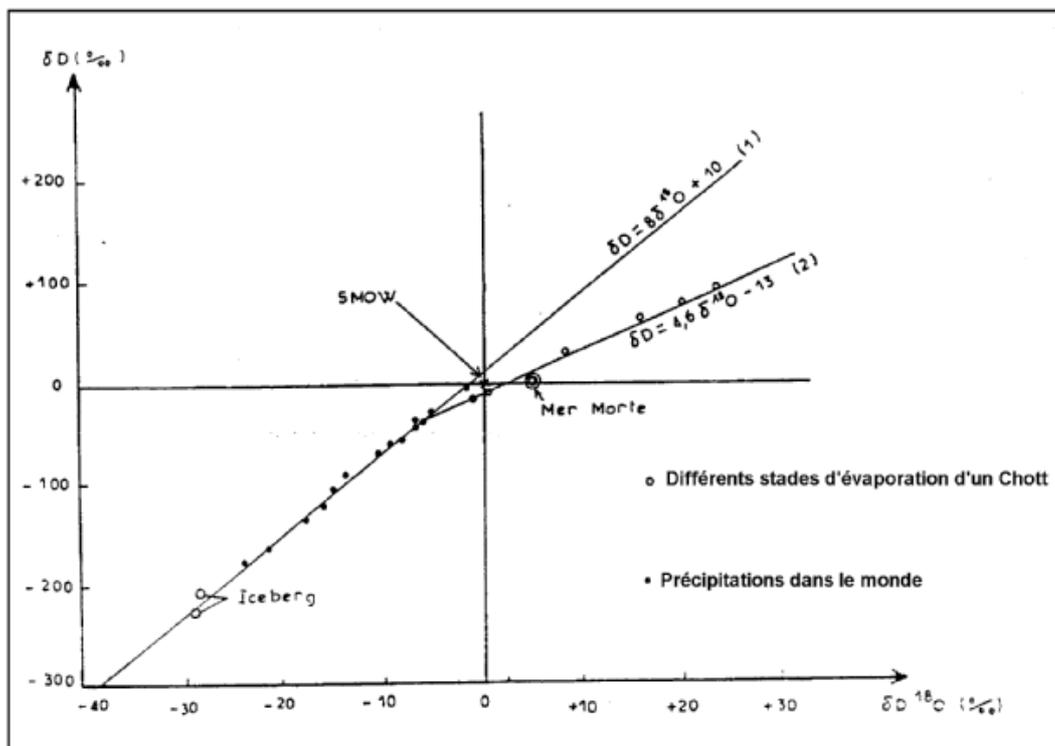


Fig. 87 – Corrélation entre la composition isotopique de ^{18}O et ^2H

(J. CH. Fontes et R. Gonfiantini, 1967)

Le tableau n° 27, résume les équations des droites de régression ^{18}O et ^2H définies pour les eaux météoriques, et les eaux souterraines dans certaines régions à climat aride et semi aride.

Tableau 27 : Equation des droites de régression ^{18}O et ^2H climat aride et semi aride

Localité	Type d'eau	^{18}O /Deutérium	Références
Saoura, Béni Abbes (Algérie)	Eaux météoriques	$\delta D = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$	M. Yousfi (1984)
Bande Sahelienne et Air (Niger)		$\delta D = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$	Ousmane et al. (1985)
N'djamena (Tchad)		$\delta D = 6,3 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$	AIEA (1981)
Bassin la Marahoué (côte d'ivoire)	Eaux Souterraines	$\delta D = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + d$ $6 < d < 17$	Sarrot Reynault et al (1992)
Complexe Terminal, El Hamma et Gabes (Tunisie)		$\delta D = 7,5 \cdot \delta^{18}\text{O} + 1$	R. Ganfiantini et al (1974)
Chott El Hodna (Algérie)		$\delta D = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$	
Grand Yaéré (Caméroun)		$\delta D = 7,9 \cdot \delta^{18}\text{O} + 7,1$	Ngounou Ngatcha (1993)
Cordillaires Bétiques (Espagne)		$\delta D = 7,8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10,3$	Cruz-San Juan et al (1990)
Karst du Djurdjura (Algérie)		$\delta D = 7,1 \cdot \delta^{18}\text{O} + 11,4$	Abdeslam et al (1990)
Région de Koula (Mali)		$\delta D = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 6$	Sarrot Reynault et Traoré (1989)
Iles Canaries (Espagne)		$\delta D = 4 \cdot \delta^{18}\text{O} - 9$	Gasparini (1989)
Eaux fossiles de socle de l'Air (Niger)		$\delta D = 4,5 \cdot \delta^{18}\text{O} - 2,4$	Joseph et al (1989-1990)
Grand Erg occidental (Algérie)		$\delta D = 4,6 \cdot \delta^{18}\text{O} - 13$	M. Yousfi (1984)

5 – 1 – 2. Isotopes radioactifs: Tritium, Carbone 14

C'est la stratosphère qui peut être considérée comme la source du tritium et du carbone 14 (^{14}C). Ces isotopes ont une double origine :

- Par action des rayons cosmiques sur les éléments présents dans la stratosphère.

- Conséquence des explosifs thermonucléaires.

Depuis la fin des essais thermonucléaires, les teneurs en tritium et en carbone 14 diminuent régulièrement suivant une loi périodique très caractéristique à composante saisonnière.

Le tritium (B 19 Ke.V, période 12,3 ans) qui présente des concentrations très élevées dans la stratosphère, voit ces dernières considérablement réduites par dilution avec la vapeur d'eau océanique au cours de la descente de l'isotope dans l'atmosphère.

Le carbone 14 (B 156 Ke.V, période 5600 ans) a un cycle beaucoup plus complexe en raison d'un double circuit minéral et biologique. Il en résulte une nécessité de correction qui permet d'obtenir une datation des eaux acceptable entre 2000 et 50.000 ans.

5 – 2. Teneurs isotopiques des eaux souterraines

Pour mieux préciser les conditions hydrodynamiques reconnues entre les Monts des Ksour et la plate-forme Saharienne, il nous a paru nécessaire de prendre en compte l'ensemble des données disponibles sur le Sahara Nord occidental.

5 - 2 - 1. Nappe du grand Erg occidental

Cette nappe doit son originalité et son individualité à sa localisation géographique sous le Grand Erg occidental. Les échantillons dont nous faisons état ont été prélevés sur les bordures Sud et Ouest de la nappe (fig. 88).

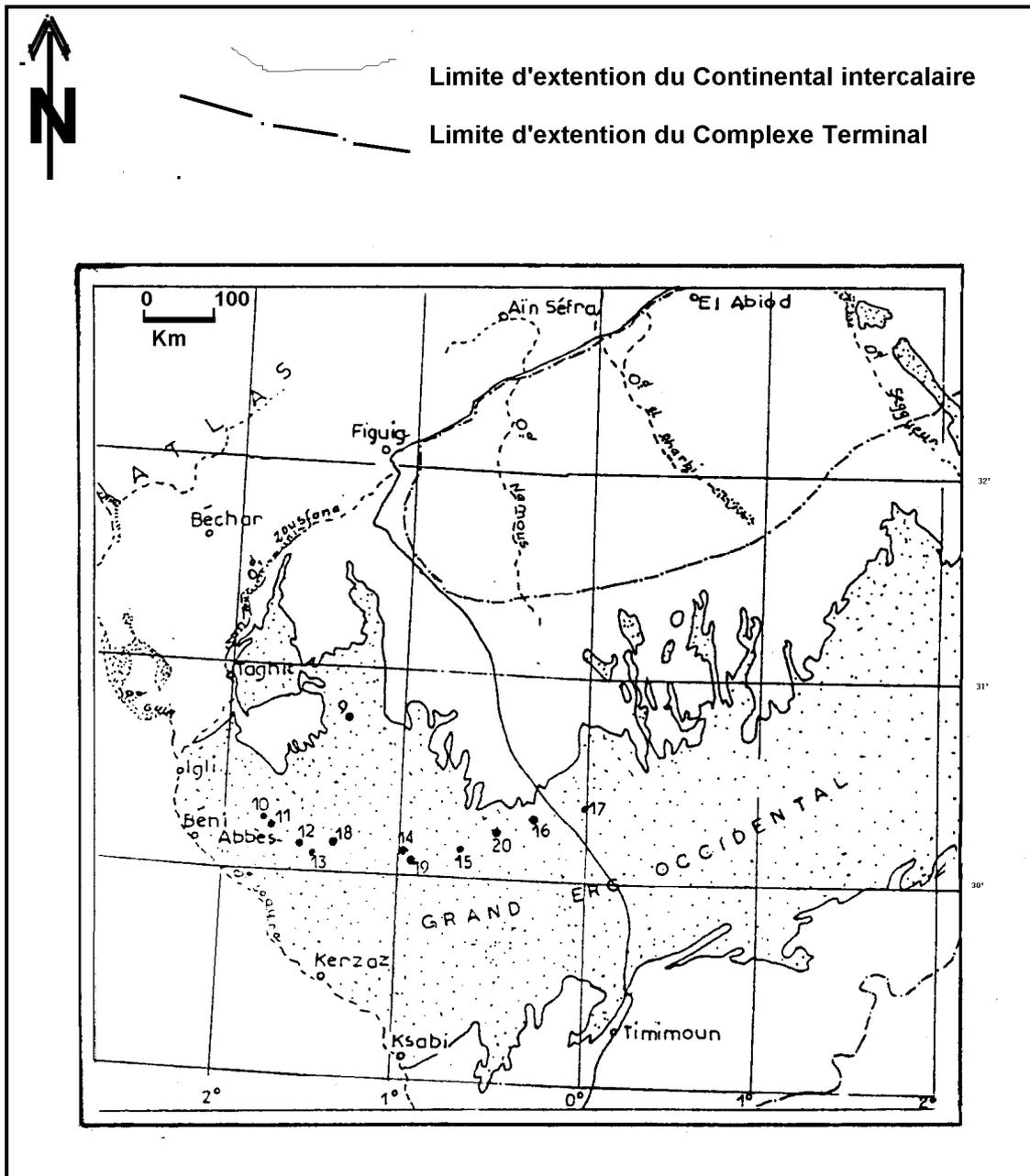


Fig. 88 – Carte des points d'eau de la nappe du Grand Erg Occidental

(G. Conrad, A. Marce et P. Olive, 1975)

- Oxygène-18 et deutérium

Un certain nombre d'échantillons, collectés en 1975 et 1976 à la station de Béni Abbes par M. Yousfi (1984) étaient destinés à l'étude de ^{18}O et ^2H .

L'examen des échantillons 1, 2, 3 et 4 montre un bon alignement sur la droite des eaux météoriques (fig. 89).

Les précipitations n'auraient donc subi aucune évaporation ni au cours de leur chute, ni au cours de leur stockage, qui a duré plusieurs années.

L'échantillon 5 représente les précipitations du mois de mars ; il semble avoir subi une forte évaporation et se situerait parfaitement sur la droite d'évaporation définie par Fontes et Gonfiantini (1967).

Il apparaît donc que les pluies qui tombent pendant les mois les plus froids, favorables à l'infiltration (octobre à mars) ne subissent qu'une évaporation très faible, à l'inverse des précipitations des périodes chaudes qui à la limite, peuvent être entièrement évaporées.

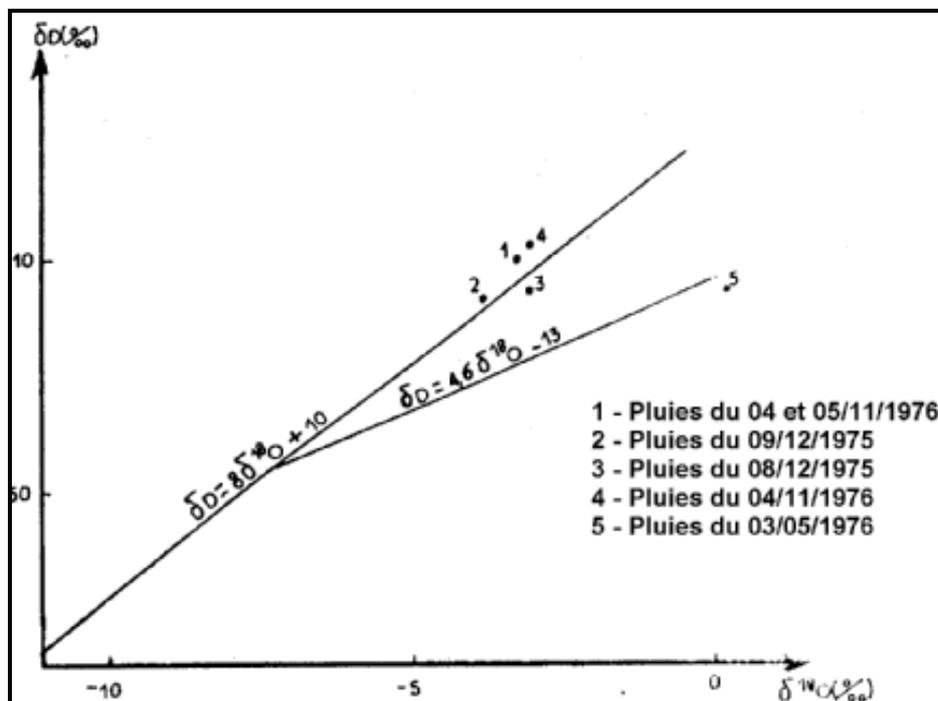


Fig. 89 – Teneur en Deutérium et en Oxygène-18 des précipitations à Béni Abbes (Yousfi, 1984)

Les échantillons de la nappe de l'Erg se placent en dessous de la droite des eaux météoriques, témoignant d'un enrichissement en ^{18}O .

Il en est de même pour une série d'échantillons prélevés au Nord du grand l'Erg, au sein des eaux superficielles dont la piézométrie indique qu'elles passent ensuite sous l'Erg. On a ici une valeur moyenne de -9.1‰ en ^{18}O et -67‰ en ^2H .

Ces valeurs s'inscrivent sur la droite des eaux de l'Erg et correspondent à la composition initiale des eaux de l'Erg avant évaporation (fig. 90).

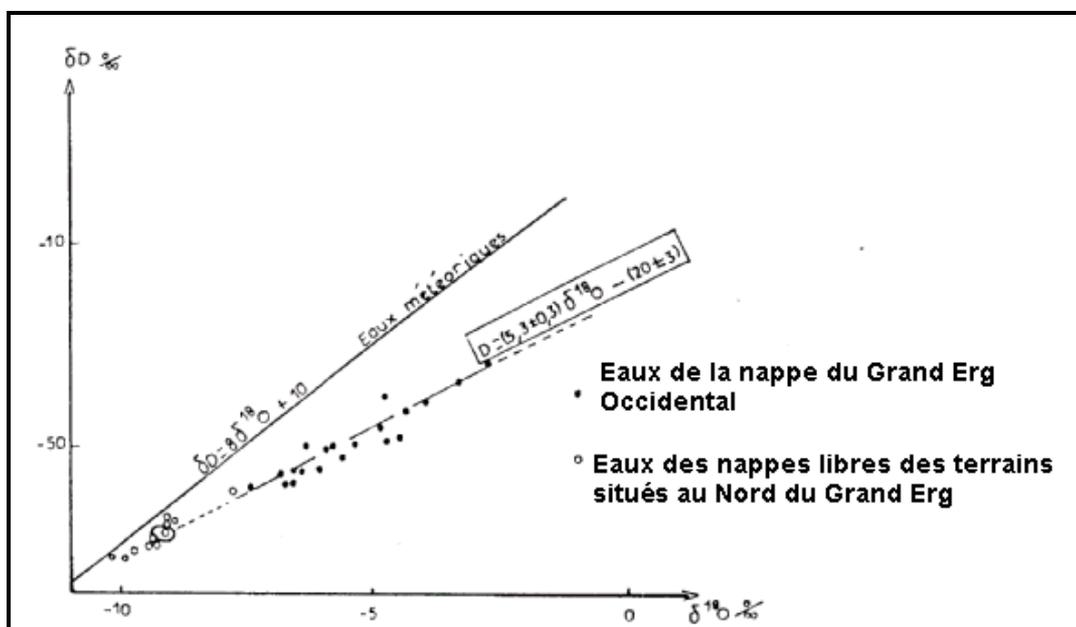


Fig. 90 – Corrélation entre les teneurs en ^{18}O et ^2H dans les eaux de la région du Grand Erg

(Gonfiantini et al, 1974 in Fontes, 1976)

- Tritium

Dans la nappe des calcaires Carbonifères de l'Erg et de la grande source de Béni Abbes, les teneurs de Tritium sont comprises entre 07 et 20 unités Tritium (U.T). On serait en présence des :

- Eaux anciennes : teneurs < 1 UT (échantillons 5, 11, 18, 19, 20, 21 et la grande source de Béni Abbes le 12/11/1970).

- Eaux antérieures à 1952 : teneurs < 2.4 UT (échantillons 2, 15, 16, 29 et 35).

La teneur moyenne en Tritium de ces échantillons est de 9.5 UT, valeur faible pour l'associer à une alimentation survenue au cours des dernières années qui ont précédés leur prélèvement.

Les fortes pluies d'octobre 1967 à Béni Abbes (65 mm en 24 heures, avec des activités comprises entre 100 et 200 UT), ne paraissent pas à ce jour avoir atteint la nappe, puis qu'aucune activité mesurable n'a été enregistrée aussi bien à la grande source que sur les Foggaras. Il en est de même pour les précipitations les plus faibles.

Cependant, des teneurs de 17 et 20 UT, témoignent de la contribution des précipitations actuelles contenant du Tritium d'origine thermonucléaire. Bien sûr, l'hypothèse d'un mélange partiel des eaux récentes n'est pas à écarter mais il faudra dans ce cas définir la zone probable de recharge.

- Carbone 14

La valeur moyenne du ^{14}C est de 59 % sur l'ensemble des échantillons, à l'exception de l'échantillon n° 5 qui correspond à un forage profond et montre des eaux anciennes, d'âge supérieur à 30.000 ans.

Les dépôts lacustre inter dunaire comme ceux de la lisière du Grand Erg donnent une activité moyenne de 50 %.

Sur ces bases, l'âge radiométrique des eaux de la nappe du Grand Erg pourrait s'inscrire entre 4.000 et 10.000 ans (G.Conrad, 1968). Nous admettons qu'il en est de même pour les eaux des calcaires Carbonifères et celles de la grande source.

Les teneurs variables souvent élevées du ^{14}C des eaux traduisent le fait que les réserves héritées des périodes plus humides se trouvent mêlées à un apport sporadique actuel.

5 – 2 – 2. Nappe de la Hamada du Guir

Cette nappe située en rive droite du Guir et de la Saoura est caractérisée par des ressources en eaux souterraines limitées. Les exutoires naturels sont peu nombreux. Le tableau n° 28 résume les teneurs isotopiques des principaux points d'eau de la Hamada.

Tableau 28 : Teneurs isotopiques des eaux de la Hamada du Guir

Points d'eaux	Date	T (°C)	^{18}O SMOW	Tritium U.T	Carbone 14 ^{14}C	RS Mg/l
Zguilma	22.09.64	25,1	- 9,6			1130
	27.09.64	26	- 8,6			1130
Es-Srir	23.11.64	17	- 9,0	} → < 26		1140
	25.04.68	-	- 9,9			1142
Zguilma	02.09.64	24	- 10,4	} → < 23		-
	27.09.64	25	- 10,0			1060
El-Kébir	23.11.64		- 8,2			1155
Zguilma Es-Srir	12.1970	17,5	- 9,74		49,4 ± 0,4	1362
Zguilma El-Kébir	12.1970	21	- 10,20		48,4 ± 0,5	1136
Hama guir	12.1971	24			18,9 ± 1,5	885
Boul mane	12.1971	-	- 7,2			1600

- Oxygène 18

Les valeurs sont faibles, variant entre - 7,2 à - 10,20. L'évaporation y semble réduite, vraisemblablement liée à l'importance de l'infiltration directe par les fissures.

- Tritium

Les teneurs oscillent autour d'une valeur moyenne 25,5 U.T, traduisant l'apport de recharges actuelles, qui en tout état de cause reste très minime.

- Carbone 14

Les activités en ^{14}C donnent une moyenne de 48,9 % pour les deux Zguilmas ; on aurait ici des eaux d'un âge voisin de 1.000 ans, alors que celle du forage d'Hamguir à un âge supérieur à 30.000 ans. La hamada du Guir discordante sur le Paléozoïque se révèle identique aux eaux des nappes libres situées au Nord du Grand Erg (fig. 90), par la faible teneur en ^{18}O . Le rapport $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ la place légèrement au dessous de la droite des eaux météoriques. En raison des débits insignifiants et les faibles teneurs en ^{14}C , cette nappe est considérée comme fossile. Son activité a été forte au Pléistocène moyen et supérieur, par leur importance les travertins étagés d'Hassi Zguilma témoignant de l'existence de fortes exurgences fossiles et attestent de la baisse du niveau piézométrique au cours de l'Holocène.

5 – 3. Teneurs isotopiques des eaux superficielles

L'étude du réseau de surface s'est limitée à l'analyse des crues, alimentées par les pluies d'automne, d'hiver ou de printemps sur les revers méridionaux du Haut Atlas Marocain et des Monts des Ksour. Ces crues, par leur impact contribuent à soutenir ou à renforcer le niveau piézométrique de la nappe liée à l'oued. Il existe d'autre part des bassins établis le long de l'oued (Gueltas) dont le plan d'eau est souvent en équilibre avec le niveau piézométrique du sous écoulement.

5 – 3 – 1. Variation de la teneur isotopique des eaux de crues

Les teneurs isotopiques des eaux de l'oued sont directement influencées par les précipitations. Une mesure faite 27 septembre 1964 au niveau de l'inféro flux de la Saoura a donné 981 ± 59 (U.T), valeur que l'on peut rapprocher de celle des précipitations du 06 Septembre 1964 à Béni Abbes 906 ± 43 (U.T).

En mai 1967, la concentration en isotopes lourds augmente de 4 ‰ sur le radier de Béni Abbes alors que la crue continue de s'écouler. La même

observation avait été réalisée sur une crue de 1964 ; l'évaporation étant plus marquée à mesure que l'on se déplace vers le Sud. Les mesures effectuées ont donné les valeurs suivantes :

- Crue à Abadla : - 9 ‰
- Pluie à Béni Abbes : - 9,7 ‰
- Sebkhet El Melah : + 30 ‰

La composition isotopique des eaux de surface varie peu d'une station à une autre. Les mesures ont été réalisées en hiver et l'évaporation est peu importante.

5 – 3 – 2. Relation nappe du Grand erg – Inféro flux de la Saoura

L'analyse de la composition isotopique des eaux de l'oued et son suivi dans le temps, permet de mettre en évidence la relation hydrodynamique entre la nappe de l'Erg et la vallée de la saoura. Ainsi au radier de Béni Abbes, l'inféro flux de la Saoura, partiellement alimenté par la nappe de l'Erg montre des valeurs décroissantes en isotopes lourds.

L'orage du 18 septembre 1967 n'aura aucune influence sur cette évolution. Il n'en sera pas de même avec l'orage du 16 septembre 1967 ; les précipitations cumulées atteignent 65 mm en moins de 24 heures (fig. 91).

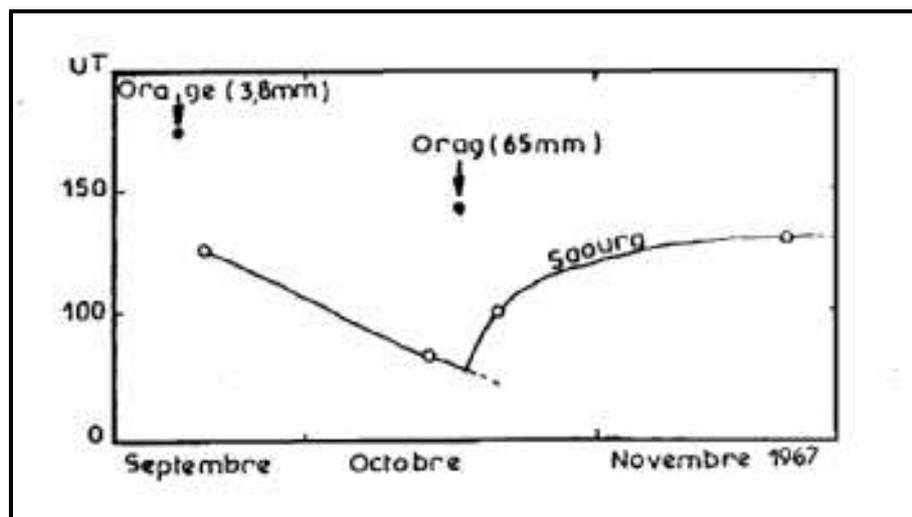


Fig. 91 – Evolution de la teneur en Tritium de la Saoura (Béni Abbes)

(G. Conrad, A. Marce et P. Olive, 1975)

En période chaude, les eaux ont subi une forte évaporation et la teneur en isotopes lourds des eaux de la Saoura augmentera rapidement. Des mesures effectuées sur le profil en long de l'oued ont donné des résultats intéressants (tableau n°29)

Tableau 29 : Teneurs en isotopes lourds sur le profil en long de la Saoura

Localisation	Date	Température	RS (mg/l)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)
Béni Abbes	31.01.64	16,3	-	- 3,0
Kerzaz	30.01.64	16.8	1870	- 3,2
Foum el Kheneg	29.01.64	20,5	5000	- 0,7
O. Es Souireg	28.01.64	13,9	25000	+ 0,9

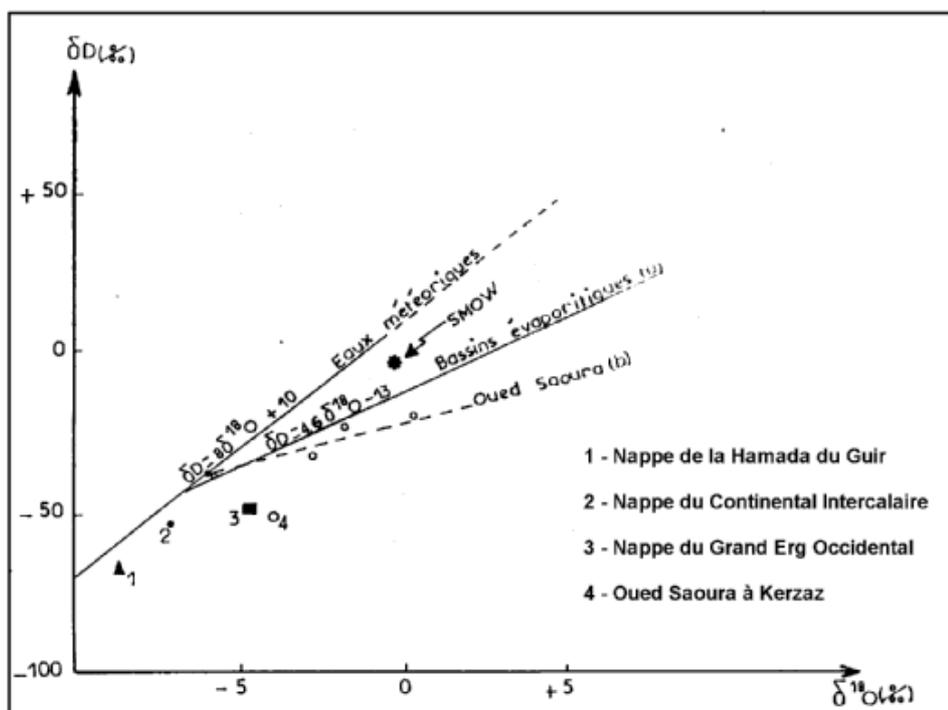


Fig. 92 – Teneurs en Deutérium et en Oxygène 18 des nappes et du réseau de surface (C. Conrad et J. CH. Fontes, 1970)

(a) Droite d'évaporation de la Sebket El Melah
 (b) Corrélation enregistrée dans les eaux de la Saoura

Les différentes données concernant les teneurs en isotopes lourds ont été reportées (fig. 92). Le point 4 (oued Saoura à Kerzaz) qui s'en écarte, situé près du point 3 (nappe du grand Erg Occidental) souligne ainsi la contribution de la nappe de l'Erg à l'alimentation de l'inféro flux de la Saoura. Ce phénomène est bien marqué en fin de crue.

5 – 3 – 3. Bassin évaporitique de Gueltet Gara Diba (Béni Abbes)

C'est un plan d'environ 160 m² sur 0,80 cm de profondeur. L'inféro flux ne semble guère participer à l'alimentation car le niveau a rapidement décriu entre le début janvier et les premiers jours d'avril où la Guelta s'assèche.

- la salure passe de 2 à 50 g/l au cours de la réduction du volume.
- Augmentation de la teneur en magnésium qui se traduit par une modification de la formule caractéristique.
- Enrichissement en isotopes lourds au cours du processus d'évaporation (tableau n°30).

Tableau 30 : Enrichissement en isotopes lourds

Date	$\delta^{2}\text{H}$ ‰	$\delta^{18}\text{O}$ ‰
01.01.1966	- 1	+ 2,7
17.01.1966	+ 4	+ 3,6
31.01.1966	+12	+ 6,3
14.02.1966	+ 33	+ 10,0
02.03.1966	+ 59	+16,8
21.03.1966	+ 87	+ 21,7
04.04.1966	+ 124	+ 31,3

L'évolution de la teneur en Oxygène-18 traduit bien les phénomènes d'évaporation qui se produisent sur les trajets de l'oued, et qui sont soulignés par l'augmentation du résidu sec.

Différents auteurs admettent que ce serait la cessation des apports qui serait responsable des valeurs plus élevées que l'on observe à partie de Foum El Kheneg et dans l'oued Souireg ; l'évaporation s'effectuant sur des volumes d'eau non réalimenté.

Il faudrait chercher l'évolution de la composition isotopique dans la zone de transfert entre la nappe de l'Erg et l'inféro flux, zone où les phénomènes d'évaporation pourraient être importants.

Les teneurs en Oxygène-18 et en Deutérium montrent des augmentations qui dépassent 30 ‰, plaçant ces eaux en dessous de la droite des eaux météoriques mondiales et sur celle correspondant à l'évaporation d'un Chott Algérien.

II - CONSEQUENCE HYDROGEOLOGIQUE DE LA LITHOLOGIE ET DE LA FRACTURATION SUR LES EMERGENCES DES MONTS DES KSOUR

1 - La lithologie

L'épaisseur des strates et la nature lithologique du matériau composant les aquifères interviennent directement dans la dynamique des écoulements des eaux souterraines. Les sables argileux (*Complexe Terminal*), les grés à double perméabilité (*Continental Intercalaire*) et les calcaires fissurés (formations Jurassiques) constitueront les principaux réservoirs des Monts des Ksour.

1 - 1. Les sables argileux du Complexe Terminal

Ce sont en général des marnes sableuses blanchâtres, rougeâtres et parfois verdâtres, renfermant de temps à autre des cristaux de gypse et alternant avec quelques bancs calcaire-gréseux. Ce sont donc des formations hydrogéologiques à perméabilité d'interstices où l'écoulement des eaux souterraines est principalement généré par la présence des minéraux argileux à l'intérieur de la matrice aquifère.

Mis à part les formations Turoniennes, en position de synclinaux perchés à substratum Cénomaniens, les niveaux du *Complexe Terminal* ne présentent que quelques rares émergences sans importance notable.

1 - 2. Les grés fissurés du Continental Intercalaire

Il s'agit d'une série monotone de grés à passages argileux qui se présente selon les régions de grés fins friables, sables à peine cimentés, grés siliceux avec intercalations de grés marneux, grés grossiers à éléments mal roulés, grés marneux tendres très fins blancs à verts clairs, grés ferrugineux violacés à noirs, grés friables rouges à éléments grossiers et stratifications obliques et à dragées de quartz. La série des grés ne montre aucun niveau constant, les bancs sont souvent lenticulaires et dans le même niveau, la série peut comprendre tous les faciès des grés.

Le caractère frappant de ces grés est d'une part leur porosité, évaluée à 50% selon Levat (1952), atteignant son maximum quand les bancs sont sableux et d'autre part à la coexistence de fissures quand ces grés sont cohérents et bien cimentés. Cette double perméabilité confère aux grés du *Continental Intercalaire* des potentialités hydrogéologiques très favorables. Ils constituent ainsi les plus importantes émergences des monts des Ksour.

1 – 3. Les calcaires et dolomies du Jurassique

Ces formations sont toutes caractérisées par une perméabilité de fissures. En effet, la fracturation de ces formations carbonatées se manifeste par un débit en assises, gros blocs métriques ou décamétriques, de forme cubique ou orthorhombique. Ces blocs sont souvent déchaussés par l'enfouissement des niveaux plus tendres et contribuent à renforcer l'aspect aride du paysage. Des mesures ponctuelles ont montré que l'intensité de la fracturation diminue du centre du pli vers sa périphérie et qu'elle est plus intense dans les anticlinaux (anticlinal d'Aïn Ouarka) que dans les synclinaux (synclinal de Khoundjaïa).

2 – Etude de la fracturation et fissuration

2 – 1. Les structures de Tiout - Aïn El Hadjadj – Asla

2 – 1 – 1. Les structures de Tiout

Au Nord Est de la petite localité de Tiout, s'étend le synclinal de Botmet Oum El Habel orienté Est – Ouest et dont le fond est constitué par les grés à dragées supérieurs. Ce synclinal dissymétrique présente un étranglement vers le Sud Ouest, aux environs de Tiout (émergence des sources de Tiout) et s'étale par contre vers le Nord Est à El Ghouabi. Le cœur du synclinal est découpé par des fractures majeures (fig. 93) essentiellement liées aux plissements. Le flanc Sud présente un diaclasage caractéristique donnant aux assises Albiennes un débit en gros bancs pseudo-cubiques que l'on peut voir le long de la route Aïn Séfra – El Bayadh (photo 09).

2 – 1 – 2. Les structures de Koudiat Tiourtelt

Le secteur de l'oued Tiourtelt appartient à un système de deux anticlinaux séparés par le synclinal de Tiourtelt dont l'exutoire n'est autre que la source qui porte le même nom. L'anticlinal de Koudiat Tiourtelt, pincé et à flancs écaillés est faillé longitudinalement. Il est injecté de Trias masqué à cet endroit par les poudingues des Ksour. Le synclinal dont le fond est constitué par les grés à dragées supérieurs s'intègre dans la série des structures orientées Sud Ouest – Nord Est.

2 – 1 – 3. Les structures de Dalaâ Miloudah

Au Sud de l'anticlinal du Djebel Afzouz d'Asla, s'étale une grande cuvette complexe dans le détail, qui affecte la formation à composante argileuse de Tiloula.

Encadrés par les barres Barrémiennes où un système d'accidents décrochants détermine des plis secondaires mis en évidence à Dalaâ Miloudah, orientés sensiblement Nord 10° à Nord 20° Est.

2 – 2. La fracturation

2 – 2 – 1. Comportement de la fracturation dans les grés du Continental Intercalaire

Suivant leur état de consolidation et leur granulométrie (grés sableux, friable, quartzites), l'épaisseur du banc ou sa structure interne, on peut passer d'un banc à l'autre d'un simple débit en cubes à un débit pénétratif donnant à la roche un aspect haché (fig. 94), flanc NW de l'anticlinal de A. Ouarka). Par exemple, dans les grés à stratifications obliques, plusieurs systèmes de diaclases sont réfractés suivant des feuillets sédimentaires.

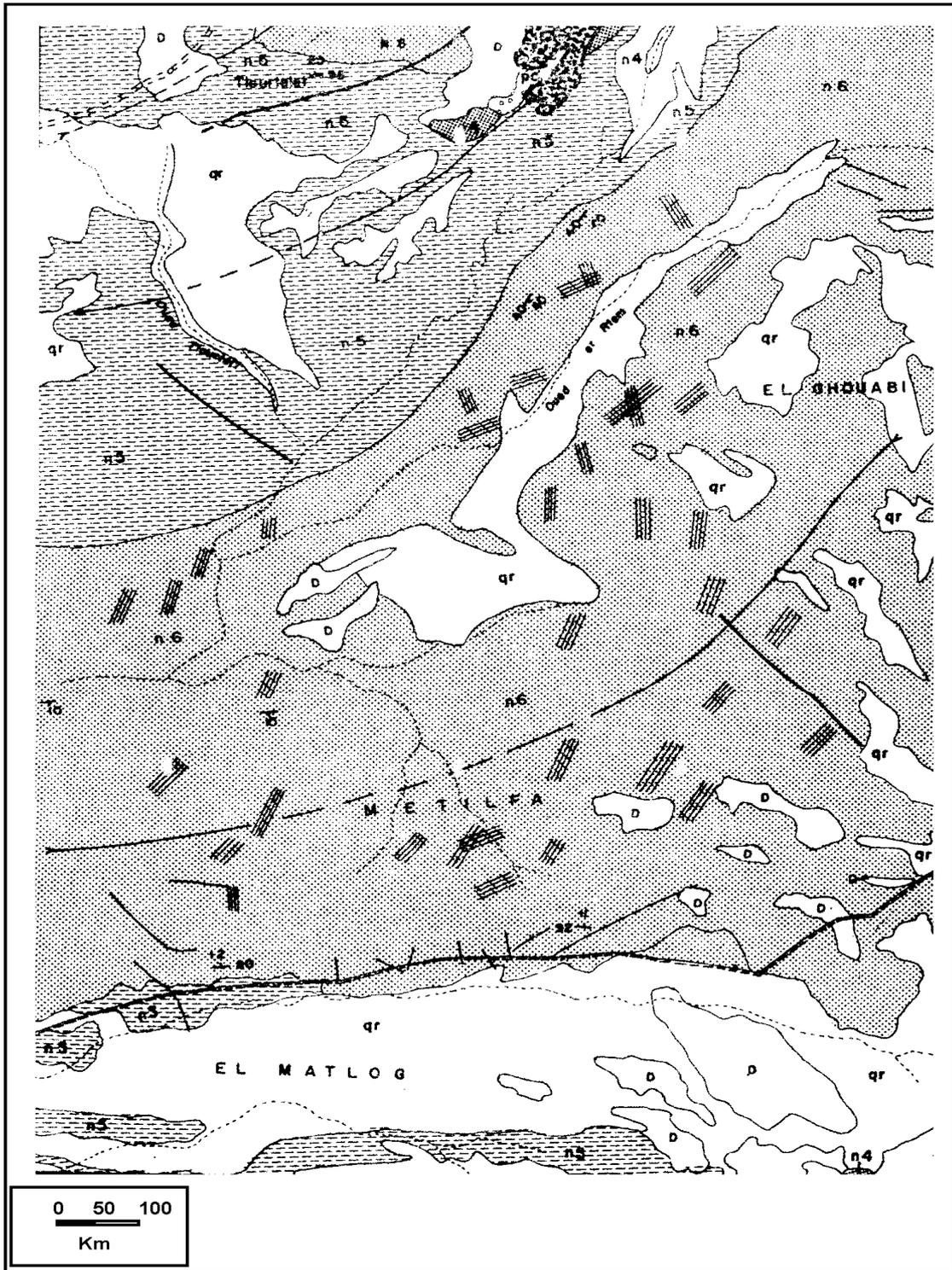


Fig. 93 – La fracturation dans le synclinal de Tiout par photogéologie (Douihasni, 1976)

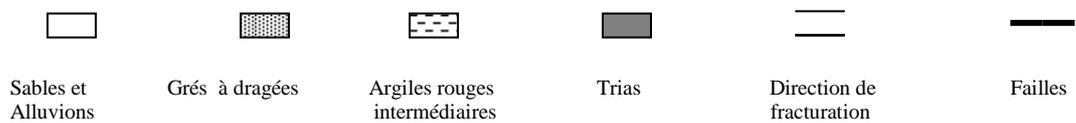




Fig. 94 – Différences et comportement de 03 niveaux gréseux voisins, face à la fracturation



Photo 09 : Grés de Tiout

Dans ce type de roches, la fracturation se traduit par des fractures assez souvent ouvertes auquel il faudrait ajouter la part de la désintégration thermique des roches. Dans les grès du *Continental Intercalaire*, les fractures sont le plus souvent répétitives et donnent un débit en blocs pseudo cubiques dont le plus bel exemple se situe à Tiout (Photo 08). Dans la barre gréseuse entourant l'anticlinal du Djebel Afzouz et faisant partie des grès à dragées inférieures, la fracturation d'ordre décamétrique à hectométrique se manifeste par des directions liées aux niveaux lithologiques. C'est ainsi que deux niveaux où la fracturation est caractérisée par des diaclases N 160°E 60°NW, encadrent un niveau où les fractures sont orientées N120°E.

2 – 2 – 2. Distribution de la fracturation

Des systèmes conjuguées de fractures moyennes N150°E et N175°E, déterminent un « coin enfoncé » mineur d'ordre métrique sur le flanc Sud du pli secondaire de Noukhila, orienté N75°E 16°SW. La bissectrice N165°E correspond bien à la direction de la contrainte maximale ayant participé au développement de la structure secondaire de Noukhila. C'est le mode de distribution des micro failles dans le synclinal Est – Ouest de Tiout (fig. 93). Les fractures préexistantes peuvent être reprises par des manifestations régionales ou locales. Ceci est illustré par l'étude de la fracturation dans le Chemarikh (fig. 95) qui nous montre que le passage d'un accident donne un certain nombre de distribution de la fracturation et que les torsions entraînent la déformation de certaines familles de fractures.

Ainsi la torsion de l'axe du pli de N30°E à N10°E se traduit par la modification des familles de fractures axiales du diagramme **A** par rapport à celles des diagrammes **B** et **C**. Cette torsion ne semble affecter que les fractures parallèles à l'axe du pli. L'influence de l'accident N160°E (diagramme **B**) se traduit par l'apparition d'une famille de fractures parallèles à la direction de l'accident majeur, l'augmentation du réseau de fracturation et une désorganisation avec multiplication des réseaux en plusieurs familles :

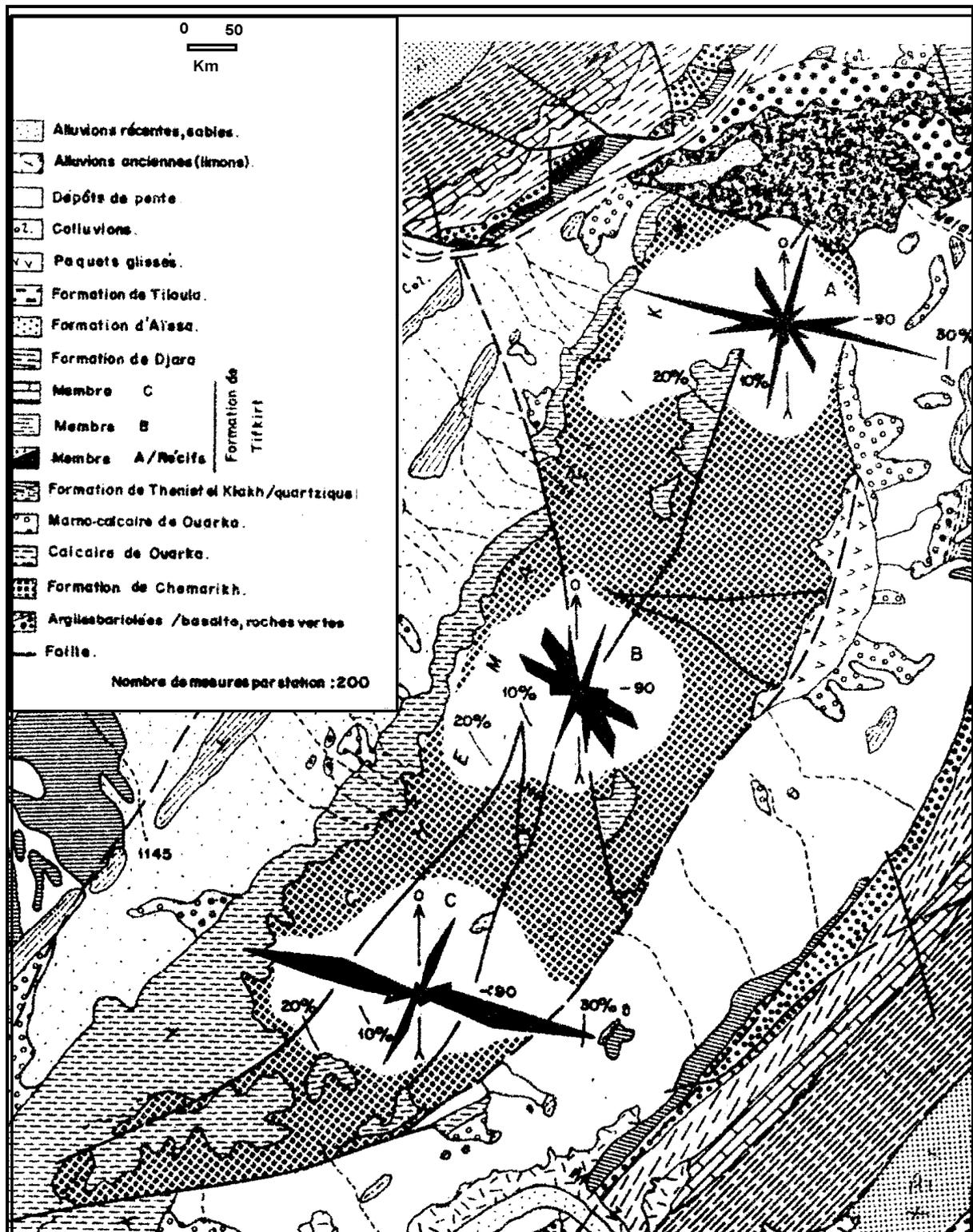


Fig. 95 – Fracturation dans le Djebel Chemarikh (Douihasni, 1976)

Influence de l'accident N 160° E et de la torsion de l'axe du pli de N 30° E à N 10°

- N110°E à N120°E
- N120°E à N130°E
- N140°E à N150°E
- N150°E à N160°E
- N170°E à N180°E

Donc la disposition des fractures est aussi bien parallèle qu'oblique à la direction de l'accident majeur.

2 – 2 – 3. Orientation des fractures

L'étude a été subordonnée à un examen détaillé dans l'anticlinal d'Aïn Ouarka, le synclinal de Khoundjaïa, le synclinal de Labiodh Sidi Cheikh ainsi qu'à des mesures ponctuelles dans les autres structures de la partie centrale des Monts des Ksour.

L'étude de la fracturation, représentée en 'rose de fréquence' a été entreprise sur un certain nombre de sites où elle a fait ressortir les familles suivantes :

- Noyau anticlinal des Chemarikh

- N10°E à N30°E
- N80°E à N130°E
- N120°E à N130°E
- N150°E à N180°E

- Synclinal de Khoundjaïa (fig. 96)

- N10°E à N40°E
- N70°E à N80°E
- N110°E à N130°E
- N140°E à N160°E

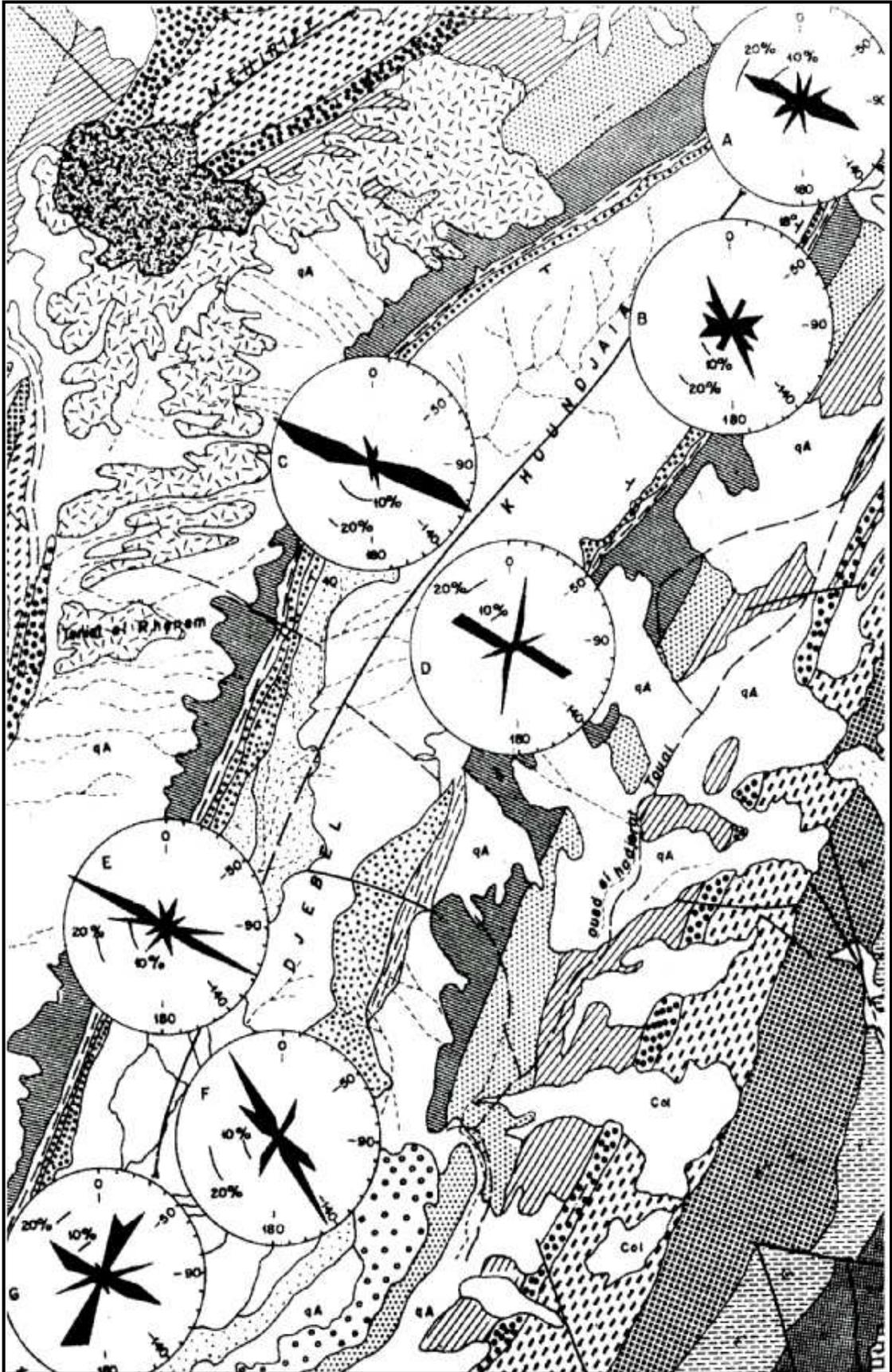


Fig. 96 – Fracturation dans le synclinal de Khoundjaïa (Douihassi, 1976)

Synclinal de Labiodh Sidi Cheikh (fig. 97)

Un ensemble de mesures a été réalisées sur des affleurements gréseux du *Continental Intercalaire* à partir d'une station regroupant 180 fractures répertoriées au tableau n° 31.

Tableau n° 31 : Répartition de 180 fractures répertoriées

Classes et nombres	Effectifs	Fréquences (%)
0 - 20	26	14.44
20 - 40	26	14.44
40 - 60	30	16.66
60 - 80	18	10.00
80 - 100	28	15.55
100 - 120	02	01.11
120 - 140	16	08.88
140 - 160	12	06.66
160 - 180	14	07.77
180 - 200	08	04.44
TOTAL	200	100 %

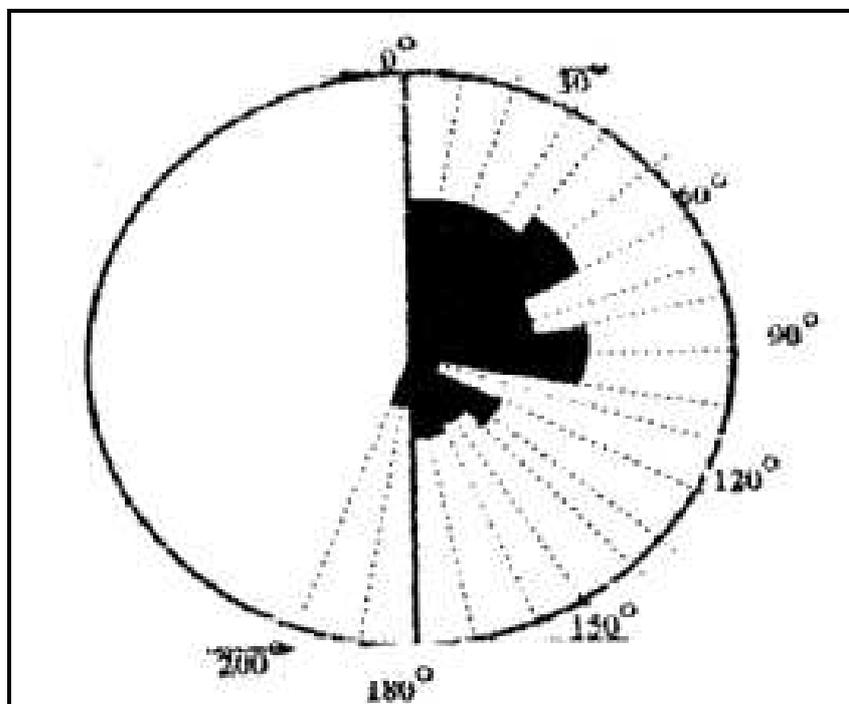


Fig. 97 – Diagramme polaire de la fissuration des grés (El Abiodh Sidi Cheikh)

Le dépouillement de ces mesures, repris sur un diagramme polaire a permis de faire ressortir 04 orientations principales :

- N 0°E à N20°E
- N20°E à N40°E
- N40°E à N60°E
- N80°E à N100°E

- Synclinal Béni Ounif

L'accident Sud Atlasique suit par ses failles et flexures en relais plusieurs directions différentes, depuis le Djebel Ouazzani jusqu'aux petits chaînons de Figuig. La direction moyenne est N80°E à N85°E (Est-Ouest).

La fracturation est caractérisée par une densité d'extension parallèle à la direction de compression. Cette direction est d'environ N30°E à N35°E, qu'on peut voir dans les grès continentaux de Beni Ounif, les calcaires dolomitiques de la Chebket Tamednaïa et la Chebket El Beïda au Sud de Kerdacha.

- Observations ponctuelles, éloignées des accidents

- Chellala Dahrana : N100°E à N110°E et N150°E à N160°E
- Teniet El Djemel et Kheneg Mezarig : N110°E à N130°E
- Cluse D'Asla : N 0°E à N10°E, N110°E à N130°E, N150°E à N160°E
- Djebel Mehirize: N150°E à N180°E
- Djebel Bram: N10°E à N30°E, N110°E à N130°E, N140°E à N170°E

En général, les fractures N100°E à N110°E et N140°E à N160°E sortent bien sur les diagrammes et sont retrouvées en plusieurs endroits des Monts des Ksour. Nous verrons par la suite que ce sont ces fractures que l'on retrouve au droit des émergences et que leur rôle est capital dans la genèse des points d'eau naturels.

3 – Les sources et leur condition d'émergence

Au point de vue stratigraphique, on observe un certain nombre d'horizons aquifères par lesquels émergent les sources des Monts des Ksour. On distinguera un niveau de sources généralement thermales, d'origine structurale, donc profonde. Le second niveau, de sources d'âge Jurassico-Crétacé inférieur étant lié principalement à la fissuration. Ce sera dans les grès Albiens du *Continental Intercalaire* que nous retrouverons les sources les plus importantes.

3 – 1. Les émergences d'origine structurale

3 – 1 – 1. Aïn Mélias (fig. 98)

Les fracturations profondes des relais Sud Atlasique sont à l'origine des émergences naturelles localisées :

- Autour de Figuig au Maroc

Dans le territoire Marocain (région de Figuig), le Nord du Djebel Grouz est affecté par des accidents N55°E

- Aïn Takoumert, (31°C) au pied du rocher par une faille Est – Ouest
- Aïn Dar El Beïda au Nord Est.
- Aïn Taddert sur le plateau, porte Nord d'El Ouadarhir
- Aïn El Hamia de Hammam El Foukani (47°C).

- A Mélias (frontière Algéro-Marocaine), à 8 km au Nord Est de Béni Ounif :

L'attention du site est attirée par un bouquet de palmiers, alimenté par une source captée, à partir d'une tranchée à faible pente, creusée sur une profondeur de 3,3 mètres à la tête amont.

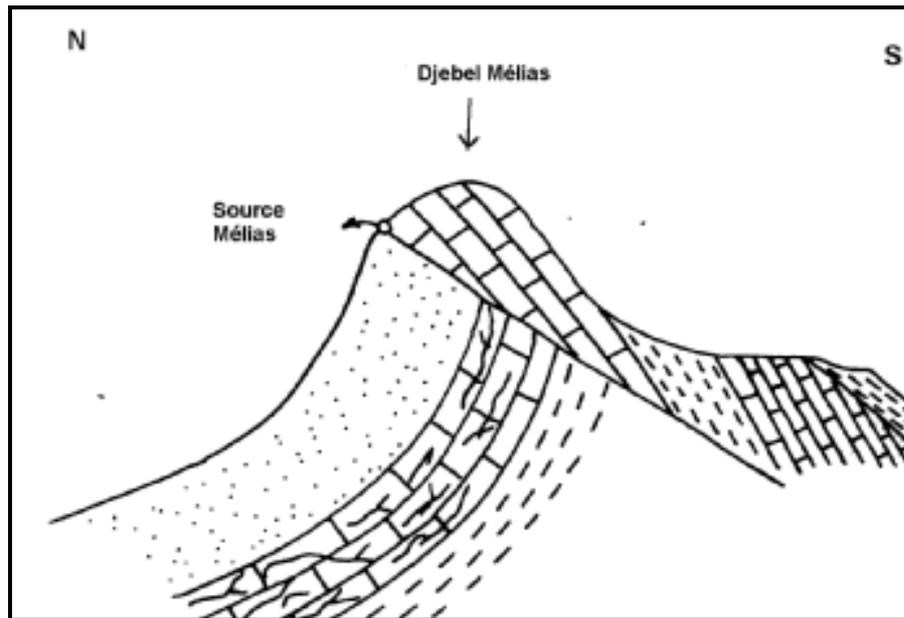
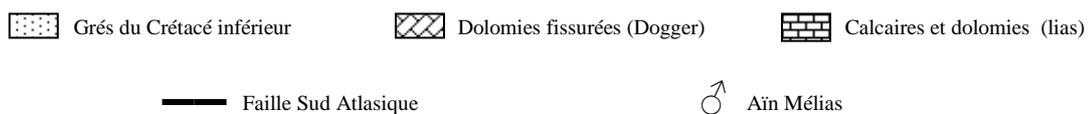


Fig. 98 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Ain Mélias



Elle se trouve dans le lit d'un oued dont le bassin versant a une superficie de 9 km². Il est évident qu'une partie des eaux de la source représente l'inféro flux de l'oued. Cependant la présence d'une importante faille coupant la vallée à moins de 100 mètres en amont de la source laisse penser qu'Ain Mélias est alimentée par des eaux d'origine profonde, remontant le long de la faille.

La température de l'eau (24°C) a conduit Cornet (1947) à penser qu'il est plus que probable que les eaux contenues dans les alluvions des oueds passant par les cols situés entre Djebel Mélias, Tarhla, Si Youssef proviennent en partie des cassures profondes.

La piézométrie a permis de mettre en évidence des apports d'eau venant des assises calcaire-dolomitiques fissurées mises au contact des grès continentaux le long du pied Sud du Djebel Grouz, permettant ainsi une alimentation permanente d'origine lointaine.

3 – 1 – 2. Aïn Ouarka (fig. 99)

Située à 44 km à l'Est de Aïn Séfra sur la route de Mecheria, la source présente tous les caractères liés à une source thermique. Affleurant à une température de 45°C, la source est captée au moyen d'un bassin couvert de 1 m² de surface. Le débit est d'environ 03 l/s avec une minéralisation très prononcée. Quant l'eau n'est pas utilisée au profit de l'établissement thermal, elle s'écoule dans un lac de 80 mètres de diamètre où elle se refroidit.

Au cœur de l'anticlinal Jurassico- Crétacé, affleure un pointement Triasique par lequel émerge la source d'Aïn Ouarka. Cet affleurement Triasique, vers le Sud est en contact par faille avec les formations Jurassique. La faille a une orientation sensiblement Est-Ouest. La source se situe dans le coin Sud Ouest de l'affleurement au pied d'un escarpement Jurassique, exactement sur le passage de la faille.

L'eau venant d'une profondeur évaluée entre 1500m à 2000m par gradient géothermique, emprunte la faille pour remonter à la surface.

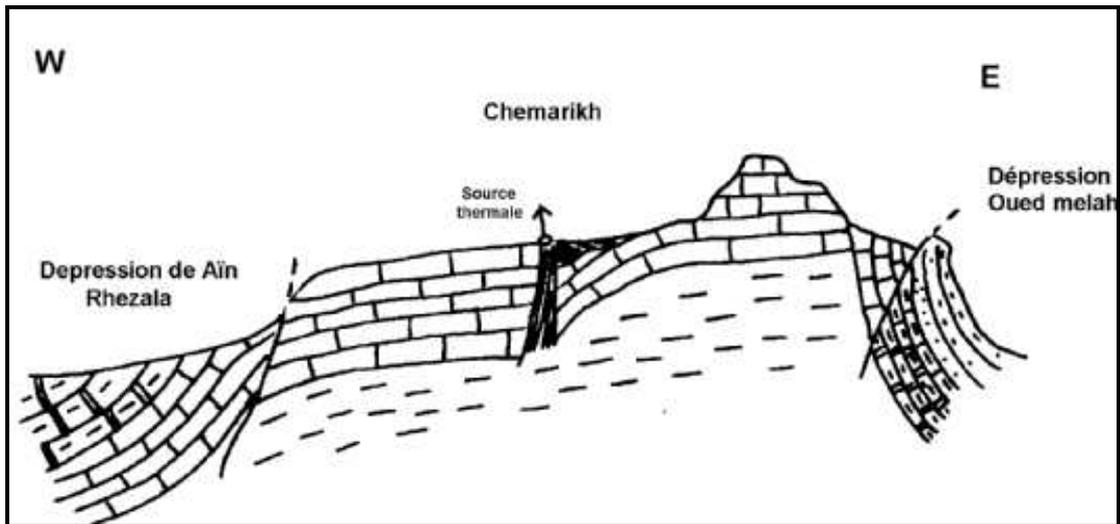
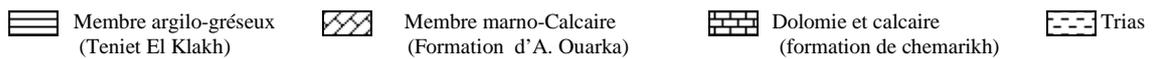


Fig. 99 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Aïn Ouarka



La présence de sel dans les marnes bariolées est expliquée par l'existence juste à l'Est de la source d'une couche de sel exploitée par les autochtones de la région, affleurant verticalement avec les marnes au sein du plan de faille.

Un forage hydrogéologique, réalisé à l'Ouest de la ville de Aïn Ouarka a traversé sur 250 mètres une formation uniforme faiblement aquifère, formée essentiellement de marnes versicolores, associées à des dolomies fissurées par endroits et souvent traversées par de minces filons de gypse. Après 120 heures de pompages à un débit constant de 2.4 l/s, le niveau statique (13 m) s'est rabattu de 75 m, soit un niveau dynamique de 88 m. Ces caractéristiques hydrodynamiques dénotent que les potentialités hydrogéologiques sont bien modestes au niveau de la région de Aïn Ouarka.

3 – 1 – 3. Source El Hendjir (fig. 100)

Appelée à l'époque coloniale, source de l'ancienne mine de cuivre, cette émergence située à 13 km d'Aïn Séfra a constitué toujours une énigme quant à sa condition d'émergence par les anciens géologues. Avec un débit

de pas moins de 10 l/s, ce point d'eau constitue une ressource importante pour les habitants de cette localité.

A 500 mètres au Sud de la mine, affleure une corniche de grés Albien ayant à sa base des couches d'âge Aptien à pendage assez fort (50° à 60° vers le Nord) et représentant le bord septentrional du synclinal Albien de Aïn Séfra.

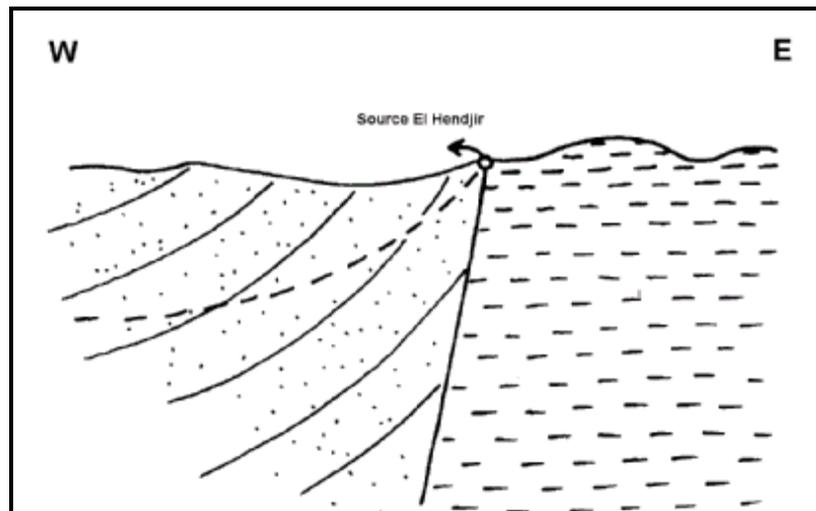


Fig. 100 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence d' El Hendjir

Grés Barrémo-Albo-Aptien
 Argiles du Trias
 Faille
 Source
 Niveau piézométrique

La coupe du puits de la mine présente vers le haut des grés blancs appartenant au Néocomien et formant le prolongement vers le Sud des couches Néocomiennes de Garet Deba. Ces grés, à l'endroit où ils sont recoupés par le puits de la mine ont un pendage de 80° vers le l'Ouest et reposent sur des roches volcaniques ophitiques noires altérées. La direction des couches de grés Néocomiens est presque perpendiculaire à celle des grés Albiens.

Dans cette région, les failles jouent un rôle important dans le cheminement des eaux souterraines. La figure n° 101 établie par Cheylan (1951) montre que la source El Hendjir se situe sur la ligne de faille **F2** d'orientation NNE-SSW.

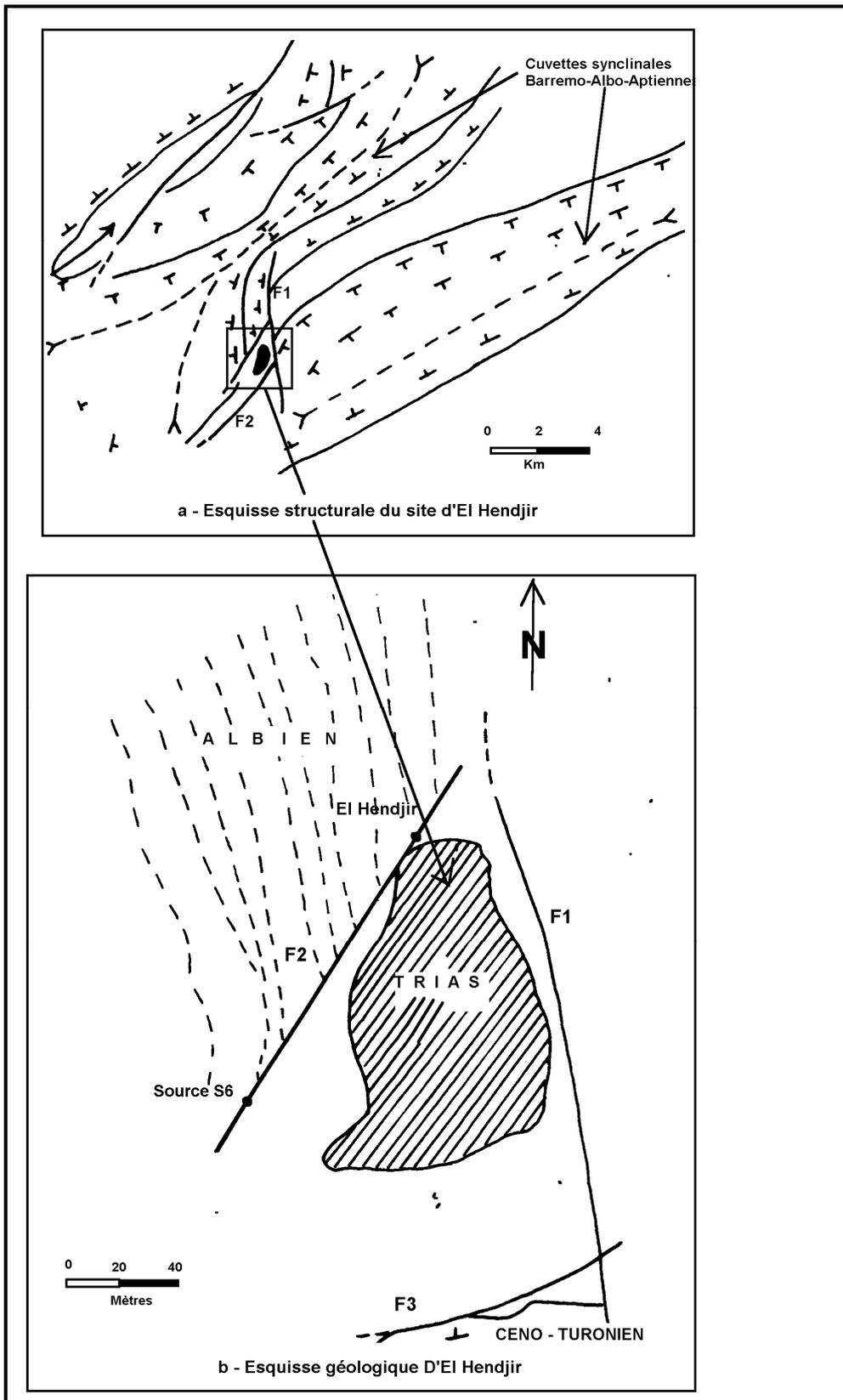


Fig. 101 – Esquisse géologique et structurale

Impact sur l'émergence de la source d'El Hendjir (G. Cheylan, 1961)

Une faille **F1** s'étend vers le Sud, longeant à l'Est le Trias d'El Hendjir et atteint le synclinal Albien de Aïn Skhouna où elle se perd. Elle doit se prolonger en direction de l'oued Breidj par une zone de fracture.

Les failles **F2** et **F3** disparaissent sous le Quaternaire masquant le synclinal Albien de l'oued Sfissifa.

La faille **F2** sur laquelle se situe une deuxième source S6 est responsable de l'injection du Trias avec au sommet des roches volcaniques ophitiques.

Il est important de noter que la source El Henjdir suralimente par drainance ascendante la formation Albienne et ne constitue donc qu'un point de passage du système aquifère vers lequel convergeront les eaux venant du Nord et du Nord Est avant d'être dirigées vers le Sud et le Sud Ouest par les failles **F1**, **F2** et **F3**.

3 – 1 – 4. Aïn Tessala (fig. 102)

Située à 33 km au Nord Est de Aïn Séfra, la source d'Aïn Tessala émerge avec un débit d'environ 5 l/s au pied de Delaâ Tessala, corniche de grès Albien. Elle est composée de plusieurs sources groupées dans une série d'alternance de sables jaunâtres et de marnes rougeâtres probablement d'âge Albien. Les émergences sont séparées par la corniche Albienne de Delaâ Tessala par un vaste affleurement de roches volcaniques dans un état d'altération avancé.

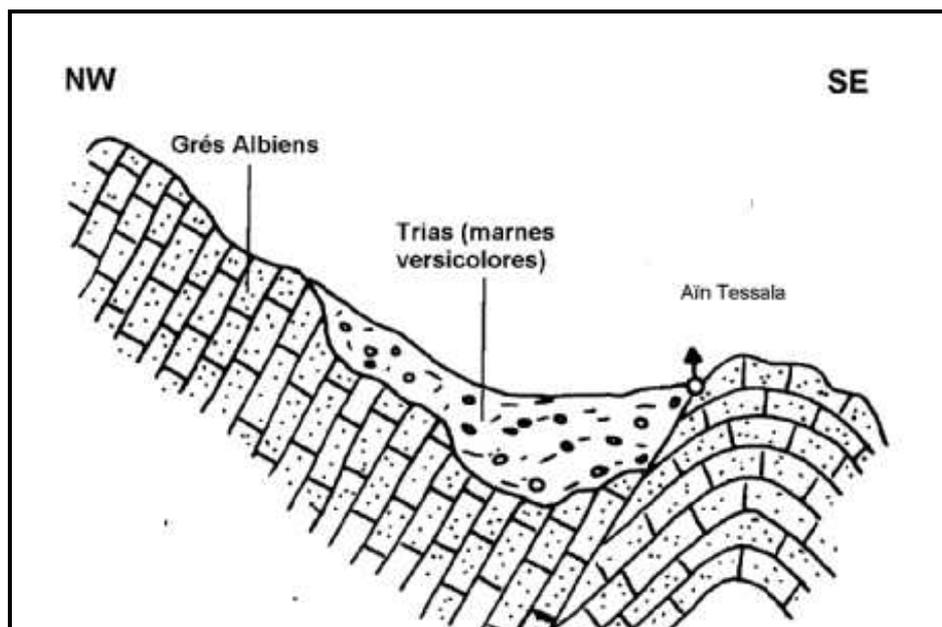


Fig. 102 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Aïn Tessala

Le contexte géologique montre que la source est située dans le prolongement vers l'Ouest de l'anticlinal du Djebel Afzouz - Delaâ Tessala. Les collines à l'Est de Aïn Tiourtelt et Delaâ milouda constituent une enveloppe Albienne tout autour de ce prolongement. L'allure assez régulière des couches Aptiennes se trouve dérangée par la présence de pointements multiples de roches volcaniques.

Les marnes versicolores aux abords de la source rappellent beaucoup les marnes d'Aïn Ouarka.

Le caractère thermal (25°C) dénote une émergence due à une faille par lequel le Trias aurait été injecté entre les couches Aptiennes.

3 – 2. Les émergences liées à la fracturation.

Dans cette famille de sources, on distinguera une première catégorie d'émergences de très faible importance que nous citerons au passage :

- Petites sources localisées dans les terrains Liasiques.
- Multitude de petites sources émergeant de lentilles Aptiennes.

- Très rares sources issues de la base du Pliocène, atteintes par des puits de type Oglat.

La deuxième catégorie concernera les émergences issues des formations gréseuses de l'Albo-Aptien (aquifère le plus important) et à un degré moindre celles des grès du Jurassique supérieur.

3 – 2 – 1. Sources des grés Albiens

- Sources de Tiout (fig. 103)

Les sources de Tiout affleurent dans le lit de l'oued Tiourtelt, à environ 1.5 km du village de Tiout. Leur débit dépasse 15 l/s. L'eau émerge par plusieurs griffons répartis en 02 niveaux et séparés par une dalle de grés compacte de 12 mètres d'épaisseur. Les deux groupes d'émergence sont distants de 300 mètres. Les grés Albiens à cet endroit ont un pendage de 10° vers le Nord Ouest et forment un des exutoires du synclinal d'Aïn Séfra.

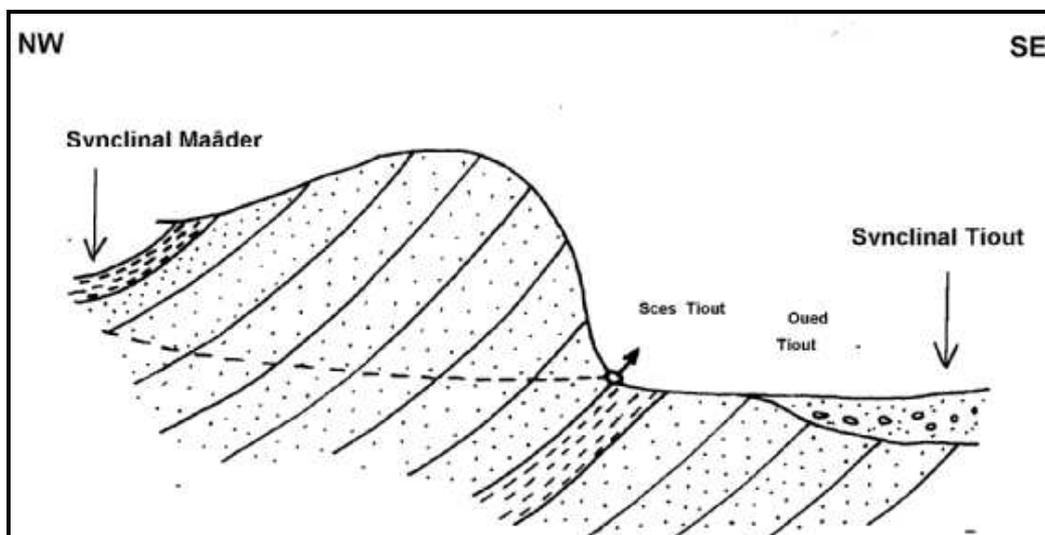


Fig. 103 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence des sources de Tiout

Argiles rouges du Barrémé-Albo-Aptien
 Grés du Barrémé-Albo-Aptien
 Alluvions de l'Oued

Les sources de l'oued Breidj et Tiout coulent parallèlement aux couches des grés Albiens. Ils frôlent ainsi le niveau aquifère sur une certaine longueur, créant une multitude suintements.

A l'Ouest et à l'Est de Tiout, le synclinal Albien présente des rétrécissements accompagnés par une surélévation de son fond. Ainsi à l'Ouest de Tiout, au niveau de Garet El Mehisserat et à l'Est, au niveau de Haoud El Botma, on assiste à un rapprochement des 02 rides anticlinales du Djebel Afzouz et celui de Mehirize.

- Aïn Skhouna (fig. 104)

Située à 7.5 km au WSW de Aïn Séfra, la source Aïn Skhouna affleure dans le lit de l'oued Briedj et donnait à l'époque un débit de 12 l/s. Aujourd'hui, après la mise en marche du forage Skhouna, la source est tarie. Aïn Skhouna constituait l'exutoire de la gouttière synclinale Aïn Séfra – El Hendjir où l'oued Breidj, prolongé par celui de Benikrou occupe le centre de cette gouttière.

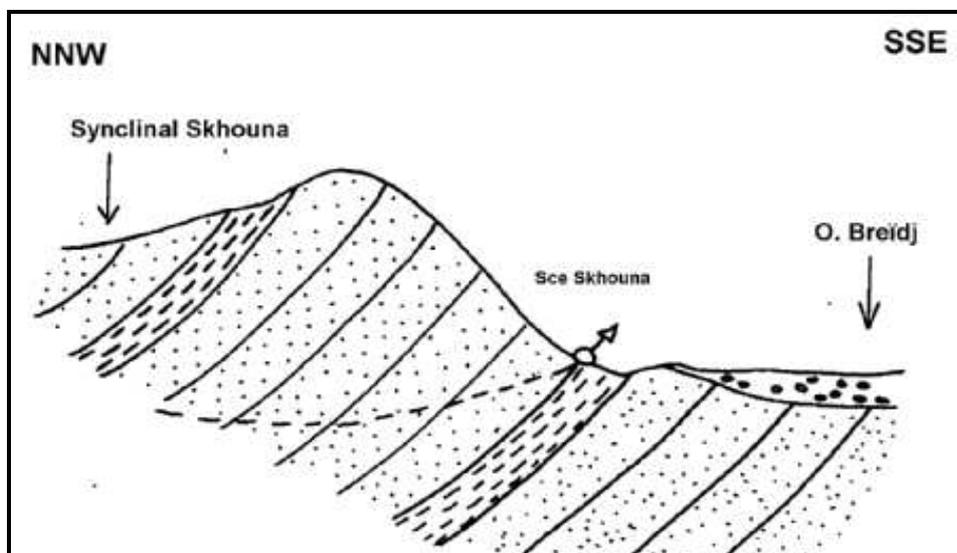


Fig. 104 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence d'Aïn Skhouna

Argiles rouges du Barrémé-Albo-Aptien
 Grés du Barrémé-Albo-Aptien
 Alluvions de l'Oued

D'après sa position dans la série des grés Albiens, cette source semble bien appartenir au deuxième niveau de cet étage, c'est à dire au même niveau que les sources de Tiout.

Son bassin d'alimentation a une forme assez régulière, en cuvette aplatie dont le grand axe a sensiblement une direction Sud Ouest Nord Est.

Sur son bord Sud Est, les couches rouges très fissurées ont un pendage de 30° à 40° vers le Nord Ouest.

- Aïn Tiourtelt (fig. 105)

Située à 11 km de la localité de Tiout, la source affleure dans le lit de l'oued Tiourtelt avec un débit de 10 l/s, alimenté par les grés fissurés de l'Albien.

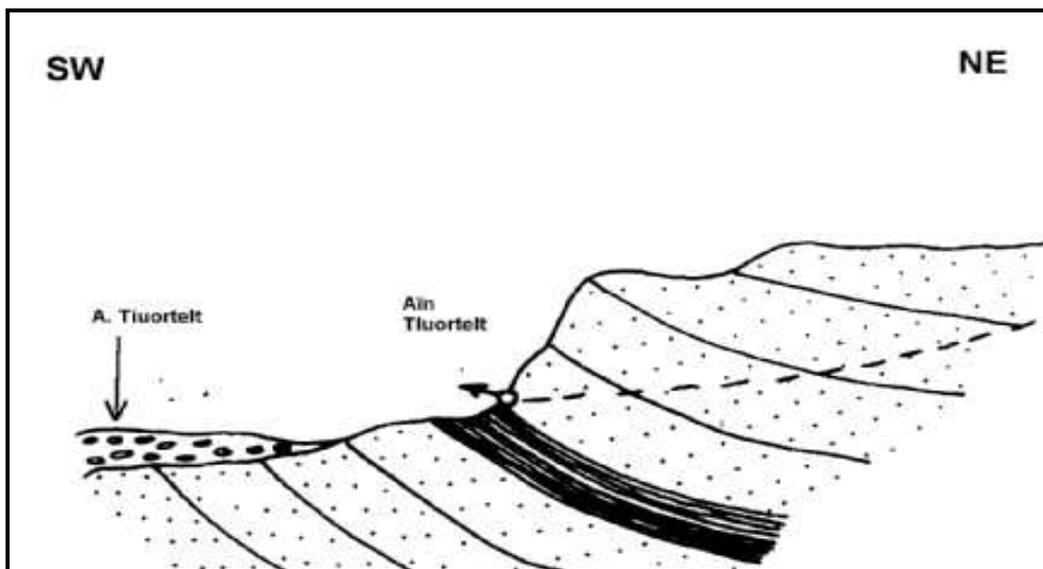


Fig.105 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence d'Aïn Tiourtelt

Argiles rouges du Barrémé-Albo-Aptien
 Grés du Barrémé-Albo-Aptien
 Alluvions de l'Oued

Par sa position stratigraphique, la source occupe un niveau plus élevé que les sources de Tiout. Ce niveau qui n'est pas représenté dans le synclinal de Aïn Séfra mais dans son prolongement vers le Nord Est est contenu dans les grés grossiers très fissurés marquant le sommet de l'étage. Tout autour de la

source, les dépôts quaternaires masquent complètement les affleurements gréseux.

3 – 2 – 2. Sources des grés Aptiens (fig. 106)

L'Aptien par sa composition lithologique et sa faible puissance, diffère sensiblement de l'Albien. Il est en effet représenté par les alternances de bancs de grés peu épais, souvent en plaquettes et de marnes multicolores. Les couches Aptiennes forment la couverture extérieure des anticlinaux du *Continental Intercalaire* qui affleurent de part et d'autre des synclinaux à fond Albiens. Elles ont presque partout un fort pendage, 50° à 70° donnant l'allure d'écaillés qui ressortent sur une dénivelée de plusieurs mètres par rapport à la pente de la surface topographique. Les sources de l'Aptien se caractérisent donc par un mode de gisement spécifique et qui donnent généralement de faibles débits. Elles émergent à partir de 02 niveaux aquifères très rapprochés l'un de l'autre où l'on distinguera respectivement un niveau supérieur et un niveau inférieur.

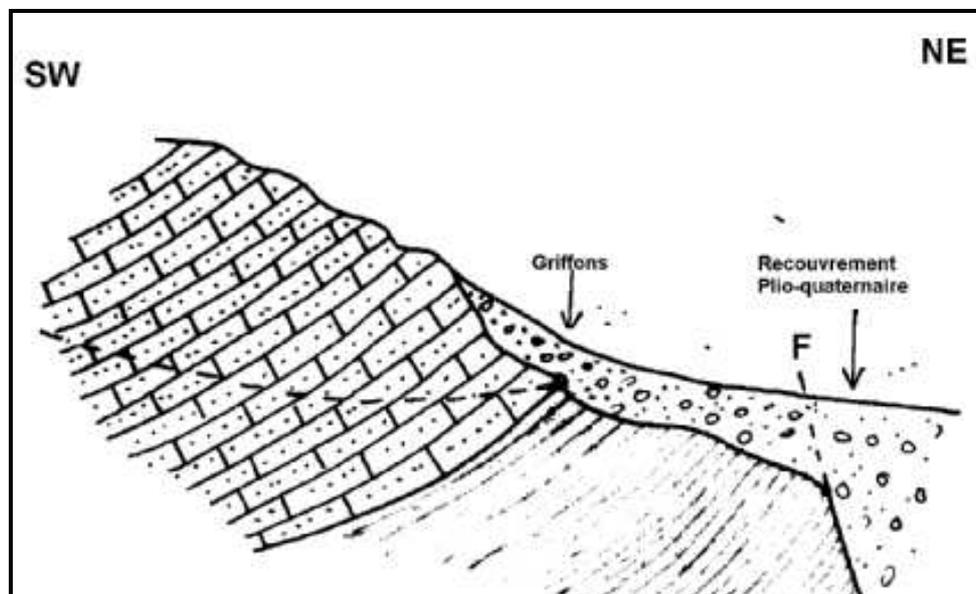


Fig. 106 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence des sources Aptiennes (Mode de gisement des sources de la dune, Aïn Boudema, Aïn Tiloula)

Sources Aptésiennes masquées par les attérissements Plio-Quaternaires

Argiles rouges du Barrémé-Albo-Aptien
 Grés du Barrémé-Albo-Aptien
 Alluvions de l'Oued

- Source de la dune

Cette source se trouve à 1 km au Sud de Aïn Séfra sur le versant Nord du Djebel Mekhter. Elle appartient au niveau supérieur de l'Aptien, recouverte par les sables de la grande dune d'Aïn Séfra. Son débit est de 2 l/s.

- Aïn Boudema

L'horizon aquifère de la source se place à la base des grès du niveau inférieur à pendage 35° sur une couche d'argiles rouges épaisses de 04 mètres. Malgré la faiblesse de son débit (0.5 l/s), la source fonctionne à régime constant toute l'année.

- Aïn Tiloula

Il existe 04 sources réparties dans 02 niveaux aquifères. La source la plus importante, débitant 2 l/s émerge du niveau inférieur, correspondant à l'horizon Aptien de Aïn Boudouma. Elle émerge au contact d'un grès fissuré épais de 5 mètres et d'une couche de marnes jaunes rougeâtres. Les couches ont un pendage de 60° vers le Sud, formant le flanc méridional du Djebel Aïssa. Les 03 autres sources appartiennent au niveau supérieur de l'Aptien à substratum d'argiles rouges épaisses de 03 à 04 mètres.

- Sources Aptiennes du Djebel Aïssa

C'est un ensemble de sources qui émergent sur le versant Sud du Djebel Aïssa. Les couches Aptiennes plongent vers le Sud avec un pendage de 45°. Ces sources à faible débit (0.3 à 0.5 l/s) appartiennent au niveau inférieur de l'Aptien.

- Sources – puits

Ce type de sources, recouverts tantôt par les alluvions de l'oued tantôt par les sables Pliocènes permettent de suralimenter de petits aquifères superficiels. Elles sont généralement captées au moyen de 'puits sources' de faible profondeur. Dans cette catégorie, on distinguera :

* Source n°1 : 3° 29' 40 " W 34° 40' 80" N

Affleure dans les sables alluvionnaires sur la rive droite de l'oued Tirkount. Les couches Aptiennes n'affleurent pas. On les retrouve dans le lit de l'oued à une dizaine de mètres en amont. Le débit est de 0.7 l/s.

* Source n°2 : 3° 28' 07" W 34° 41' 20" N

La source émerge dans les sables Pliocènes, recouvrant la barre Aptienne. Le débit à l'affleurement étant très faible. Par contre, à quelques mètres de profondeur, le débit est plus important car une partie de l'eau de cette source se perd par écoulement hypodermique pour suralimenter les sables Pliocènes.

3 – 2 – 3. Groupe de sources à la base du Crétacé inférieur

Les sources affleurent généralement au niveau des piémonts, au passage entre les grès du *Continental Intercalaire* et ceux du Jurassique supérieur.

Les sources du Djebel Aïssa font partie de ce mode de gisement (fig. 107). La route Hassi midane – Aïn Aïssa – Mekalis recoupe perpendiculairement l'anticlinal du Djebel Aïssa, entaillé par l'érosion jusqu'aux formations Jurassiques. On traverse successivement l'Aptien, le Néocomien et l'on arrive à Aïn Aïssa aux couches du sommet du Jurassique.

Le Néocomien est représenté par des grès siliceux compacts et fissurés. Les marnes sont rares et peu étendues. Par contre, au contact avec le Jurassique, les intercalations marneuses deviennent nombreuses.

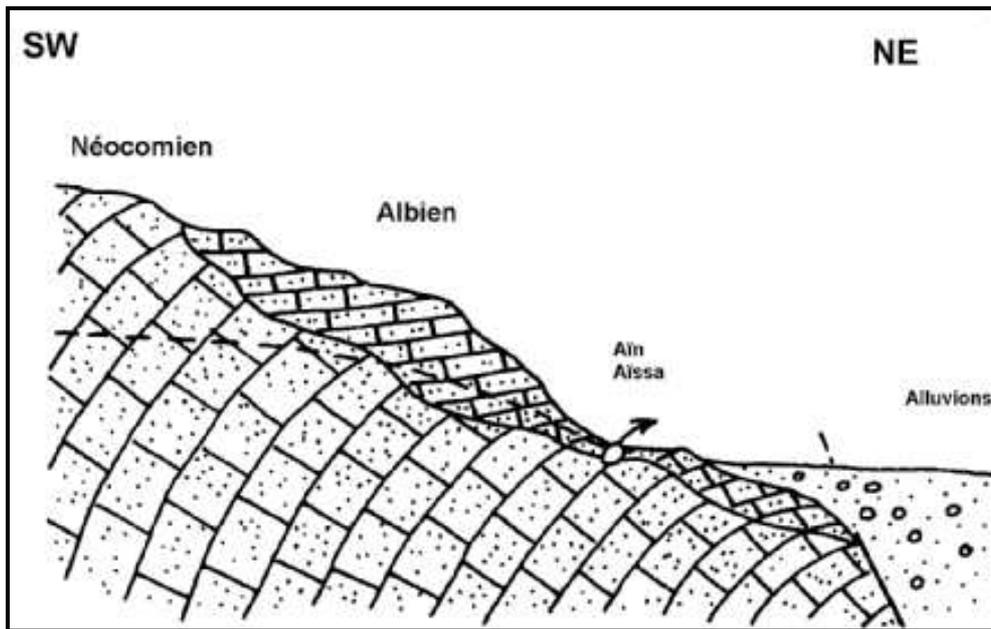


Fig. 107 – Coupe schématique montrant les conditions d'émergence des sources de Dj. Aïssa



Les sources de Djebel Aïssa sont localisées entre les niveaux argileux du *Continental Intercalaire* et les grés siliceux du Jurassique supérieur. On distinguera :

- Au niveau du Néocomien
 - Niveau supérieur : Aïounes Rachgoun et Hassi El Haïssa
 - Niveau inférieur : Aïounes Hassi Ben Debbane

- Passage du Néocomien au Jurassique
 - Aïounes Boudjenib
 - Aïn Aïssa (2 l/s).

III - SYNCLINAUX DES MONTS DES Ksour

Pour la commodité de l'étude, nous subdiviserons les synclinaux des Monts des Ksour en 03 grands faisceaux en raison de leur affinité géologique et morpho-structurale. Ainsi nous distinguerons une partie occidentale illustrée par les cuvettes synclinales comprises entre Béni Ounif et Moghrar, une partie centrale regroupant les gouttières synclinales de Aïn Séfra, le synclinal de Naâma et celui de Asla et enfin une partie orientale dans laquelle nous retrouverons le synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh et celui d'El Kheloua-Arbaouet-Brézina.

1 – Synclinaux de la partie occidentale des Monts des Ksour

1 – 1. Unités hydrogéologiques de Djenien Bourezk – Moghrar

On distinguera 04 unités hydrogéologiques, liées directement avec les relais de l'accident Sud Atlasique :

1 – 1 – 1. Zone de l'accident Sud Atlasique

Les eaux infiltrées dans les formations Jurassiques sont drainées soit vers le Nord de l'accident en suivant le pendage des couches, soit vers les cluses. Alors que celles infiltrées au Sud de l'accident, dans la Hamada Cénomano-Turonienne, s'écoulent vers le Sud et le Sud Est en direction de Hassi Tamednaïa et les points bas de l'oued Namous (fig. 108 a).

Les seules grosses ressources se situent aux 02 extrémités de la zone ; à l'extrémité Ouest, ce sont celles du *Continental Intercalaire* qui affleure largement à l'Ouest de Béni Ounif ; à l'extrémité Est, on trouvera la nappe d'inféro flux de l'oued Dermel (oued Zoubia) qui trouve son origine et son alimentation dans la zone de la série renversée. Entre ces deux ressources,

d'autres possibilités sont offertes par l'inféro flux de la Zousfana dont un exutoire naturel est représenté par la source dite Aïn Séfra (fig. 108 a).

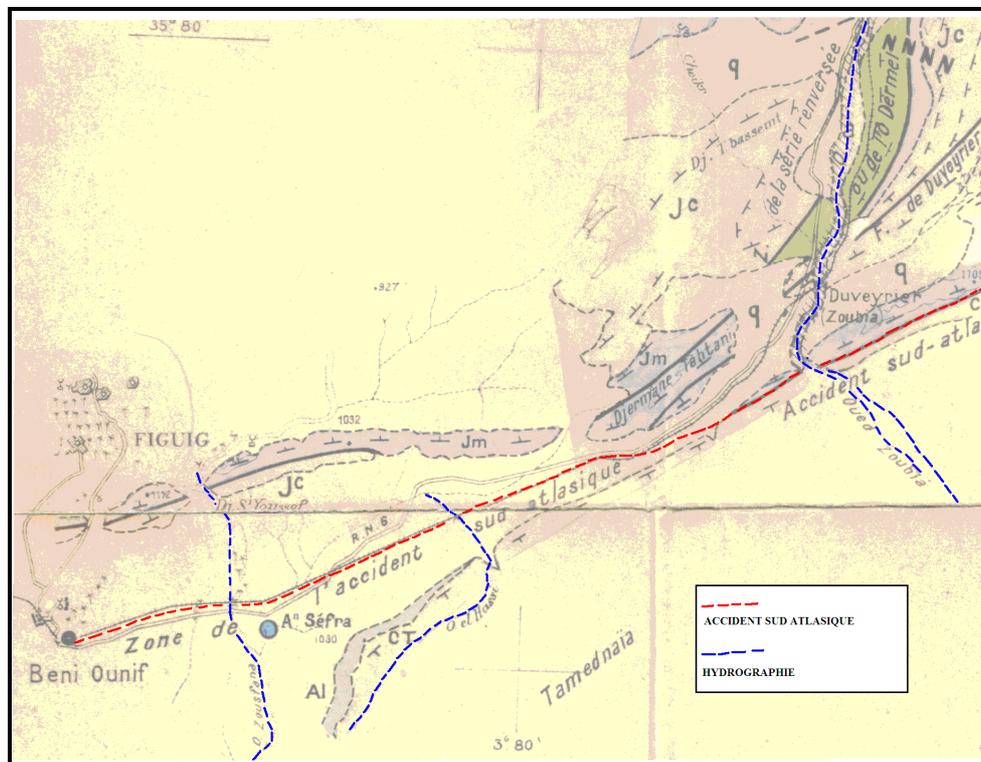


Fig. 108 a – Zone de l'accident Sud Atlasique (Béni Ounif - Oued Zoubia)

(Extrait de la planche 06)

1 – 1 – 2. Zone de la série renversée de l'oued Dermel (fig. 108 b)

C'est la présence de l'oued Dermel qui constitue l'unité hydrogéologique de cette zone. La vallée renferme les points bas de toutes les formations Jurassiques et Crétacés où viennent s'infiltrer et s'écouler les eaux, généralement en résurgences masquées par les alluvions (voie hypodermique).

Ce phénomène explique la présence, assez rare dans un oued du revers Sud de l'Atlas Saharien, d'un inféro flux constant, relativement abondant et surtout ne dépendant pas d'épisodes pluvieux extrêmes (réalimentation à partir des la flexure Atlasique).

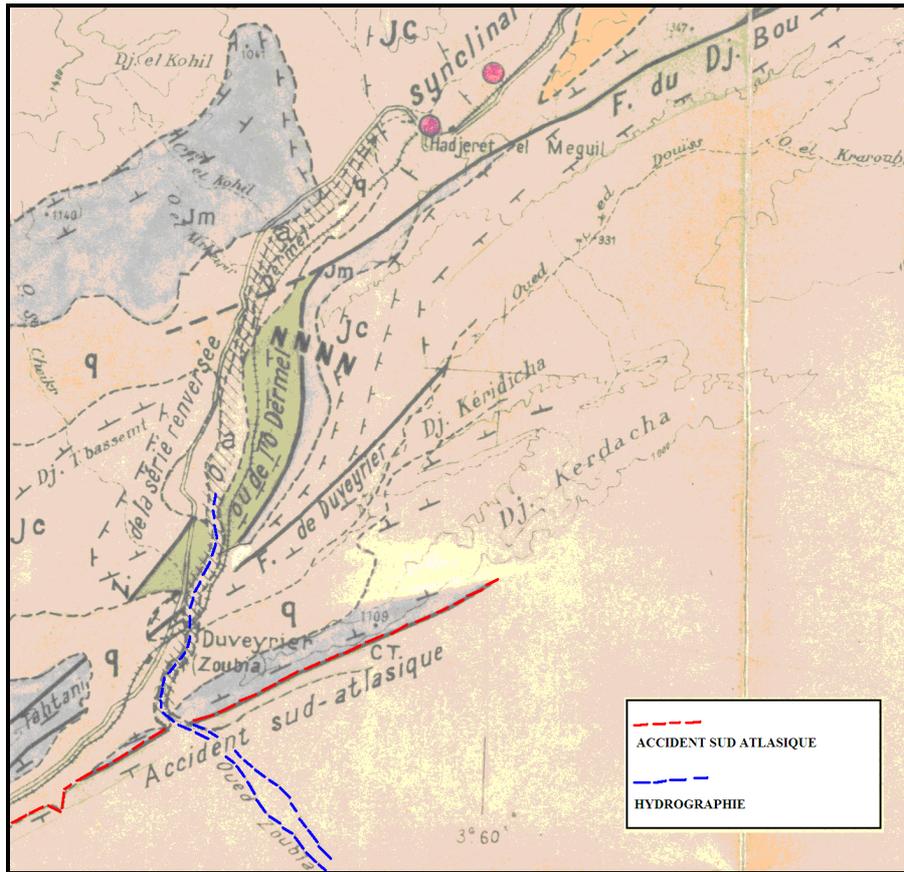


Fig. 108 b – Zone de l'accident Sud Atlasique (série renversée de l'oued Dermel)

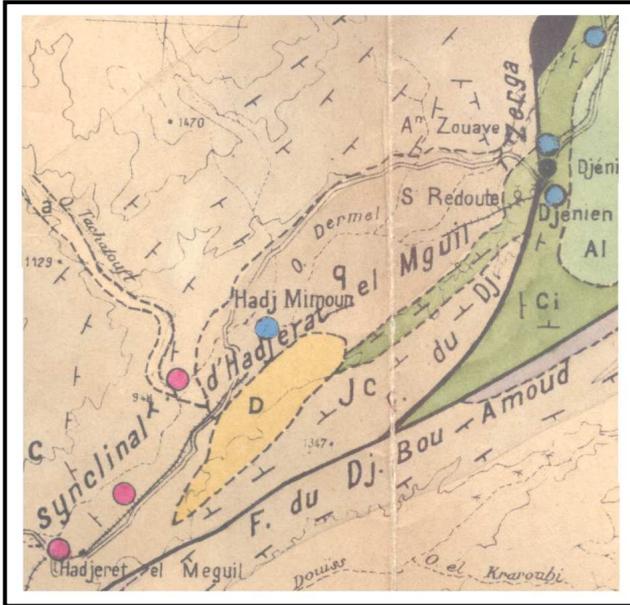
(Extrait de la planche 06)

L'étranglement du Djebel Kerdacha crée un étalement de la nappe (fig. 108 b) en même temps qu'une réserve, servant à exploiter cette nappe par de nombreux puits, notamment ceux en rive droite, captés entre 03 mètres et 05 mètres. On retrouve cet inféro flux, avec le même contexte hydrogéologique, en amont d'Oued Zoubia jusqu'aux environs du radier de Hadjeret M'Guil. Le long de tout ce trajet, les fonçages de points d'eau ont été toujours positifs.

1 – 1 – 3. Synclinal de Hadjeret El M'guil (fig. 108 c)

Les points bas de ce synclinal dont la plus grande partie de l'impluvium est constituée par la puissante série gréseuse du Jurassique supérieur, se situent dans les gorges de l'oued Dermel en amont du radier de la RN n°6. Ainsi, sur plus de deux kilomètres émergent une série de

résurgences dont le débit global est assez important pour donner localement à l'oued un cours superficiel pérenne.



**Fig. 108 c – Zone de l'accident Sud
Atlasique (faille du Dj. Bou-Amoud)
longeant le synclinal
de Hadjeret El Mguil
(Extrait de la planche 06)**

A la confluence des oueds Dermel et Tachatouft, les affleurements gréseux du Jurassique supérieur disparaissent.

Vers trois kilomètres en amont de cette confluence, des puits exploitent les niveaux gréseux du *Continental Intercalaire* drainé par une couverture sableuse sur une profondeur de 02 à 03 mètres.

Le forage de Hadjeret El Mguil, exploitant les grés du Jurassique supérieur a donné un débit de 20 l/s. L'essai de pompage d'une durée de 72 heures, accompagné d'un palier de stabilisation laisse apparaître de bonnes possibilités aquifères (fig. 108 d).

x = 160.30 y = 190.70 z = 960m

Prof (m)	Coupe forage	Description géologique	Hydo dynamique	
0		Sables fins et passées d'argiles	C R E P I N E	
8		Grés blanchâtres		
30		Grés blanchâtres		25.2
40		Argiles rouges		NS
40		Argiles rouges		44.6
60		Grés blanchâtres		ND
60		Grés blanchâtres		
80		Grés fins		
80		Grés fins		
120		Grés blanchâtres avec des passées de huille		
120		Grés blanchâtres avec des passées de huille		
140		Grés argileux		
140		Grés argileux		
150		Argiles rouges		

Pompage d'essai longue durée

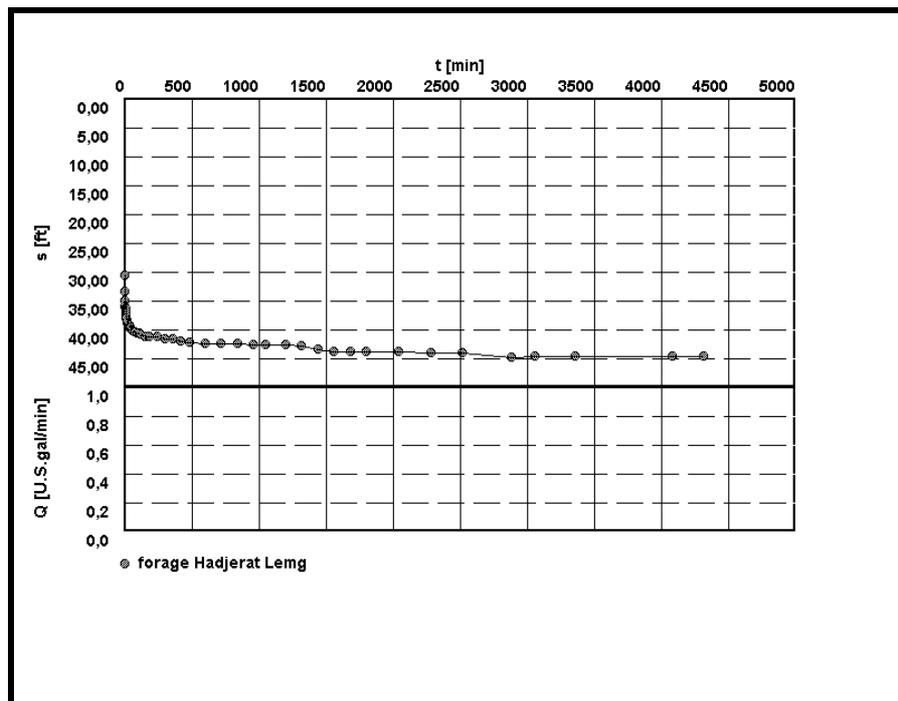


Fig. 108 d – Lithologie et courbe de descente du forage de Hadjeret El Mghuil

1 – 1 – 4. Synclinal de Djenien El Oglat (fig. 108 e)

Les points bas de ce synclinal se situent théoriquement à l'entrée des gorges de Moghrar, cependant les failles introduisent un facteur de perturbation en ce sens qu'elles drainent vers leurs propres points bas les eaux collectées à partir de parties hautes du synclinal. Tel est en particulier le cas de la faille du Djebel Zerga (fig. 108 a et 108. b) dont le point bas se situe au passage de l'oued Dermel à Djenien Bourezk. A ce niveau, ce drainage se manifeste naturellement par la naissance de deux sources (Aïn Zouave et source de la redoute).

A quatre kilomètres au Nord Est, non loin du passage de la faille, une petite source Aïn Zriga, sourd d'un banc de grés du sommet du *Continental Intercalaire* (fig. 108 e).

Entre Djenien El Oglat et Moghrar Foukani, les seuls points d'eau sont ceux de Oglat Foukani, de la station des Oglats et des Oglats Tahtani. Les puits des Oglats Foukani et la station des Oglats exploitent une nappe d'inféro flux de l'oued Moghrar.

Au pied d'un banc de grés formant chute et barrage, il est vraisemblable que ce banc donne naissance à quelques résurgences masquées par les alluvions où elles alimentent une nappe exploitée par un certain nombre de puits.

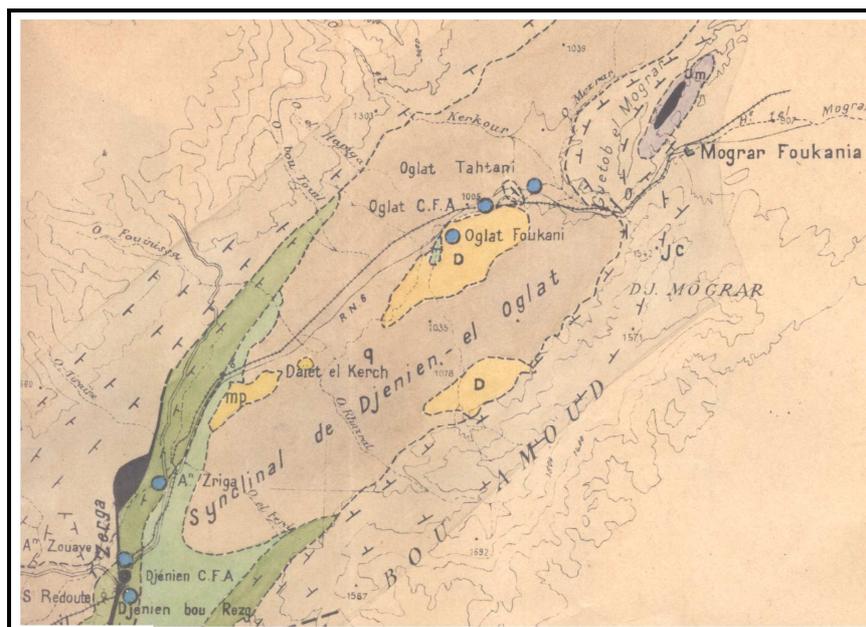


Fig. 108 e – Synclinal de Djenien El Oglat (Extrait de la planche 06)

1 – 2. Unité hydrogéologique de Moghrar

La carte piézométrique établie au niveau de Moghrar (fig. 109) fait ressortir une cuvette piézométrique, parfaitement dessinée, alimentée par l'inféro flux de l'oued Rhouiba descendant du Nord et par celui de l'oued Moghrar, drainant de l'Est les eaux du synclinal de Djenien El Oglat.

Au niveau de Djenien Bourezk, au droit de la faille du Djebel Ez Zerga, une ligne de partage des eaux souterraines permet de séparer le synclinal en lui conférant un écoulement vers le Sud Ouest, parallèle à la zone de l'accident Sud Atlasique et un autre vers le Nord Est, drainé par l'inféro flux de Moghar Foukani.

La confluence entre l'oued Rhouiba et l'oued Moghrar donne naissance à l'oued Namous qui va à son tour drainer la cuvette piézométrique de Moghrar. On est donc en présence d'un bassin hydrogéologique dont les limites englobent le synclinal des Oglat, l'inféro flux de l'oued Rhouiba et la cuvette piézométrique de Moghrar.

Plus au Sud, sur le tracé de l'oued Namous, au droit de son intersection avec l'oued Far El Beguer (Chebket El Beïda), une perte, générée par une faille (satellite de la flexure Sud Atlasique), permet d'alimenter la plate forme Saharienne, déchargeant ainsi une bonne partie des eaux souterraines du bassin hydrogéologique de Moghrar.

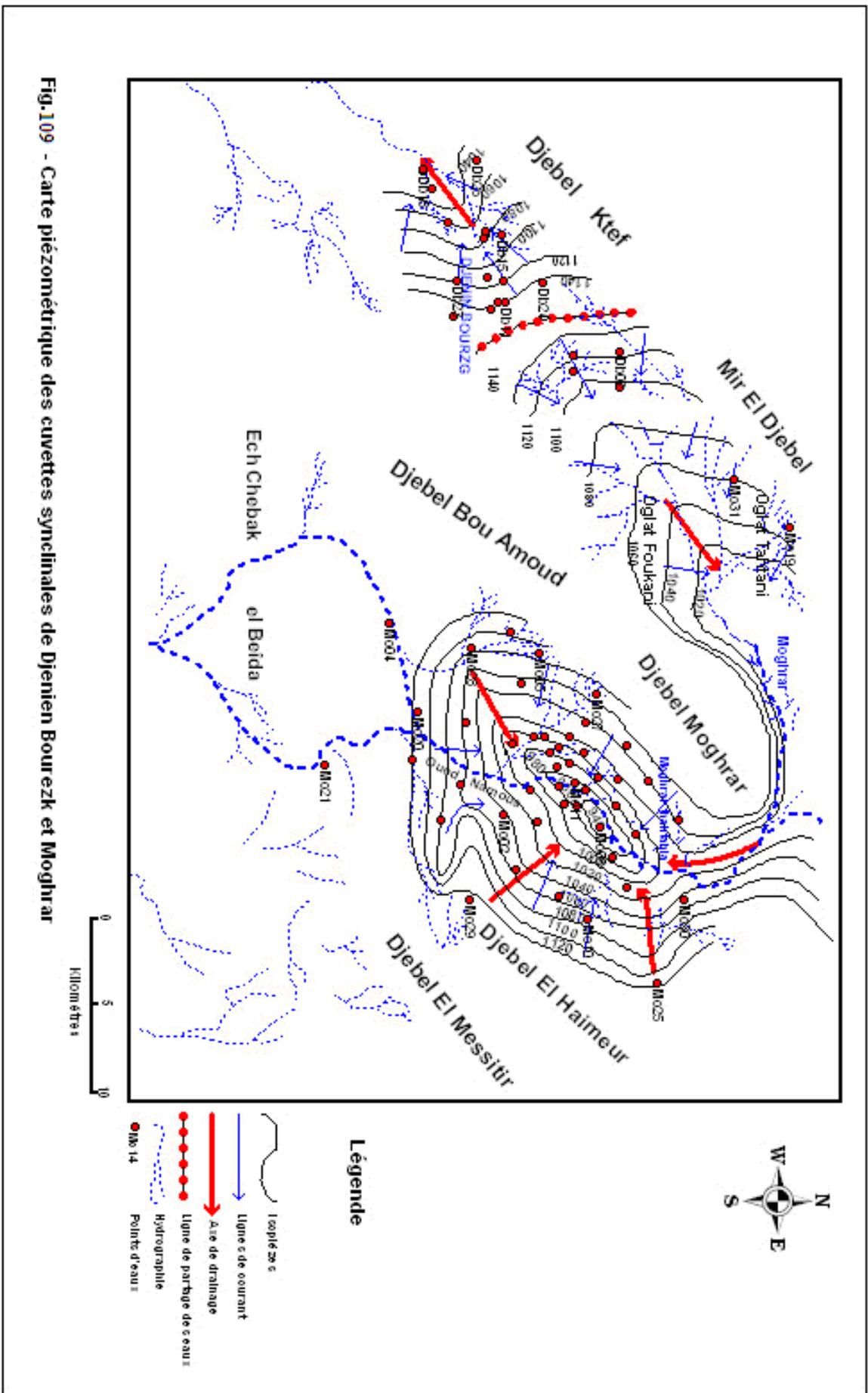


Fig.109 - Carte piézométrique des cuvettes synclinales de Dienien Bourzok et Moghrar

1 – 3. Synclinal de Béni Ounif

1 – 3 – 1. Les unités aquifères du synclinal de Béni Ounif

On distinguera du Nord au Sud 04 unités aquifères formées par les dépôts calcaire dolomitiques du Jurassique moyen, les grès du *Continental Intercalaire*, les calcaires du Turonien et les formations Plio Quaternaires.

- Unité calcaire dolomitiques du Jurassique moyen

Ces unités affleurent le long de l'accident Sud Atlasique et constituent un aquifère un peu particulier de par sa structure morphotectonique (photo 10). Cette particularité lui confère une zone d'alimentation privilégiée pour les grès du *Continental Intercalaire*, par l'intermédiaire d'un réseau de fractures jouant le rôle de drains. L'émergence d'un certain nombre de sources le long de ces accidents en relais témoigne de la liaison hydrodynamique entre les formations du Jurassique moyen et celles du Crétacé inférieur (*Continental Intercalaire*).



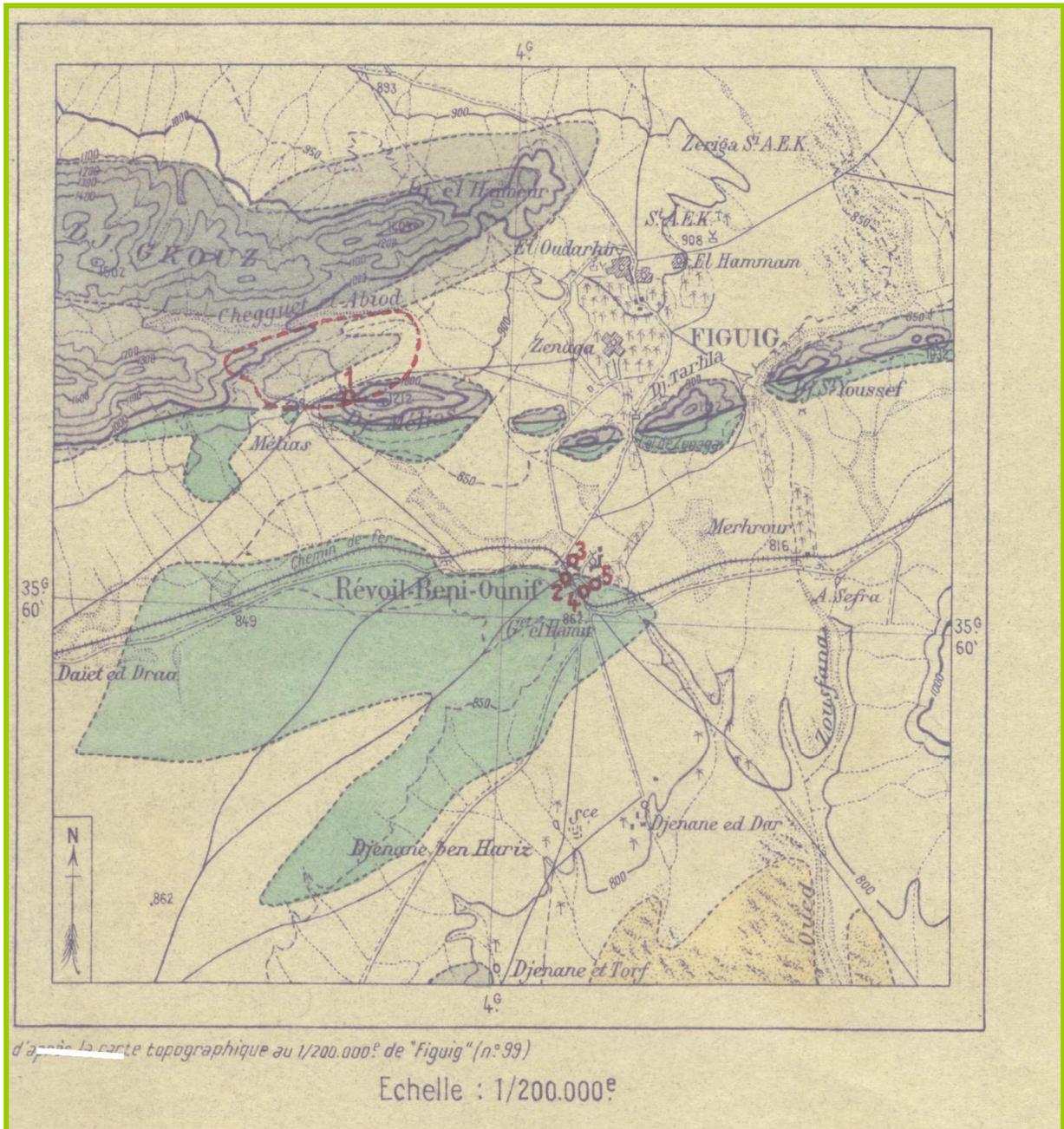
Photo 10 : Formation Calcaire-Dolomitique très fissurée du Jurassique moyen

- Unité gréseuse du *Continental Intercalaire*

La nappe est représentée par des eaux peu profondes, circulant dans des terrains hétérogènes grés-argileux, plissés et affectés par une fissuration relativement dense (photo 11). La majorité des puits et forages n'atteignent pas le mur de l'aquifère, estimé à 200 mètres de profondeur. Les niveaux statiques sont en général compris entre 20 mètres et 35 mètres, sauf dans la région de Djenander où les grés affleurent à partir de 02 mètres à 05 mètres et à Djenina Ben Hariz (2.5 km à l'Ouest de Béni Ounif) où une source émerge, constituant un petit exutoire de la nappe. La carte géologique, établie par Cornet (1947) au 1/200.000° (fig. 110) montre la distribution des affleurements Jurassiques et Crétacés.



Photo 11 : Grés du Crétacé inférieur fissurés à Gare El Hamir (Sud de Béni Ounif)



0 2 4 6
Kilomètres

Fig. 110 – Carte géologique sommaire des formations Jurassico-Crétacées (Cornet, 1947)

Dunes
 Alluvions
 Grés du Crétacé inférieur
 Calcaire et marnes du Jurassique moyen

○ 5 Points d'eau

--- Impluvium de Ain Mélias

- Unité des calcaires Turoniens

Reposant sur un substratum de marnes à gypses Cénomaniennes imperméables, cette nappe est alimentée par les infiltrations d'une partie des eaux atmosphériques tombées sur les calcaires et dolomies fissurés de Chebket Tamednaïa (fig. 111 a et b).

Cette nappe passerait à la nappe contenue dans les formations sableuses rouges de la Hamada et s'approfondirait rapidement d'Ouest en Est, depuis la côte 827 mètres à Hassi Tamednaïa jusqu'à la côte 757 mètres à Hassi Guetrane dans la vallée de l'oued Namous.

- Unité des alluvions de la Zousfana

Les alluvions Quaternaires de la vallée de la Zousfana contiennent une nappe importante d'inféro flux, alimentée principalement par les crues d'automne et de printemps. Les puits à ce niveau captent les nappes entre 07 mètres et 20 mètres sous la surface du sol. La source dite Aïn Séfra, située à deux kilomètres au Sud de la RN n° 06 constitue un exutoire des alluvions de la Zousfana (fig. 111 a et b).

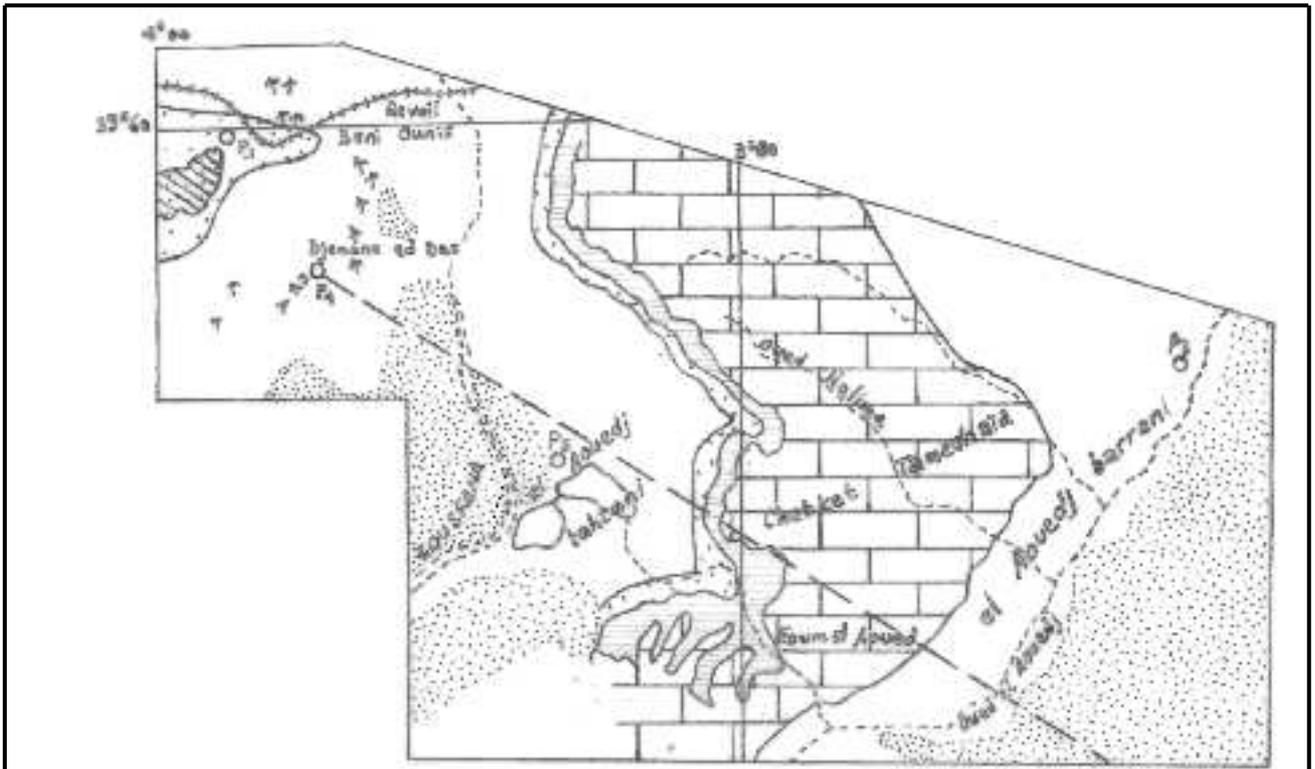


Fig. 111 a – Esquisse géologique de la région de Beni Ounif - El Aouedj

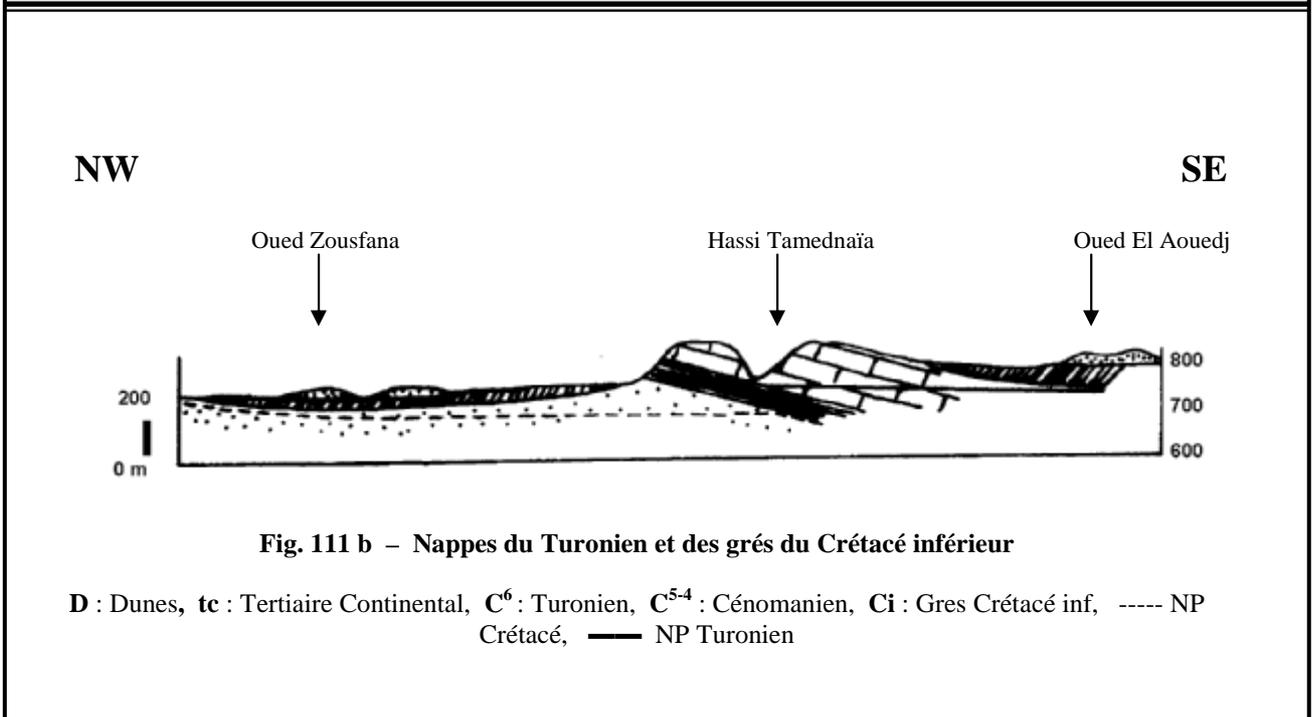
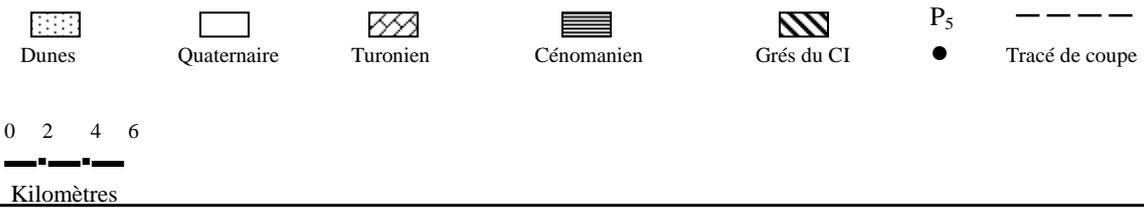


Fig. 111 b – Nappes du Turonien et des grés du Crétacé inférieur

D : Dunes, **tc** : Tertiaire Continental, **C⁶** : Turonien, **C⁵⁻⁴** : Cénomanién, **Ci** : Gres Crétacé inf, ---- NP Crétacé, — NP Turonien

1 – 3 – 2. Géométrie des aquifères

- Prospection géophysique

Au Sud de Béni Ounif a été réalisé quelques profils de sondages électriques, destinés à reconnaître les formations aquifères du synclinal. L'exécution de 35 sondages électriques en AB 140, 400 et 1000 mètres, répartis sur 05 profils A, B, C, D, E, distants de 300 mètres à 400 mètres.

* Les résistivités apparentes (Fig. 112)

- AB = 140 mètres : apparition des résistivités apparentes très élevées au Sud Ouest des profils A, B, C, D, E et au Nord du profil A.
- AB = 400 mètres : l'extension de ces zones diminue ; les grès très résistants ne seraient donc épais qu'en A7, B5 et au Sud de la zone étudiée (plages hachurées). Des plaques conductrices apparaissent au Nord Est (A1, B2, D2, E1, E2) et aux sondages A5 et B6 séparées des zones résistantes par un fort gradient de résistivités qui peut indiquer la présence de faille.
- AB = 1000 mètres : Les résistivités sont moins contrastées mais elles varient assez brutalement au niveau des axes NNW-SSE (F₁, F₂ et F₃) qui pourraient correspondre à des failles.

* Interprétation des coupes géoélectriques (fig. 113) : 04 types d'horizons :

- Un horizon très conducteur (résistivité < 60 ohm m) qui pourrait correspondre à des couches d'argiles rouges.
- Un horizon conducteur (résistivité < 100 ohm m) correspondant à des argiles gréseuses.
- Un horizon résistant (150 ohm m < résistivité < 300 à 500 ohm m) correspondant à des grès à passées d'argiles ou grès aquifère.
- Un horizon très résistant (résistivité < 1000 ohm m) relatif aux couches gréseuses compactes et dures.

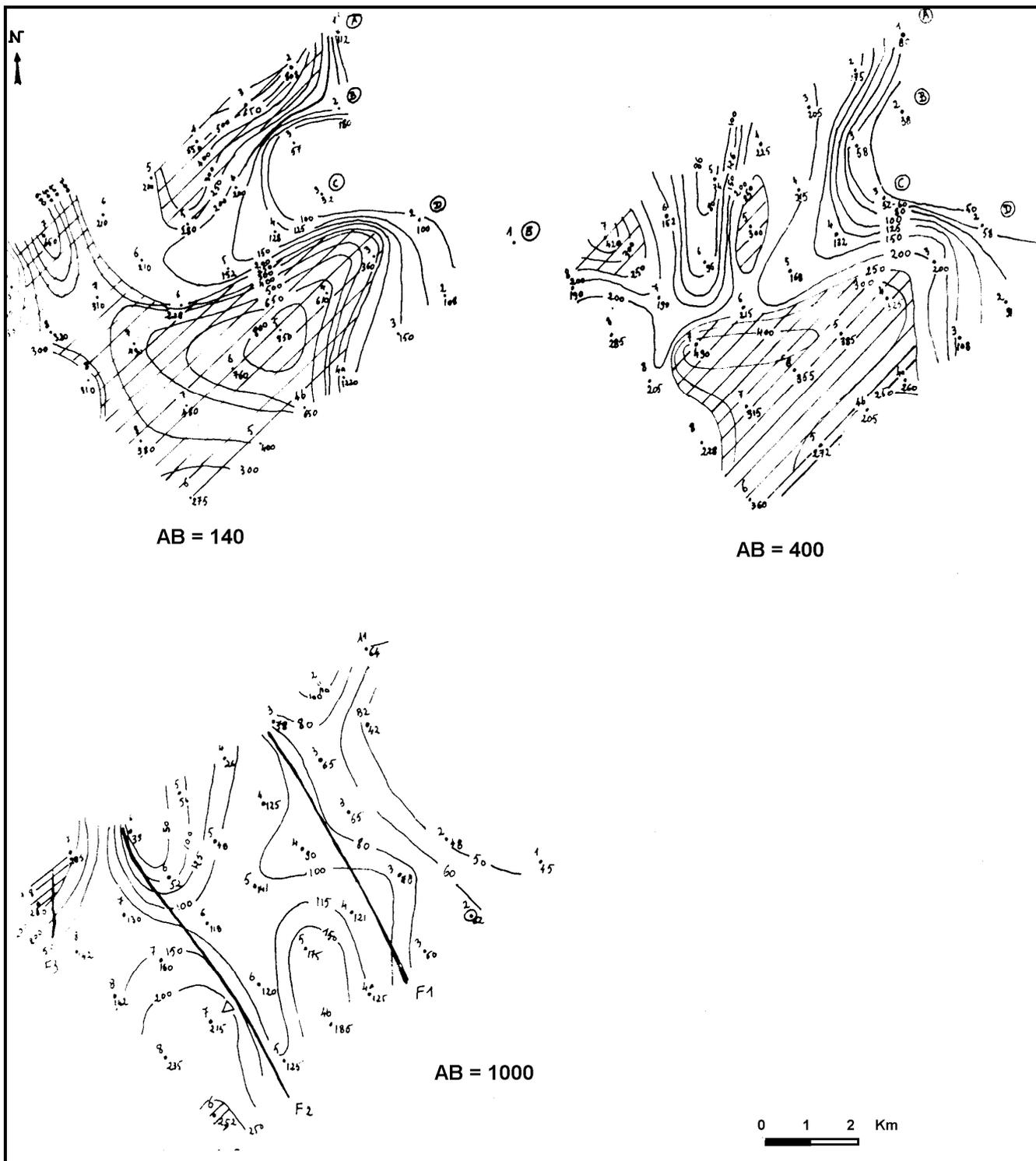


Fig. 112 – Cartes des résistivités apparentes du synclinal de Béni Ounif (C.G.G, 1976)

- 46 ● Sondage électrique et son numéro
- 64 ● Valeur de la résistivité (Ohm.m)
- Zone résistante

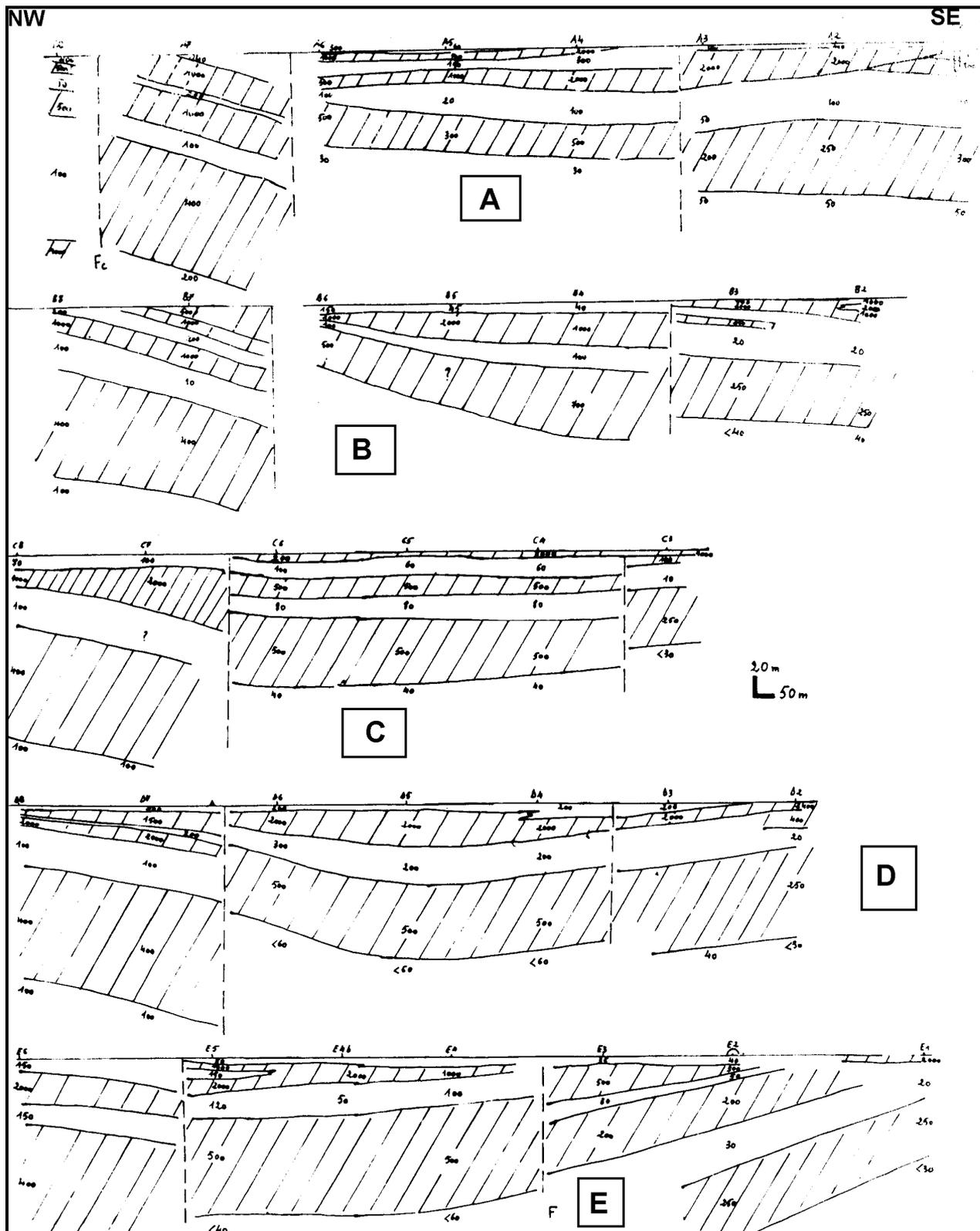


Fig. 113 – Schémas interprétatifs des coupes géoélectriques du synclinal de Béni Ounif

B_7 : Sondage électrique et son numéro Horizons résistants (ohm.m) Horizons conducteurs (ohm.m)
 Failles

Chaque profil traduit une structure approximativement lenticulaire des couches argilo-gréseuses qui montrent un faciès très résistant soit en affleurement soit à faible profondeur, s'étalant sur presque tout le synclinal.

Les terrains conducteurs prennent de l'importance à une vingtaine de mètres de profondeur où l'on peut remarquer la disposition en lentilles très aplaties d'un horizon conducteur (profils A, B, C, D et E) intercalé entre les terrains résistants épais, reposant sur un substratum très conducteur, certainement argileux rencontré sur une centaine de mètres dans les forages F1, F3 et F4 (fig. 114).

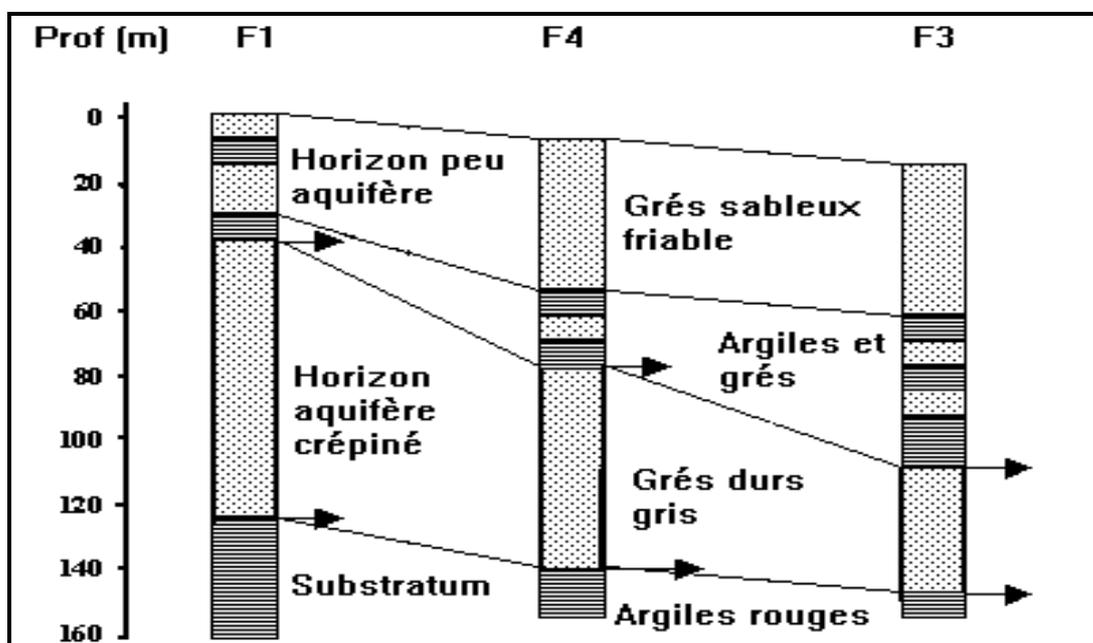


Fig. 114 - Logs synthétiques des forages hydrauliques de Beni Ounif

L'horizon intermédiaire est le plus développé sur plus de 60 mètres d'épaisseur. La résistivité intermédiaire entre l'horizon le plus conducteur et le plus résistant sert comme argument pour dire qu'il s'agit probablement de grès poreux et fissurés qui constituent les terrains aquifères du synclinal de Beni Ounif.

Les sondages mécaniques (fig. 114) montrent que les premières venues d'eau apparaissent à une trentaine de mètres dans les grés à passées d'argiles rouges.

Les forts gradients de résistivités peuvent être également expliqués par des changements latéraux de faciès, très fréquents dans les dépôts deltaïques et continentaux.

Les sondages montrent que les terrains gréseux sont très hétérogènes, formés d'une intercalation de grés et d'argiles. A chaque sondage on remarque une épaisseur et une position distincte des couches à l'exception de la couche argileuse qui apparaît au mur des ouvrages.

- Comportement hydrogéologique des formations du *Continental Intercalaire*

L'étude des affleurements gréseux du Crétacé inférieur, accompagnés des log synthétiques des forages et des sondages électriques permettent de préciser les résistivités et le comportement hydrogéologique des différentes formations (tableau n° 32).

Tableau 32 : Résistivités et comportement hydrogéologique du C.I

Age	Lithologie	Epaisseur (m)	Résistivité (ohm m)	Comportement hydrogéologique	Hydro dynamique
C. I	Grés ciment carbonaté	10 mètres à 40 mètres	Résistivité >300 ohm m	perméable	Nappe libre
C. I	Grés à passées d'argiles	10 mètres à 100 mètres	300>resistivité>100	Perméable à semi perméable	Semi captive
C. I	Argiles rouges	-	Résistivité < 100 ohm m	imperméable	Mur imperméable

Les 03 horizons forment l'essentiel des terrains aquifères gréseux du crétacé inférieur. Les argiles peuvent être présentes près de la surface sous forme de lentilles aplaties, mettant localement en captivité la nappe superficielle. Cette disposition permet subdiviser la nappe en plusieurs compartiments, formant souvent des aquifères multicouches.

1 – 3 – 3. Mode d'alimentation des aquifères

Tout porte à croire que les grès du crétacé inférieur existent dans presque la totalité de l'aire définie, soit en affleurement soit en profondeur, recouverts par les marnes et calcaires du Cénomano-Turonien ou par les atterrissements Tertiaires et Quaternaires. On distinguera deux possibilités d'alimentation de la cuvette synclinale de Béni Ounif :

- Crues de la Zousfana et de l'oued Lakhdar

La zone d'alimentation se fait à partir des Monts des Ksour, soit par ruissellement lors des crues d'oueds qui dévalent souvent très loin des massifs montagneux (Zousfana et oued Lakhdar) soit sous forme d'infiltrations permanentes des mêmes oueds.

- Apports verticaux ou latéraux à travers l'accident Sud Atlasique

En fait, on ne peut pas parler dans cette région d'aquifères du Jurassique sans faire allusion à ceux des grès du Crétacé inférieur. Les deux unités sont en relation hydrodynamique, l'un réalimentant l'autre par l'intermédiaire de cassures profondes.

L'étude géologique de surface et certains aspects qualitatifs des eaux de la nappe nous permettent d'adopter un type d'alimentation régit essentiellement par des apports verticaux ou latéraux à travers l'accident Sud Atlasique et ayant pour origine les formations gréseuses et calcaire-dolomitiques du Jurassique (Dogger et Kimméridgien).

- Les coupes hydrogéologiques : (fig. 115)

Les coupes géologiques AB, CD, EF et GH (traits de coupes, carte géologique, planche 04) associés aux relevés piézométriques montrent un écoulement général Nord Ouest – Sud Est mettant en évidence l'apport d'eau venant des assises calcaire dolomitiques fissurées mises en contact des grès continentaux le long du pied Sud du Djebel Grouz, permettant ainsi une alimentation d'origine lointaine.

Coupe 115 a : Le schéma général de l'écoulement des eaux souterraines, permet d'observer que la zone d'alimentation de la nappe au Nord coïncide

nettement avec le domaine de la faille Atlasique ; les apports d'eau pourront parvenir aux grès soit latéralement à travers la faille soit remontant le long de cet accident, déchargeant ainsi la nappe captive du Jurassique inférieur.

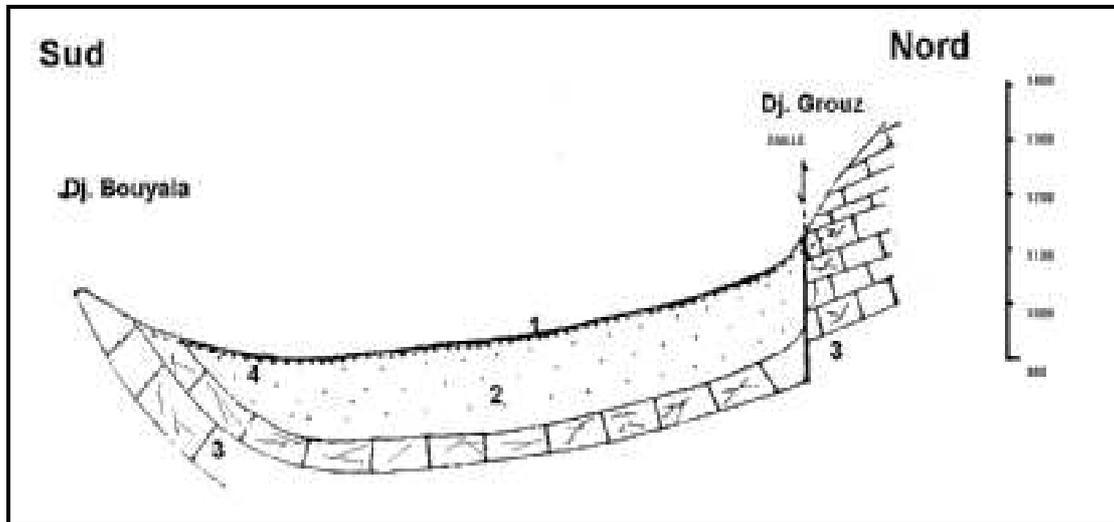


Fig . 115 a - Coupe hydrogéologique Djebel Grouz – Djebel Bouyâla (CD)
 1 : Alluvions Quaternaires – 2 : Grés du C.I (Crétacé inf) – 3 : Calcaires et dolomies fissurés (Jur. inf) – 4 : NP

Coupe 115 b : confirme le même phénomène ; cependant on peut remarquer le biseautage des formations gréseuses du *Continental Intercalaire* qui disparaissent totalement plus à l'Ouest.

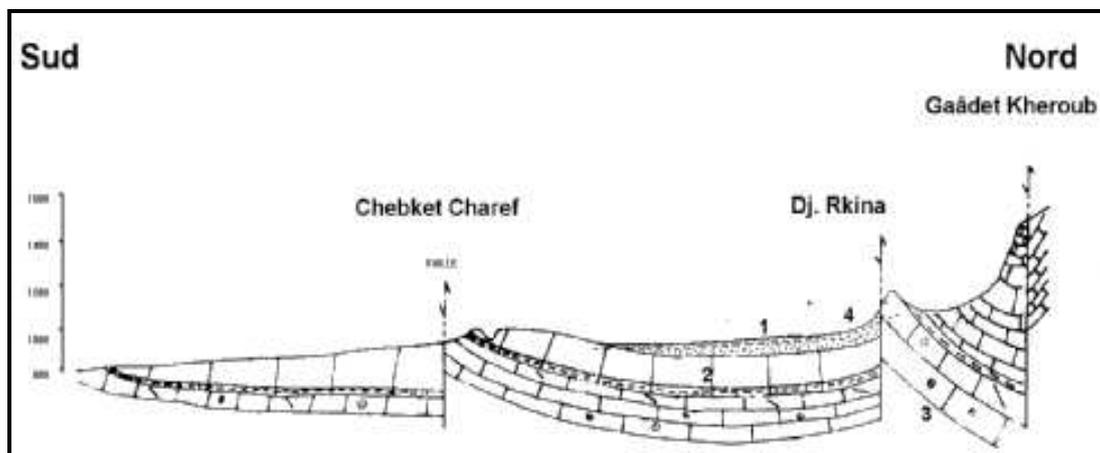


Fig . 115 b - Coupe hydrogéologique Chebket Charef – Djebel Rkina – Gare El Khéroub (EF)
 1 : Grés du C.I (Crét. i,nf) – 2 : Calcaires (Jur. moyen) – 3 : Calcaires et dolomies fissurés (Jur. inf) – 4 : NP

Coupe 115 c : montre le renversement de la série gréseuse du *Continental intercalaire* sous les calcaires et dolomies du Jurassique moyen. Cette structure est remarquable le long des Djebels Mélias, Tarhla et Si Youssef. Plus à l'Ouest, les formations gréseuses du continental intercalaire, influencées par la surrection des terrains Jurassiques sont redressées avec un pendage relativement fort.

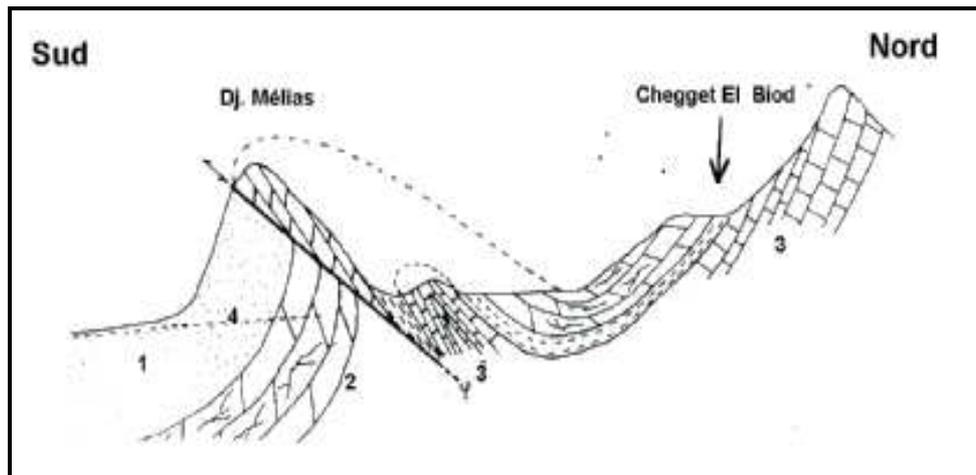


Fig . 115 c - Coupe hydrogéologique Djebel Mélias – Djebel Haimeur (AB)
 1 : Grés du C.I (Crét inf) – 2 : Calcaires (Jur. moyen) – 3 : Calcaires et dolomies fissués (Jur. inf) – 4 : NP

Coupe 115 d : Plus à l'aval, les eaux souterraines entrent en contact avec les alluvions de la Zousfana, puis s'écoulent à faible gradient vers la Chebket Tamednaïa, sous les assises marno-calcaires du Cénomano-Turonien.

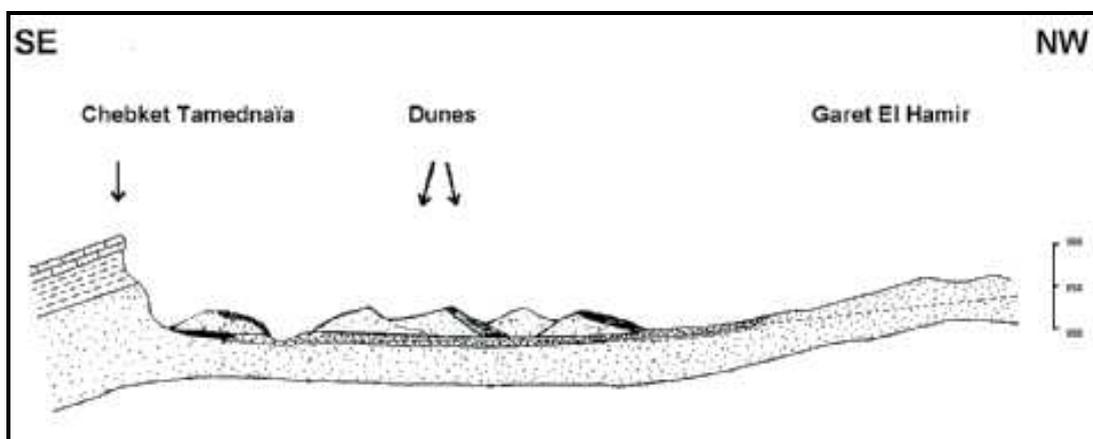


Fig . 115 d – Coupe hydrogéologique Chebket Tamednaïa – Garet El Hamir (GH)
 1 : Alluvions de la Zousfana – 2 : Calcaires Turonien – 3 : Marnes à gypse (Cénomaniens) – 4. Grés (CI) – 4 : NP

Les coupes hydrogéologiques montrent un écoulement général Nord Ouest-Sud Est, mettant toujours en évidence l'apport venant des assises calcairo-dolomitiques mises au contact des grès continentaux le long du pied Sud du Djebel Grouz, permettant ainsi une alimentation permanente d'origine sûrement lointaine.

- Thermalité des émergences:

En effet, les fracturations profondes des relais Sud Atlasique sont à l'origine des émergences thermales naturelles localisées entre Mélias (Nord de Béni Ounif), Figuig (Maroc) et Dermel (Sud Ouest de Djenien Bourezk).

- Autour de Figuig, où la température d'émergence atteint 47°C à Hammam El Foukani.

- A Mélias dans le lit de l'oued qui porte le même nom, où l'eau de la source Mélias se trouve mélangée avec celle de l'inféro flux avec néanmoins une température d'émergence comprise entre 24°C et 27°C.

- Série renversée de l'oued Dermel où les eaux viennent s'écouler en résurgences masquées sous les alluvions, issues des formations calcairo-dolomitiques, particulièrement du Dogger, à travers l'accident de Dermel.

1 – 3 – 4. Hydrodynamique

- Piézométrie (fig. 116)

Les mesures ont été réalisées dès 1992, réactualisées de temps à autre sur certains points d'eau témoins. La nappe est représentée par des eaux peu profondes, circulant dans des terrains hétérogènes grés-argileux, plissés et affectés par une fissuration relativement dense.

Les puits et forages n'atteignent pas le mur de l'aquifère, estimé à 200 mètres de profondeur.

L'établissement de la carte piézométrique montre un écoulement général suivant une direction Nord Ouest – Sud Est. Les eaux circulent suivant un axe de drainage de direction moyenne Ouest – Est qui apparaît bien à l'Ouest du puits n° 28 (Barraka). De part et d'autre de cet axe, les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent de Nord (Djebel Grouz) et du Sud (Chebket Charef et Fendi).

Plus à l'Est, l'axe de drainage principal se subdivise en 02 autres axes secondaires du fait de la présence d'une limite de partage des eaux, qui pourrait correspondre à un relèvement d'une lentille argileuse. L'axe Sud draine les eaux vers les puits n°14 et n°15 (Djenane Tarf) puis vers la Chebket Tamednaïa.

L'axe Nord draine une partie des eaux de la nappe vers la ville de Béni Ounif et ses champs de captage. A ce niveau, la piézométrie apparaît très perturbée en raison des pompages effectués dans les puits et forages mis en place récemment.

La partie aval de la nappe se trouve tantôt drainée par l'oued Zousfana lorsque le niveau est proche du sol et tantôt drainant le cours d'eau lui même quand les eaux souterraines s'enfoncent en profondeur, suralimentées par les violentes crues de printemps et d'automne.

Le gradient hydraulique assez constant à l'Ouest avec des valeurs de 8 ‰ diminue au centre et prend une valeur de 2 ‰ autour des points d'eau du centre de la palmeraie. Cette diminution peut s'expliquer par l'épaississement de l'aquifère d'Ouest en Est.

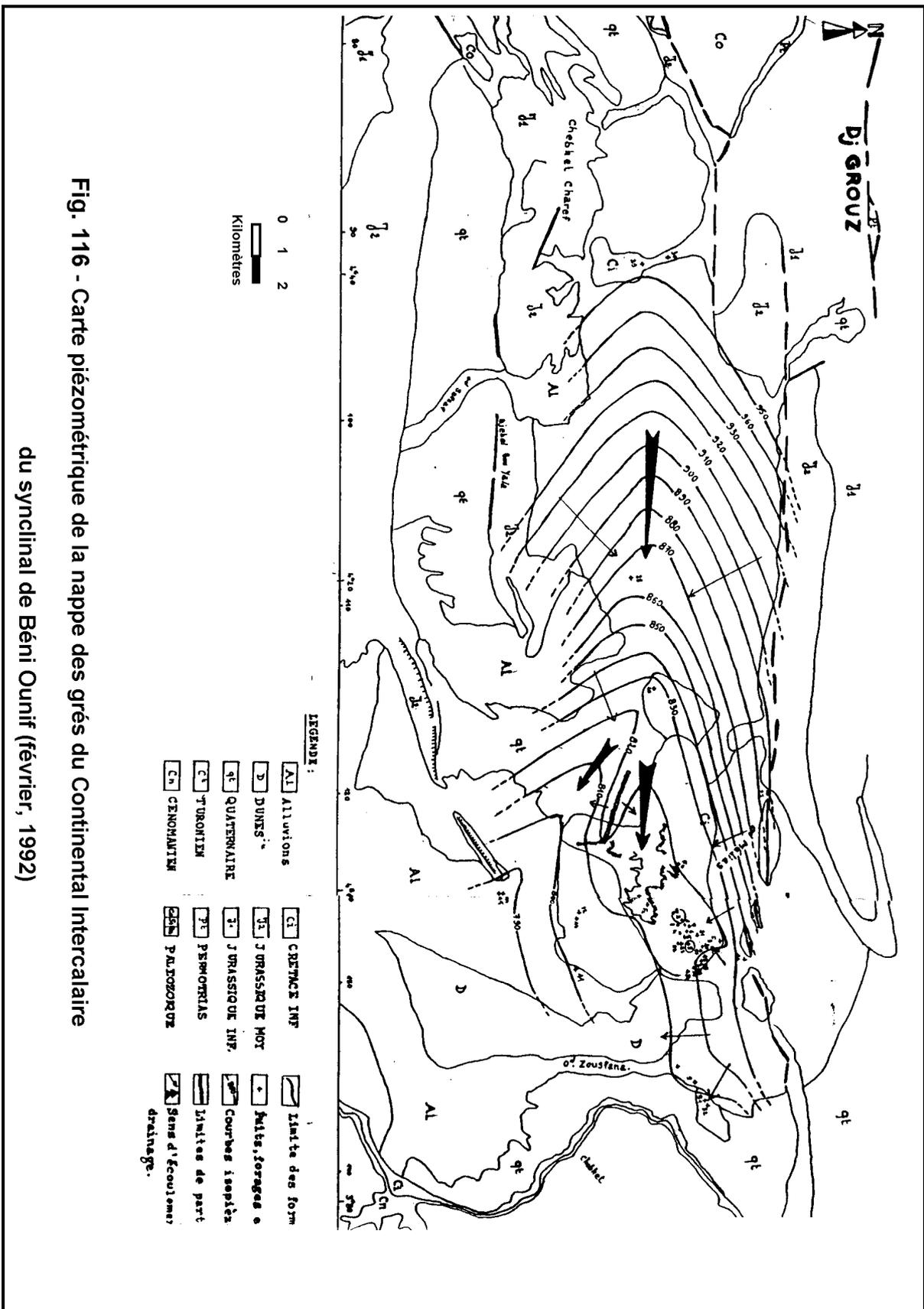


Fig. 116 - Carte piézométrique de la nappe des grès du Continental Intercalaire du synclinal de Béni Ounif (février, 1992)

- Pompages d'essai

Les pompages ont été réalisés sur un puits de grand diamètre (P2), accompagnés de mesures simultanées au niveau de 02 puits (P1 et P3), jouant le rôle de piézomètres.

Un second essai de longue durée est réalisé sur le forage F4 pour tester les potentialités de l'aquifère gréseux du *Continental Intercalaire*.

* Essai dans le puits P2 :

- Profondeur : 27,8 m
- Niveau statique : 12,25 m
- Rayon : 1,5 m
- Débit : 7,5 l/s

* Essai dans le forage F4 :

- Profondeur : 145 m
- Niveau statique : 18,4 m
- Débit : 17,3 l/s

Le piézomètre P1 reste non influencé pendant une durée de pompage de 07 heures ; quand au piézomètre P3, le rabattement observé est de 0.05 m pendant 04 heures 20 minutes.

En ce qui concerne l'interprétation des pompages d'essai, nous avons utilisé un certain nombre de méthodes classiques, spécifiques aux conditions hydrogéologiques régnant autour des points d'eau. Le tableau n° 33 ci-dessous résume les différents résultats obtenus :

Tableau 33 : Résultats des essais par différentes méthodes

Ouvrages (puits, forages et piézomètres)	Méthodes	Transmissivité T(m ² /s)	Coefficient d'emmagasinement S
Puits de pompage P2	Remontée de Theis	7.6. 10 ⁻³	-
	Papadopoulos/Cooper	1.5. 10 ⁻³	-
Piézomètre P3	Theis (descente)	1.3. 10 ⁻²	2.6. 10 ⁻⁴
Piézomètre P3	Theis(remontée)	6.1. 10 ⁻²	1.6. 10 ⁻⁶
Piézomètre P3	Jacob	8.5. 10 ⁻²	1.4. 10 ⁻⁶
Piézomètre P3	walton	1.4. 10 ⁻²	4.9. 10 ⁻³
Forage F4	Theis (descente)	1.9. 10 ⁻³	-
Forage F4	Theis (remontée)	1.2. 10 ⁻³	-

L'hétérogénéité du terrain aquifère et les caractéristiques du puits de pompage (incomplet, gros diamètre) paraissent à l'origine de la dissemblance entre certains résultats obtenus. Il est évident que les grès continentaux du synclinal de Béni Ounif présentent une importante perméabilité de fissures par endroits. Ailleurs, ils peuvent être peu transmissifs en raison de fréquentes intercalations argileuses.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement varient entre 10^{-3} et 10^{-6} . Elles correspondent à celles des nappes captives. Quant à la transmissivité, qui est d'ailleurs très bonne, nous retiendrons les valeurs obtenues par la méthode de Walton, de Jacob et celle de la remontée de Theis.

La courbe de descente du forage F4 (fig. 117), montre un accroissement progressif du rabattement pendant une durée égale à 02 heures. A partir de là, on assiste à l'établissement d'un régime d'équilibre pendant lequel les quantités d'eaux prélevées par pompage sont naturellement restituées par le milieu aquifère. On retiendra une valeur moyenne de transmissivité égale à $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, calculée à partir de la remontée de Theis.

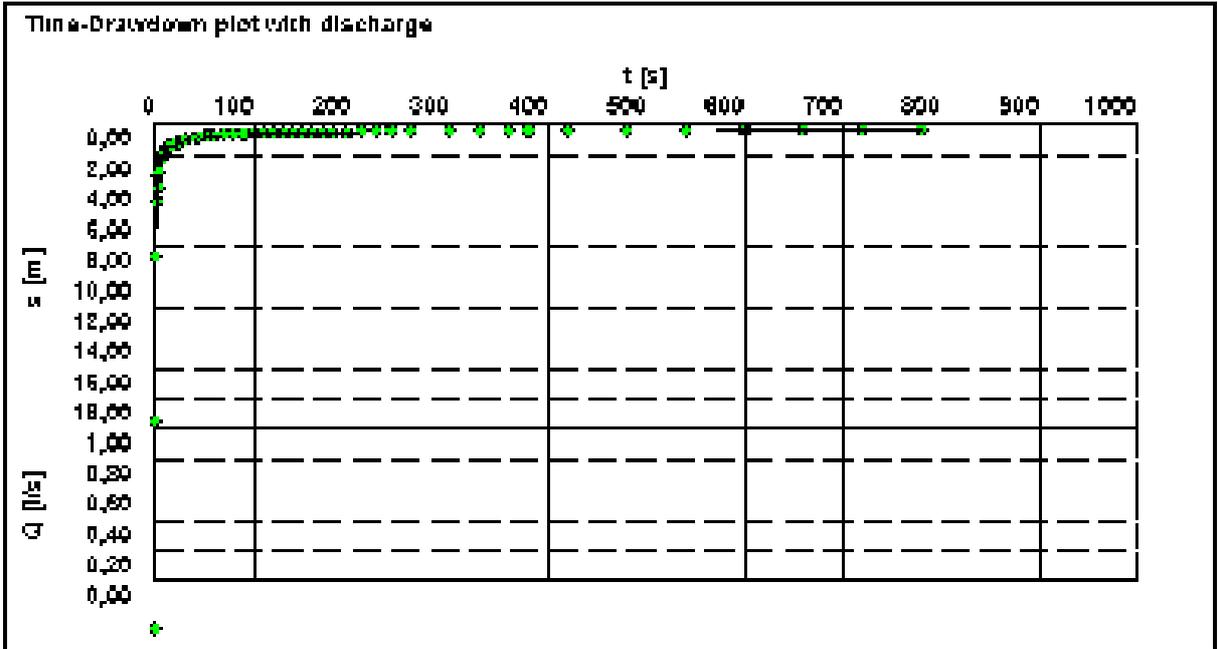


Fig. 117 – Courbe de descente du forage F4

- Calcul du débit d'écoulement

Le débit d'écoulement des eaux souterraines a pu être estimé par l'application de la loi de Darcy :

$$Q = T \cdot L \cdot i$$

T : transmissivité du terrain aquifère $1.8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

i : gradient hydraulique 0.9 ‰

L : longueur du front d'alimentation, estimé à 10 km, se situant le long du flanc Sud du Djebel Grouz et les petits chaînons de Figuig.

$$Q = 1.8 \cdot 10^{-2} \times 9 \cdot 10^3 \times 10^{-3} = 1.62 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Soit } 139968 \text{ m}^3/\text{j}$$

La quantité prélevée par pompage dans les puits productifs a été estimée à 4880 mètres cubes par jour. Ce qui correspond à 3% du débit global de la nappe ; valeur qui dénote l'importance des ressources en eau dans le synclinal de Béni Ounif.

1 – 3 – 5. Hydrochimie du synclinal de Béni Ounif

Les analyses chimiques ont été réalisées sur un total de 25 échantillons, prélevés dans l'aquifère des grès du continental intercalaire du synclinal de Béni Ounif. Ces analyses ont été effectuées grâce au concours de l'ANRH d'Oran en 1992.

- Evolution des faciès chimiques (fig. 118)

Résidu sec :

Les valeurs s'échelonnent en général entre 360 mg/l et 7080 mg/l. Elles sont de plus en plus élevées d'amont en aval de la nappe, suivant l'axe d'écoulement (Est – Ouest). Toutefois l'anomalie est très nette et la charge chimique des eaux augmente en sens inverse de l'écoulement, comme si

l'origine des sels dissous se localise autour du puits frontalier n° 16, caractérisé par une concentration totale de 12.84 g/l.

Ces eaux très chargées sont probablement d'origine profonde, remontant le long de la faille Sud Atlasique. La figure 118 a confirmé l'alimentation de la nappe par les eaux très chargées venant de la frontière Algéro – Marocaine, depuis laquelle la charge chimique se dégrade suivant le sens de l'écoulement.

Teneur en sulfates :

Les valeurs les plus élevées se situent autour du puits n° 16 avec 1100 mg/l, puis diminuent de la même façon que le résidu sec vers les puits du Ksar et ceux de la palmeraie, pour enfin reprendre une croissance normale vers l'aval de la nappe (alluvions de la Zousfana et la Chebket Tamednaïa). Une contamination par contact avec le gypse peut être la cause de la variation brutale de la teneur en sulfates.

Teneur en chlorures :

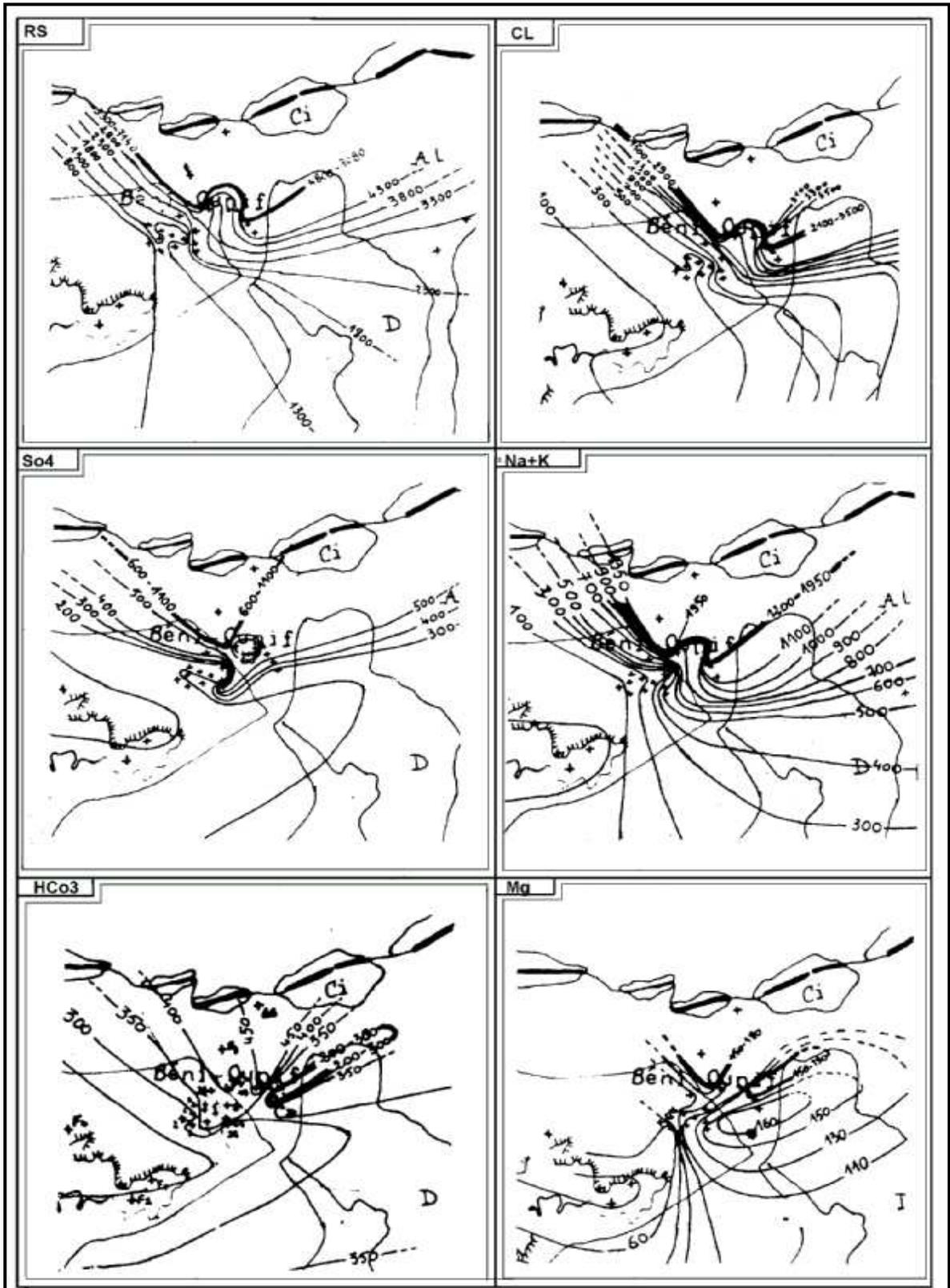
L'anomalie provoquée par les eaux hautement minéralisées doit avoir un lien avec la présence du système diapirique et dépôts gypso – salins. Les courbes d'isochlore atteignent une valeur de 3500 mg/l au droit de la faille Sud Atlasique.

Teneurs en bicarbonates :

C'est le cas de la partie occidentale de la nappe entre Bou Ach et les forages de Béni Ounif où l'attaque des grès à ciment calcaire peut donner lieu à un enrichissement en bicarbonates.

Teneurs en calcium et magnésium :

Les teneurs se répartissent dans les eaux du synclinal de Béni Ounif de la même façon, tout en signalant que les teneurs en magnésium sont moins importantes, sauf aux alentours du puits n°16 où on rencontre une teneur anormale, due probablement à la remontée d'eau magnésienne provenant des terrains d'âge Jurassique.



0 1 2 3



Kilomètres

Fig. 118 – Cartographie hydrochimique des principaux éléments majeurs

— Relais Sud Atlasique

— 1300 — Courbe d'isoteneur

Ci : Crétacé inférieur

Teneurs en sodium et potasium :

Les courbes d'isoteneur révèlent la même anomalie que celle des chlorures. Le sodium est un élément très abondant dans les eaux dans les puits du Ksar et de la palmeraie. Le rapport Na/Cl, proches de l'unité confirme l'origine commune des chlorures et du sodium.

- Représentation graphique et faciès chimiques (fig.119)

La représentation graphique des analyses d'eau à partir des diagrammes de Schoeller – Berkaloff a permis de classer les eaux du synclinal de Béni Ounif en trois grandes familles chimiques.

- Eaux chlorurées sodiques

Ce faciès caractérise la partie aval de la nappe ainsi que le centre, c'est à dire tous les puits du Ksar, puits Noria et puits d'Ach Aïn Séfra. Les formules caractéristiques sont les suivantes :



Au niveau du puits n° 26 par exemple, le chlore et le sodium peuvent à eux seuls représenter 78 % de la concentration totale.

- Eaux chlorurées magnésiennes :

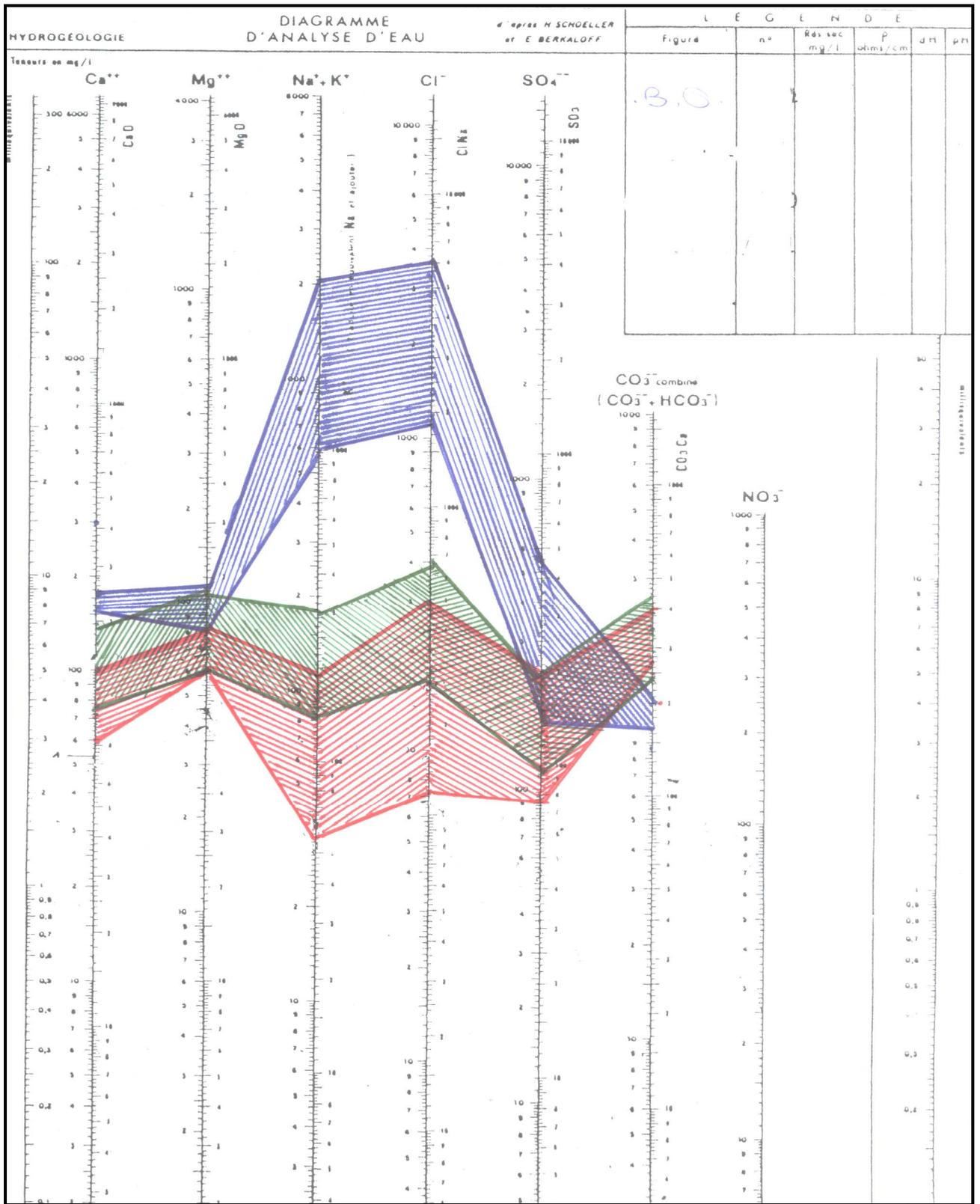
Ce faciès caractérise la zone située immédiatement à l'Ouest du puits du Ksar ; ce qui correspond aux eaux captées par les puits du centre de Béni Ounif. Ce sont des eaux relativement bonnes à passables avec toutefois une augmentation des bicarbonates au détriment des sulfates. Les formules caractéristiques sont les suivantes :



- Eaux bicarbonatées magnésiennes :

Ce faciès caractérise particulièrement la partie amont de la nappe. Ce sont des eaux de très bonnes qualités. Les formules caractéristiques sont les suivantes :





2 – Les synclinaux de la partie centrale des Monts des Ksour

2 – 1. Les gouttières synclinales d'Aïn Séfra

2 – 1 – 1. Les unités aquifères

Les formations à matrice gréseuse dominant et sont souvent entrecoupées de bancs argileux, diminuant localement la perméabilité. C'est dans les grès aquifères du Barrémo-Albo-Aptien que les ressources en eaux sont les plus importantes. Néanmoins, on peut observer des nappes dans les formations du Jurassique et du Quaternaire. On Distinguera :

- Nappe du Jurassique :

Malgré l'importance des aires d'affleurement, aucune nappe d'importance notable n'a été mise en évidence. Il existe certes quelques points d'eau mais à débit insignifiant. On citera dans cette catégorie, surtout les sources qui émergent sur le flanc du Djebel Aïssa (ex : Aïn Aïssa).

- Nappe Aptienne :

C'est une formation à composante gréso-marneuse, qui occupe souvent les dépressions topographiques. La discontinuité fréquente des affleurements Aptiens limite le débit des émergences, à l'image par exemple de la source Aïn Beïda, située à 05 km au Nord Est de Aïn Séfra.

- Nappe Barrémo-Albienne :

Elle constitue la principale ressource de la région, exploitée par un grand nombre de points d'eau. Trois horizons gréseux différents séparés par des niveaux imperméables sont mis en évidence. C'est du niveau moyen qui semble être le plus favorable, qu'émergent les grosses sources qui constituent les exutoires naturels de cette nappe (ex : sources de Tiout).

* Le premier niveau, constitué de grès massifs donne de nombreuses sources de faible importance (ex : Aïn Tessala).

* Le second niveau, représenté par les grès grossiers à nombreuses dragées de quartz, fournit les sources plus importantes (Tiout et Breïdj).

* Le troisième niveau à grès grossiers, renfermant quelques dragées de quartz, marque le sommet de l'étage, donne Aïn Tiourtelt.

De part et d'autre de Aïn Séfra, s'étendent 02 gouttières synclinales :

- Au Sud de Aïn Séfra : l'oued Breïdj, prolongé par celui de Bénikrou occupe le centre de cette gouttière, favorisant l'alimentation de la nappe en période de crue. L'exutoire de cette gouttière s'apparente à une zone d'émergence se situant tout le long du lit de l'oued.
- Au Nord Est de Aïn Séfra : s'étale le synclinal à fond plat de Tiout El Angar, drainé en grande partie par l'oued Tiourtelt.

- Nappe du Quaternaire :

Les dépôts alluvionnaires des principaux oueds constituent de bons réservoirs lorsque leur étendue et leur puissance sont importantes. C'est le cas de l'oued Breïdj qui a laissé en rive droite d'importants dépôts alluvionnaires qui contiennent une nappe exploitée par de nombreux points d'eau.

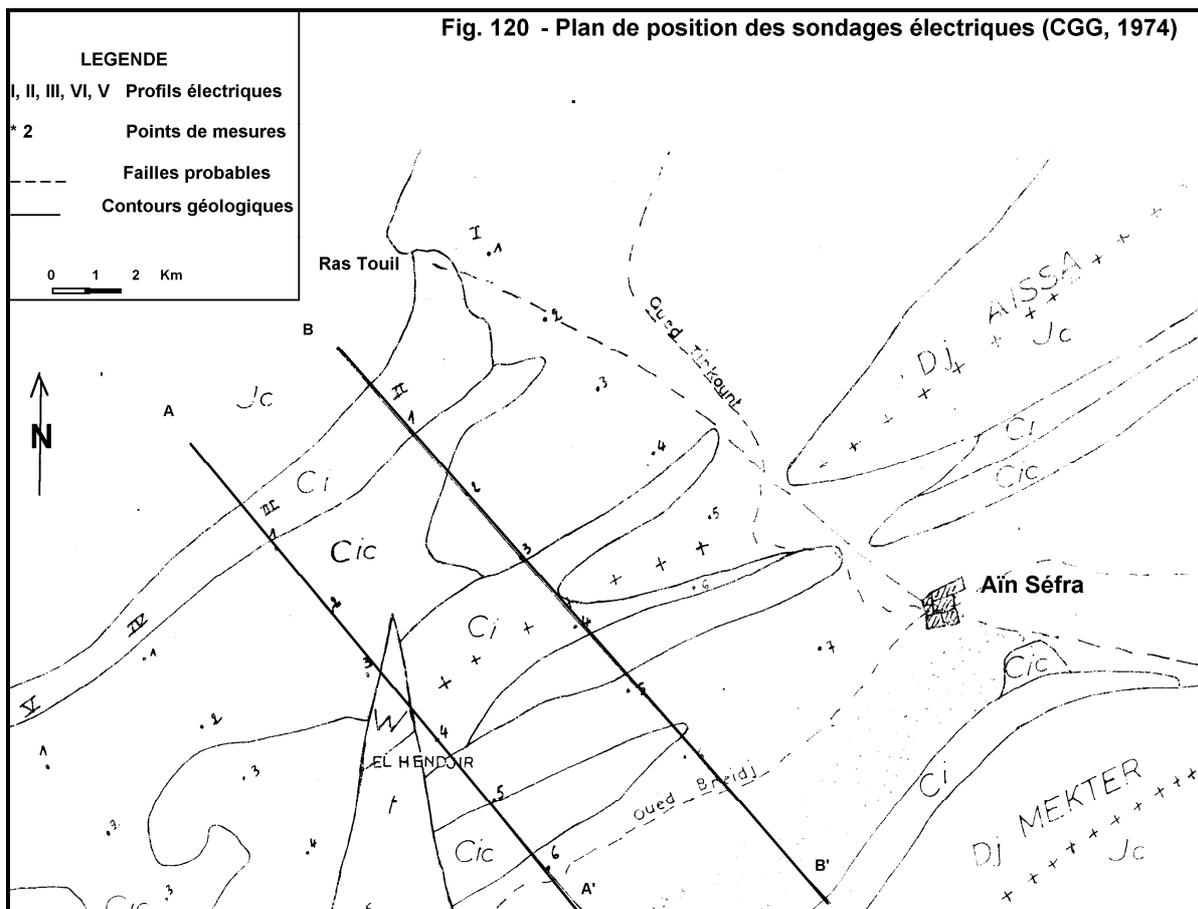
Les dépôts dunaires (dune d'Aïn Séfra) contiennent également une nappe qui se manifeste par l'émergence de quelques sources pérennes aux abords de la ville (source de la dune).

Notons l'intercommunication entre la nappe dunaire et les terrasses de l'oued.

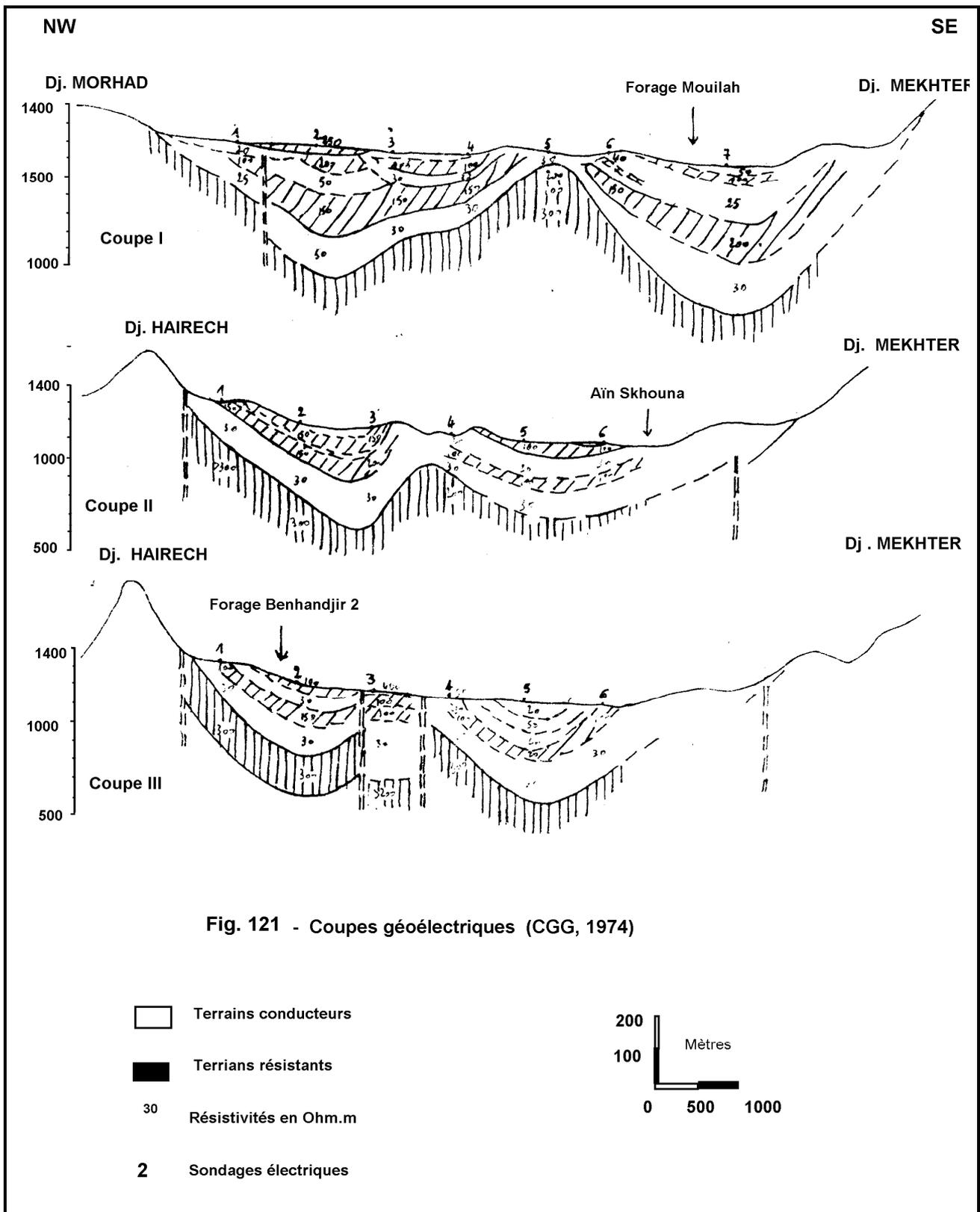
2 – 1 – 2. Géométrie et comportement hydrogéologique des aquifères

- Prospection électrique

L'étude géophysique par prospection électrique effectuée par la CGG (1974) consistait à reconnaître l'importance et l'extension des niveaux aquifères gréseux du *Continental intercalaire*. L'étude compte 46 sondages électriques distants entre eux de 02 kilomètres en AB = 4000 mètres et disposés le long de 09 profils de direction Nord Ouest Sud Est (fig. 120).



Les coupes géoélectriques interprétées (fig. 121) montrent un comportement structural résultant d'un mouvement tectonique dextre. Ce phénomène est caractérisé par un déplacement vers le Nord Ouest des structures du Djebel Hairech et un accroissement des résistivités des terrains du *Continental Intercalaire* vers le Sud Ouest suite à une augmentation des niveaux gréseux. Les grés Barrémo-Albien sont plus importants alors que les niveaux conducteurs diminuent d'épaisseur.



Le schéma structural se complique avec l'apparition du Trias diapirique à la faveur d'accidents sub-verticaux profonds dans la région d'El Hendjir (fig.121, coupe III). Le Trias paraît formé d'une formation argilo-gypseuse conductrice intercalée dans des formations ophitiques résistantes.

La coupe fait apparaître 02 domaines ; l'un au Nord dont la majorité des formations Crétacées serait argileux, l'autre au Sud de la ligne Ras Touil – Aïn Séfra dont la majorité des formations Crétacées serait gréseuse. Quelque soit l'importance des niveaux gréseux, ceux-ci ne semblent jamais atteindre des résistivités très élevées, dues probablement à la présence d'intercalations argileuses entre les horizons gréseux compacts.

- Comportement hydrogéologique des différentes formations

L'examen comparatif des coupes géoélectriques avec les log lithologiques des forages nous a permis de mieux préciser les différents horizons et leur comportement hydrogéologique.

• Forage Mouilah

Le niveau statique équilibré à 8.20m est situé dans les argiles Crétacées. L'aquifère correspondrait à la formation gréseuse résistante comprise dans le niveau supérieur entre 30m et 80m et dans le niveau inférieur entre 105m et 140m. La nappe serait semi captive à captive. Les résultats obtenus par la comparaison de la coupe géoélectrique I et le forage Mouilah sont résumés au tableau n° 34 :

Tableau 34 : Comparaison coupes géoélectriques - forage Mouilah

Faciès	Coupes géoélectriques		Coupes de forage Hydraulique		Comportement hydrogéologique	
	Epaisseur (mètres)	Résistivité (Ohm.m)	Epaisseur (mètres)	Résistivité (Ohm.m)	Comportement hydrogéologique	Type hydrodynamique
Formation géologique						
Argiles rouges compactes	20	30	22.5	$\rho < 100$	impermeable	impermeable
Grès rouges argileux	40	100	58.5	$300 > \rho > 100$	Perméable à semi perméable	Captive à semi captive
Argiles rouges	30	25	26	$\rho < 100$	impermeable	impermeable
Grès rouges	50	150	37	$300 > \rho > 100$	Perméable à semi perméable	Captive à semi captive
Argiles	10	30	06	$\rho < 100$	impermeable	impermeable

• Forage Bel Hendjir II

Le niveau statique équilibré à 32 mètres est situé dans les grès argileux. La nappe serait semi captive. Les résultats obtenus par comparaison de la coupe géoélectrique III avec le forage Bel Hendjir II sont représentés tableau n°36.

Tableau 35 : Comparaison coupes géoélectriques - forage Bel Hendjir

Faciès	Coupes géoélectriques		Forages hydrauliques		Comportement hydrogéologique	
	Epais (mètres)	Résistivités (Ohm.m)	Epais (mètres)	Résistivités (Ohm.m)	Comportement hydrogéologique	Type hydro dynamique
Argiles sableuses (quaternaires)	20	30	30	$\rho < 100$	Semi perméable	libre
Grès rouges (Barrémo-Albo-Aptien)	80	150	80	$300 > \rho > 100$	perméable	libre

• Forage Naftal (Aïn Séfra)

Une opération de diagraphie réalisée dans le forage Naftal a permis de donner des informations importantes concernant la précision de la colonne lithologique, délimitant ainsi la configuration dans le sens vertical des aquifères. Les résultats de l'opération sont représentés au tableau n° 36 :

On remarque ainsi qu'on est en présence de 03 horizons aquifères dont 02 à eaux saumâtres (47m – 50m et 85m – 94m). Le niveau statique équilibré à 13.60 mètres se trouve dans la formation argileuse, dénotant une nappe captive.

Tableau 36 : Diagraphie du forage Naftal de Aïn Séfra

Profondeur (m)	Polarisation spontanée	Résistivité	Gamma-ray	Conclusion
0 - 10	Déflexion à droite	Faible	-	Couche dure ne contenant pas d'eau
10 - 47	Ligne de base	Forte	Forte activité	Argile imperméable
47 - 50	Légère déflexion à gauche	Forte	Forte activité	Zone poreuse contenant eau saumâtre
50 - 60	Déflexion à droite, 2° ligne de base	Faible	Forte activité	Argile différente de la première
60 - 77	Déflexion à droite	Forte	Faible activité	Formation susceptible de contenir de l'eau
77 - 85	Déflexion à droite	Forte	Forte activité	Argile imperméable
85 - 93	Déflexion à gauche	Faible	Faible activité	Zone à eau saumâtre
93 - 100	Déflexion à droite, 2° ligne de base	Faible	Forte activité	Argile imperméable

L'étude géophysique, appuyée par les observations des forages hydrauliques a permis d'apporter certains faits importants :

- L'existence d'une structure plissée affectée par un accident tectonique et l'apparition d'une boutonnière Triasique dans la région d'El Hendjir.
- L'accident Ras Touil – Aïn Séfra a joué un rôle dans la répartition des faciès détritiques du Jurassique et du Crétacé inférieur. Cet accident recoupe l'ensemble des structures et limite l'extension des terrains vers le Sud Ouest.
- L'horizon aquifère est représenté par les grés grossiers à porosité d'interstices, de fissures et de chenaux dans lesquelles s'intercalent des lentilles d'argiles. La prospection électrique a donné une épaisseur comprise entre 200m et 800m. Le niveau piézométrique localisé tantôt dans les argiles tantôt dans les grés montre que la nappe peut être soit libre, semi captive ou même captive.

2 – 1 – 3. Hydrodynamique

- Coupes hydrogéologiques schématiques

Les coupes hydrogéologiques schématiques établies sur la base des données de forage et de la prospection électrique montrent l'existence de 03 horizons aquifères inter stratifiés (fig. 122) :

- Grés compacts à porosité d'interstices et de fissures d'âge Jurassique supérieur, affleurant particulièrement sur les piémonts du Djebel Mekhter. Ils sont reconnus par la géophysique à partir de 500 mètres au centre des cuvettes synclinales et 100 à 200 mètres au droit des extrémités.
- Grés massifs à double perméabilité, voir triple (interstices, fissures et chenaux de dissolution) attribués au Barrémo-Albo-Aptien, associés le plus souvent à des intercalations argileuses et argilo-gréseuse rouges, conférant à l'ensemble une semi captivité de la nappe et où l'alimentation par drainance joue un rôle important.
- Formations Quaternaires formées d'alluvions, de terrasses et de dunes.

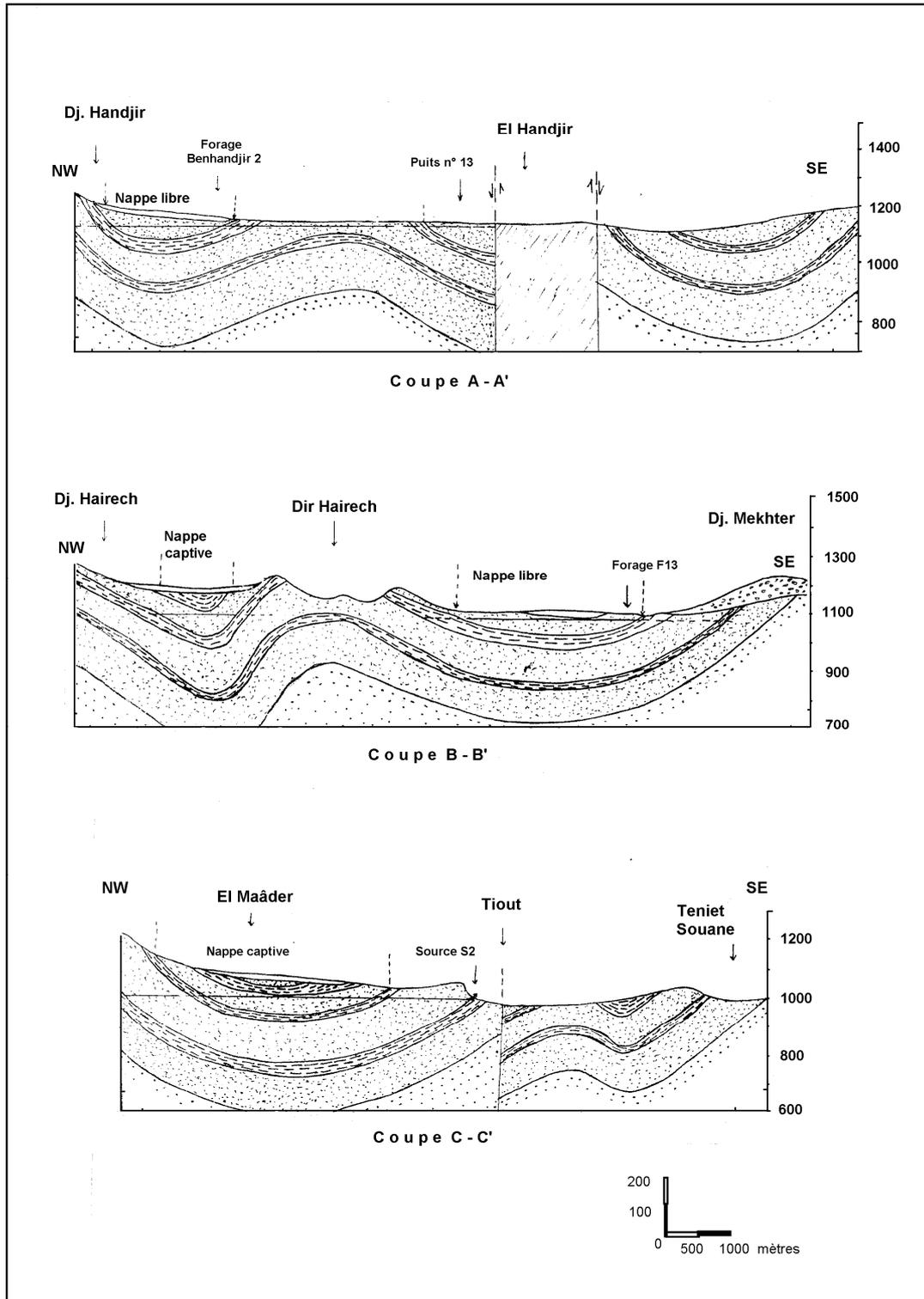


Fig. 122 – Coupes hydrogéologiques schématiques à travers le synclinal de Aïn Séfra



- Piézométrie (fig. 123)

La région a fait l'objet d'un premier inventaire des points d'eau en 1972 par les services de l'hydraulique. Un second inventaire plus complet a été réalisé par nos soins en 1992, réactualisé en 2002 sur des points d'eau témoins (puits, sources et forages). La carte piézométrique a été établie sur la base de données reportée en annexes.

L'interprétation de la carte piézométrique fait ressortir 02 unités hydrogéologiques où on peut observer d'Est en Ouest :

- Unité hydrogéologique Tiourtelt-Maâder-Tiout :

Du côté du synclinal de Tiourtelt, l'écoulement de la nappe se fait suivant une direction Nord Est - Sud Ouest ; les eaux circulent suivant un axe de drainage de direction sensiblement Est – Ouest. De part et d'autre de cet axe, les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent du Nord (Djebel Aïssa). C'est le niveau supérieur des grès qui donne naissance à la source dite Tiourtelt. A ce niveau, l'oued Tiourtelt draine la nappe.

Au niveau de la région de Tiout, on observe une cuvette piézométrique dont l'exutoire n'est autre que les grosses sources de Tiout qui émergent le long de l'oued Tiourtelt. Ce sera le niveau intermédiaire des grès qui constitue le principal réservoir de ces émergences et des puits et forages.

Au droit de l'axe de l'oued Aïn Séfra, une ligne de partage des eaux, d'origine structurale (faille de Ras Touil) limite l'unité hydrogéologique de Tiourtelt-Maâder-Tiout de celle de Skhouana-el Hendjir.

- Unité hydrogéologique Skhouana-El Hendjir :

Le sens général de l'écoulement de la nappe se fait suivant une direction Nord Ouest – Sud Est. Les lignes de courant montrent que les eaux drainées proviennent principalement de la région Nord (région de Dir Haireche). L'oued Breïdj draine la nappe, favorisant l'émergence d'une série de sources dont celle de Skhouana tout le long de cet oued.

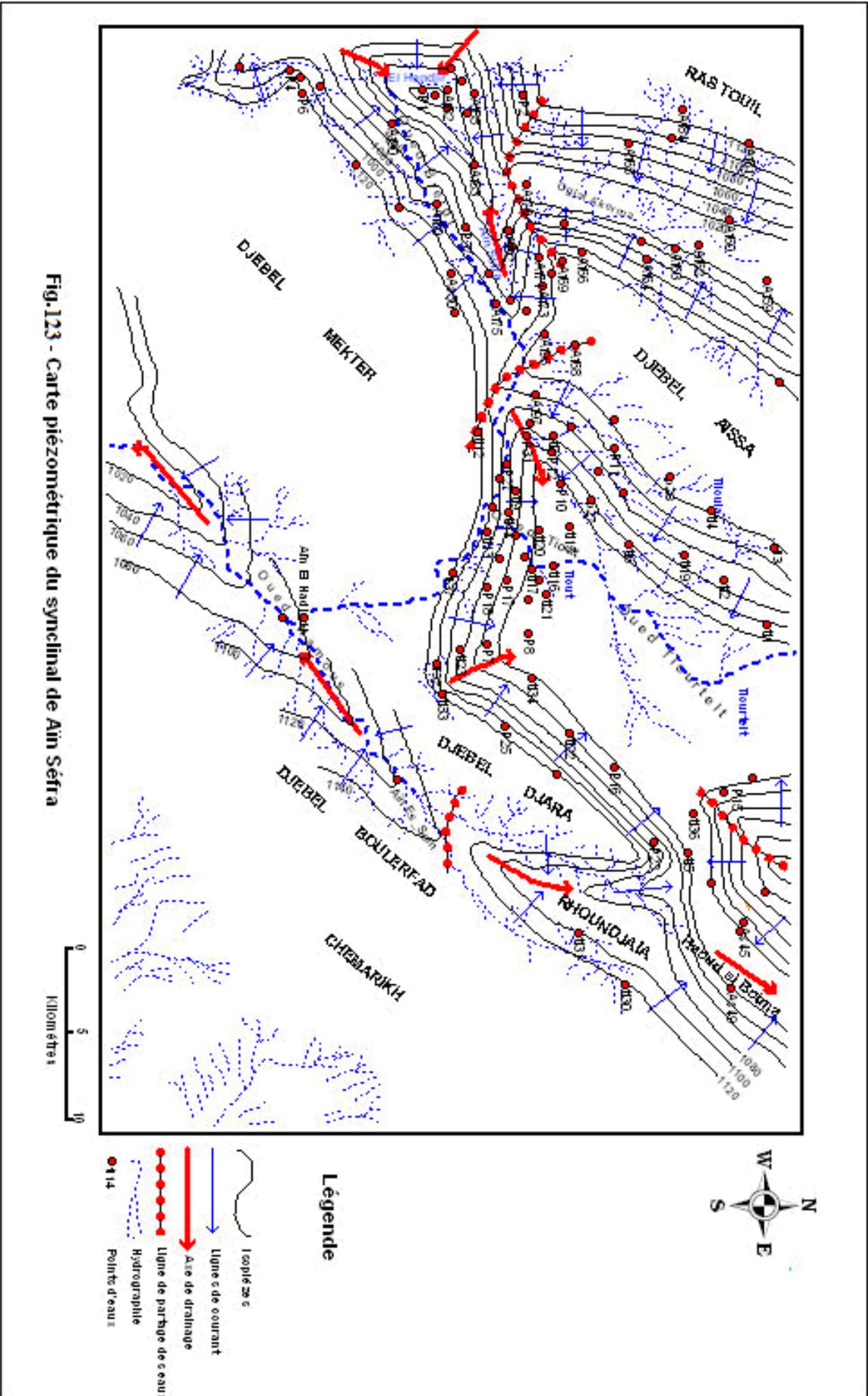


Fig.123 - Carte piézométrique du synclinal de Ain Séfra

Du côté d'El Hendjir, les lignes de courant convergent vers le forage F₁₅ ; l'alimentation provient du Nord (Djebel Haïrech). Les eaux de la nappe d'El Hendjir suralimentent celles de Skhouna du Nord au Sud vers l'oued Breïdj. A ce niveau, les failles jouent un rôle important dans le cheminement des eaux et la distribution des faciès chimiques.

Au Sud Ouest d'El Hendjir, un écoulement important est matérialisé le long de l'oued Sfisifa, rejoignant l'oued Breïdj.

En ce qui concerne les gradients hydrauliques, on notera des valeurs de 6‰ dans la région de Tiout, 13‰ à Skhouna et 33‰ à El Hendjir. Cette augmentation est due à une diminution de la section d'écoulement ainsi qu'au drainage des eaux à partir des formations Jurassiques du Djebel Haïreche (El Hendjir).

- Caractéristiques hydrodynamiques

* Les pompages d'essai : des essais ont été effectués sur les forages Belhandjir II, Naftal et Maâdar I. Les données de pompages sont portées en annexes.

• Forage Belhandjir II (El Hendjir) fig. 124

L'essai a été réalisé pendant 72 heures à un débit de 10 l/s. Le tracé de la droite représentative dessine une ligne brisée avec dédoublement de la pente, suggérant l'hypothèse d'un aquifère à limite latérale étanche. L'anomalie est provoquée par une structure hydrogéologique identifiée, la faille d'El Hendjir. La courbe d'essai montre que l'influence de la limite à flux nul (faille d'El Hendjir) se fait sentir à partir de 70 heures de pompage.

Transmissivité $T = 0.183.Q/\Delta s = 0.183.10 / 0.376 = 4.9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

Distance à la limite $D = r/2 \sqrt{t_i/t_0} = 0.165/2 \sqrt{4/10^{-7}} = 1045 \text{ mètres}$

La courbe de remontée a donné une transmissivité $T = 2.15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

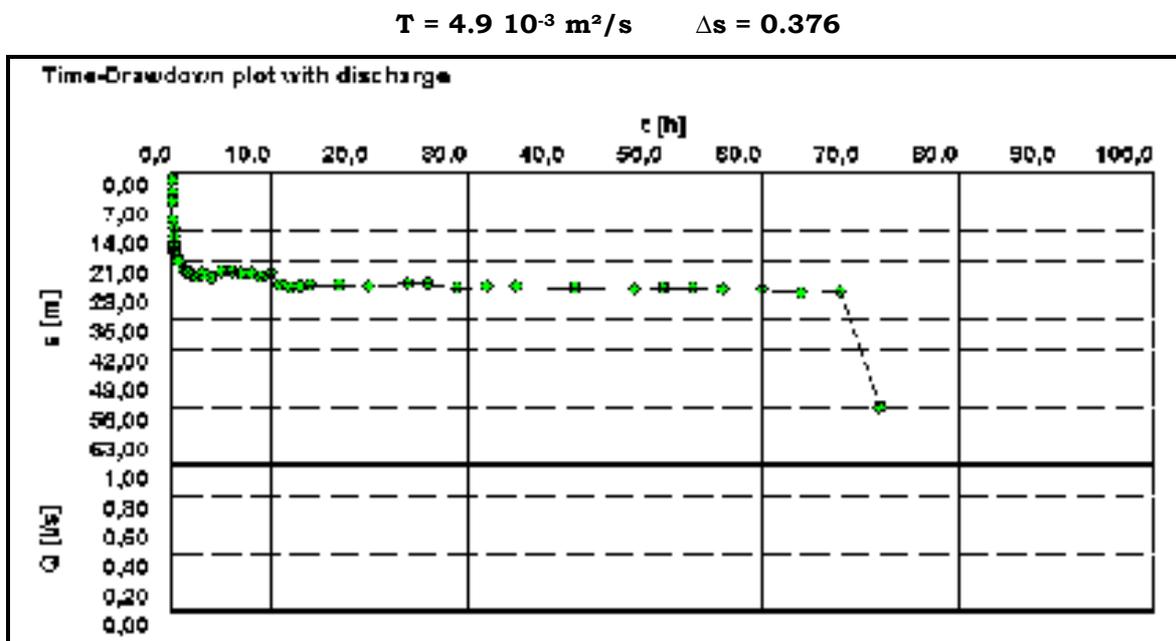


Fig 124 – Courbe de descente du forage Belhandjir

• Forage Naftal (Aïn Séfra) fig. 125

L'essai a duré 72 heures à un débit constant de 10 l/s. La stabilisation a été atteinte après de 12 heures de pompage, dénotant ainsi une très bonne réalimentation. La transmissivité calculée est $T = 4.6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour $\Delta s = 0.40 \text{ m}$. La remontée n'a pu être mesurée

$$T = 4.6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \quad \Delta s = 0.40 \text{ m}$$

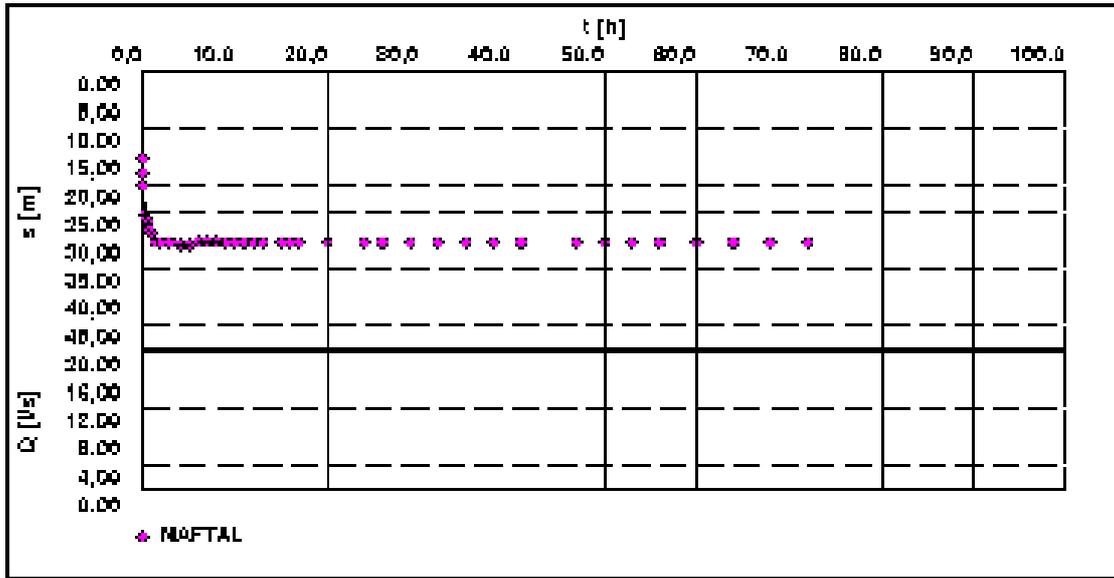


Fig 125 – Courbe de descente du forage Naftal

• Forage Maâder I (Tiout) fig. 126

L'interprétation s'est faite en appliquant la méthode de Walton du fait de la relative captivité de la nappe. L'essai d'une durée de 72 heures a été effectué avec un débit de 20 l/s. La courbe de descente se superpose avec la courbe de Walton pour $r/b = 0.1$. En choisissant le point pivot A qui a pour coordonnées :

$$\{W(u, r/b) = 5 \quad \Delta s = 35 \text{ m} \}$$

$$\{r/u = 3 \cdot 10^{+2} \quad t = 1.8 \cdot 10^{-1} \text{ heures}\}$$

La transmissivité serait $T = 2. \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

$$T = 2.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \quad \Delta s = 35 \text{ m}$$

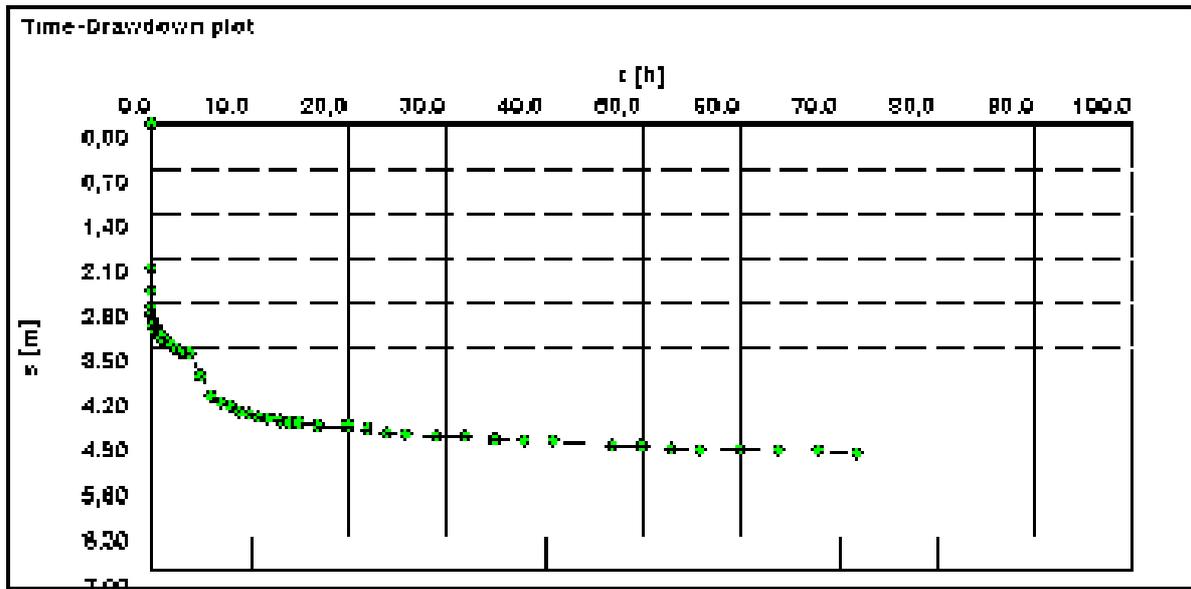


Fig 126 – Courbe de descente du forage Maâder (Tiout)

La courbe d'essai montre que la stabilisation n'a pas été encore atteinte au bout de 72 heures de pompage. On pense pour notre part que l'essai devait être prolongé de quelques heures pour voir réellement si l'aquifère est bien réalimenté ou seulement, le débit d'exploitation du forage (20 l/s) est plus fort que le débit critique.

La courbe de remontée permet de calculer la transmissivité pour une variation de rabattement résiduel $\Delta s' = 1$ mètre :

$$T = 3.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

* Estimation du bilan de la nappe : on a essayé de calculer le débit aux différents exutoires, à partir de la carte piézométrique.

- El hendjir entre l'isopiète 1210 m et 1220 m

$$T = 3.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$i = 33 \text{ ‰} \quad \} \rightarrow \quad Q = 347 \text{ l/s}$$

$$L = 3000 \text{ m}$$

- Skhouna entre l'isopiète 1120 m et 1080 m

$$T = 4.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$i = 13 \text{ ‰} \quad \} \rightarrow \quad Q = 182 \text{ l/s}$$

$$L = 3000 \text{ m}$$

- Maâder entre l'isopièze 1040 m et 1020 m

$$T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$i = 6 \text{ ‰} \quad \} \rightarrow \quad Q = 42 \text{ l/s}$$

$$L = 3500 \text{ m}$$

L'ensemble des exutoires donne donc un débit total de 571 l/s. Les débits d'exhaure extraits par pompage sur les puits et les forages totalisent un débit de 280 l/s. Le volume de la nappe serait alors de $571 - 280 = 291 \text{ l/s}$, représentant la moitié du débit théorique calculé aux exutoires.

$$Q = 9.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

2 – 1 – 4. Hydrochimie

Une série de 33 échantillons ont été prélevés des points d'eau captant l'aquifère des grès du *Continental Intercalaire* et analysés par l'ANRH d'Oran. Les résultats d'analyses sont portés en annexe.

- Evolution des faciès chimiques

* Minéralisation (fig. 127)

La minéralisation est faible dans les régions d'El Hendjir, Skhouna et Maâder, ne dépassant guère 500 mg/l. En se déplaçant vers l'Est, du côté de Aïn Séfra, la minéralisation atteint 1600 mg/l aux forages F11 et F12 et 4000 mg/l au niveau du forage F9. Cette augmentation est certainement liée à la présence de l'accident Ras Touil - Aïn Séfra.

Du côté de Tiout, la minéralisation est de l'ordre de 900 mg/l au synclinal de Maäder ; elle augmente au Sud de Tiout à la source S4 et aux puits P6, P7 et P8 (lessivage des pointements Triasiques). Au Nord Est, dans la région de Tiourtel, la minéralisation est de 1400 mg/l aux points S1 et P1.

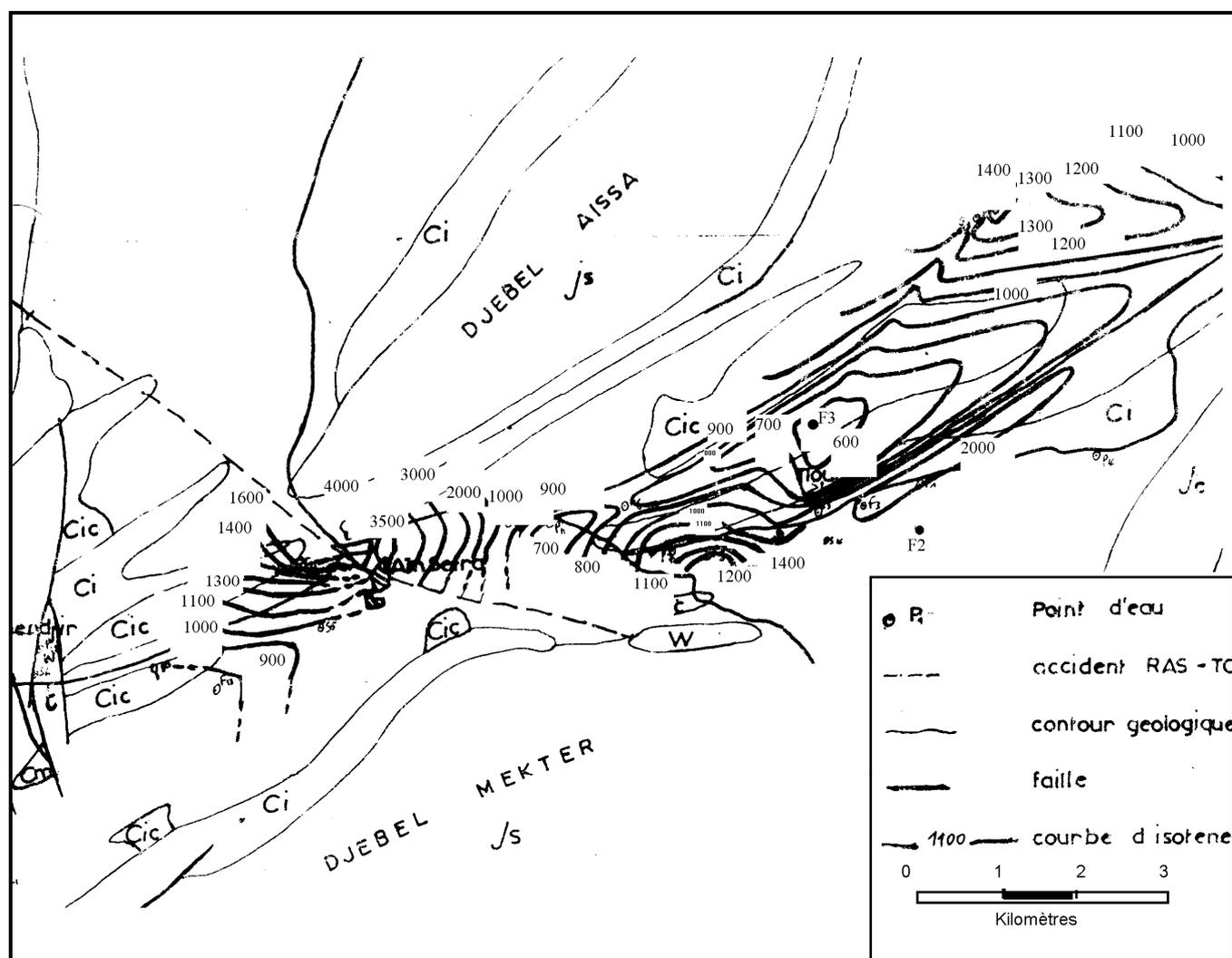


Fig. 127 – Carte d'isoteneur des minéralisations

* Iso teneurs

- Iso teneurs Ca^{2+} : les teneurs sont comprises entre 42 mg/l et 110 mg/l à El Hendjir et entre 80 mg/l et 860 mg/l dans la région de Aïn Séfra – Tiout. Dans la région d'El Hendjir, l'augmentation se fait dans le sens de l'écoulement. A Aïn Séfra, les points d'eau F9, F10 et F11 présentent une valeur maximale. Dans la région de Tiout, une anomalie est observée au point F3, illustrée par une augmentation des teneurs en calcium, accompagnée d'une diminution des bicarbonates.
- Iso teneurs Mg^{2+} : l'accroissement des teneurs en Mg serait dû à la dissolution du $MgSO_4$ et un apport par dissolution du gypse provenant des pointements Triasiques de l'accident Ras Touil – Aïn Séfra. La valeur est maximale près de Aïn Séfra au niveau des forages F9 et F10.
- Iso teneurs Cl , $Na^+ + K^+$: les valeurs les plus importantes sont observées au niveau de forages F9 (Aïn Séfra) alors que les valeurs minimales se trouvent à El Hendjir au niveau du puits P17. Les courbes d'isoteneurs des chlorures révèlent les mêmes anomalies que celles du sodium et potassium.
- Iso teneurs SO_4^{2-} (fig. 122): les valeurs atteignent un maximum de 2255 mg/l au forage F9 à Aïn Séfra, suite à la présence des pointements du Trias le long de l'accident Ras Touil – Aïn Séfra. La valeur la plus faible est observée au puits P17 avec teneur de 58 mg/l à El Hendjir.
- Iso teneurs HCO_3^- : les valeurs sont observées à Tiout et sont comprises entre 143 mg/l au puits P3 et 340 mg/l au puits P2. Les fortes teneurs en bicarbonates sont générées par la présence d'un ciment carbonaté, parfois dolomitique dans les grès du continental intercalaire.

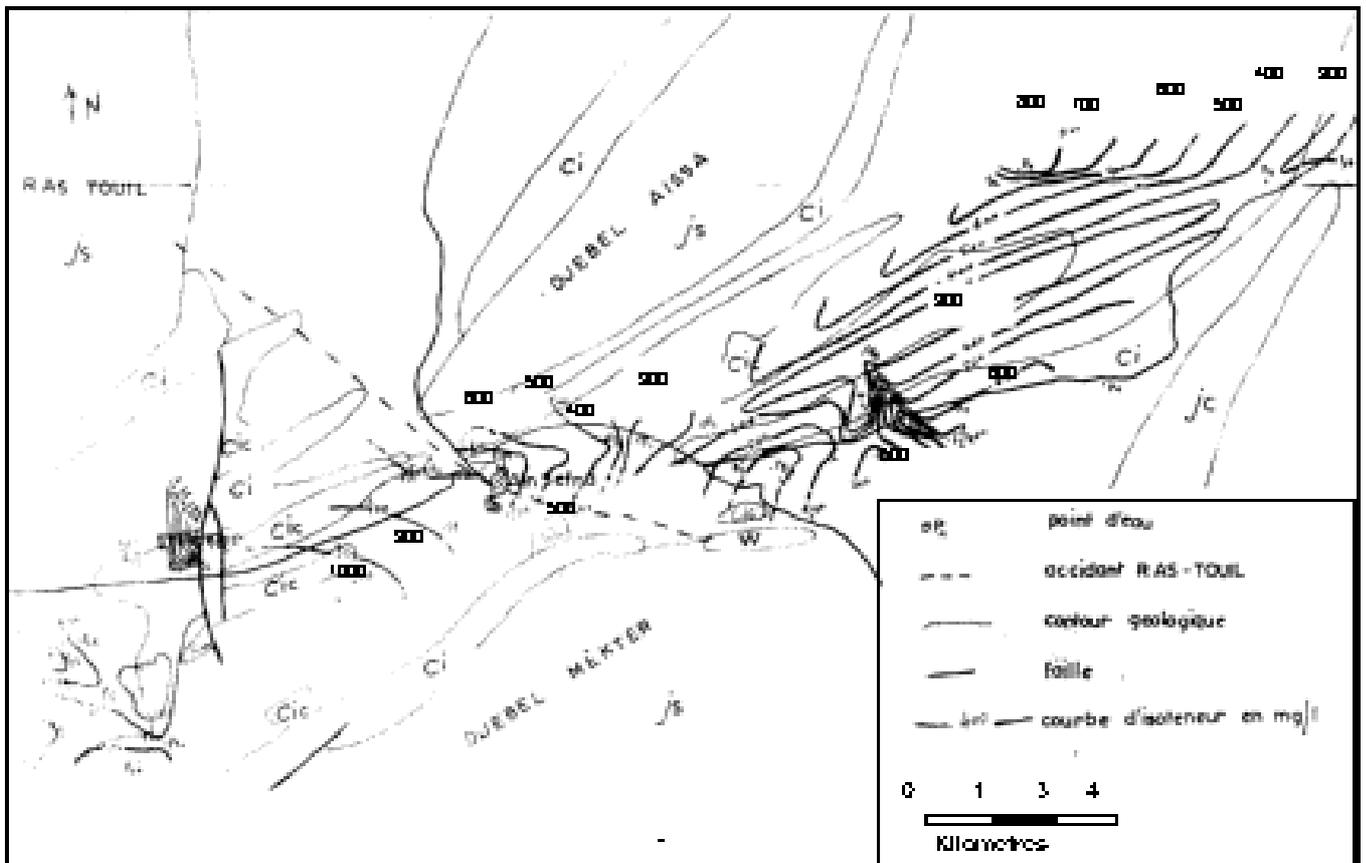
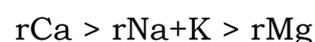


Fig. 128 – Carte d'isoteneur en sulfates SO₄²⁻

- Représentation graphique et faciès chimiques (fig. 129)

La représentation graphique des analyses chimiques permet au mieux d'illustrer les différents faciès chimiques. Ainsi on peut distinguer 05 types de faciès chimiques :

- Eaux sulfatées calciques : localisées dans les formations argilo-gréseuses de Tiourtelt. La forte teneur des ions sulfates est due essentiellement à la dissolution au sein des inter lits argilo – gypseux de l'Aptien. Ce faciès caractérise particulièrement les eaux de la source S1 et des puits P1, P6, P7 et P8.



- Eaux bicarbonatées magnésiennes : localisées dans les grés Albien d'El Hendjir. Les résidus secs sont compris entre 480 mg/l et 1120 mg/l. Ce faciès est observé à la source S6 et aux puits P11, P12, P13, P14, P15, P16, P18.



- Eaux bicarbonatées calciques : caractérise les eaux de la source S2 et les forages F5 et F6, issues du deuxième niveau des grés Albiens.



- Eaux chlorurées sodico-potassiques : ce faciès caractérise les eaux de la source S4 et du forage F3, situés au Sud de Tiout et les forages F9, F10, F11 et F12, situés de part et d'autre de l'accident Ras Touil – Aïn Séfra.



- Eaux sulfatées sodico-potassiques : ils sont rencontrés à Tiout au niveau de la source S3 et du forage F2. Le résidu sec est de l'ordre de 2000 mg/l.



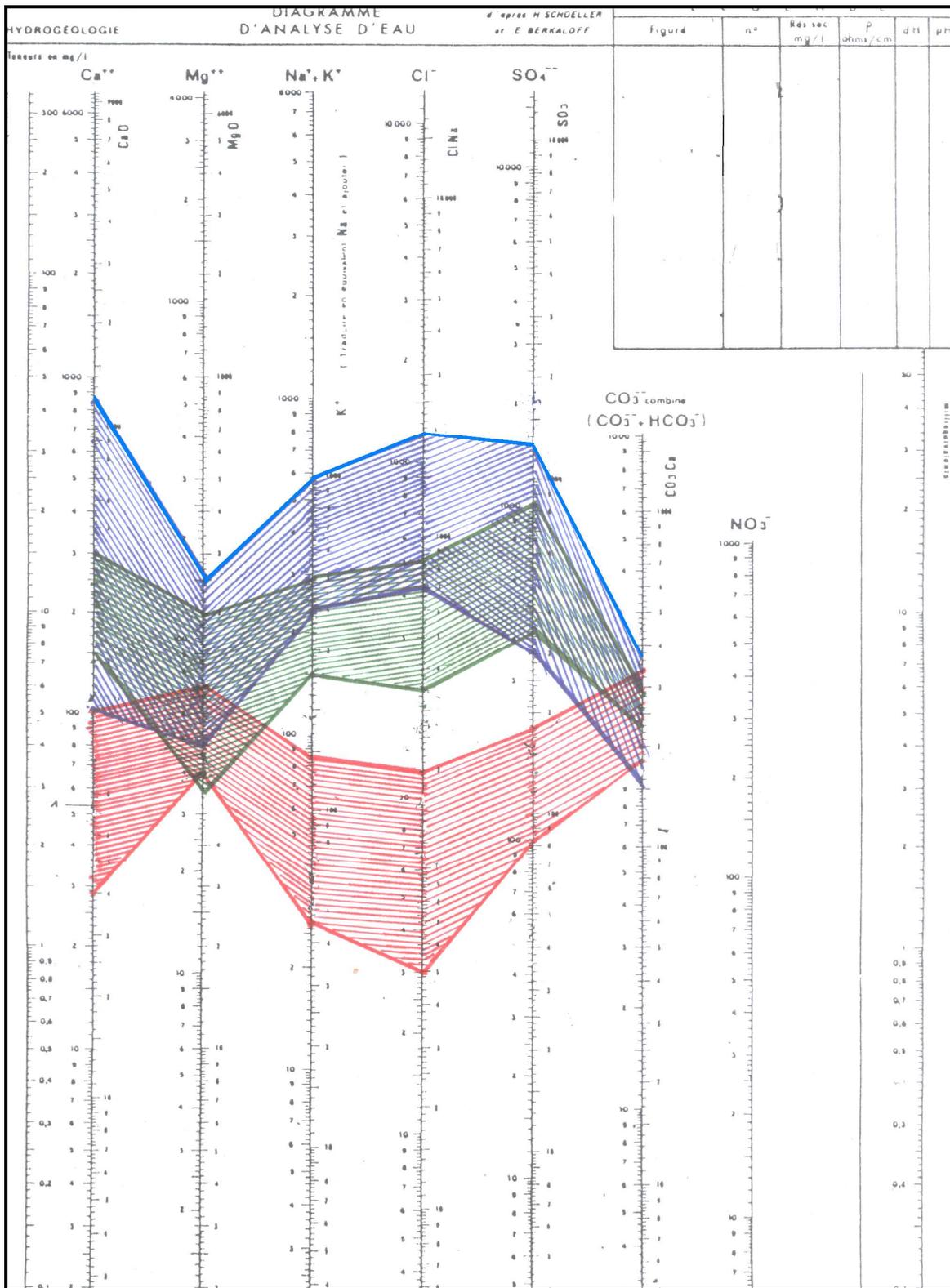


Fig. 129 – Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal de Aïn Séfra



Faciès bicarbonaté magnésien



Faciès Sulfaté calcique



Faciès chloruré calcique

2 – 2. *Synclinal de Naâma*

2 – 2 – 1 . Principaux aquifères

Le synclinal de Naâma, caractérisé par une structure géologique complexe dans le détail, est représenté par des terrains allant du Jurassique au Plio-Quaternaire. On distinguera 03 principales unités aquifères :

- Aquifère des grés Jurassiques à porosité d'interstices et perméabilité de fissures.
- Aquifère des grés Albiens à porosité d'interstices, perméabilité de fissures.
- Aquifères Mio-Pliocènes à fréquentes intercalations de lentilles argileuses.

2 – 2 – 2. Géométrie et comportement hydrogéologique des aquifères

- Prospection électrique

L'étude réalisée par la C.G.G (compagnie générale de géophysique) comporte 45 sondages électriques distants de 02 km environ, disposés le long de 09 profils de direction Nord Ouest – Sud Est (fig. 130), selon des longueurs de ligne AB 2000 m et 4000 m.

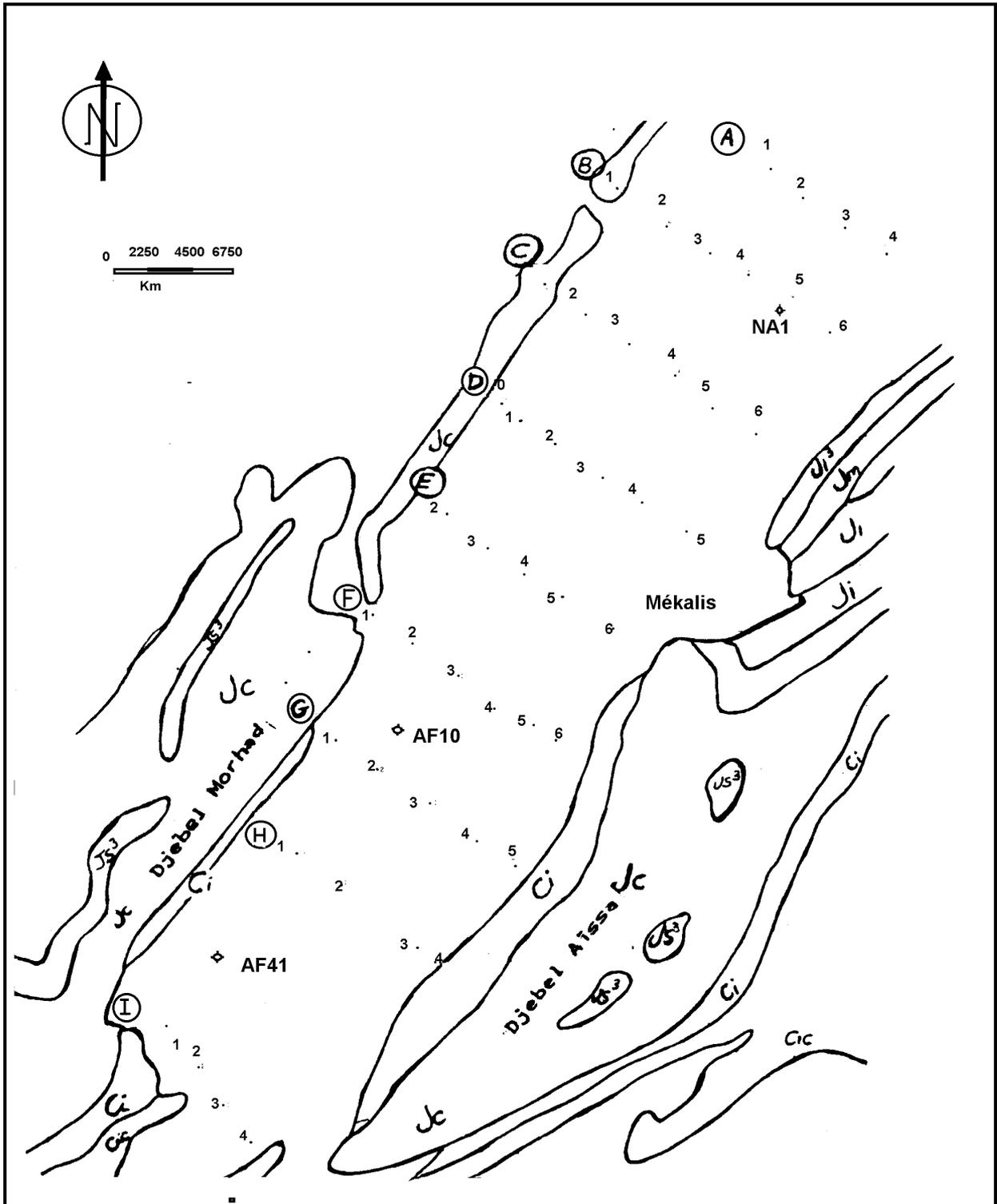


Fig. 130 - Carte de position des sondages électriques dans le synclinal de Naâma (CGG, 1974)

Sondage électrique - AF : Forage mécanique A : Numéro de la coupe Ci : Crétacé - J : Jurassique

* Coupes géoélectriques (fig. 131)

• Coupe A :

La coupe a mis en évidence une structure plissée en synclinal, recouverte en discordance par une formation sub horizontale. Le Jurassique supérieur est représenté par une formation résistante. Le Crétacé inférieur, moins résistant est caractérisé par une résistivité moyenne de 100 Ohm.m, compris entre 02 niveaux conducteurs dont les résistivités varient entre 15 et 25 Ohm.m pour le niveau supérieur et de 20 à 30 Ohm.m pour le niveau inférieur. Au centre du synclinal, le Jurassique supérieur est atteint à 800 mètres de profondeur.

• Coupe B

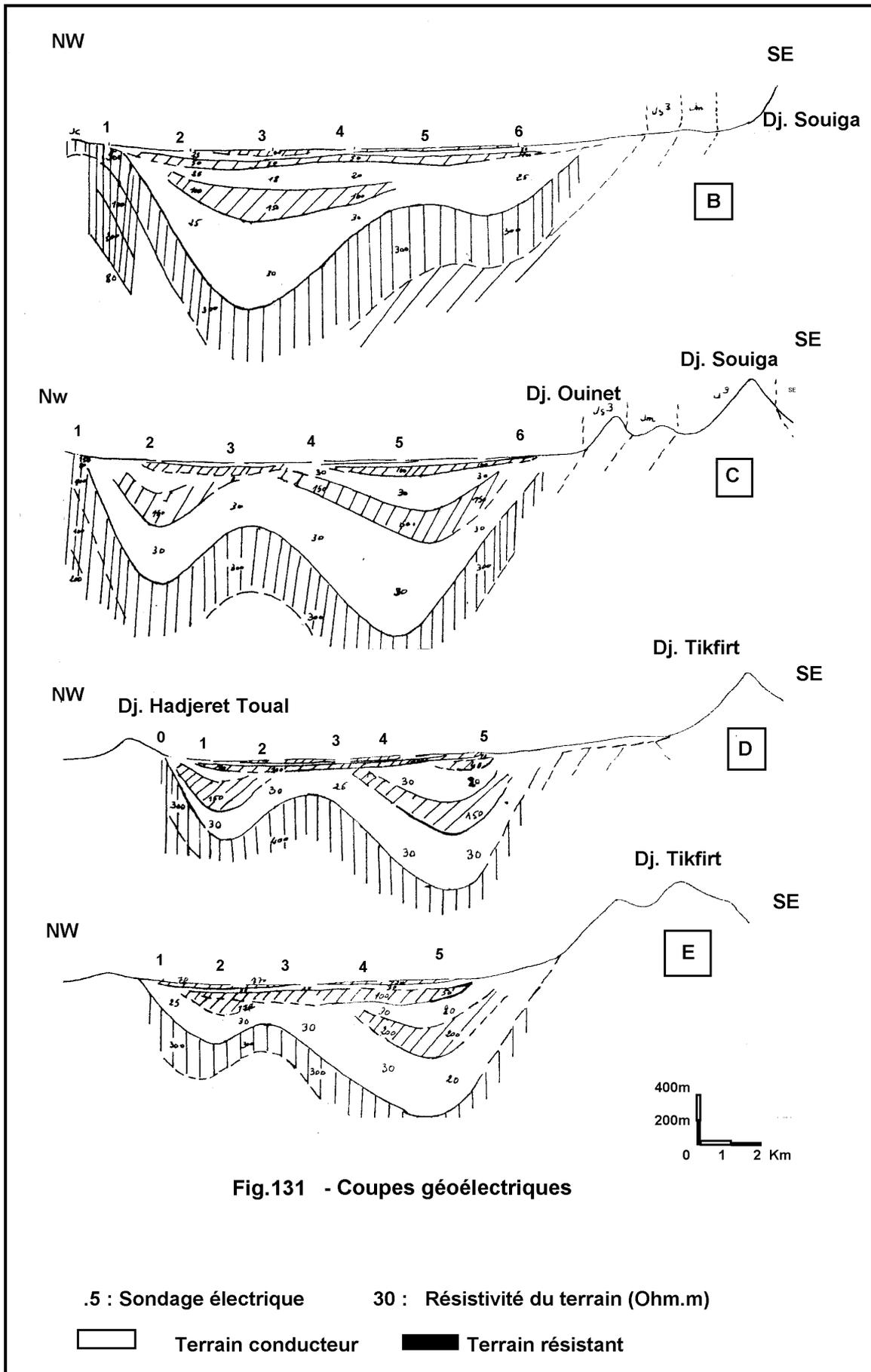
elle se distingue par une nette apparition d'un second fond synclinal, localisé entre SE₅ et SE₆. Le Jurassique atteint une résistivité de 500 Ohm.m au SE₁. Le Crétacé inférieur est formé d'un seul niveau résistant dont la résistivité est comprise entre 100 et 150 Ohm.m, séparant 02 niveaux conducteurs.

• Coupe C

Nettement structurée en 02 synclinaux séparés par un anticlinal que recouvre en discordance les formations superficielles.

• Coupes D et E

Il s'agit d'une structure plissée profonde. Le Jurassique est caractérisé par une résistivité de 300 Ohm.m. Le Crétacé d'une résistivité de 150 Ohm.m est compris entre 02 niveaux conducteurs de 20 à 30 Ohm.m, s'organisant sous forme de 02 synclinaux séparés par un haut fond anticlinal.



Coupes F et G :

La continuité des structures est toujours de mise. Le remplissage Miocène – Pliocène est plus épais avec notamment prédominance des argiles de recouvrement.

Coupes H et I :

La structure plissée est toujours présente, le recouvrement Miocène – Pliocène disparaît presque totalement à l’affleurement. Vers le Sud Est, le synclinal prend une extension plus importante.

* Cartes des résistivités apparentes AB = 4000 mètres

La carte permet de montrer un synclinal médian aigu, orienté parallèlement à la direction Atlasique, souligné par des noyaux de résistivités supérieures à 100 Ohm.m, particulièrement dans le secteur situé au Sud Ouest de Mékalis. L’influence du Trias se fait sentir par la disparition partielle de la plage résistante Crétacée.

- Comportement hydrogéologique des différentes formations

* Etude comparative

• Sondage étalon AF41 ($x = 183.7$; $y = 255.00$) :

La coupe géoélectrique I et le sondage AF41 (fig. 132) permettent de dresser un tableau comparatif des différentes formations, précisant leur comportement hydrogéologique (tableau n°37). Le forage étalon a rencontré les formations du Crétacé inférieur, en recoupant un faible recouvrement Miocène – Pliocène. Il confirme ainsi l’existence d’une structure plissée mise en évidence plus haut par la prospection électrique.

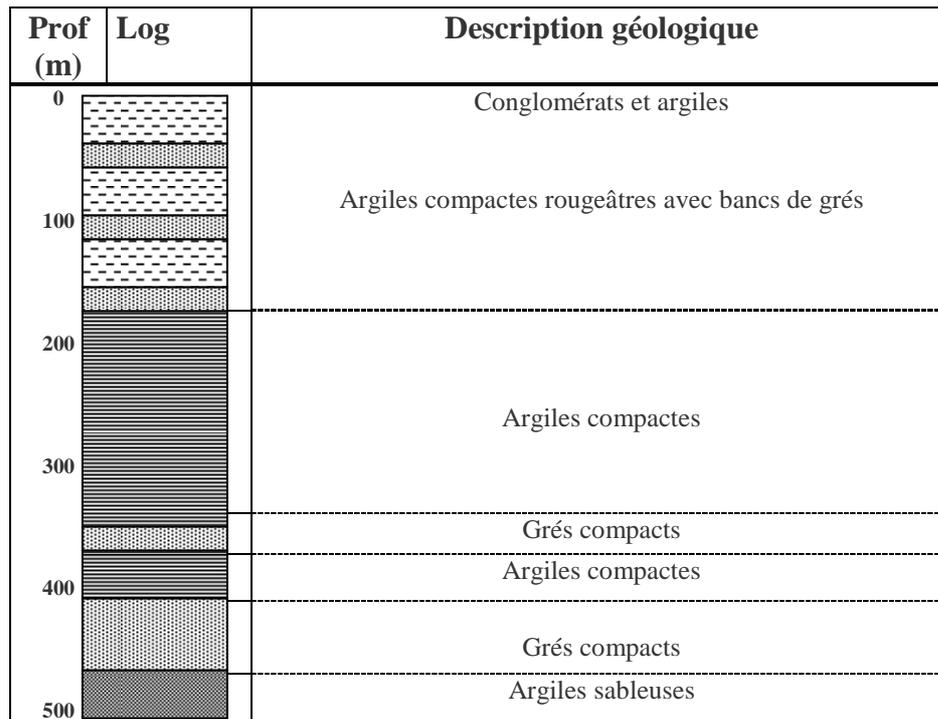


Fig. 132 – Coupe géologique du forage AF 41

La coupe du forage AF41 apporte des précisions sur la succession et l'épaisseur des différentes formations. Le Mio-Pliocène est moins épais mais très résistant. Le Crétacé inférieur comporte 03 horizons :

- Un horizon conducteur formé par des argiles compactes à passées gréseuses, épais de 230 mètres.
- Un horizon résistant formé par des grés compacts, épais de 50 mètres.
- Un horizon très conducteur argileux.

Le jurassique n'a pas été recoupé par le forage. Toutefois, l'investigation de son toit montre qu'il est représenté par une alternance de grés et d'argiles sableuses.

Ainsi l'aquifère, localisé par le forage dans les grés du Crétacé inférieur à une cote piézométrique, correspondrait à une nappe captive à semi captive.

Tableau 37 : Comportement hydrogéologique des différentes formations

Age	Coupe géoelectrique I			Coupe du forage AF ₄₁			Comportement hydrogéologique	Type de nappe
	Faciès	Epaisseurs	P (Ω.m)	Faciès	Epais	P (Ω.m)		
Miocène Pliocène	Conglomérats	14.5	300	Conglomérats Argiles	5	870	-----	Nappe libre
Crétacé inférieur	Argiles compactes	38	50.	Argiles Avec bancs de grés	60	83	Semi perméable	Nappe Semi libre
	grés	93	150	Argiles et grés	109	128	perméable	Nappe semi captive
	Argiles compactes	270	30	Argiles passées gréseuses	236	26	imperméable	-----
Jurassique supérieur	Grés compacts	310	300	Grés et Argiles sableuses	53	----- --	Perméable	Nappe semi captive à captive
				Argiles	37		-----	

• Puits étalon AF10 (Boughellaba) :

Situé dans la partie centrale de la dépression de Tirkount, l'ouvrage peu profond d'une vingtaine de mètres a recoupé uniquement la succession lithologique du Miocène-Pliocène. La coupe géoelectrique G et le log stratigraphique du puits AF10 permettent d'établir le tableau comparatif (tableau n° 38).

Tableau 38 : Comparaison coupe géoelectrique – Coupe du puits AF10

Age	Coupe géoelectrique C			Coupe du puits AF 10		
	Faciès	Epaisseur	ρ (Ohm/m)	Faciès	Epaisseur	ρ (ohm/m)
Miocène Pliocène	Conglomérats	5.5	250	Argiles Graviers	3.00	456
	Argiles	45	25	Alternances de grés et d'argiles	16.4	-----

La coupe fait ressortir un terrain résistant gréseux, renfermant une nappe superficielle, équilibrée à une côte piézométrique de 1217 mètres. Cet aquifère est recouvert par un niveau conducteur de faible épaisseur.

- Coupes hydrogéologiques schématiques (fig. 133)

L'interprétation des coupes géoélectriques, appuyée par la géologie de sub-surface nous a permis de dresser 02 coupes hydrogéologiques schématiques ; l'une entre le Djebel Morhad et Djebel Aïssa, l'autre entre Hadjeret Toual et Djebel Tifkirt.

La structure générale est celle d'un synclinal où le Mio-cène-Pliocène repose en discordance sur le Crétacé inférieur, particulièrement entre Hadjeret Touil et Tifkirt. Les changements de faciès très fréquents conditionnent l'hydrodynamique souterraine du synclinal de Naâma.

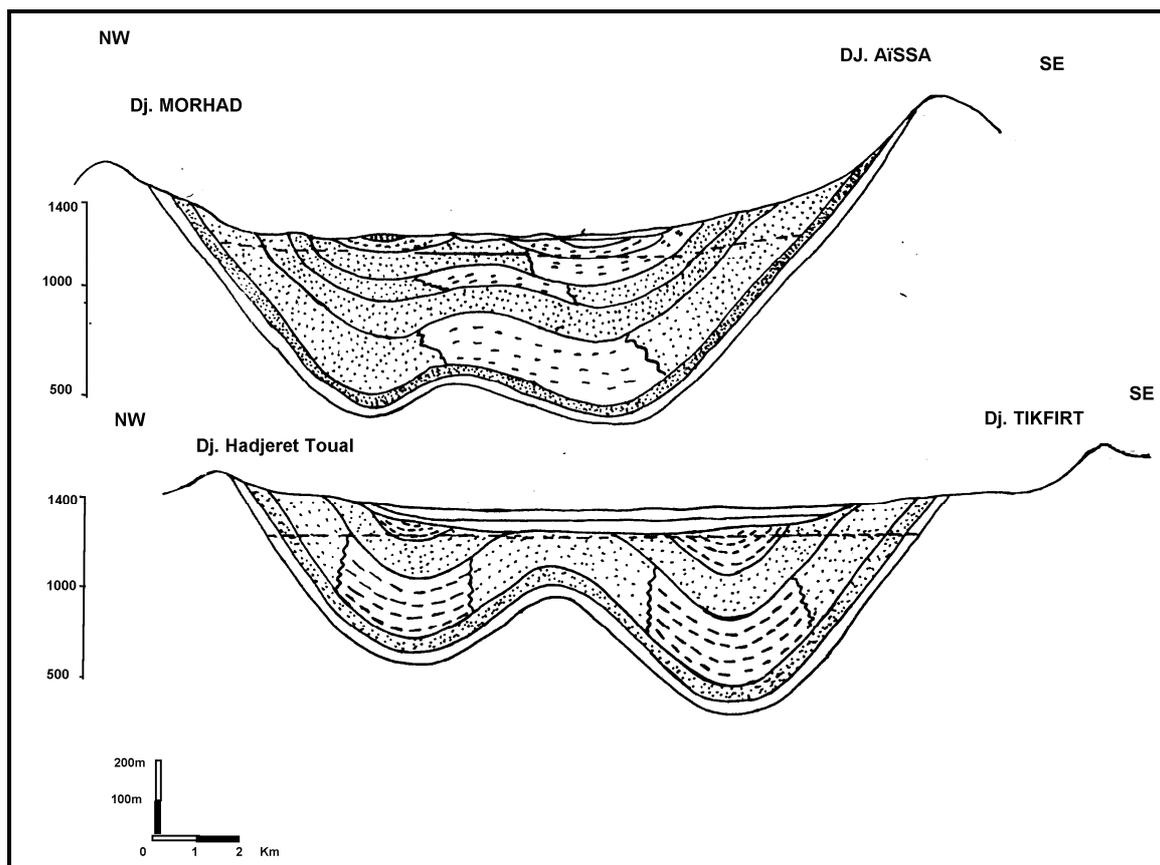


Fig. 133 – Coupes hydrogéologiques schématiques à travers le synclinal de Naâma

- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <p>□ Mio-Pliocène
(calcaire, conglomérats
et argiles)</p> | <p>▨ Crétacé inférieur
(Grés et argiles rouges)</p> | <p>▩ Jurassique supérieur
(Grés, argiles et
calcaires altérés)</p> | <p>-----
Niveau
piézométrique</p> |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|

2 – 2 – 3. Hydrodynamique

- Piézométrie (fig. 134)

Le synclinal de Naâma a fait l'objet d'un inventaire mené par l'équipe du bureau d'étude BNEDER (mai 1993), intéressant un certain nombre de puits témoins. Pour notre part, nous avons essayé de compléter le réseau existant dès avril 1994.

L'établissement de la carte piézométrique fait ressortir 05 unités hydrogéologiques dont les limites sont à rechercher à l'extérieur dans la coupure de Tirkount – Mékalis – Naâma.

Mis à part la grande ligne de partage des eaux souterraines identifiée entre Mékalis et Naâma, qui suppose la présence d'une structure tectonique cachée, on notera que le reste des lignes de partages des eaux s'apparentent aux crêtes des anticlinaux, ceinturant les cuvettes piézométriques.

- A l'Ouest, la cuvette piézométrique de Haoud Haïmeur dont la limite est à rechercher dans la carte de Dj. Arar.
- A l'Est, la cuvette piézométrique d'Asla dont la limite est à rechercher dans la carte de Chellala Dahrana.
- Au Nord, la cuvette piézométrique centrée autour de Sebkheth Naâma dont la limite est à rechercher dans la carte de Mecheria.
- Au Sud Ouest, la cuvette piézométrique de Tirkount -Mékalis dont la limite est à rechercher dans la carte de Aïn Séfra.
- Au Sud Est, la terminaison de l'unité hydrogéologique de Dalaât Tiout – Tiourtelt – Haoud El Botma – Asla dont la limite est à rechercher dans la carte d'Ain Séfra. suppose un soulèvement des formations Jurassiques et Crétacées, confirmé d'ailleurs

Notons que l'alimentation de la nappe superficielle est principalement alimentée à partir des formations Jurassiques et Crétacées des flancs Nord Ouest et Sud Est des Djebels Aïssa et Morhad.

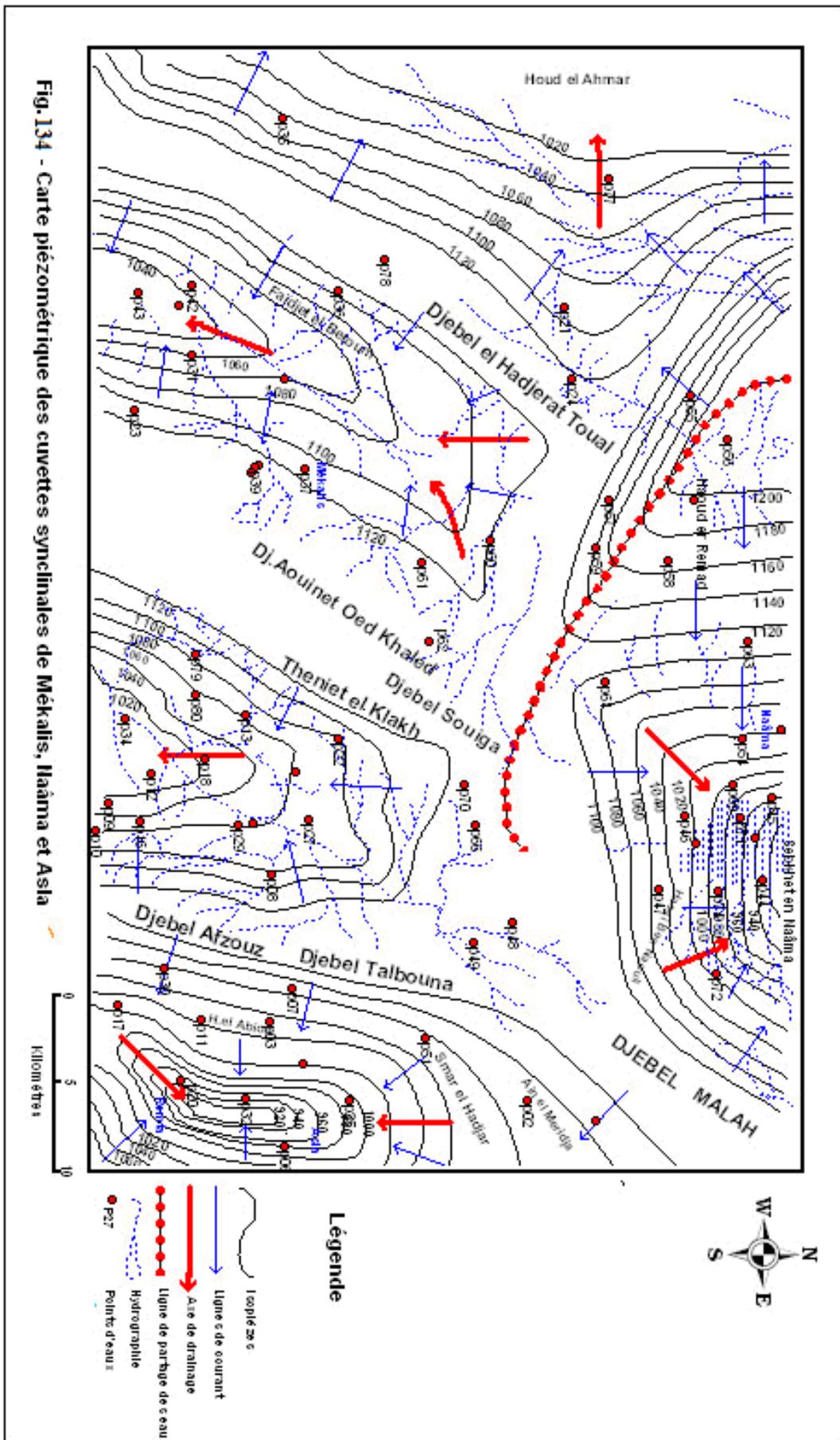


Fig.134 - Carte piézométrique des cuvettes synclinales de Mékalis, Haïma et Asla

- Pompages d'essai

* Forage AF41

L'essai a été réalisé par paliers enchaînés, on ne pourra de ce fait tracer une droite représentative sur tout l'essai. Pour cela, on a préconisé de choisir le premier palier d'une durée de 28 heures, correspondant à un débit de 2.5 l/s, suffisant pour l'interprétation de la courbe d'essai. L'essai total par paliers enchaînés a duré 51 heures et à chaque changement de débit, on observe une stabilisation. Le 6^{ème} et dernier essai a été réalisé à un débit de 9.5 l/s.

- descente : $T = 7.6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
- remontée : $T = 6.2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (fig. 135)

La remontée a été observée pendant une heure seulement, correspondante à un rabattement résiduel de 50 mètres.

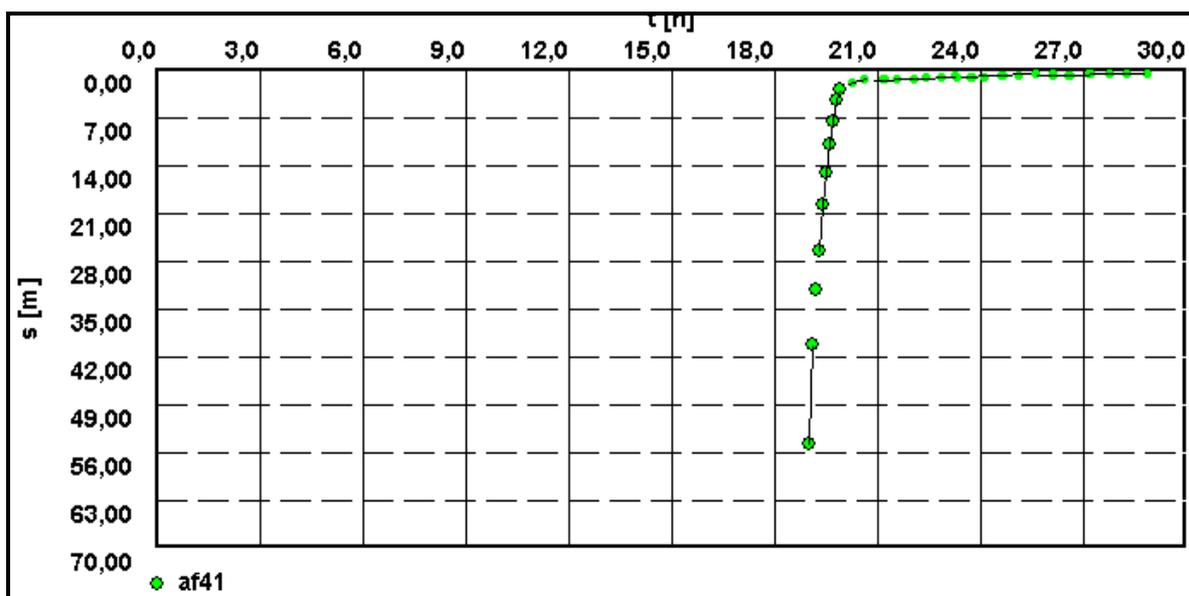


Fig. 135 – Courbe de remontée du forage AF 41

* Forage AF43

- descente : la transmissivité n'a pu être calculée en raison d'anomalies apparues dans les données de pompage. Nous avons donc considéré uniquement les données de la remontée.
- Remontée : $T = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

2 - 2 - 4. Hydrochimie

C'est au niveau de l'ANRH d'Oran qu'a été réalisé un complément d'analyses de 19 échantillons prélevés au niveau du synclinal de Naâma (tableau des analyses en annexe).

- Evolution des faciès chimiques : (fig. 136)

* Résidu sec

Les valeurs varient entre 478 et 3540 mg/l selon la direction des écoulements. Au niveau de la partie aval, on note une variation brutale en direction des puits AF41 et AF43, passant de 460 à 1648 mg/l. Cette anomalie est due à la proximité des affleurements Triasiques le long de l'accident Ras Touil. Une seconde anomalie est observée au niveau de la partie amont, au droit du puit NA07 avec une valeur de 3540 mg/l liée certainement à la présence de roches gypso-salines.

* Iso teneurs

Iso teneurs So_4^{2-} :

Les teneurs varient entre 34.7 mg/l (AF06) et 1200 mg/l (NA07). Au centre, la teneur diminue de la même façon que le résidu sec pour reprendre une croissance normale vers l'aval de la nappe.

Iso teneurs Cl⁻ :

Dans la partie centrale, l'augmentation se fait d'Est en Ouest. Dans la partie aval, elle se fait progressivement pour atteindre une teneur de 638 mg/l au droit du puits AF1

Iso teneurs Hco₃⁻ :

Les valeurs les plus faibles coïncident avec les plus fortes concentrations en sulfates, particulièrement au droit des points d'eau NA07, AF43 et AF41.

Iso teneurs Ca²⁺ et Mg²⁺ :

Les teneurs en calcium varient 48 et 587 mg/l alors que celles du magnésium varient entre 0.6 et 178 mg/l. L'augmentation des concentrations en calcium et magnésium se fait suivant le sens d'écoulement et suivant le sens des apports latéraux.

Iso teneurs Na⁺+K⁺ :

Les eaux sont moins chargées dans la partie centrale avec 37 mg/l au AF02 et 28 mg/l au AF04. Les courbes d'iso teneurs marquent les mêmes anomalies que celles des chlorures.

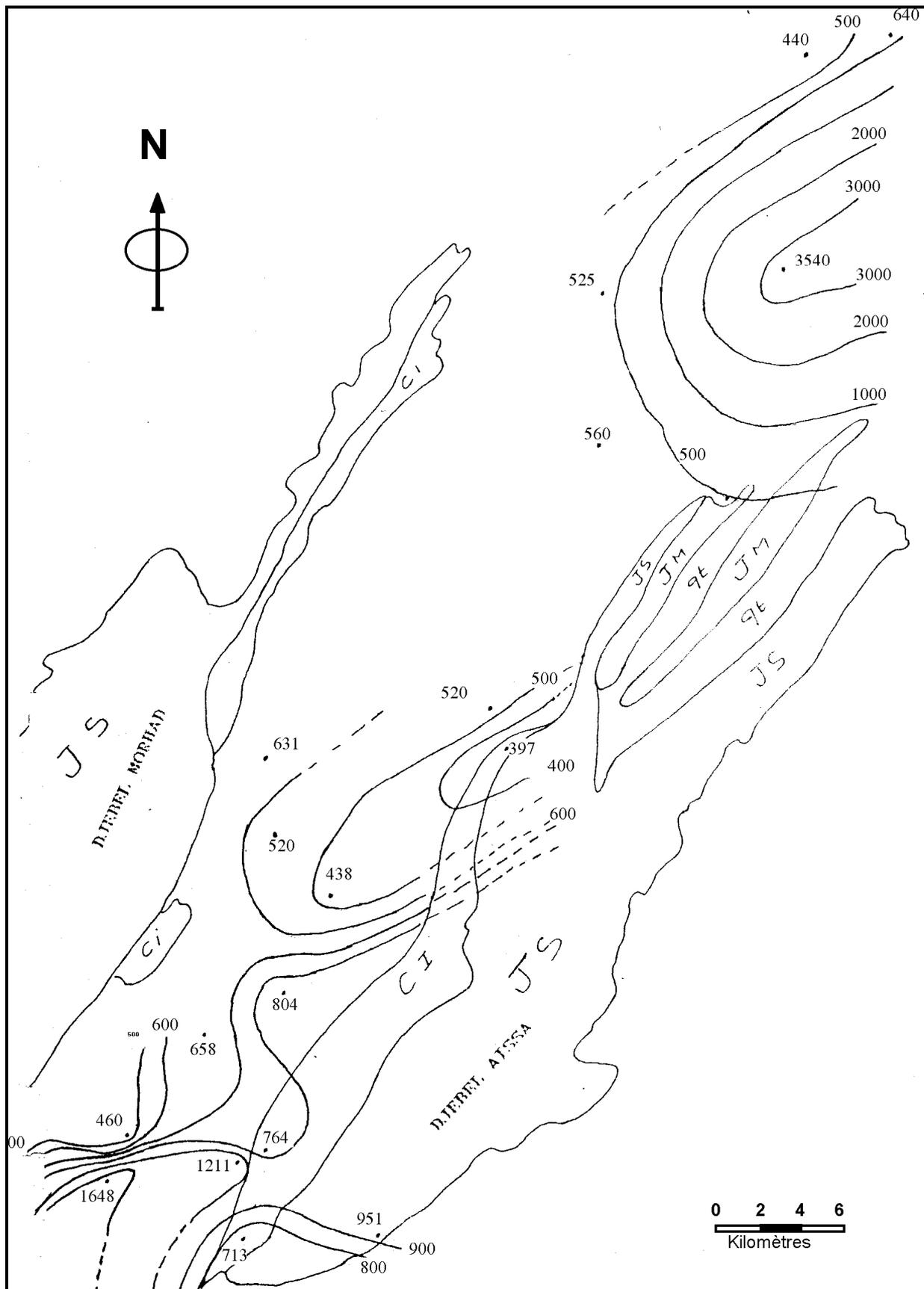
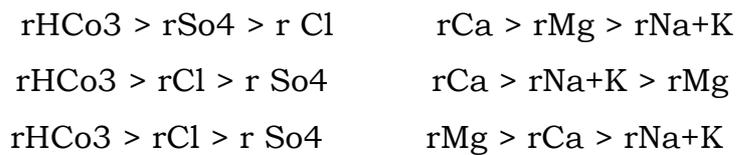


Fig. 136 – Carte d'isoteneur des résidus sec des eaux du synclinal de Naâma

- Représentation graphiques et faciès chimiques (fig. 137)

la représentation graphique des analyses chimiques à partir de Schoeller et Berkaloff nous a permis de distinguer 03 principaux faciès chimiques.

* Eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes : ce faciès représente la majorité des eaux de la région.



* Eaux chlorurées :

- Eaux chlorurées calciques : représentées par les points NA12 dans la partie centrale et AF17-AF43 dans la partie aval.



- Eaux chlorurées magnésiennes : représentées par les points AF16 et AF20, situés dans la partie aval.



* Eaux sulfatées :

- Eaux sulfatées calciques : représentées par les points AF02, AF10.



- Eaux sulfatées magnésiennes : représentées par le points NA04, situé en amont.



2 – 3. Synclinal d'Asla

2 – 3 – 1. Les aquifères du synclinal

- Grés du Barrémo-Albo-Aptien (Crétacé inférieur)

Le Crétacé inférieur est formé d'une masse gréseuse très épaisse attribuée au Barrémo-Albo-Aptien, représentant le faciès caractéristique du *Continental Intercalaire*. Il s'agit en général de grés massifs rouges à stratifications obliques, dont lesquels apparaissent des niveaux lenticulaires de dragées de quartz. Les coupes géoélectriques établies dans le périmètre d'Asla font ressortir que c'est dans les horizons gréseux du Barrémo-Albo-Aptien qu'on retrouve les plus importantes réserves en eaux souterraines. Les forages d'Asla à bon débit captent l'horizon Albien ; ceux à faible débit captent en général le Néocomien ou le Barrémien.

- Grés et calcaire du Jurassique supérieur

Les formations Jurassique sont essentiellement constituées de grés grossiers (250m), de grés blancs et argiles gréseuses (500 m), de grés et de calcaire (200 m). Le Jurassique peut constituer un aquifère multicouches. En raison de sa profondeur qui peut dépasser 500 m, les potentialités hydrogéologiques de cette formation sont mal connues sur le périmètre d'Asla (aucun forage ne capte cette formation). Cependant, la présence d'une fracturation très développée affectant les formations gréseuses et calcaires Jurassico-Crétacées laisse présager à une intercommunication ayant pour conséquence une relation hydrodynamique entre les 02 systèmes.

2 – 3 – 2. Géométrie des aquifères et comportement hydrogéologique des aquifères

- Prospection électrique

L'étude géophysique par prospection électrique réalisée par la C.G.G (1974) comporte 160 sondages électriques distants de 01 kilomètre, disposés le long de 07 profils de direction Nord Ouest – Sud Est (fig. 138).

Les mesures ont été effectuées sur une ligne d'émission AB = 400 mètres.

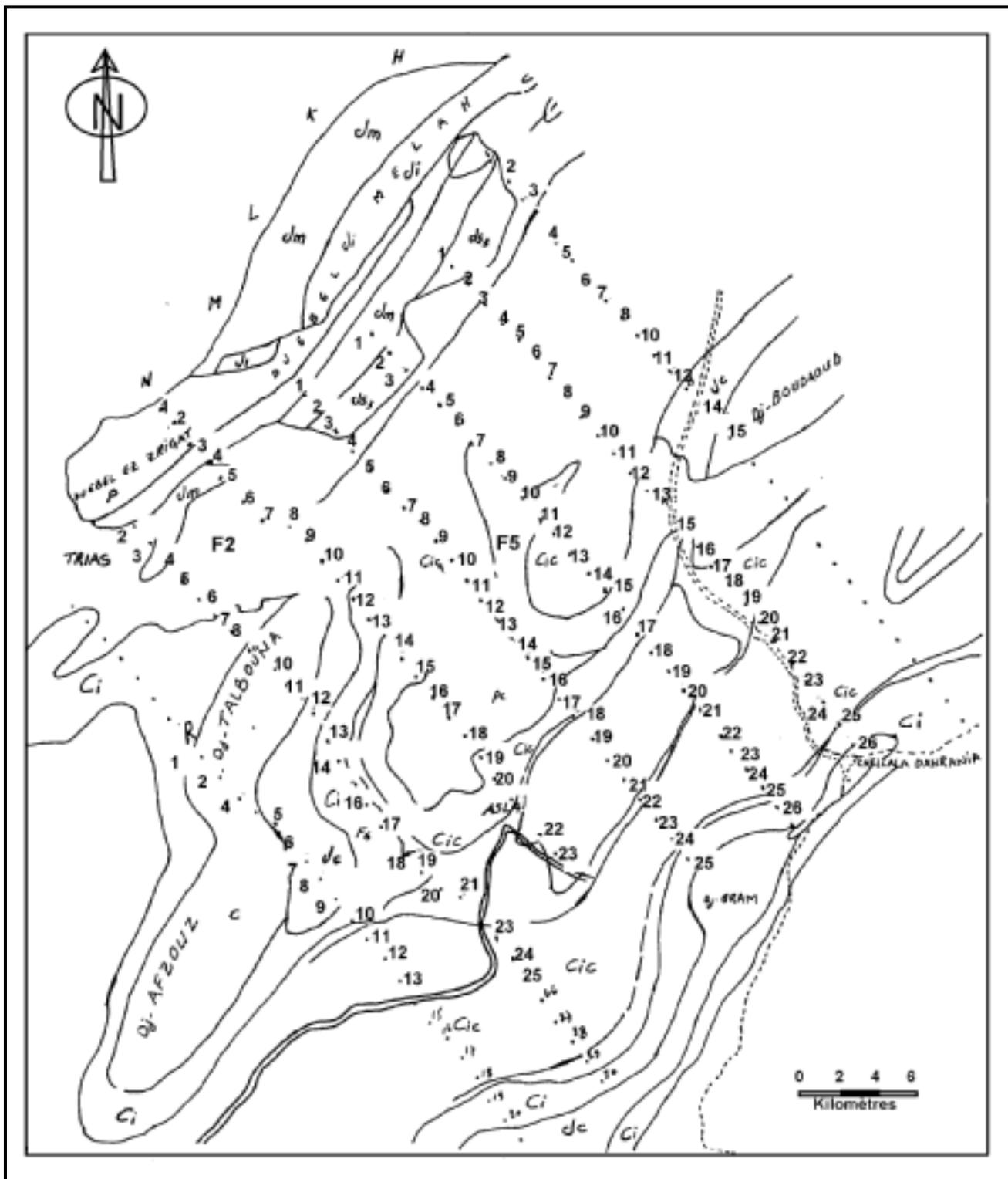


Fig. 138 – Carte de position des sondages électriques

28 : Sondage électrique – K : Numéro de la coupe - □ : Recouvrement Mio-Pliocène
 Cic : Crétacé inf cont - Ci : Crétacé inférieur (marnes, grés et calcaires) – Jc : Jurassique supérieur continental
 Js³ : Jura Sup (Portlandien) - Jm : Jurassique moyen (dolomies) – Ji³ : Jurassique inférieur

* Profils électriques (fig. 139)

- Coupes A et B (fig. 139 a) :

La coupe A montre une structure plissée qui recouvre en discordance une formation sub-horizontale. Le Jurassique supérieur argilo - gréseux se développe principalement sur les flancs de l'anticlinal du Djebel Mellah. Le Jurassique moyen constitue les massifs anticlinaux au Sud (Djebel Boudaoud). La coupe B fait ressortir un Crétacé inférieur dominant, formé par les grès séparés par des niveaux conducteurs de 15 à 35 Ω .m.

- Coupes C et D (fig. 139 a) :

Les coupes C et D présentent une structure scindée en 02 synclinaux séparés par un anticlinal, que recouvrent en discordance les formations superficielles. Le jurassique supérieur argilo-gréseux (100 à 400 Ω .m) est dominant dans la partie Nord Ouest de la coupe.

- Coupes E et F (fig. 139b) :

La coupe E met en relief une structure synclinale formée par le Jurassique supérieur argilo-gréseux épais. Le Crétacé inférieur (> 150 Ω .m) est formé par des grès dont lesquelles sont intercalés des niveaux conducteurs (15 à 20 Ω .m).

La coupe F met en évidence une structure plissée que recouvre en discordance une formation superficielle sub-horizontale.

- Coupe G (fig. 139 b) :

La structure plissée est toujours présente. Le Crétacé inférieur est constitué par 02 niveaux résistants épais séparés par 02 horizons conducteurs.

* Résistivités apparentes

Le synclinal d'Asla, constituant le système hydrogéologique, se dessine parfaitement. Le Djebel Boudaoud se manifeste par une remontée des formations très résistantes du Jurassique. L'allure synclinale au Sud de ce dernier est moins nette ; de même que l'anticlinal de Chellala qui lui fait suite.

Au droit des sondages électriques 11, 12 et 13, on voit apparaître l'avancée de la structure anticlinale du Djebel Talbouna. Plus au Sud du bassin, on assiste à la remontée des grès Albiens.

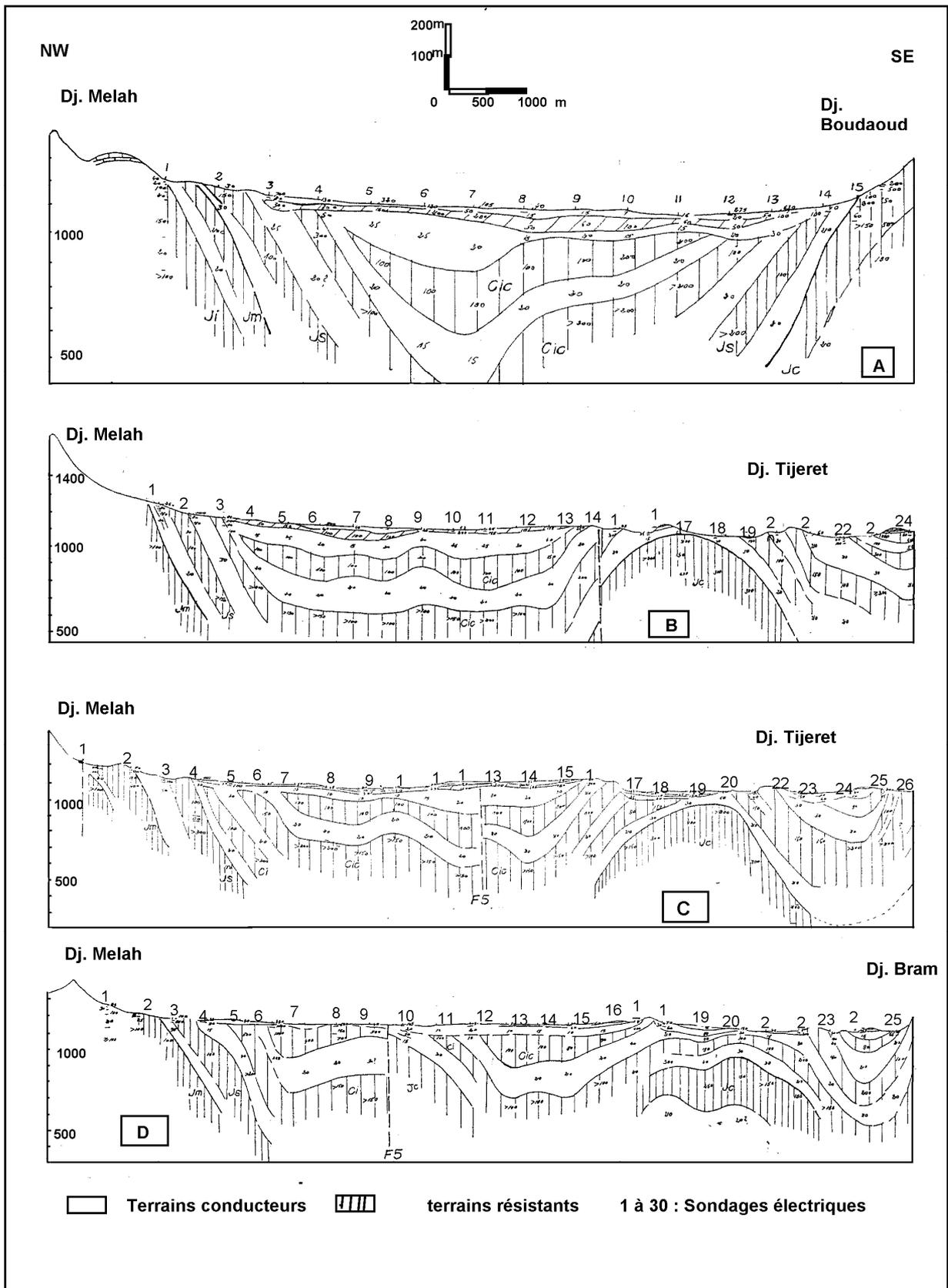


Fig. 139 a – Coupes géoélectriques (profils A, B, C et D)

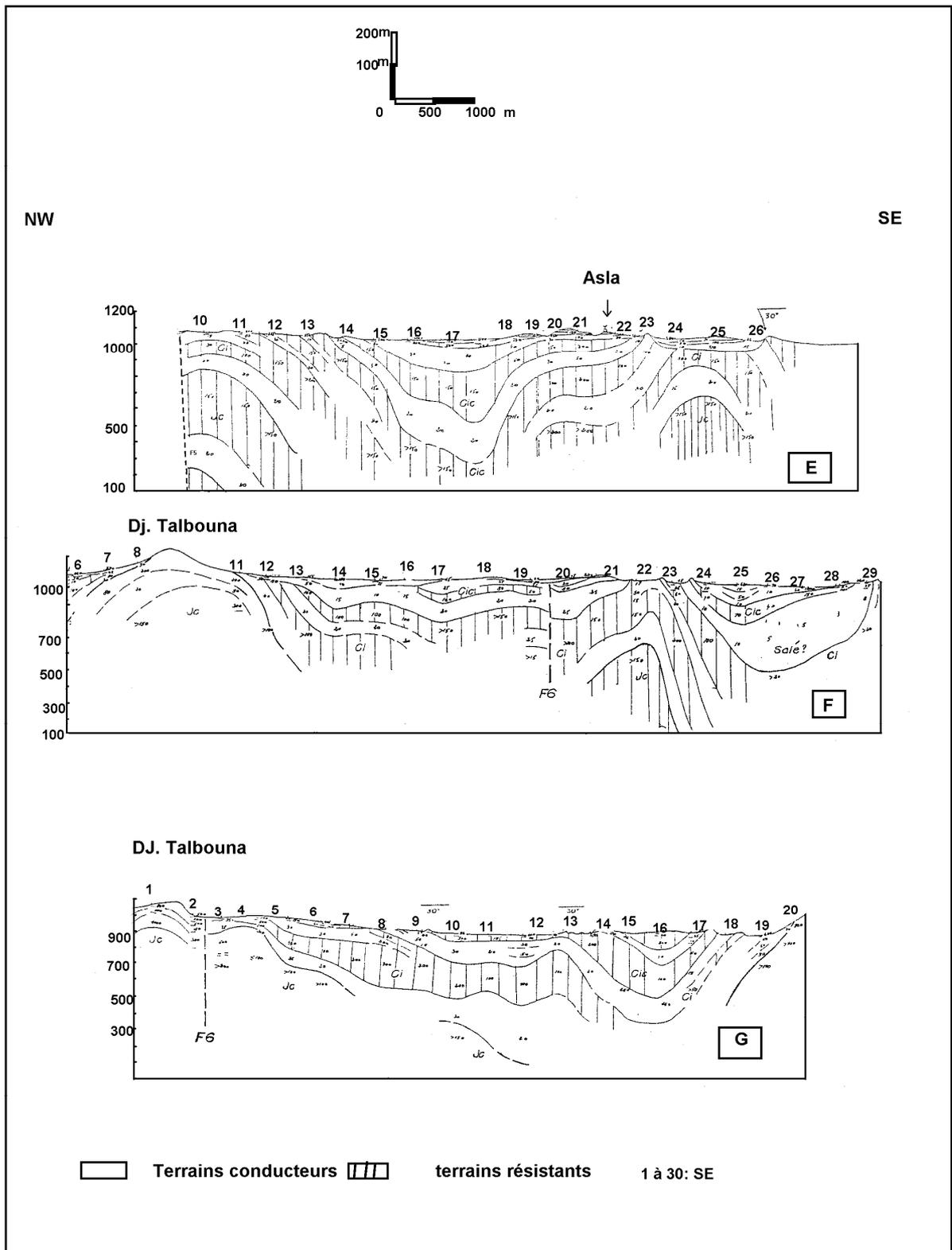


Fig. 139 b – Coupes géoélectriques (profils E, F et G)

* Esquisse structurale

Les grandes lignes structurales se dégagent nettement en accord avec la carte des résistivités apparentes et des coupes géoélectriques :

- Axe anticlinal du Djebel Mellah, lequel se décroche vers les affleurements de Delaâ Charef.
- Axe synclinal du bassin Crétacé, se décomposant en 02 axes secondaires, donnant naissance à l'anticlinal médian du Djebel Talbouna.
- Axe anticlinal du Djebel Boudaoud se prolongeant vers le Sud.
- Axe anticlinal Jurassique accompagné de percées Triasiques de Chellala Dahrania.

- Comportement hydrogéologique des formations du Crétacé inférieur

L'étude des terrains gréseux du Crétacé inférieur, réalisée à partir des données de forages du champ captant de Remta, associés aux sondages électriques a permis de faire ressortir 03 horizons, formant l'essentiel du système aquifère du Barrémo-Albo-Aptien.

Les résultats portés au tableau n° 39 permettent de caractériser le comportement hydrogéologique des différents horizons.

Tableau 39 : Comportement hydrogéologique des formations du Crétacé inférieur.

Lithologie	Epaisseur (m)	Résistivité (Ohm.m)	Comportement hydrogéologique	Type hydrodynamique
Niveaux marneux	0 à 7	10 à 20	Imperméable	Toit imperméable
Niveaux Gréseux à passées D'argiles	20 à 150	100 à 200	Perméable à semi perméable	Nappe captive à semi captive
Argiles rouges	10 à 20	> 100	Imperméable	Mur imperméable

- Mode d'alimentation des grés du Crétacé inférieur

A la lumière de l'interprétation des résultats de la prospection électrique (coupes géoélectriques), l'alimentation du synclinal d'Asla peut connaître 02 origines :

- Par ruissellement

Les crues de l'Oued Mellah qui permettent de suralimenter les formations du *Continental Intercalaire*.

- Par échanges verticaux et latéraux

Des échanges verticaux et latéraux entre le Jurassique supérieur (calcaires et grés) et le Crétacé inférieur (les grés Albiens de la formation de Tiout) peuvent avoir lieu. L'étude géologique de surface ainsi que l'interprétation de la prospection électrique permettent la considération d'une alimentation régie essentiellement par des apports verticaux au droit des failles. L'étude climatologique ne laisse que de faibles possibilités d'alimentation par les pluies locales ; il faut voir là, une alimentation du complexe gréseux Barrémo-Albo-Aptien par les calcaires et les grés du Jurassique.

2 – 3 – 3. Hydrodynamique

- Piézométrie (fig. 134)

Une partie du synclinal d'Asla a fait l'objet d'un premier inventaire par le bureau d'étude national (BNEDER, mai 1993). Depuis cette période, certains puits taris ou colmatés ont été abandonnés alors que d'autres, nouveaux ont été réalisés. Pour notre part, nous avons complété le réseau de points d'eau (décembre 1995).

L'établissement de la carte piézométrique a mis en évidence une cuvette piézométrique, centrée vers le champ de captage de Remta (carte de Mékalis). Cette unité hydrogéologique constitue la terminaison occidentale du bassin hydrogéologique englobant les unités de Dalaât Tiout à l'Est et celui de Haoud El Botma au centre (carte de Aïn Séfra).

L'unité de Haoud El Botma, en forme de couloir permet le passage des eaux souterraines de Aïn Séfra vers Asla (fig. 134).

En plus des apports souterrains, l'alimentation de l'unité hydrogéologique de Asla se fait à la faveur des anticlinaux qui ceinturent la dépression (Djebels Talbouna et Afzouz à l'Ouest, Djebel Melah au Nord Ouest et Djebel Bram au Sud Est).

- Les pompages d'essai

- Remta 04 (fig. 140 a): $Q = 8 \text{ l/s}$ $T = 3.6.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ $S = 3.06.10^{-7}$

A proximité du forage, un puits a été testé et pris comme piézomètre, ce qui nous a permis de calculer un coefficient de l'ordre de 10^{-7} , traduisant la présence des fréquentes intercalations argileuses dans les grés aquifères.

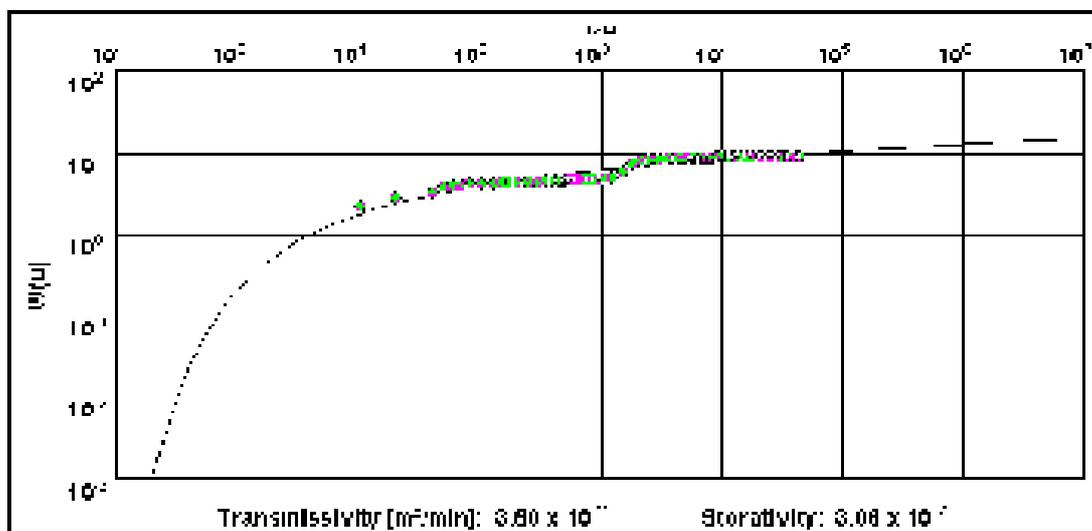


Fig. 140 a – Courbe de remontée du forage Remta 04

- Remta 07 (fig. 140 b) : $T = 3.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

La descente ($Q = 20 \text{ l/s}$) a été observée durant 50 heures de pompage pour un rabattement de 3 mètres. La stabilisation quasi instantanée dénote la très bonne alimentation de l'aquifère.

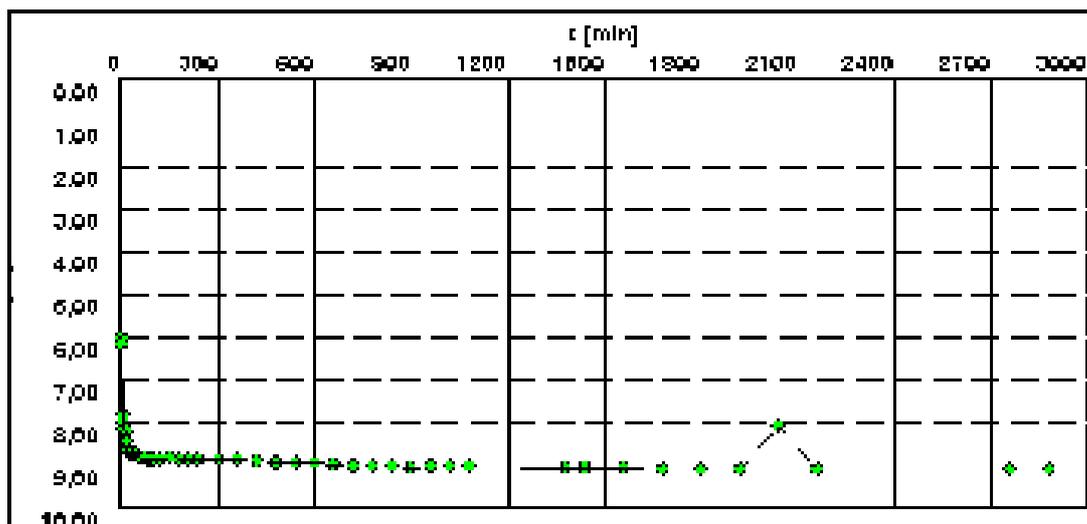


Fig. 140 b – Courbe de descente du forage Remta 07

2 – 3 – 4. Hydrochimie

L'échantillonnage a été réalisé durant la campagne piézométrique. Les analyses au nombre 24, issues du complexe Barrémo-Albo-Aptien se répartissent en 14 puits, 06 forages et 04 sources.

- Evolution des faciès chimiques

* Minéralisation (fig. 141)

La minéralisation varie entre 496 mg/l et 4154 mg/l. Il y a lieu de distinguer sur la carte de minéralisation 02 remarques importantes liées au contexte structural :

- Au centre du synclinal

Une teneur maximale (4154 mg/l) traduite par un cône de minéralisation, lié certainement à la remontée du Trias, provoquant la remontée des formations gréseuses.

- Vers le Sud Est du synclinal

Un couloir de faible minéralisation orienté Nord Ouest – Sud Est, aux environs du champ captant de Remta. La cause de cette dilution peut être expliquée par le faite de la présence de failles, qui permettent de drainer les

profondes du Jurassique vers celles du complexe Barrémo-Albo-Aptien. Cette suralimentation expliquerait les faibles valeurs de la minéralisation.

* Isoteneurs des éléments majeurs

- Isoteneurs Cl⁻, So₄²⁻ et Na⁺

Les cartes d'isoteneurs des chlorures, des sulfates et du sodium présentent de grandes similitudes avec celle de la minéralisation, impliquant ainsi la prédominance de ces éléments sur la teneur totale en sels dissous. A titre d'exemple, la carte d'isoteneurs des sulfates (fig. 142) peut facilement être calquée sur celle de la minéralisation ou de chlorures, dénotant ainsi l'influence du Trias.

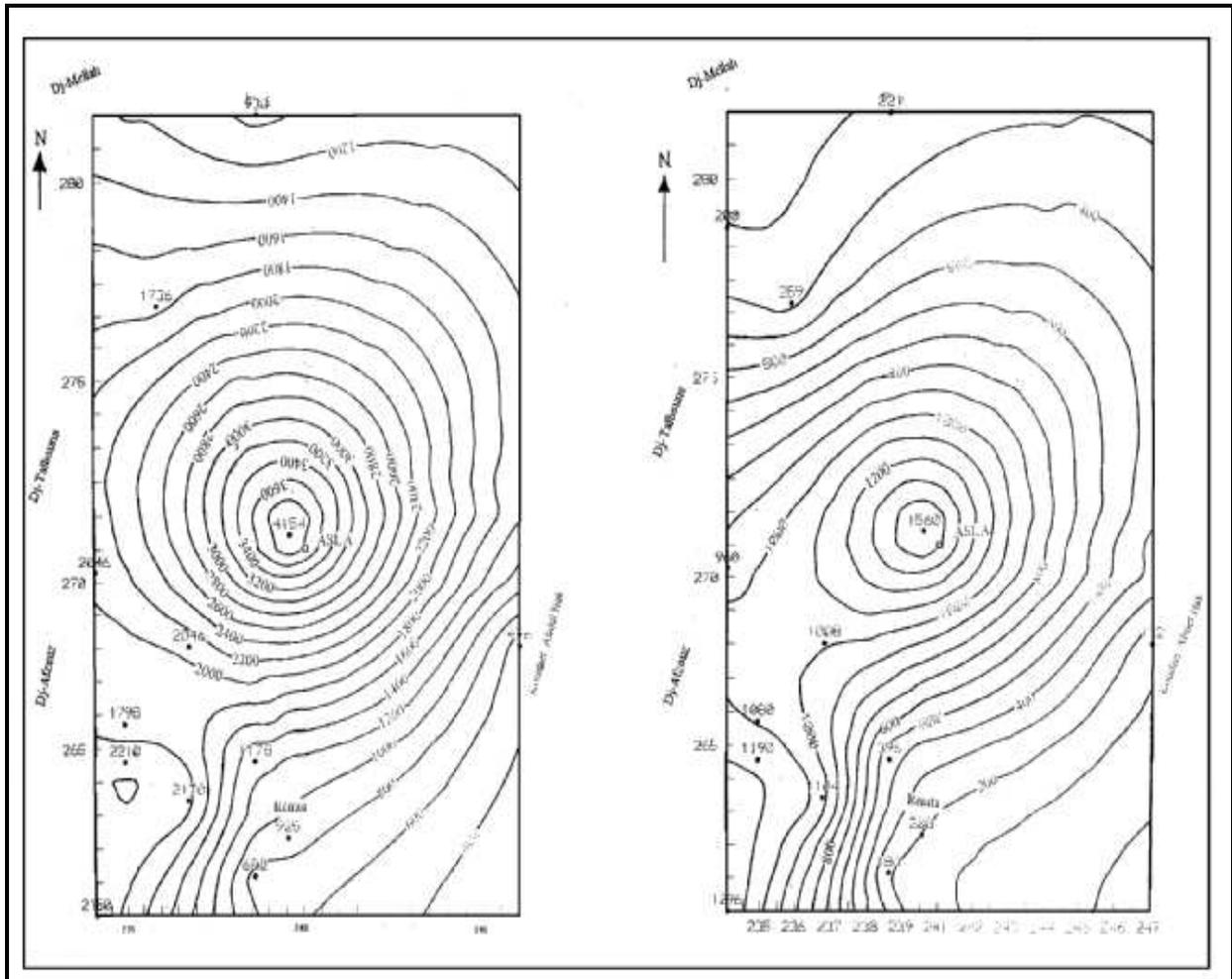


Fig. 141 – Carte d'isoteneur de la minéralisation

Fig. 142 – Carte d'isoteneur des sulfates

- Isoteneurs HCO_3^-

Seule la carte des bicarbonates est différentes du reste des cartes. On peut remarquer la forte concentration au niveau de la région de Remta, renforçant l'hypothèse d'une suralimentation des grès Barrémo-Albo-Aptien par les calcaires et grès du Jurassique sous-jacent.

- Représentation graphiques et faciès chimiques (fig. 143)

On distinguera 03 grandes catégories de faciès chimiques relatifs aux eaux sulfatées, eaux chlorurées et eaux bicarbonatées.

* Eaux sulfatées

- Eaux sulfatées calciques

$$rSo_4 > rCl > rHCo_3$$

$$rCa > rMg > rNa+K$$

$$rSo_4 > rCl > rHCo_3$$

$$rCa > rNa+K > rMg$$

- Eaux sulfatées sodiques

$$rSo_4 > rCl > rHCo_3$$

$$rNa+K > rMg > rCa$$

- Eaux sulfatées magnésiennes

$$rSo_4 > rCl > rHCo_3$$

$$rNa+K > rMg > rCa$$

* Eaux chlorurées

- Eaux chlorurées sodiques

$$rCl > rHCo_3 > rSo_4$$

$$rNa+K > rMg > rCa$$

$$rCl > rSo_4 > rHCo_3$$

$$rNa+K > rMg > rCa$$

- Eaux chlorurées calciques

$$rCl > rHCo_3 > rSo_4$$

$$rCa > rNa+K > rMg$$

* Eaux bicarbonatées

- Eaux bicarbonatées calciques

$$rHCo_3 > rSo_4 > rCl$$

$$rCa > rNa+K > rMg$$

- Eaux bicarbonatées calciques

$$rHCo_3 > rSo_4 > rCl$$

$$rNa+K > rMg > rCa$$

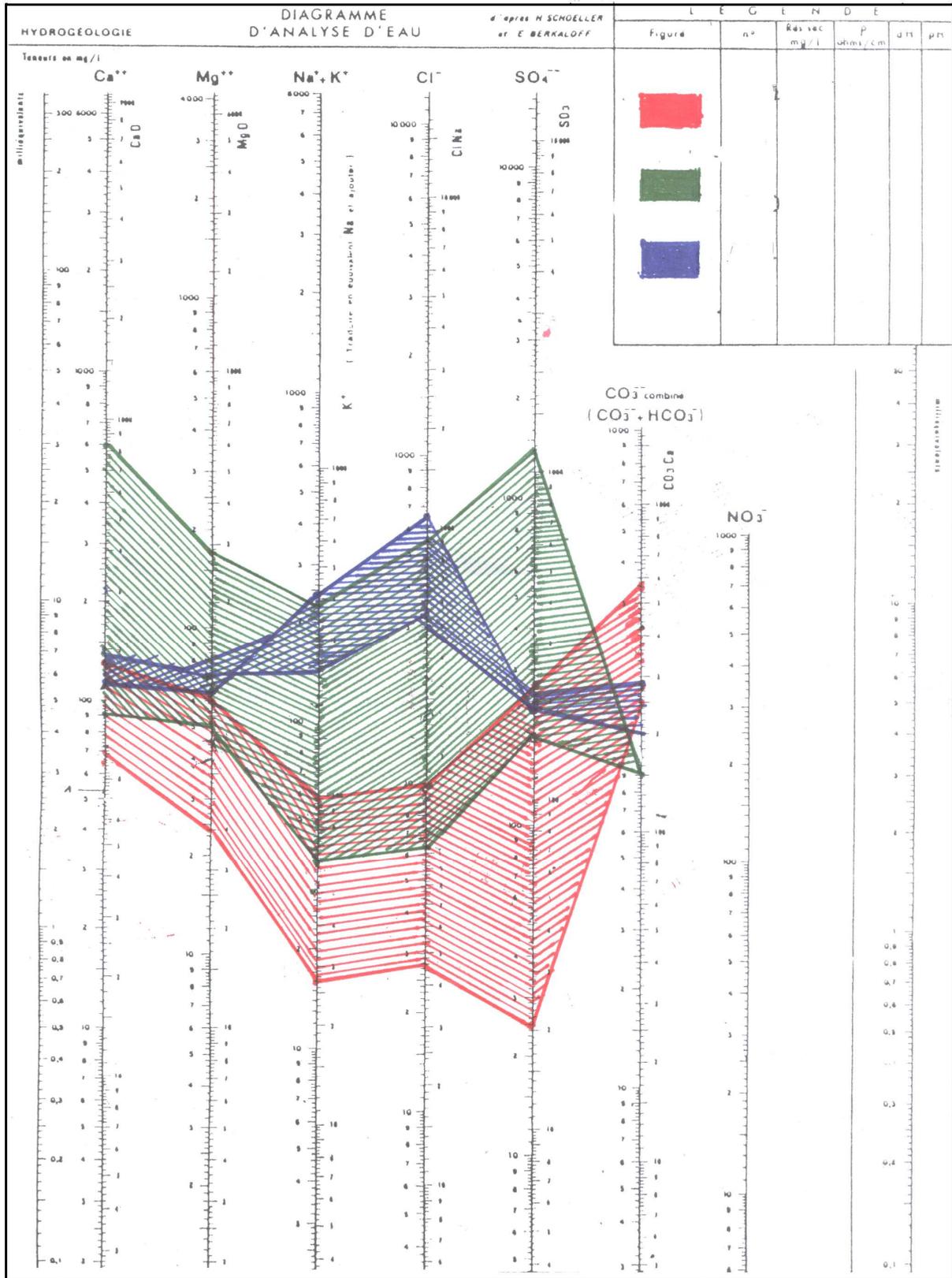


Fig. 143 – Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal de Asla

Faciès bicarbonaté calcique

 Faciès Sulfaté calcique

 Faciès chloruré sodique

3 – Synclinaux de la partie orientale des Monts de Ksour

3 – 1. Synclinal d’El Abiodh Sidi Cheikh

3 – 1 – 1. Les unités aquifères

- Aquifère superficiel

Formé essentiellement par des formations sableuses du Quaternaire, déposées dans les lits d’oueds ou dans les recouvrements d’alluvions anciennes. Les affleurements très réduits ne peuvent constituer une réserve importante. Les besoins domestiques et agricoles de la région se limitent actuellement à l’exploitation de cette nappe par un grand nombre de puits peu profonds (3 à 20 mètres), très sensibles aux variations saisonnières.

- Aquifère du *Continental Terminal*

Le recouvrement du *Continental Terminal* peut atteindre une épaisseur de 300m, recoupé par le forage F1. Il représente plusieurs niveaux très hétérogènes, caractérisé à la base par un niveau grossier de calcaires et de concrétions calcaire-gréseuses, séparés par un niveau marneux. Ce niveau grossier est surmonté par 02 horizons aquifères :

- Horizon aquifère inférieur : grés, calcaires et sables fins.
- Horizon aquifère supérieur : grés à intercalations de calcaires, surmontés par des argiles sableuses et des marnes.

Les forages F8 et F9, exploités actuellement captent 02 horizons avec respectivement des débits de 15 l/s et 10 l/s (fig. 144).

Forage El Abiodh S/C F8			Forage El Abiodh S/C F9		
Côte	Coupe	géologie	Côte	Coupe	Géologie
0		Marnes jaunâtres	0		Calcaires blancs à débris d'évaporites
20		Conglomérats à éléments quartzeux et calcaire à ciment siliceux	20		Marnes sableuses rougeâtres
40		Grés rouge à éléments quartzeux et dragées de quartz	40		Marnes brunes à blanchâtres
60		Grés blanchâtres à granulométrie moyenne et grossière avec des bancs de calcaire	60		Sables rougeâtres très fins avec des galets de calcaires
80		Grés rouges à dragées de quartz	80		Marnes sableuses avec des galets calcaires
100		Sables fins	100		Calcaires blancs laiteux Avec quelques bancs marneux
120		Grés rouges et boues d'argiles	120		<i>Fin de reconnaissance</i>
140		Sables fins			
		<i>Fin de reconnaissance</i>			

Fig. 144 – Forages en cours d'exploitation captant 02 aquifères gréseux superposés

- Aquifère du Turonien

Cet aquifère est alimenté directement par les précipitations à partir d'affleurements d'altitude élevée. Formé par des calcaires fissurés (photo 12), ils plongent de part et d'autre du synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh avec un pendage faible (7 à 15°) au Nord et plus ou moins fort au Sud (40°).



Photo 12 : Aquifère des calcaires Turonien fissurés en position de synclinal perché

Les données de forages F1, F2, F3, F4 et F6 (tableau n° 40) ont permis de recouper cette formation, caractérisée par un débit faible et une forte minéralisation.

- Aquifère du *Continental Intercalaire*

Il s'agit d'un aquifère multicouches formé essentiellement par des niveaux gréseux, séparés le plus souvent d'intercalations d'argiles rougeâtres. L'épaisseur de cette formation dépasse 1500 mètres dans la région d'El Abiodh Sidi Cheikh. Ce qui a rendu très difficile l'exploitation de cette ressource. Des forages très profonds ont été réalisés dans les grès Albiens entre 860 et 1350 mètres et se sont avérés décevants, particulièrement, en raison selon nous par le mauvais choix du site d'implantation. La géophysique par la suite, confirmera cette remarque.

Les photographies 13 et 14 permettent d'illustrer deux types de structures au sein des affleurements du *Continental Intercalaire* (structures obliques et moutonnée).



Photo 13 : Grés fissurés et stratifications obliques

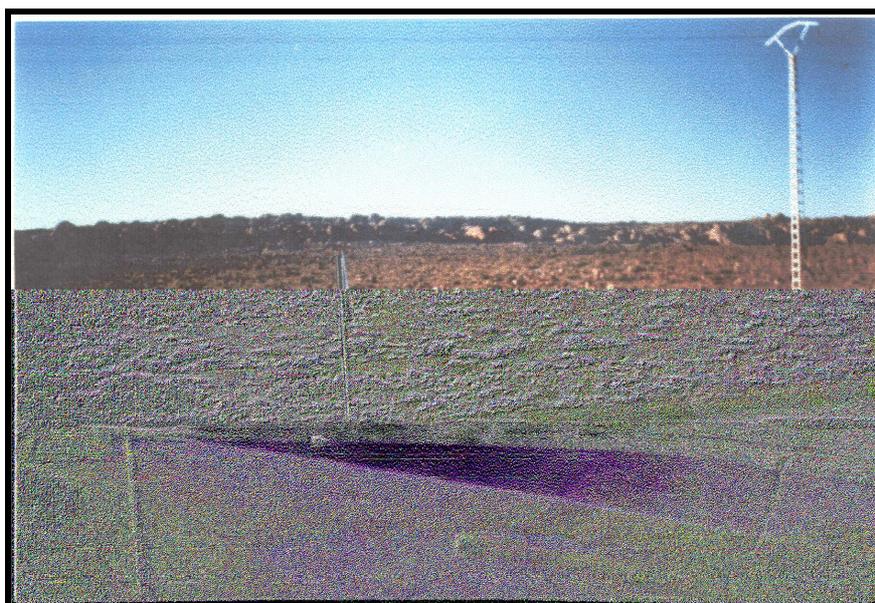


Photo 14 : Grés disposés en structure moutonnée

Les différents ouvrages réalisés au niveau du synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh, recoupant les unités aquifères sont résumés tableau n° 40:

Tableau 40 : Les ouvrages hydrauliques réalisés dans le synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh

Forage	Année	Coordonnées	profondeur	Nappe captée	Observations
F1	1961	x = 298.92 y = 256.70	383.6 m	Calcaires Turoniens	Forte minéralisation
F2	1962	x = 300.90 y = 247.70	85.45 m	Tertiaire continental	Pas d'observation
F3	1972	x = 294.90 y = 256.90	860 m	Grés Albiens	Résultat négatif
F4	1980	x = 295.80 y = 258.80	400 m	Calcaires Turoniens	Forte minéralisation
F5	1981	x = 295.55 y = 257.15	950 m	Grés Albiens	Abandonné (chute d'outil)
F6	1987	x = 295.30 y = 257.35	1352 m	Grés Albiens	Résultat négatif
F7	1988	x = 300.80 y = 258.20	140 m	Tertiaire continental	Déclassé (éboulement)
F8	1990	x = 301.90 y = 260.10	140 m	Tertiaire continental	15 l/s
F9	1992	x = 301.10 y = 258.90	110 m	Tertiaire continental	10 l/s

3 – 1 – 2. Géométrie et mode d'alimentation des aquifères

Le *Continental Intercalaire* existe dans presque la totalité de l'aire définie par le synclinal d'El Abiodh S/C, soit en affleurement soit recouvert par le Cénomano-Turonien ou par les atterrissements Tertiaires et Quaternaires. Cette formation constitue une zone de transition d'une portion de l'immense appareil hydraulique du *Continental Intercalaire* entre les contreforts de l'Atlas et la plate forme Saharienne.

- Prospection géophysique

L'étude a été réalisée par la société STROJEXPOR (1972) puis complétée en 1974 par la compagnie générale de géophysique (C.G.G), couvrant 635 km². Un ensemble de 12 profils de sondages électriques a été exécuté. Les sondages électriques se répartissent comme suit :

Longueur de ligne AB	Sondages électriques SE
1000	56
2000	01
3000	28
4000	01
6000	09

* Carte de résistivité apparente en AB = 1000 m

La carte établie par la C.G.G (fig. 145) ne reconnaît les calcaires Turoniens qu'aux extrémités Nord et Sud du synclinal. Au centre du Synclinal, ce sont principalement les formations du recouvrement (continental terminal) et du remplissage (Quaternaire) qui sont présentes avec de grandes épaisseurs. La carte met en évidence une plage très résistante, située au Nord d'El Abiodh S/C et une plage très conductrice dans l'axe du synclinal.

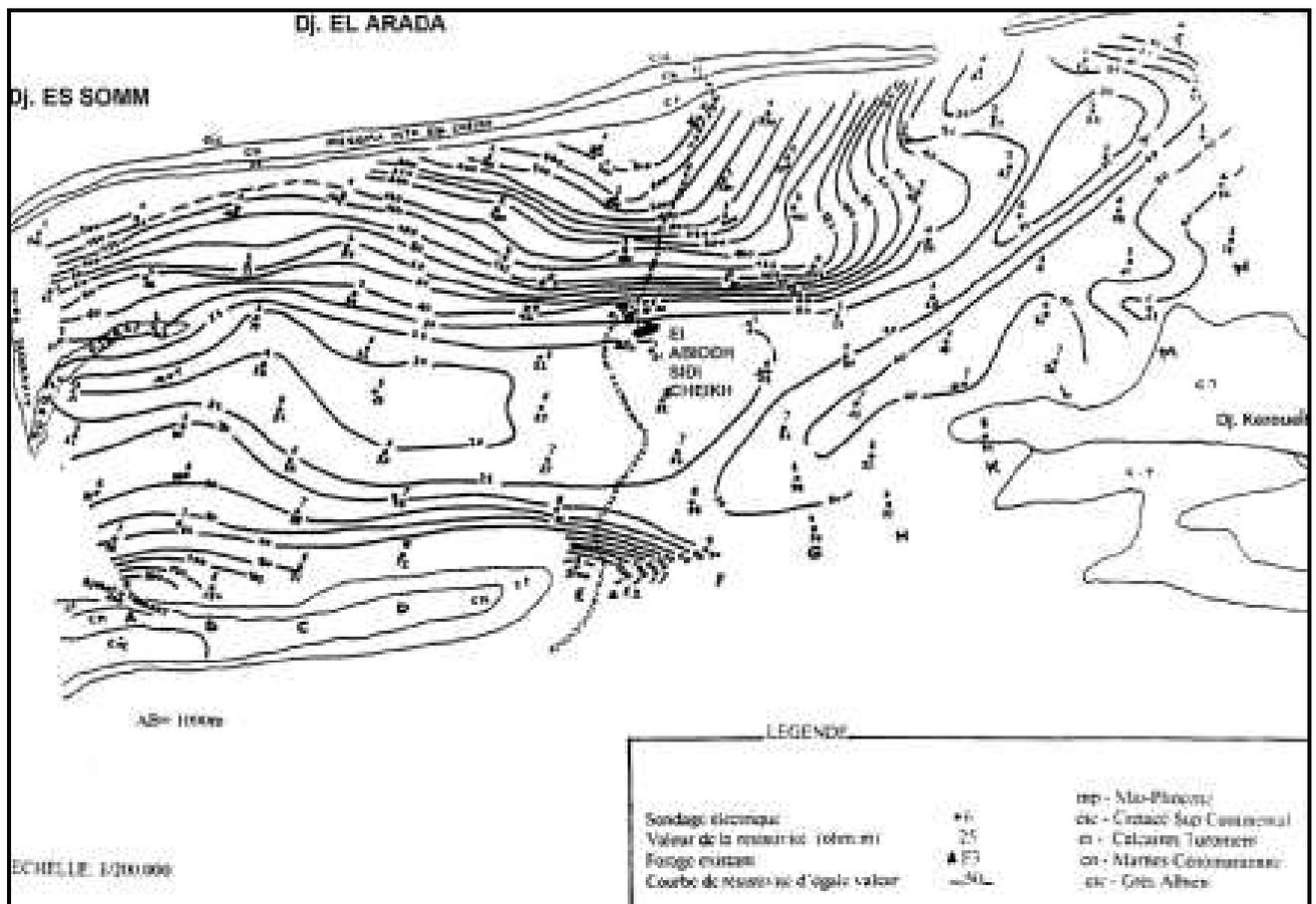


Fig. 145 – Carte des résistivités transversales du synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh (CGG, 1974)

* Coupes géoélectriques :

Au nord de la faille F1

- Une couche superficielle conductrice peu épaisse (10 à 30 $\Omega.m$) qui apparaît dans la plupart des profils.
- Un horizon très résistant (50 à 1000 $\Omega.m$), d'une épaisseur de 300 mètres. Il prend de l'importance au Nord des profils A, B, D, F, G, H.
- Un horizon résistant (40 à 100 $\Omega.m$), épais de 80 à 200 mètres. Il est généralement interrompu soit par faille soit par changement latéral de faciès.
- Un horizon très conducteur (10 à 20 $\Omega.m$), épais de 300 mètres au droit de la faille F1.
- Un horizon résistant (> 100 $\Omega.m$), par endroit très résistant (500 à 1000 $\Omega.m$) dont seulement le toit a été touché par la prospection électrique.

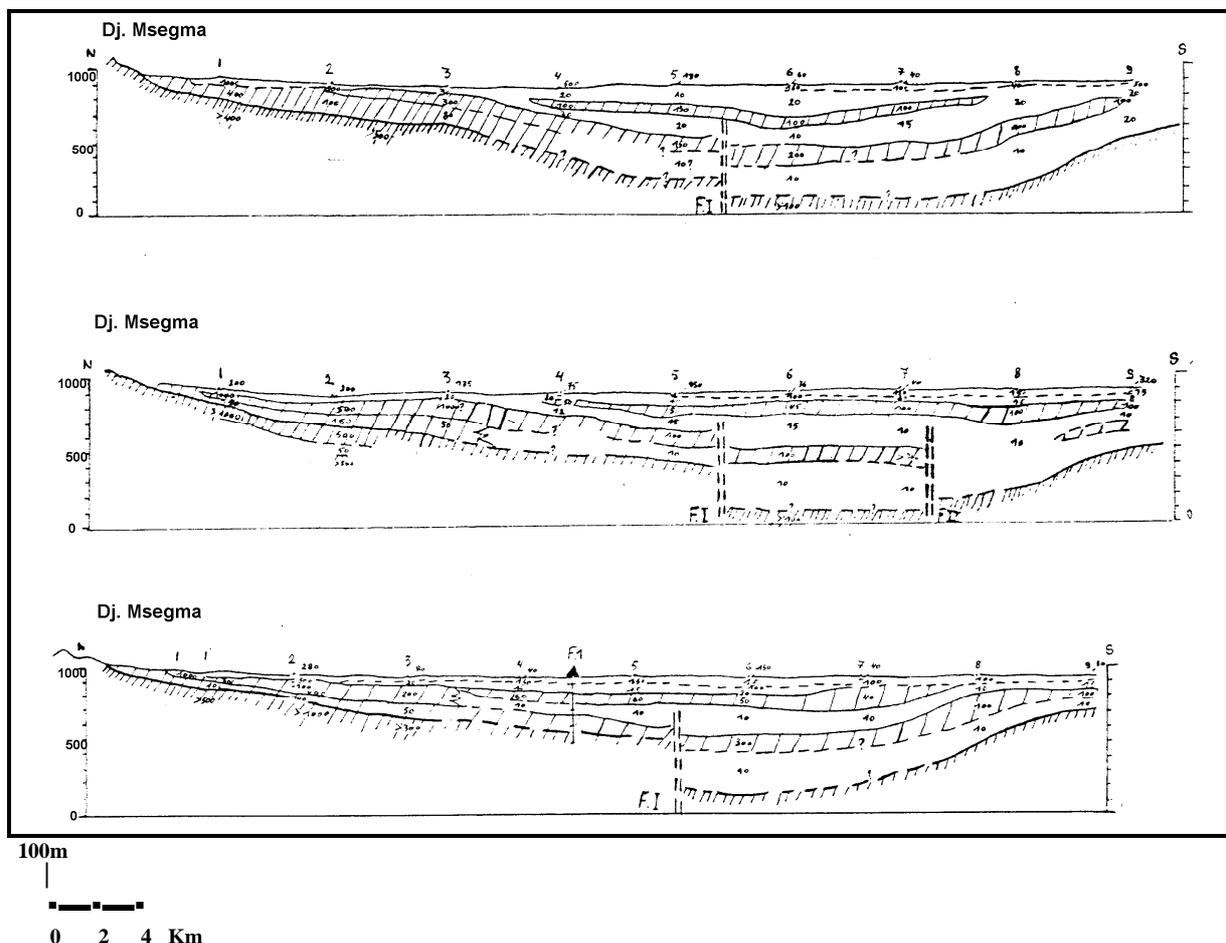


Fig. 146 – Coupes géoélectriques H, G, et F

Au Sud de la faille F1

Les horizons conducteurs sont très développés, séparés par 02 niveaux résistants d'une résistivité comprise entre 50 et 200 $\Omega.m$.

* Interprétation des coupes géoélectriques : (fig. 146)

Partant des profils E, F, G et H qui s'appuient sur les forages F₁ et F₃, on peut observer les calcaires Turoniens qui plongent avec un faible pendage vers le Sud Est, à partir des affleurements de Djebel Msegma. Au niveau du S.E. 5, distant de 8 à 9 km des affleurements, ces calcaires atteignent une profondeur de 400 mètres. Au niveau de la localité d'Abiodh S/C, leur profondeur est de 250 mètres (forage F₁).

- Dans la partie Nord Ouest de ces profils, le recouvrement est représenté par une formation très résistante du *Continental Terminal* qui pourrait correspondre à des sables, grès calcaireux entrecoupés de temps à autre par des passées de gypse.
- Vers le centre du synclinal, ce sont les formations conductrices qui prennent de l'importance. Ainsi au niveau des S.E 5 et 6, le recouvrement en devenant très conducteur nous permet d'admettre une faille très importante (FI) qui décale les calcaires Turoniens vers 700 mètres de profondeur. Une formation conductrice de 10 $\Omega.m$ environ, représente en partie le recouvrement Quaternaire ainsi que les niveaux argileux salés du continental terminal.
- Vers le Sud, les calcaires Turoniens remontent pour constituer les affleurements du Djebel Tismert.

Partant des différentes coupes géoélectriques établies par la C.G.G (1974), nous avons réalisé des schémas interprétatifs qui font ressortir 05 types horizons :

- Horizon résistant (50 à 500 $\Omega.m$) : pourrait correspondre à des sables secs, galets calcaires et conglomérats à ciment calcaire.
- Horizon conducteur (8 à 30 $\Omega.m$) correspondant à des argiles et localement à des argiles sableuses ou des sables marneux.
- Horizon (50 à 200 $\Omega.m$) : sables hétérogènes, grès calcaires pouvant être aquifères.

- Horizon très conducteur (10 à 20 $\Omega.m$) : marnes et argiles sableuses.
- Horizon très résistant (> 100 $\Omega.m$) relatif aux calcaires fissurés Turoniens.

- Comportement hydrogéologique des différentes formations

A partir des données des forages F1 et F3 pris comme étalons, nous présentons une échelle de résistivité propre à la région, permettant de préciser le comportement hydrogéologique des différentes formations. Les résultats sont portés au tableau n° 41:

Tableau 41 : Comportement hydrogéologique des différentes formations

Age	Lithologie	Epaisseur (m)	Résistivité ($\Omega.m$)	Comportement Hydro géologique	Type de nappe
Quaternaire	Argiles, argiles sableuses, sables marneux	40 - 200	8 - 30	Semi perméable	Libre à semi libre
Continental terminal	Sables, galets Calcaires, conglomérats,	50 – 300	50-500-1000	Perméable	Nappe libre à semi libre
	grés aquifères, sables, grés calcaires à passées de gypses	80 – 200	50-100-200	Perméable	Nappe captive à semi captive
	Argiles sableuses, marnes	50 – 400	10-20	Imperméable	
Turonien	Calcaires fissurés	100 - 250	>100	Perméable	Captive à semi captive

Le *Tertiaire Continental* présente 02 niveaux aquifères, très hétérogènes, le plus souvent sous forme de lentilles, séparés par des niveaux marneux ou argileux. L'aquifère des calcaires Turoniens à nappe captive au Sud de la faille F1 et à nappe semi captive ou libre au Nord, présente une ressource en eau à forte minéralisation. De part sa très importante profondeur, le

continental intercalaire n'a pu être décelé par la prospection électrique. Seule une étude prospection sismique pourra reconnaître au moins le toit des grés Barrémo-Albo-Aptien.

- Mode d'alimentation des aquifères

Les inféro flux des différents oueds (Rechag, Menhar, Tafarahit, Bou Djihane et Es Somm) constituent un réseau aérien important, drainant tout le versant méridional de l'Atlas.

A l'intérieur du synclinal, le toit du *Continental Intercalaire* est recoupé à partir de 790 mètres de profondeur (F3 et F6). L'alimentation est assurée uniquement à partir des flancs du synclinal où il affleure, principalement par les apports ayant pour origine la pente Céno-mano-Turonienne.

Au niveau du Djebel Tismert, le passage de la faille Sud Atlasique est remarquable, provoquant la disparition des marnes Céno-maniennes et renversant les calcaires Turoniens (fig. 147). On pense qu'il existe également des apports verticaux ou latéraux à travers l'accident Sud Atlasique.

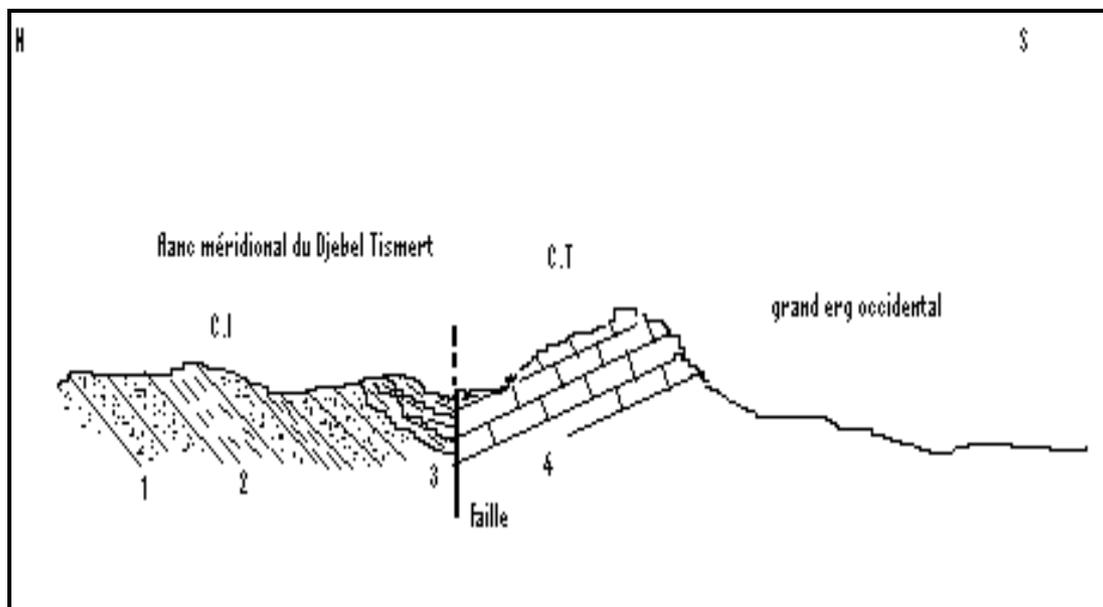


Fig. 147 – Coupe hydrogéologique interprétative du flanc méridional de Tismert

Calcaire Turoniens
 Marnes et argiles
 Grés
 Faille Sud Atlasique

Plus au Sud vers l'Erg occidental, les forages des oueds Rharbi et Namous, ayant montré l'absence du Cénomanién. A ce niveau, une interconnexion entre les nappes du *Continental Intercalaire* et *le Complexe Terminal* est possible.

3 – 1 – 3. Piézométrie (fig. 148)

L'inventaire réalisé en juillet 1997 a concerné 31 puits issus de la nappe superficielle, représentée par des eaux très peu profondes, circulant essentiellement dans les alluvions.

L'établissement de la carte piézométrique montre 02 sens d'écoulements majeurs parallèles à l'allongement du synclinal et séparés par une ligne de partage des eaux.

- Unité Nord :

L'écoulement principal converge vers la Daïa de Mechegguine, qui constitue une aire d'infiltration privilégiée.

- Unité Sud :

Avec une direction NNE – SSW, les lignes de courant convergent vers le SSW, parallèles à l'inféro flux.

L'enquête menée sur le terrain a montré que la nappe est alimentée par les oueds en période de hautes eaux constituant ainsi de véritables drains.

Le gradient hydraulique ; assez constant aux environs de la Daïa avec des valeurs de 5‰ à 7‰, augmente vers la partie Ouest pour atteindre 15‰. Vers l'Est, le gradient devient très faible avec une valeur de 2‰.

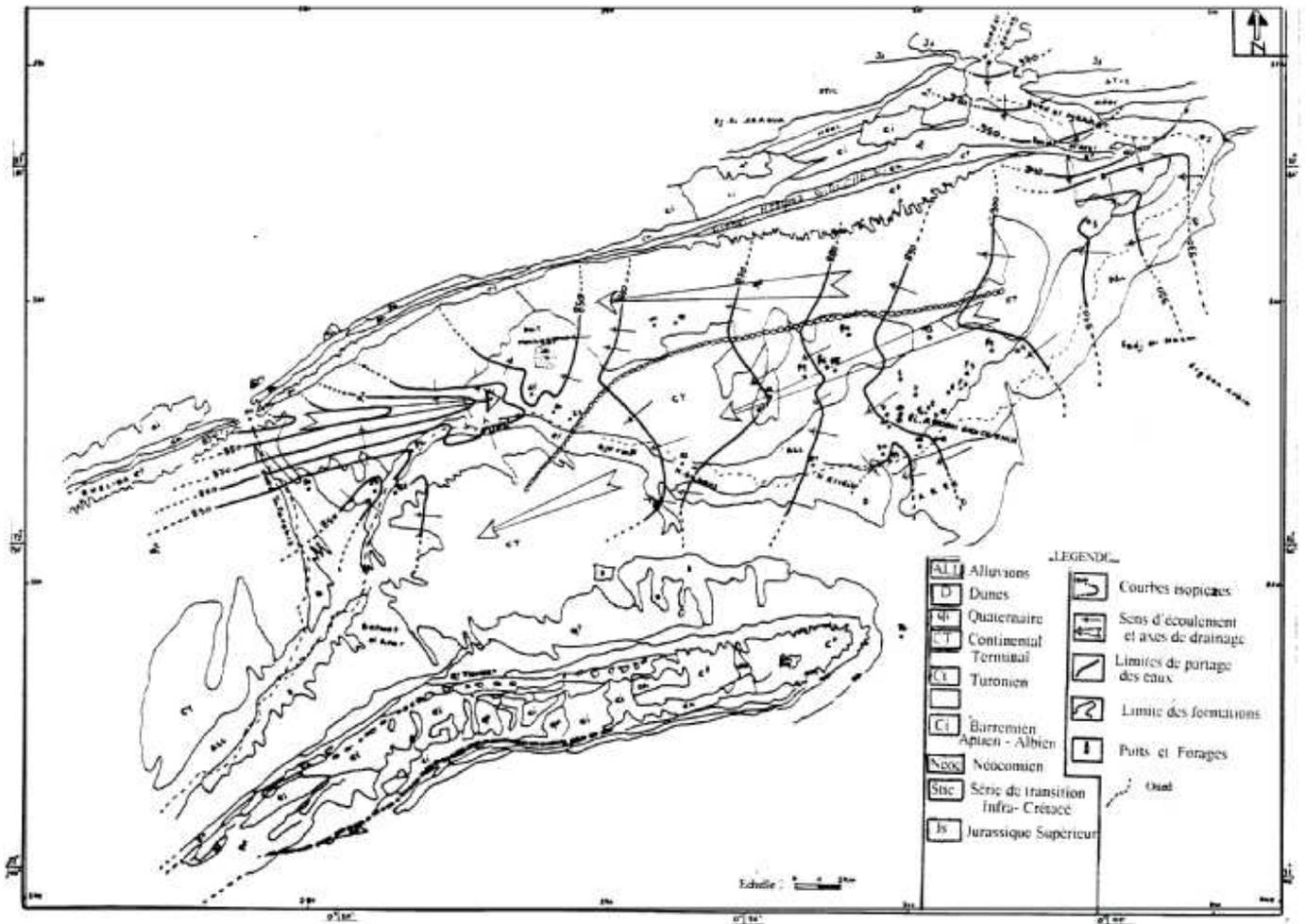


Fig. 148 – Carte piézométrique de la nappe superficielle d'El Abiodh S/C (08/1997)

3 – 1 – 4. Hydrochimie

L'analyse chimique a porté sur 30 échantillons prélevés de la nappe superficielle et de celle du Complexe Terminal.

Les dosages chimiques ont été réalisés avec le concours de l'ANRH d'Oran au mois de juillet 1997.

- Evolution des faciès chimiques

* Résidu sec (fig. 149)

Les valeurs varient entre 820 et 4620 mg/l. En se déplaçant d'amont en aval, on remarque que les valeurs les plus élevées intéressent

particulièrement le Sud de la Daïa Méchagguine. Cette forte concentration correspond à des eaux contaminées, au contact des roches gypso-salines du Cénomanién et du Continental terminal.

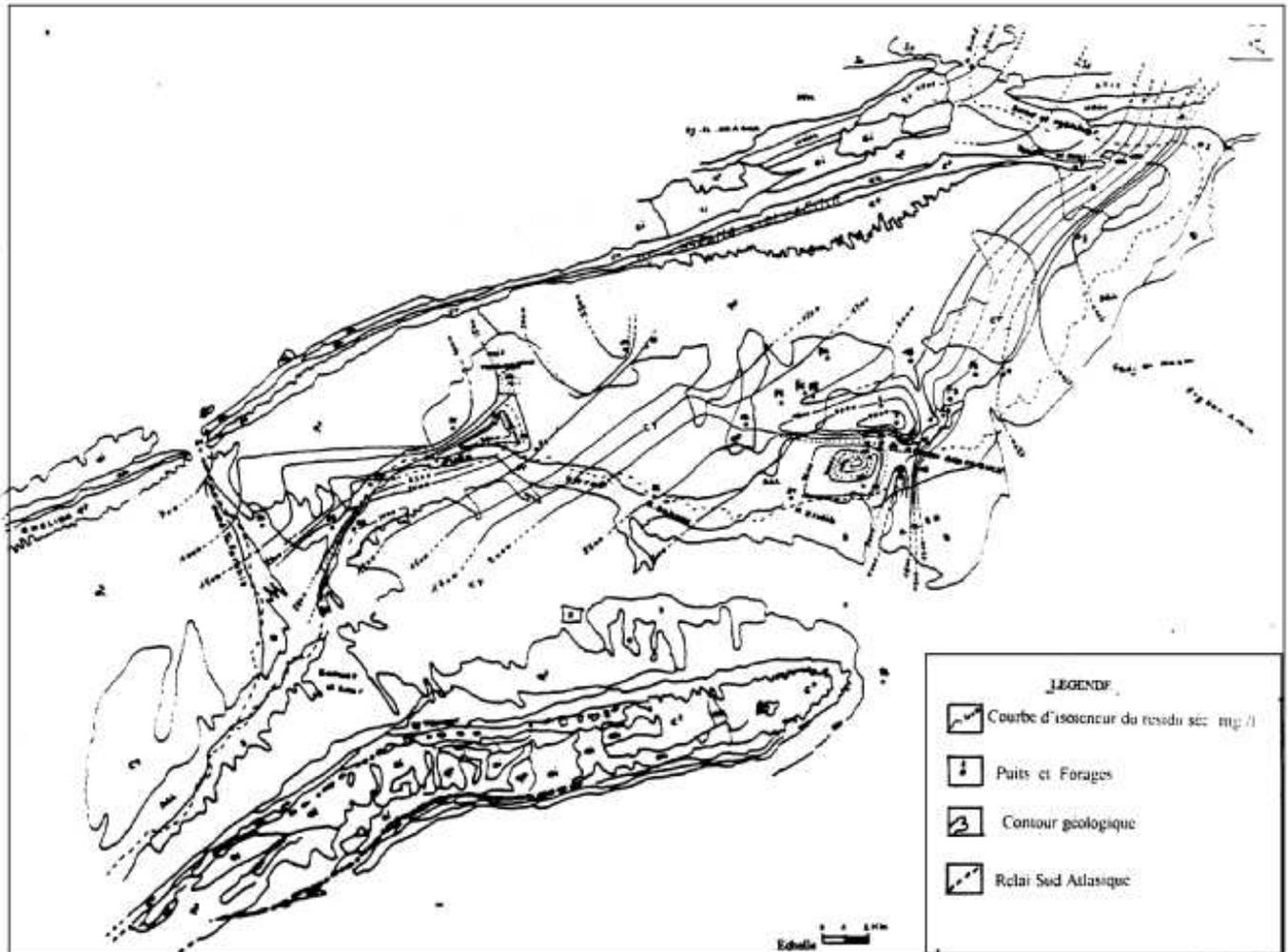


Fig. 149 - Carte de répartition du résidu sec (08/1997)

* Iso teneurs :

- Iso teneur Cl: l'influence des dépôts gypso-salins est très nette, particulièrement à l'amont de la nappe au niveau du puits P1. une forte anomalie est observée au niveau du puits P15 avec une valeur de 1142 mg/l. Au centre du synclinal, c'est le puits P14 qui présente la

valeur la plus faible avec 54 mg/l. Vers l'aval, les valeurs augmentent suivant le sens d'écoulement.

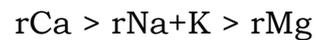
- Iso teneur So_4^{2-} : les teneurs varient entre 163 et 1536 mg/l. Les fortes valeurs proviennent du lessivage du gypse et de l'anhydrite, très abondants dans les sables fins.
- Iso teneur $Na^{2+} + K^{+}$: les zones marquées par les fortes concentrations sont localisées, particulièrement au puits P1. Le rapport rNa/rCl , proche de l'unité montre l'origine commune du chlore et du sodium, particulièrement en amont et au centre de la nappe.
- Iso teneur Hco_3^{2-} : Les affleurements des calcaires Turoniens influencent d'une façon très nette la distribution des teneurs en bicarbonates. Ainsi on observe de fortes concentrations dans la partie septentrionale de la nappe et aux environs de la Daïa Mechagguine.
- Iso teneur Ca^{2+} et Mg^{2+} : les teneurs en calcium et magnésium suivent une évolution proche de celle du résidu sec où on observe les mêmes anomalies.

- Représentation graphique des analyses d'eau (fig. 150)

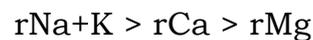
La représentation graphique des analyses chimiques à partir de Schoeller et Berkloff nous a permis de distinguer des eaux en majorité sulfatées suivies des eaux chlorurées.

* Eaux sulfatées

- Eaux sulfatées calciques : représentées au niveau des différentes parties de la nappe.



- Eaux sulfatées sodiques : représentées particulièrement au niveau du puits P1.

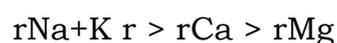


- Eaux sulfatées magnésiennes : représenté à l'Est de Méchagguine au puits P10.



* Eaux chlorurées

- Eaux chlorurées sodiques : représentées aux puits P3 (amont) et P30 et P31 (aval).



- Eaux Chlorurées calciques : représentées au niveau des puits P12 et P18.



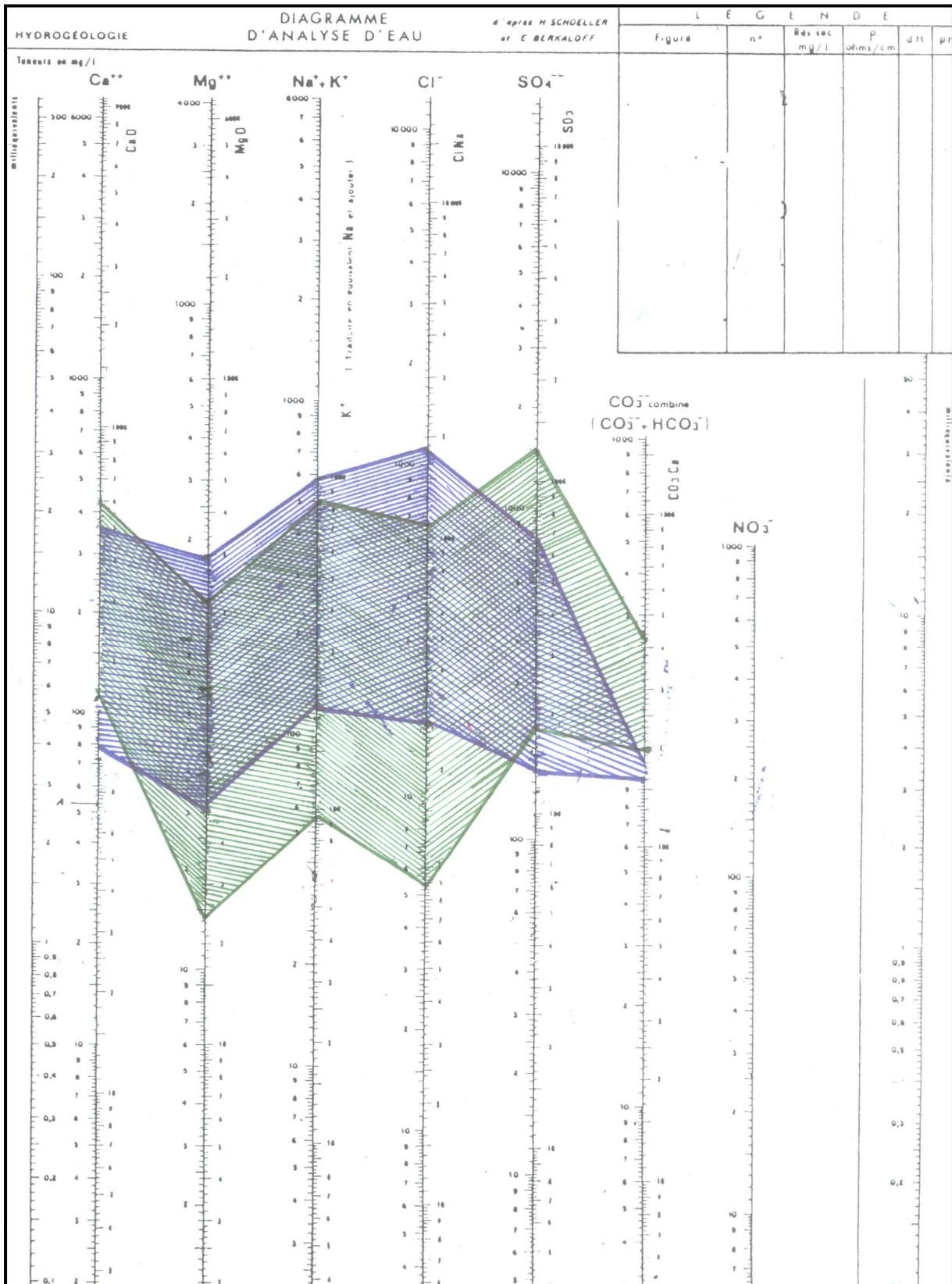


Fig. 150 – Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh

Faciès sulfaté calcique

Faciès chloruré calcique

3 – 2. *Synclinal El Kheloua – Arbaouet*

La formation gréseuse attribuée au Barrémo-Albo-Aptien du synclinal El Kheloua – Arbaouet (bassin hydrogéologique compris entre Brézina à l'Est, Bousseghoun à l'Ouest et El Abiod Sidi Cheikh au Sud), constitue l'extrémité Nord orientale de l'immense appareil hydraulique de l'Atlas Saharien.

3 – 2 – 1. Les unités aquifères du synclinal

On distinguera deux aquifères, l'un superficiel de faible importance, épousant l'allure de la vallée de Arbaouet, représenté généralement par les formations du continental terminal; l'autre d'importance capitale pour la région, concernera l'aquifère des grès Barrémo-Albo-Aptien.

- Aquifère superficiel du *Continental Terminal*

Affleurant à Hadjret Bellal où elles recouvrent les grès du Crétacé inférieur, cette formation disparaît au Nord du synclinal sous les formations du Quaternaire ancien.

La zone d'affleurement de ces formations gréso-argileuses et argilo-gypseuses s'élargit dans la région de Arbaouet où elles remplissent pratiquement toute la dépression des Arbaouet.

Il s'agit en fait d'un aquifère superficiel dont la géométrie épouse parfaitement le cours de l'oued Arbaouet. Le niveau piézométrique reconnu par une multitude de puits, creusés dans le lit même de l'oued, varie selon les endroits entre 2 mètres et 4 mètres.

Il est important de noter qu'à certains endroits (particulièrement la région de l'oued Siffeur), l'affleurement des formations argilo-gypseuses influence négativement sur la qualité chimique des points d'eau. On observe ainsi une concentration anormale des sels dissous, particulièrement à Hassi Siffeur (P8).

En ce qui concerne l'alimentation de cet aquifère superficiel, elle est assurée particulièrement par les venues d'eau souterraines latérales issues des grés du *Continental Intercalaire*. En effet, c'est cette suralimentation qui contribue à la pérennité de l'oued Arbaouet.

- Aquifère du *Continental Intercalaire* (Barrémo-Albo-Aptien)

Il s'agit en fait du synclinal de ce qu'on appelle El Kheloua – Arbaouet, formé essentiellement par des structures gréseuses séparées par des niveaux argileux ; ce qui confère à cette formation hydrogéologique la complexité de son hydrodynamisme.

Situé entre le Djebel Gharbi, le Djebel Oustani, le Djebel Chergui au Nord et le Djebel Besseba au Sud ; le synclinal en question présente une dissymétrie accentuée.

Le flanc Nord du synclinal montre les membres inférieurs et moyens de la formation de Tiout ; c'est à dire le Barrémien (région de Sidi Abdelkrim et Oued Zian) et l'Aptien (falaise Aptienne de Ben Tsaloul).

Au centre et au Sud du synclinal, c'est le membre supérieur de la formation de Tiout, représenté par les grés Albiens, recouvert en grande partie par les formations de remplissage, attribuées au complexe terminal et Quaternaire.

L'aquifère exploité relatif à la région d'étude est représenté uniquement par le complexe Aptien – Albien. Ainsi on peut noter selon les régions soit le captage de l'horizon Aptien soit l'Albien.

3 – 2 – 2. Géométrie et mode d'alimentation des aquifères

Le *Continental Intercalaire* occupe la presque totalité du synclinal El Kheloua-Arbaouet, surmonté par les formations du *Complexe Terminal* et du Quaternaire qui tapissent le fond des vallées.

- Les forages (fig. 151 et 152)

L'examen d'un certain nombre de forages réalisés par les services de l'hydraulique et le privé nous a permis de faire ressortir l'allure et la géométrie des unités aquifères de l'Albien et de l'Aptien.

* Aquifère Aptien

- Au Nord Ouest du synclinal entre Kheneg Zebicha et Daiet Ben Tsaloul ; ce sont les forages F5, F6 et F17 (ZB 13).
- Au Nord Est, entre Kheneg Zebicha et Hassiane Krima, l'Aptien est recoupé par le F16 (ZB 12), P12 (Hassi Cheguig) et P14 (Hassiane Krima).

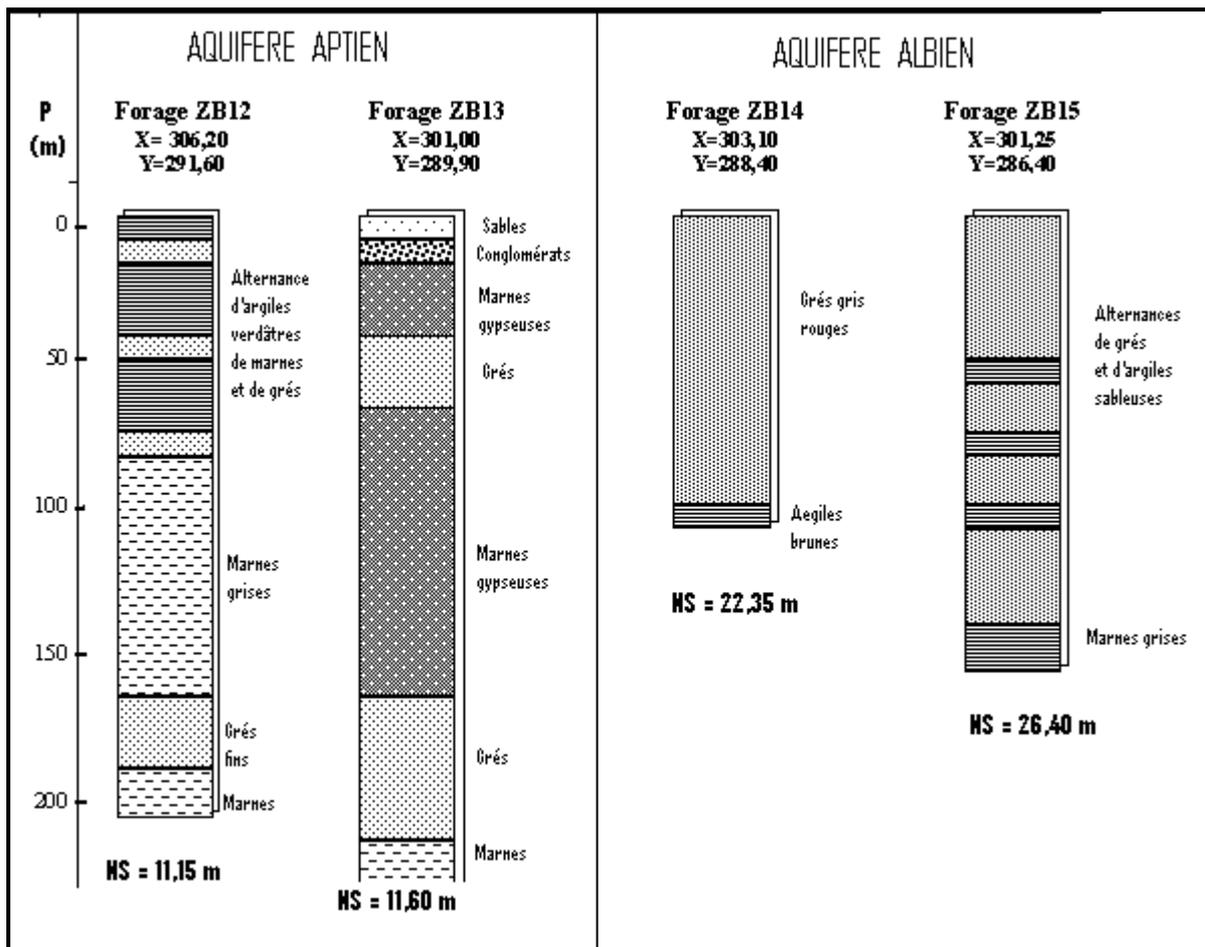


Fig. 151 – Unités aquifères de l’Aptien et l’Albien recoupées par les forages

Les points d’eau cités (puits et forages) captent tous uniquement l’horizon Aptien. Le forage (ZB 12) capte l’Aptien sur 200 mètres ; le forage, (ZB 13) traverse l’Aptien sur 220 mètres.

* Aquifère Albien

Au centre du synclinal, les forages captent les grés Albiens. On citer le forage (ZB 14) profonds de 90 mètres, le forage (ZB 15) d’une profondeur de 150 mètres, appartenant à l’état. Parmi ceux foncés par le privé, on citera les forages F2 (El Golita), F4 (Koudiet echih) et F10

(Bougamra). Les grès Albiens sont recoupés par les forages jusqu'à une profondeur de 220 mètres et donnent de très bons débits.

Le tableau n° 42 résume les principaux forages avec leurs caractéristiques hydrogéologiques

Tableau 42 : Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages

Forages	Coordonnées lambert	Aquifères	Profondeur (m)	Niveau statique (m)	Débit (l/s)
ZB 12 (F16)	X=306.2 ; y=291.6	Aptien	185	13.13	0.60
ZB 13 (F17)	X=301.0 ; y=289.9	Aptien	220	11.60	1.15
ZB 14 (F18)	X=303.1 ; y=288.4	Albo- Aptien	100	22.35	30.00
ZB 15 (F19)	X=301.2 ; y=286.4	Albien	142	18.43	19.00
ZB 16 (F20)	X=305.8 ; y=282.7	Albien	160	23.00	16.00

- Coupe hydrogéologique schématique

La coupe hydrogéologique schématique (fig. 152) fait ressortir l'allure d'une véritable cuvette synclinale au niveau de laquelle convergent les eaux souterraines et superficielles.

L'exploitation future de forages profonds (supérieurs à 500 mètres), au centre du synclinal (région comprise entre les forages ZB 15 et ZB 16), donnera de très bons résultats car il s'agit dans ce cas du captage de

l'aquifère profond formé par les grès fissurés à double perméabilité (perméabilité d'interstices et de fissures) du Barrémien, jusque là inexploité.

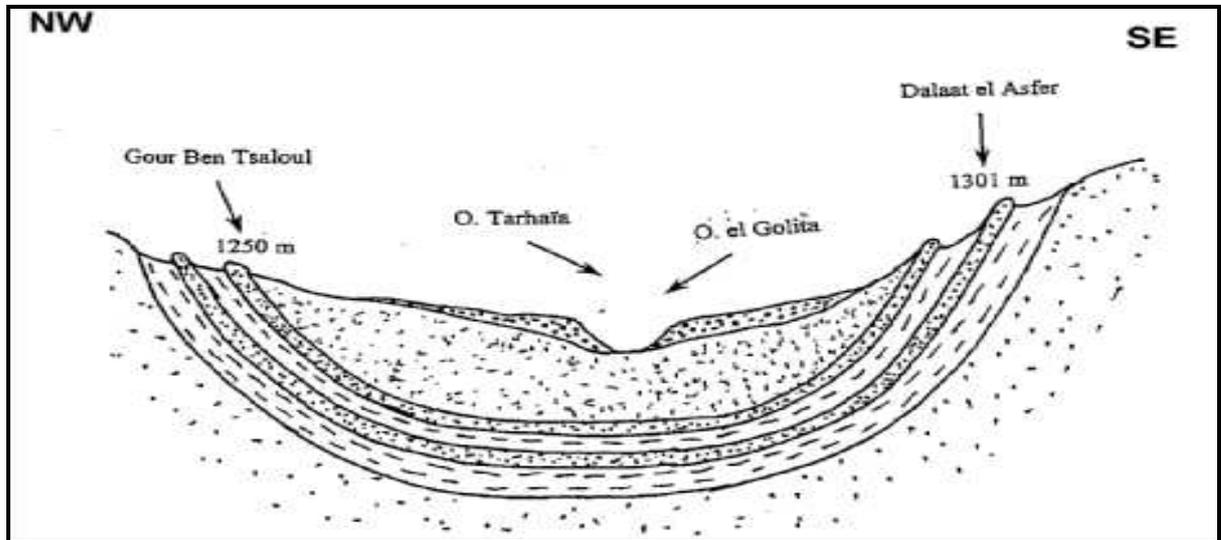


Fig. 152 – Coupe hydrogéologique schématique du synclinal El Khéloua – Arbaouet

CT et quaternai
 Aquifère Albien
 Aquifère Aptien
 Aquifère Barrémien

3 – 2 – 3. Piézométrie

Un inventaire des points d'eau au nombre de 20 a été réalisé au mois de février 2004, regroupant les puits et les forages. Les forages les plus anciens datent de 1975, nommés forages ZB ; d'autres creusés ces 03 dernières années (2002-2003-2004) nous ont permis de dresser cet inventaire. Le tableau d'inventaire, porté en annexes résume la position des différents points d'eau avec leurs caractéristiques.

La carte piézométrique (fig. 152) ainsi établie nous a permis de faire un lien très prononcé entre les écoulements superficiels et les écoulements souterrains ; En effet, on remarque que les lignes hydroisohypses comprises entre 1090m et 1100m épousent parfaitement les limites du synclinal. Cependant, il est important de souligner la concordance entre l'écoulement superficiel, représenté par la confluence des oueds Torhaïa – El Golita et l'écoulement souterrain représenté par l'axe de drainage au droit de la confluence des oueds.

Tous les écoulements convergent vers la vallée des Arbaouets, formant un important axe de drainage, illustré sur la carte par une cuvette piézométrique dont le centre est représenté par la charge d'eau 1047 mètres.

Cette convergence des lignes de courant vers le centre de la vallée des Arbaouets nous permet d'avancer que l'aquifère Albo-Aptien contribue d'une façon très significative à l'alimentation de l'oued, lui conférant ainsi un écoulement pérenne.

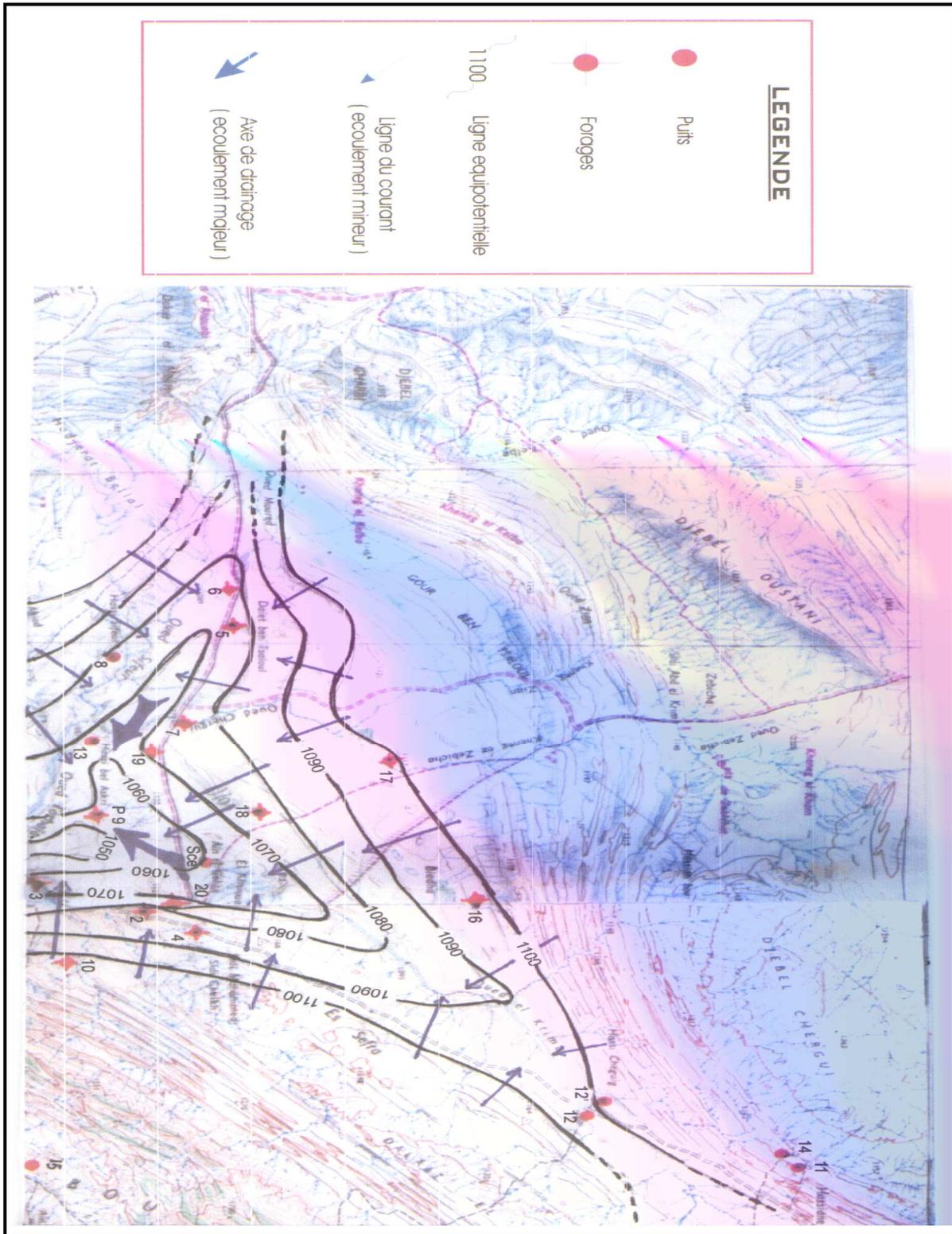


Fig. 153 – Carte piézométrique du synclinal El Kheloua – Arbaouet (02/2004)

3 – 2 – 4. Hydrochimie

L'étude des caractéristiques physico-chimiques des nappes a été réalisée sur la base des résultats de certaines analyses chimiques d'échantillons d'eau prélevés sur la région d'étude. Les résultats de ces analyses sont reportés au tableau n° 43 :

Tableau 43 : Résultats des analyses physico-chimiques (teneurs en mg/l).

Forages Variables	Zb 12	Zb 13	Zb 14	Zb 14'	Zb 15	Zb 16
Ca	556	647	61	93	102	54
Mg	236	111	08	31	34	28
Na+K	238	103	10	21	44	26
Hco3	166	231	146	183	178	152
Cl	224	117	29	32	88	34
So4	231 7	1865	30	200	197	132
Co3	36	49	18	/	18	/
No3	/	/	/	22	/	27
Miné	377 2	3125	302	374	661	474
R.S	364 6	2976	224	560	566	380
Ph	7	7	7.3	7.2	7.4	8
T (°C)	19	18	18	19	18	18
Aquifère capté	Ap tie n	Apti en	Albi en	Al bie n	Al bie n	Al bie n

- Evolution des faciès chimiques

* La conductivité :

Les valeurs de la conductivité permettent de subdiviser les eaux en deux catégories :

- Les eaux très peu conductrices avec une conductivité moyenne allant de 500 à 800 us/cm. Ces eaux représentent l'aquifère Albien.
- Les eaux conductrices variant entre 4000 et 6000 us/cm. Ce sont les eaux de la nappe Aptienne, très chargée en sels dissous.

* Iso teneur :

- Iso teneur Ca^{2+} et Mg^{2+} : Les teneurs élevées peuvent être rattachées au niveau des calcaires dolomitiques de l'aquifère Aptien. Cependant, les teneurs faibles caractérisent les eaux de la nappe Albienne où le maximum a atteint pour les ions Ca et Mg, respectivement 102 mg/l et 34mg/l.
- Iso teneur $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$: Les concentrations s'échelonnent entre 103 mg/l et 238 mg/l pour les eaux issues des formations Aptiennes. Celles des eaux de l'Albien manifestent des valeurs beaucoup plus faibles et qui oscillent entre 10 mg/l et 44 mg/l.
- Iso teneur Cl^{-} : Les teneurs évoluent de 117 mg/l à 224 mg/l pour les eaux de l'aquifère Aptien. Ces valeurs sont relativement faibles. Au niveau de la nappe Albienne, on enregistre des concentrations très faibles.
- Iso teneur So_4^{-} : Les valeurs excessives se manifestent dans les eaux de la nappe Aptienne. A ce niveau, les eaux très riches en sulfates sont liées à la présence de cristaux de gypses inclus dans la formation du continental terminal à matrice essentiellement argilo-gypseuses. Les valeurs observées au niveau des eaux Albiennes, permettent de constater des teneurs faibles ne dépassant guère 200 mg/l.
- Iso teneur Hco_3^{-} : Les eaux présentent en général des teneurs très faibles, que ce soit dans eaux les issues des nappes Albienne ou Aptienne.

- Représentation graphique des analyses d'eau

Le report des teneurs en éléments chimiques sur diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff (Fig. 154), nous a permis d'entreprendre une classification des eaux souterraines, qui se répartissent en deux grandes familles : Sulfaté Calcique et Bicarbonatée Calcique.

* Eaux sulfatées calciques :

Représentent généralement la nappe Aptienne. Cependant, on peut retrouver ce faciès dans quelques points de la nappe Albienne. On distinguera 02 sous faciès :

$$rSo4 > rCl > rHCo3$$

$$rCa > rMg > rNa+K$$

$$rSo4 > rHCo3 > rCl$$

$$rCa > rMg > rNa+$$

* Eaux bicarbonatées calciques :

Caractéristiques des eaux issues de la nappe Albienne. On y rencontre également 02 sous faciès :

$$rHCo3 > rSo4 > rCl$$

$$rCa > rNa+K > Mg$$

$$rHCo3 > rSo4 > rCl$$

$$rCa > rMg > rNa+K$$

La présence du faciès sulfaté calcique dans les 02 nappes dénote la liaison hydrodynamique entre les formations aquifères de l'Aptien et de l'Albien.

CHAPITRE CINQUIEME

CARTOGRAPHIE HYDROGEOLOGIQUE

I - INTRODUCTION

La demande de plus en plus accrue de données scientifiques et le développement de nouvelles technologies a conduit l'homme à évaluer les effets néfastes d'une mauvaise gestion des ressources hydriques. Les aménagements urbains et ruraux très intensifs, les sites pollués abandonnés, la menace de sécheresse ou de pollution des nappes et enfin l'exploitation irrationnelle des aquifères Atlasiques sont autant de problèmes à résoudre par les organismes concernés. Qu'il s'agisse d'alimentation domestique ou industrielle, la consommation et la pollution croissent avec la population et le développement. Afin d'œuvrer à sa gestion, il faut mettre à la disposition des décideurs une cartographie hydrogéologique régionale leur permettant de préserver cette ressources naturelle.

Dans ce travail nous proposons une modélisation conceptuelle de données hydrogéologiques afin de produire une Base de Données Géospatiale. Un SIG contenant des données topographiques, géomorphologiques (relief, nature du sol, structure de sol), et hydrogéologiques doit permettre une analyse spatiale et environnementale très précise pour la prise de décision. L'intégration de ces données pour une cartographie dite « cartographie du mont des Ksour » est réalisée à l'aide du SIG Mapinfo. (carte de synthèse des monts des ksour).

II – BASES DE DONNEES GEOSPASIALES

1 - Introduction

Dans ce travail nous proposons une modélisation conceptuelle de données hydrogéologiques afin de produire une Base de Données Géospatiale. Un SIG contenant des données topographiques, géomorphologiques (relief, nature du sol, structure de sol) et hydrogéologiques doit permettre une analyse spatiale et environnementale très précise pour la prise de décision. L'intégration de ces données pour une cartographie dite « Cartographie des monts des Ksour » est réalisée à l'aide du SIG Mapinfo dont 250 Méga de volume.

2 – SIG

Un SIG est un ensemble d'équipements informatiques de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données dont la majorité est spatialement référencées. En d'autres termes, un SIG est un environnement informatisé d'analyse d'une information spatiale numérisée.

2 - 1. Fonctionnalités d'un SIG : 05 modules (fig. 155)

- Acquisition des données : numérisation.
- Manipulation de données : Le SIG intègre de nombreux outils pour permettre la manipulation de toutes les données.
- Gestion : il est essentiel d'utiliser un SGBD pour faciliter le stockage, l'organisation et la gestion des données.
- Analyse logique mathématique et l'analyse spatiale.
- Edition : la finalité des opérations géographiques consiste à produire des cartes.

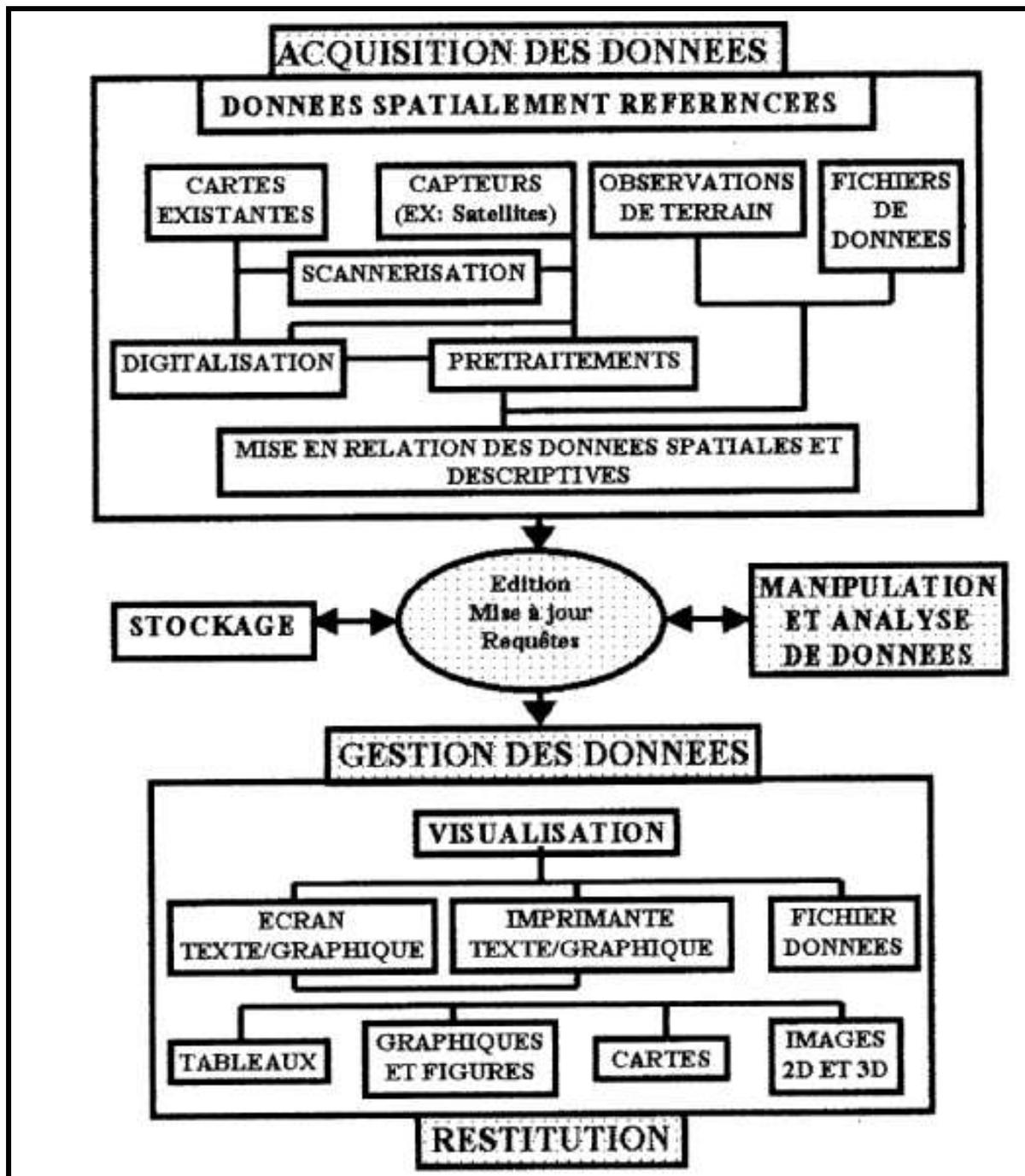


Fig. 155 – Les fonctions d'un SIG

2 – 2. La nécessité d'une méthode de conception spécifique

Les caractéristiques particulières des données hydrogéologiques et la constitution de base de données géospaciales sont nécessaires à étudier (HD93). La composante spatiale des données pour localiser les phénomènes sur le territoire et décrire leurs formes géométriques permet d'établir des relations spatiales entre les données. Les structures des données spatiales pour la mise à jour et la correction dans les projets SIG.

Un Système d'Information Géographique (SIG) est souvent utilisé comme un logiciel offrant des capacités de cartographie numérique, de gestion de Base de Données et d'analyse spatiale.

L'objectif dans les traitements des SIG est de pouvoir interroger la BDD conçue pour extraire les informations recherchées. Les interrogations se traduisent par des requêtes attributaires ou spatiales. Les requêtes attributaires concernent la description des objets ; elles se réalisent grâce à l'algèbre relationnel et des opérations ensemblistes. Les requêtes spatiales concernent la forme géométrique et topologique des objets.

3 - Mise en œuvre et Application

3 – 1. MapInfo

C'est un système d'information géographique (SIG) vecteur installé sur P.C. destiné pour automatiser, manipuler, analyser et visualiser les données géographiques. Ce logiciel a la possibilité de gérer à la fois des données géographiques et descriptives. C'est un modèle relationnel c'est à dire qu'à chaque couche d'information correspond une table relationnelle et à chaque entité géométrique correspond un enregistrement dans la table. D'une façon sommaire, les principales fonctions de MapInfo sont :

- Le tracé automatique
- L'accès direct aux bases de données (via ODBC)

- Le pochoir de visualisation dans lequel on peut visualiser une partie de la carte.
- Les couches logiques.
- La digitalisation.
- Le contrôle des couches
- Les images raster
- Les symboles

3 – 2. Saisie de données

Pour géo référencier notre support cartographique, nous avons choisi la projection Lambert Nord Sahara pour l'ensemble des cartes de notre zone d'étude.

Pour assurer la continuité cartographique, nous avons équipé chaque planche de quatre (04) points de calage appelés souvent (tic). La convivialité du logiciel permet un contrôle sur le choix des points de calage avec l'affichage de l'erreur admissible.

3 – 3. Manipulation des données

Les couches numérisées dans Mapinfo ont été produites à partir de cartes géologiques à l'échelle 1/100.000^e (coupures photo géologiques réalisées par D. Galmier, 1970 – 1974), scannées au format A0.

- Niveau géométrique

La puissance de MapInfo nous a permis de compléter l'ensemble des couches d'information du M.C.D. Il offre toutes les possibilités de cartographier nos éléments de raisonnement (géologie, hydrogéologie, hydrochimie). En se basant sur les éléments du modèle MCD, les entités ont été numérisées sur écran de la façon suivante :

- Les couches géologiques : Trias (gypses), Jurassique (calcaires), Crétacé (grés).

- Hydrogéologie : les points d'eaux, les courbes isopièzes, les lignes de courant, les axes de drainages, les lignes de partage des eaux souterraines.
- Hydrochimie : analyses chimiques, courbes iso valeurs.
- Morphologie structurale : grandes discontinuités, failles, fracturation, anticlinaux et les synclinaux.
- Hydrographie : le réseau superficiel (Oueds, Chott, Sebkha).
- Les lieux habités et voies de communications (toponymie, routes).

Toutes les entités spatiales et leurs données descriptives, peuvent être entachées d'erreurs ou d'imprécision. L'opération consiste à établir le lien entre données spatiales et descriptives afin de vérifier les erreurs de saisies.

- Niveau descriptif

Les données attributaires sont organisées sous forme de tableaux. Les noms d'attributs sont introduits champ par champ selon leurs types (caractère, entier, flottant, virgule fixe, date logique). Les tables sont gérées par un système de base de données relationnelles (SGBDR), qui permet de les manipuler facilement: mise à jour colonne, modification de la structure des tables (ajout de colonnes, suppression de table, renommer table, compacter table...).

3 – 4. Analyse spatiale

Les fonctionnalités de sélection SQL (Structured Query Language) font la véritable puissance des SIG, car permettant de formuler les requêtes

reflétant les préoccupations des gestionnaires des données par couche univariée ou couches multivariées.

- Analyse univariée (fig. 156)

Elle concerne les traitements sur une couche et avec les opérations de types statistiques (nombre, moyenne, minimum, maximum, intervalle, variance, écart-type, opérations arithmétiques, opérations logiques).

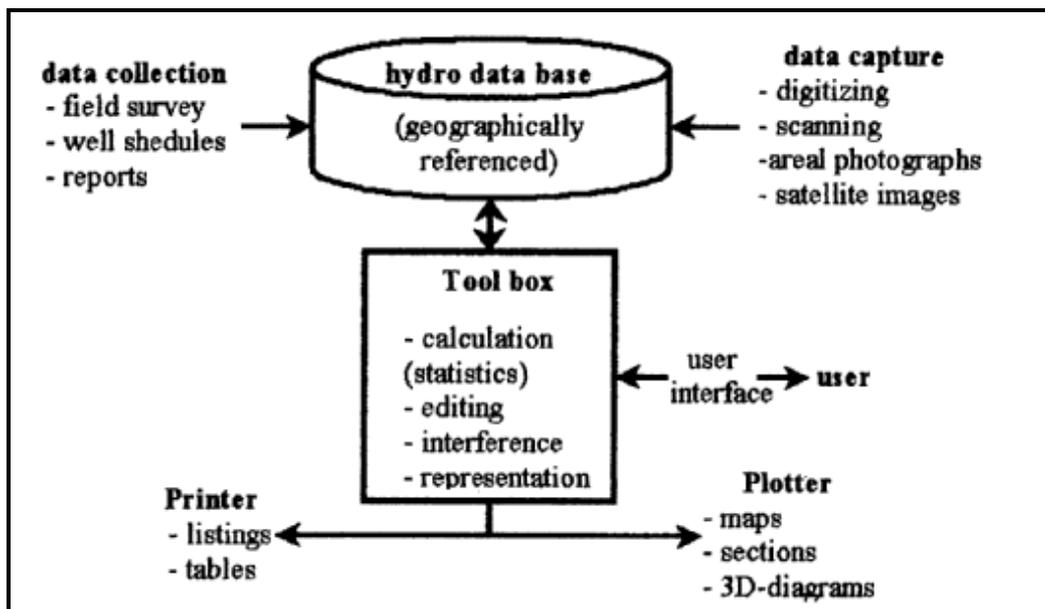


Fig. 156 – Format of Hydro-Geo-Information System (Margat et Struckmeier, 1995)

- Analyse multivariée :

C'est la combinaison de deux ou plusieurs couches afin d'élaborer une carte de synthèse ou des cartes thématiques. Un exemple de structuration en couches est représenté.

Le résultat du croisement de plusieurs strates d'informations comprend des données géologiques et hydrogéologiques. Ces données thématiques stockées dans des couches sont reliées à l'aide de modèles permettant le croisement de ces différentes couches d'information.

La couche résultante illustrant une carte de synthèse est stockée dans la base de données hydrogéologique (fig. 157).

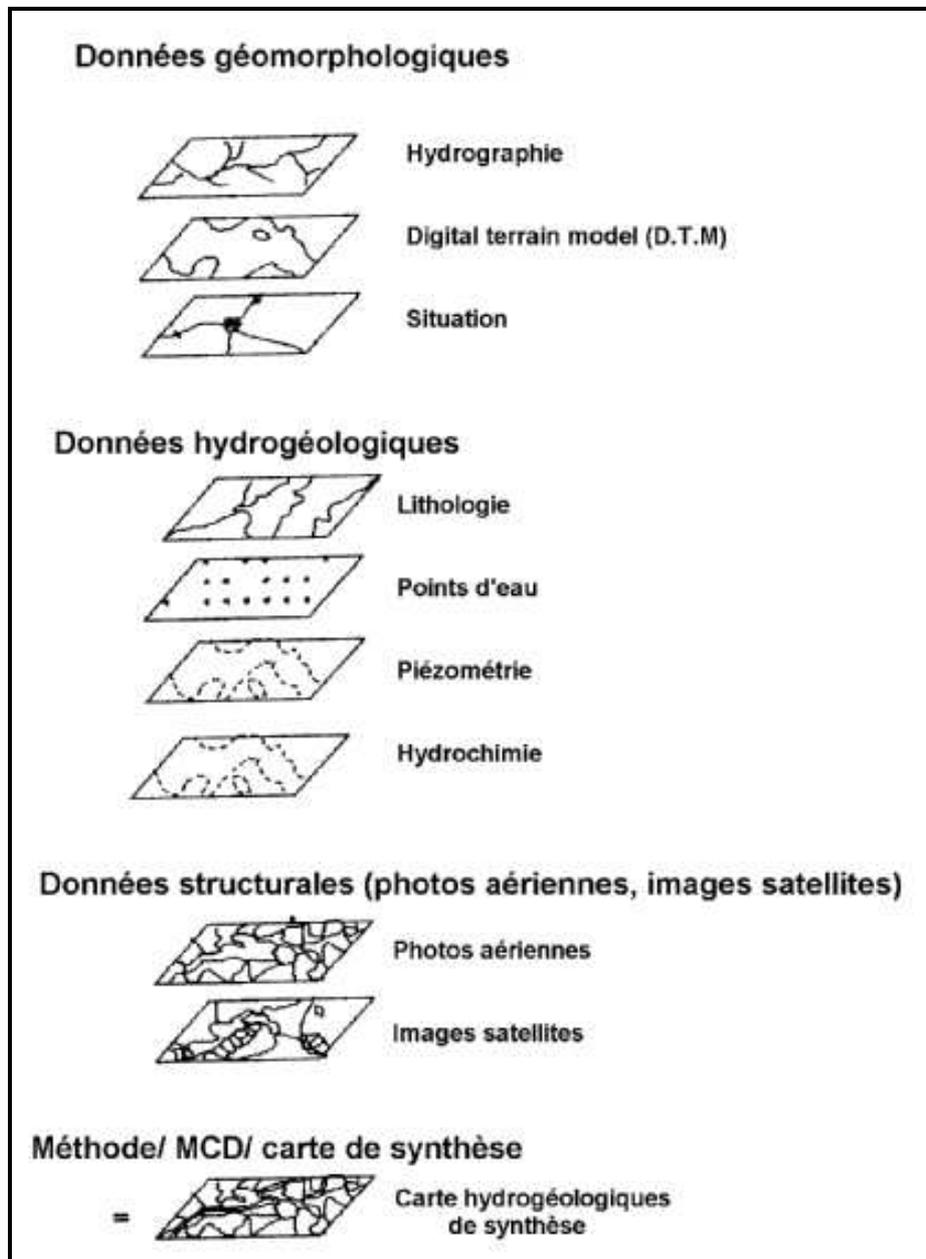


Fig. 157 – Exemple de structuration en couches avec croisement d'informations illustrant la carte de synthèse

- Carte de synthèse thématique

L'établissement d'une base de données consiste à ressortir des requêtes. L'interrogation des bases de données se fait grâce à l'algèbre relationnelle ou par l'intermédiaire d'un langage de requêtes qui s'appuie sur cette dernière.

A titre d'illustration, nous présentons les différentes requêtes, établies sous forme de tables (fig. 158) dont le but principal est d'aboutir à une nouvelle information qui n'est autre que la carte de synthèse hydrogéologique de Aïn Séfra, basée sur les couches suivantes.

- Table carte géologique : fond et contour géologique (fig. 158 a)
- Table carte piézométrique : isopièzes, axes de drainage, lignes de courant, lignes de partage des eaux souterraines, puits et forages (158 b).
- Table morphologie structurale : failles, fracturation, anticlinaux et synclinaux (158 c).
- Table hydrographie : oueds, Chotts et Sebkha (158 d).
- Table carte hydrochimique : courbes d'isominéralisation (158 e)

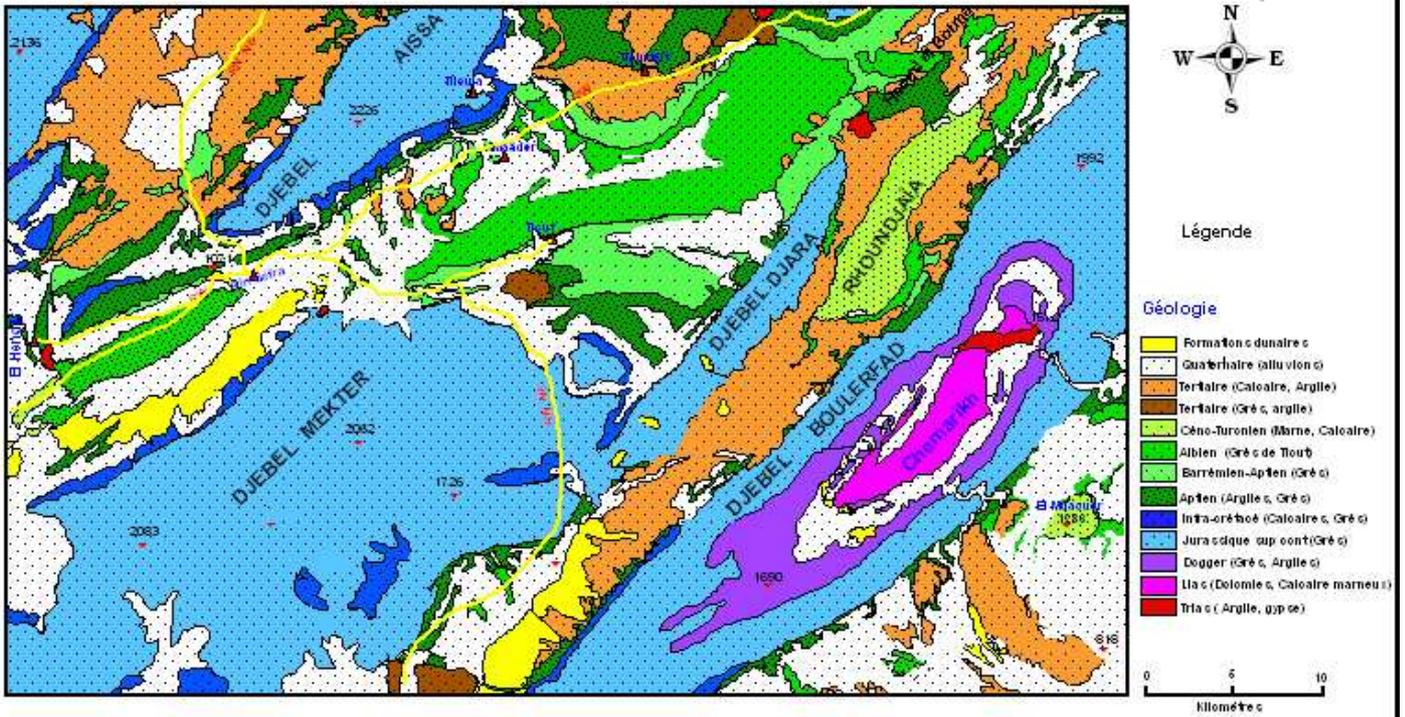


Fig. 158 a -Table carte Géologique de Ain Séfra

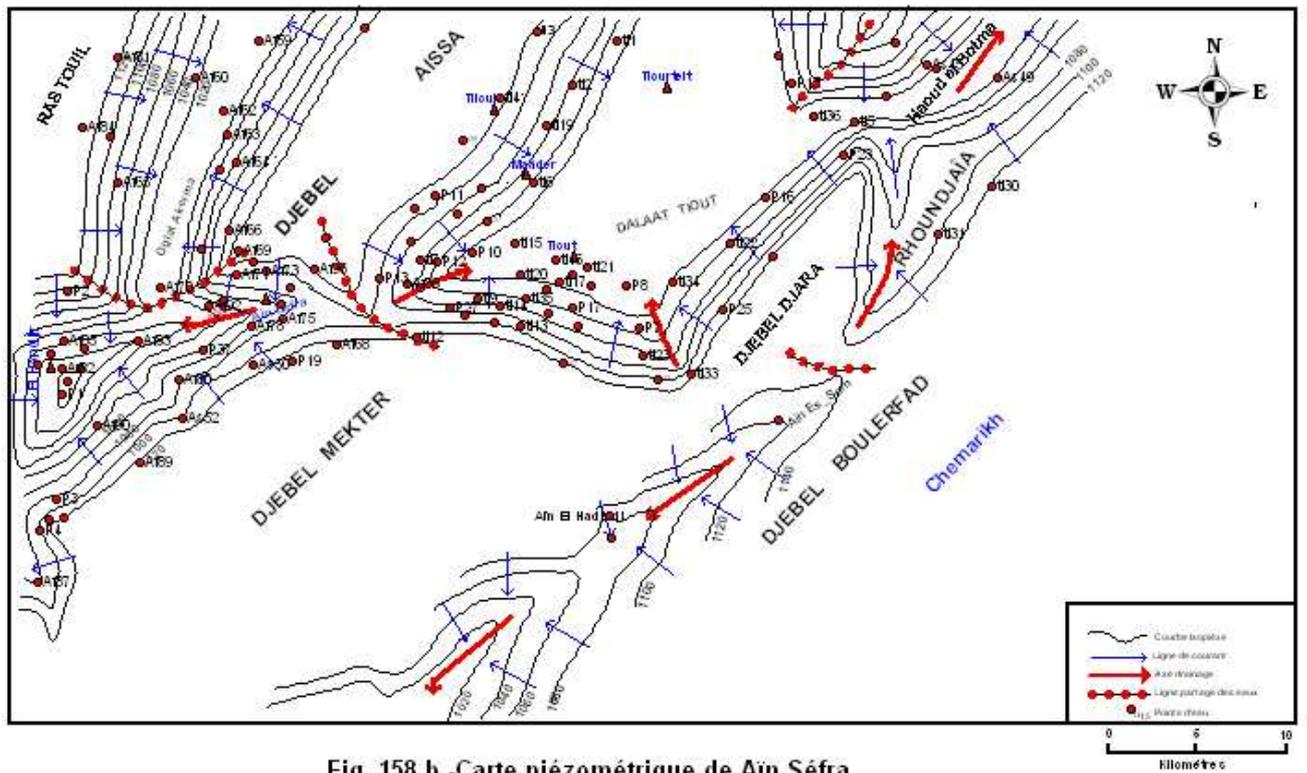
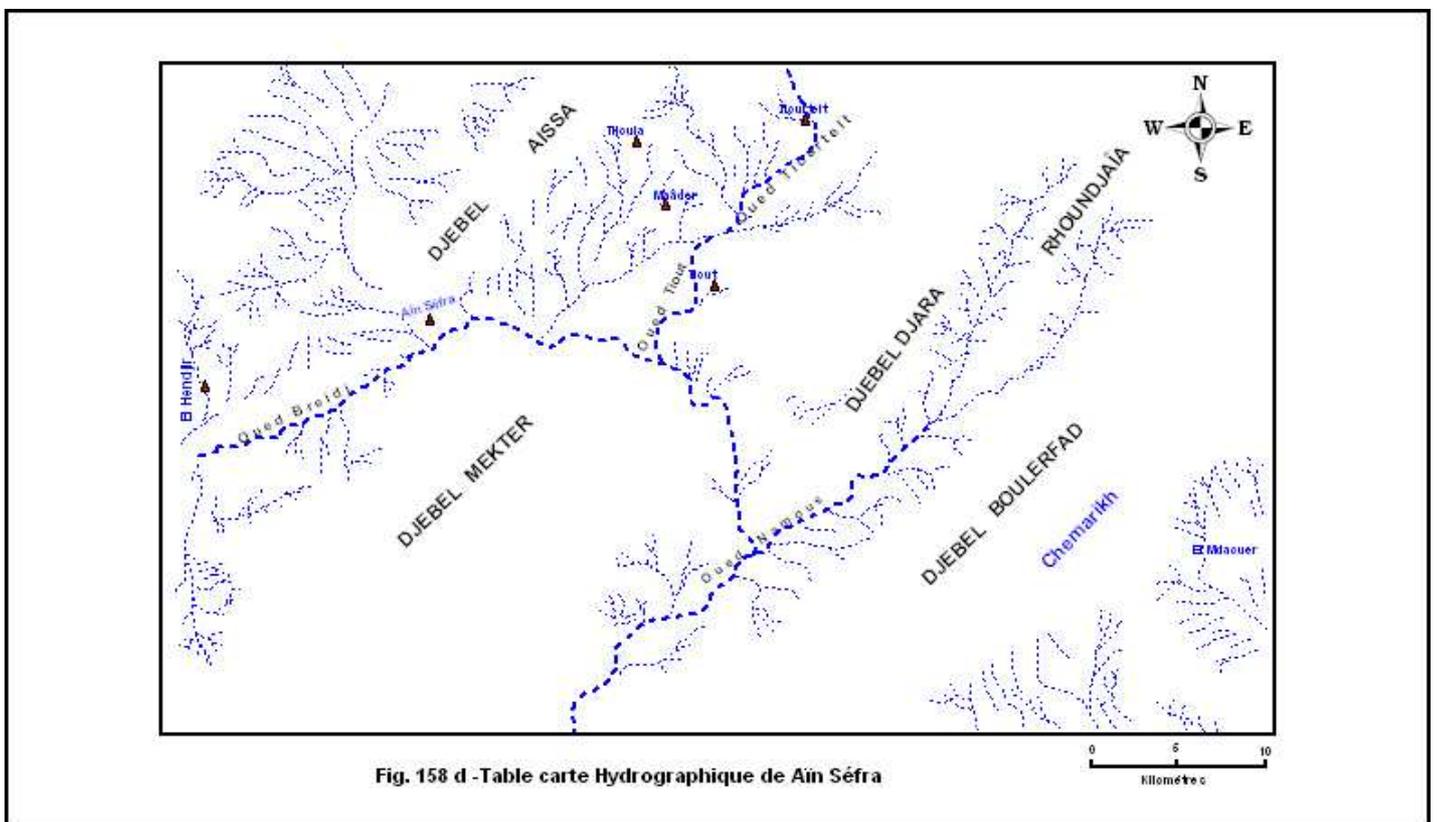
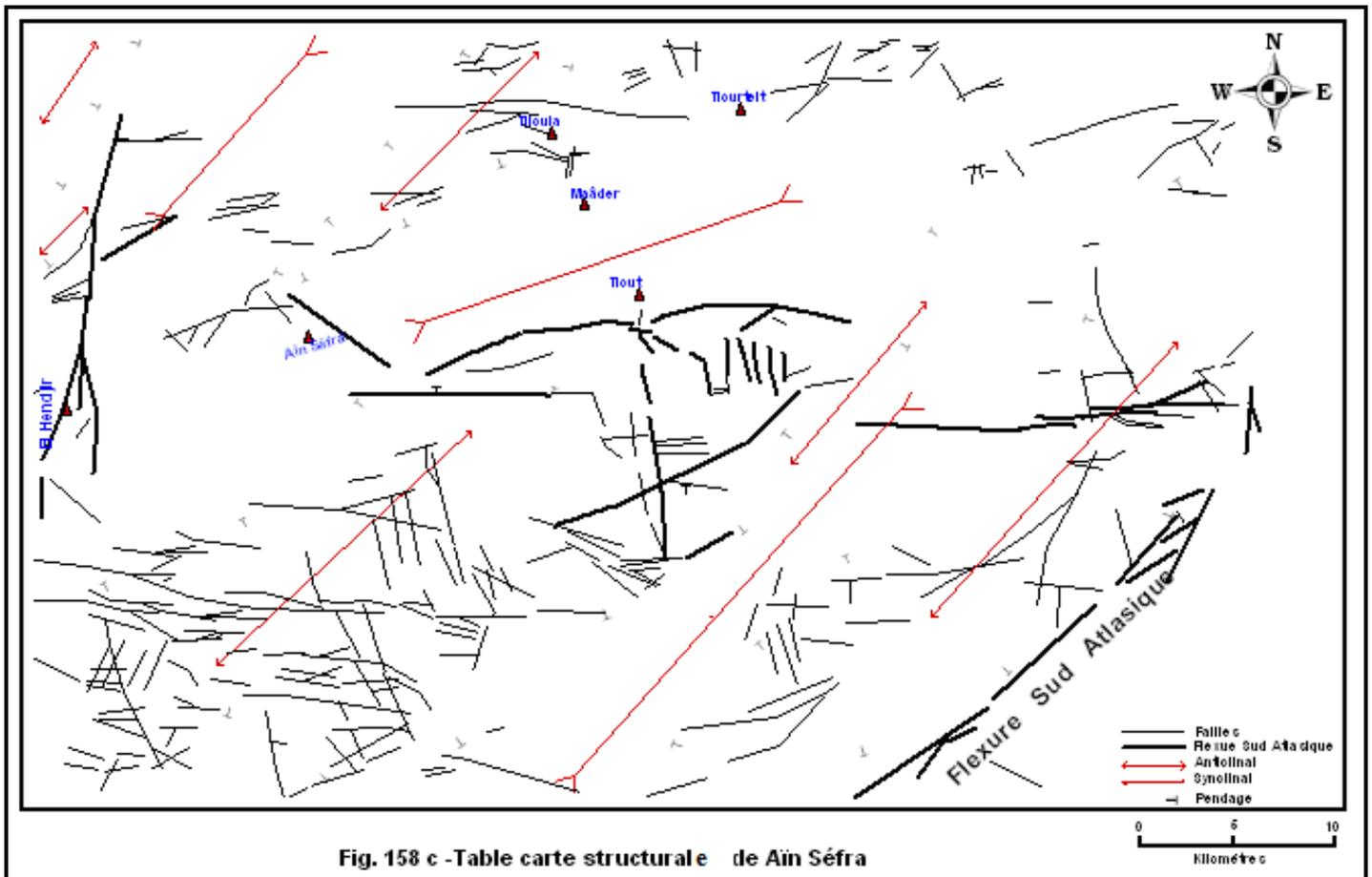
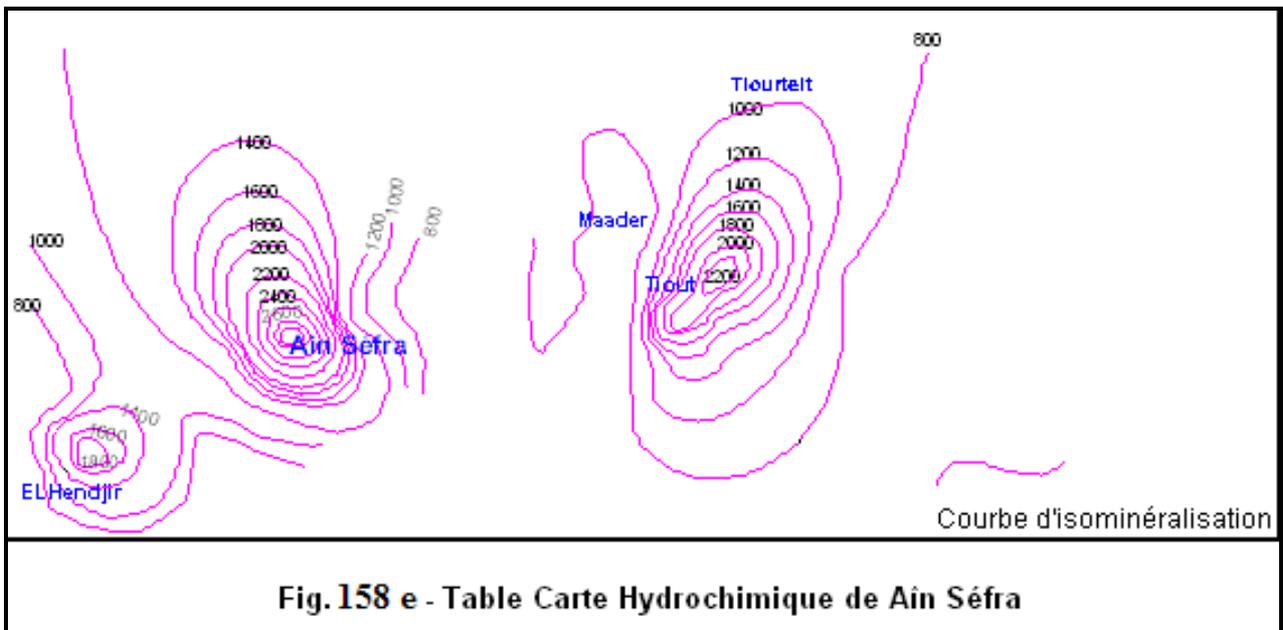


Fig. 158 b -Carte piézométrique de Ain Séfra





Le Modèle Conceptuel de Données (MCD) hydrogéologique élaboré a concerné d'abord la carte de Ain Séfra (planche 07), étendu ensuite à l'ensemble des six coupures (Aïn Séfra, Moghrar, Djenien Bou rezk, Mékalis, Djebel Arar) pour finalement n'en constituer qu'un seul document cartographique de synthèse que nous nommerons : carte hydrogéologique des monts des Ksour (planche 08).

3 – 5. Application : prototype du modèle global (fig. 159)

Le prototype du modèle global s'appuie sur 04 étapes dont la finalité est de faire ressortir une cartographie de synthèse :

- Programme principal d'élaboration
- Appel des couches
- Requêtes spatiales
- Analyses spatiales et études hydrogéologiques
- Cartographie de synthèse

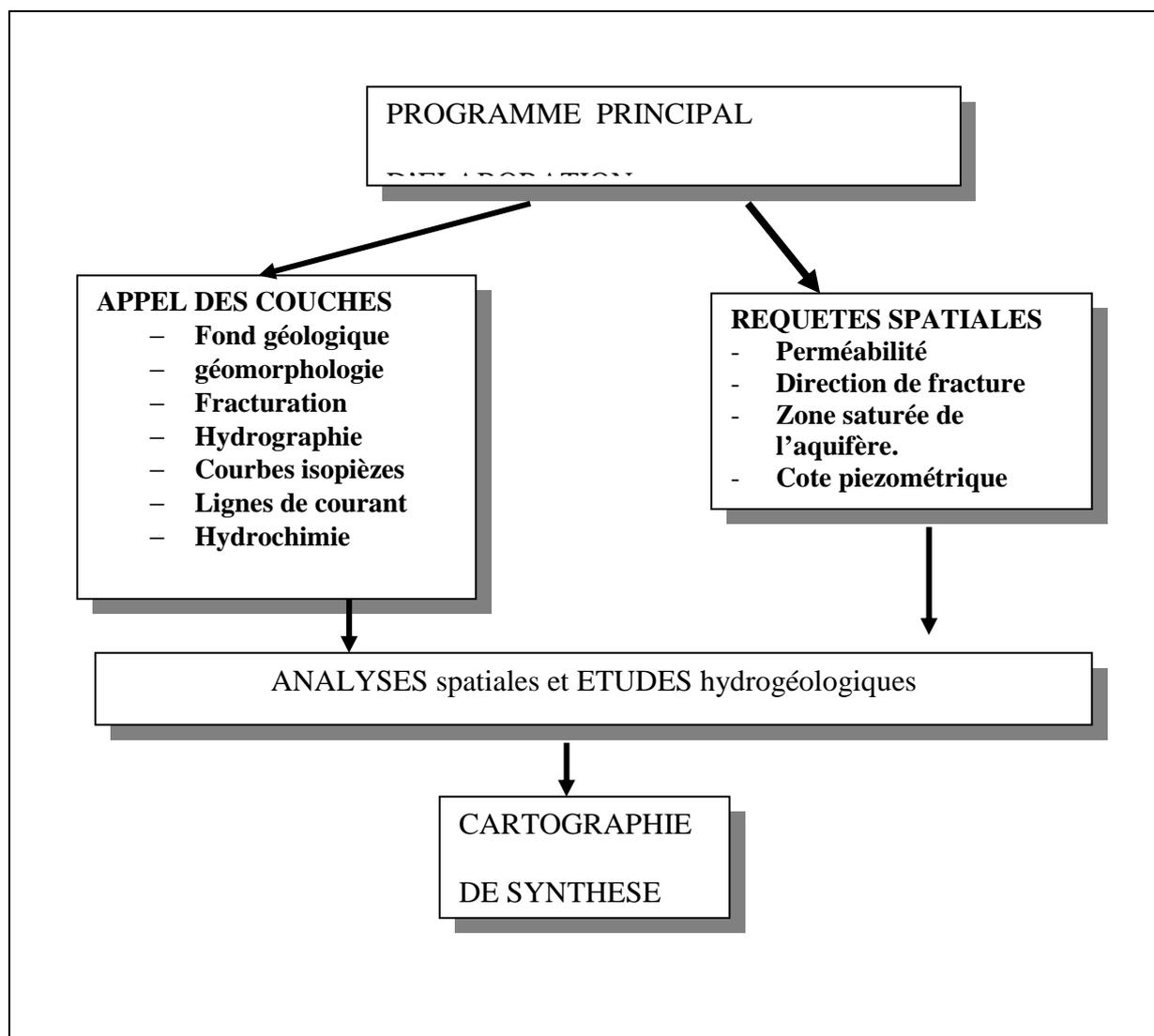


Fig. 159 – Prototype du modèle

III – RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1 – Mise à jour des données structurales par l’image satellite

La configuration des bassins hydrogéologiques étant intimement liée à la présence de failles ; nous présentons à partir de l’image satellite de la partie centrale des monts des Ksour quelques exemples de discontinuités hydrodynamiques (lignes de partages des eaux souterraines) générées par des failles non identifiées (fig. 160 a, b et c) à partir des cartes géologiques établies par D. Galmier (1973) :

- Faille du Dj. Chemarikh affectant le synclinal de l’Oued Rhouiba (fig.160a)
- Faille du Dj. Aïssa affectant le synclinal de Aïn Séfra et Mékalis (fig.160 b)

- Faille du Dj. Melah affectant le synclinal de Mékalis (fig. 160 c)

Les conditions aux limites dépassent donc le cadre de l’entité structurale « synclinal ». L’exemple est donné par l’extension du bassin hydrogéologique d’El Hendjir qui s’étend depuis l’Ouest de Aïn Séfra jusqu’aux limites de Forthassa Gharbia ou encore celui de Dalaât Tiout qui s’étend depuis l’Est de Aïn Séfra jusqu’à Asla dans la feuille de Mékalis.

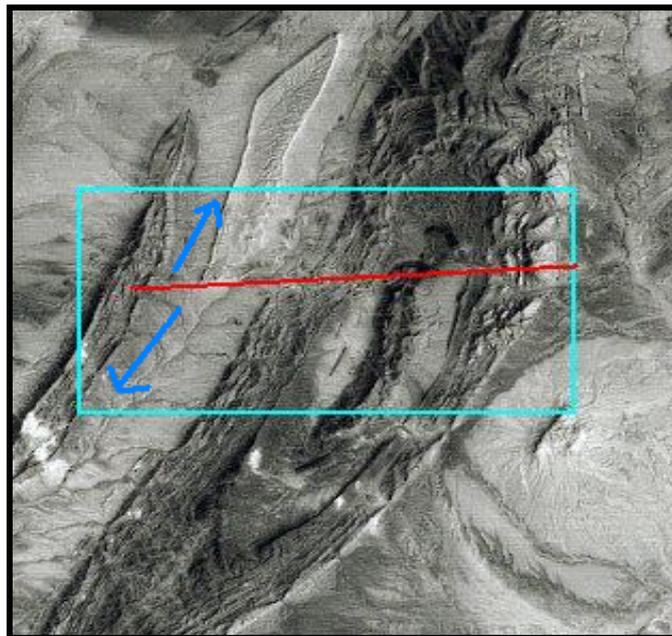


Fig. 160 a – Faille du Dj. Chemarikh affectant le synclinal de l’Oued Rhouiba



Fig. 160 b – Faille du Dj. Aïssa affectant le synclinal de Aïn Séfra et de Mékalis

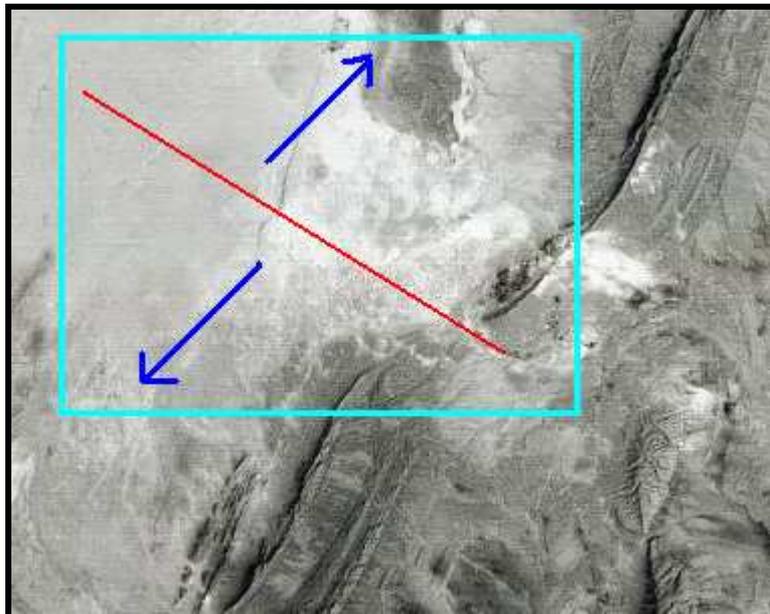


Fig. 160 c - Faille du Dj. Melah affectant le synclinal de Mékalis

2 - Carte hydrogéologique de Aïn Séfra (Planche 07)

La carte hydrogéologique de Aïn Séfra, couplée à un support hydrochimique montre l'existence de 02 lignes de partages des eaux souterraines, liées aux conditions structurales, qui ont généré l'étranglement de la cuvette de Aïn Séfra en gouttières synclinales. On observe ainsi la mise en place de 03 directions de l'écoulement des eaux souterraines :

- Un écoulement de direction WSW, orienté vers la cuvette piézométrique d'El Hendjir.
- Un écoulement de direction ENE, orienté vers la cuvette piézométrique de Dalaât Tiout.
- Un écoulement de direction NNE, orienté vers le synclinal de Tirkount – Mékalis.

On est donc en présence de 03 bassins hydrogéologiques dont les limites sont à rechercher vers Forthassa (carte de Forthassa Gharbia, fig. 161) à l'ouest pour le bassin hydrogéologique d'El Hendjir et vers Naâma (carte de Mékalis) au Nord pour les bassins hydrogéologiques de Dalaât Tiout et de Mékalis.

Notons que le bassin hydrogéologique de Haoud Aïmer (fig. 162) est alimenté par l'unité de Zerguat El Agreb (Nord Est de Forthassa) ainsi que par le versant Nord de Djebel Hadjeret Toual (carte de Mékalis).

Au droit des cuvettes piézométriques (Dalaât Tiout, El Hendjir), des anomalies hydrochimiques sont observées (concentrations anormalement élevées de 3000 à 4000 mg/l de sels dissous). La mise en place de cette anomalie paraît correspondre à la présence d'accidents non décelés par la géophysique, affectant les grés Albo-Aptiens.

Ainsi la carte d'Aïn Séfra à elle seule ne peut suffire pour comprendre la dynamique des grands écoulements souterrains au sein de la partie centrale des monts des Ksours. Pour cela, une carte de synthèse regroupant les six coupures hydrogéologiques s'est imposée.

PLANCHE 07

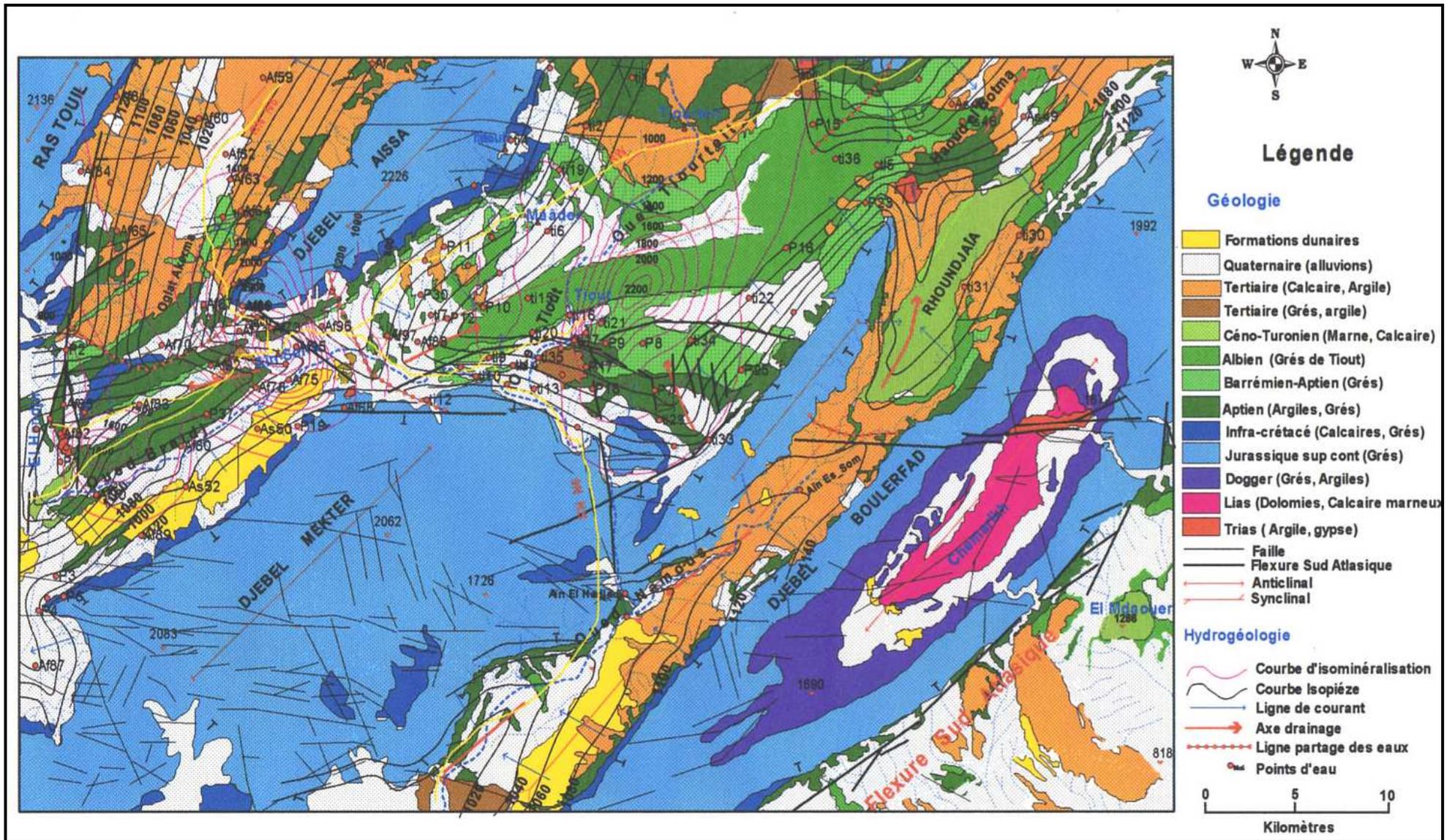


Planche 07 – Carte hydrogéologique de Ain Séfra

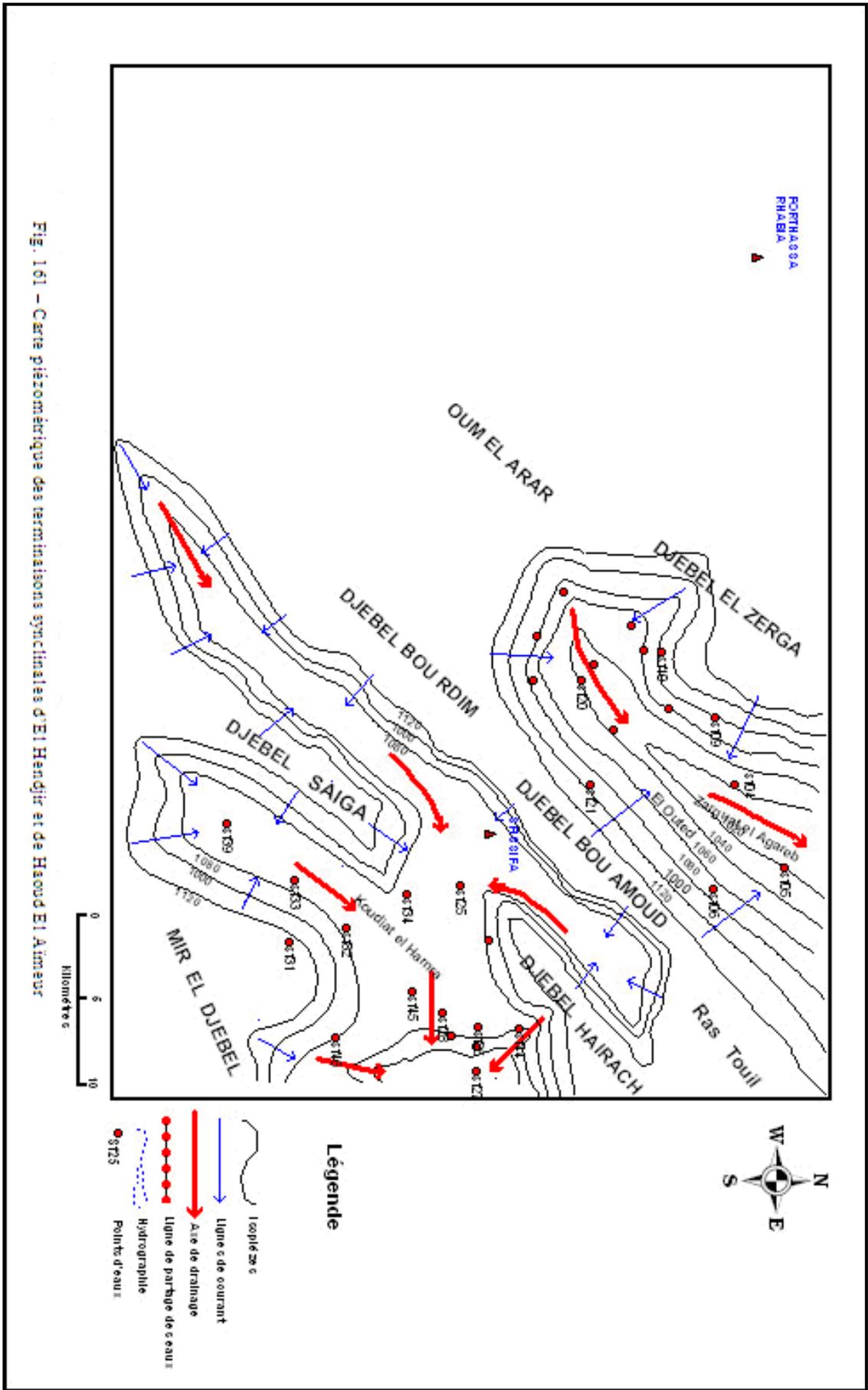


Fig. 161 - Carte piézométrique des terminations synclinales d'El-Hendjir et de Haoud El-Aimeur

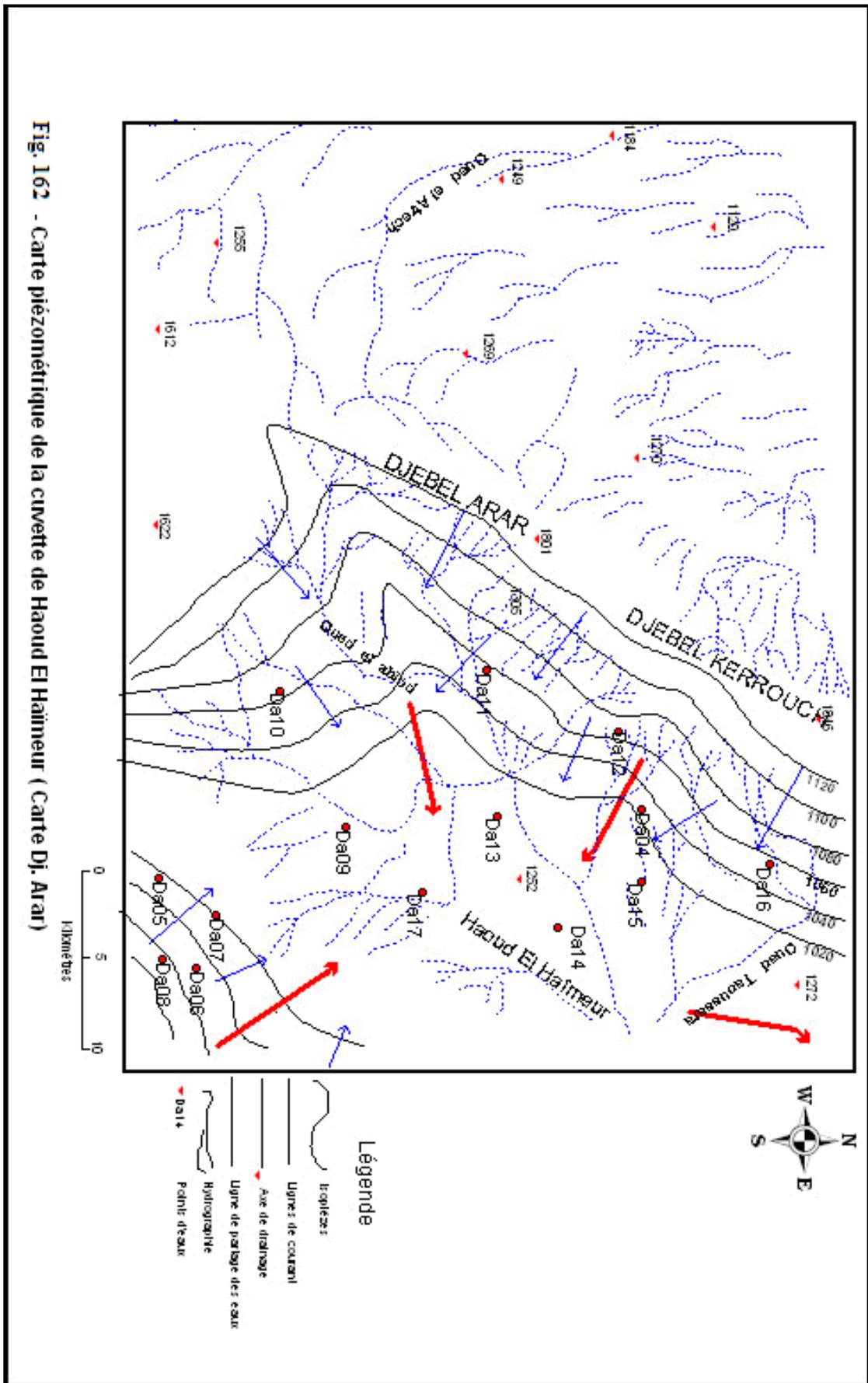


Fig. 162 - Carte piézométrique de la civette de Haoud El Haimeur (Carte Dj. Arar)

3 - Carte hydrogéologique de synthèse des monts des Ksour (Pl. 08)

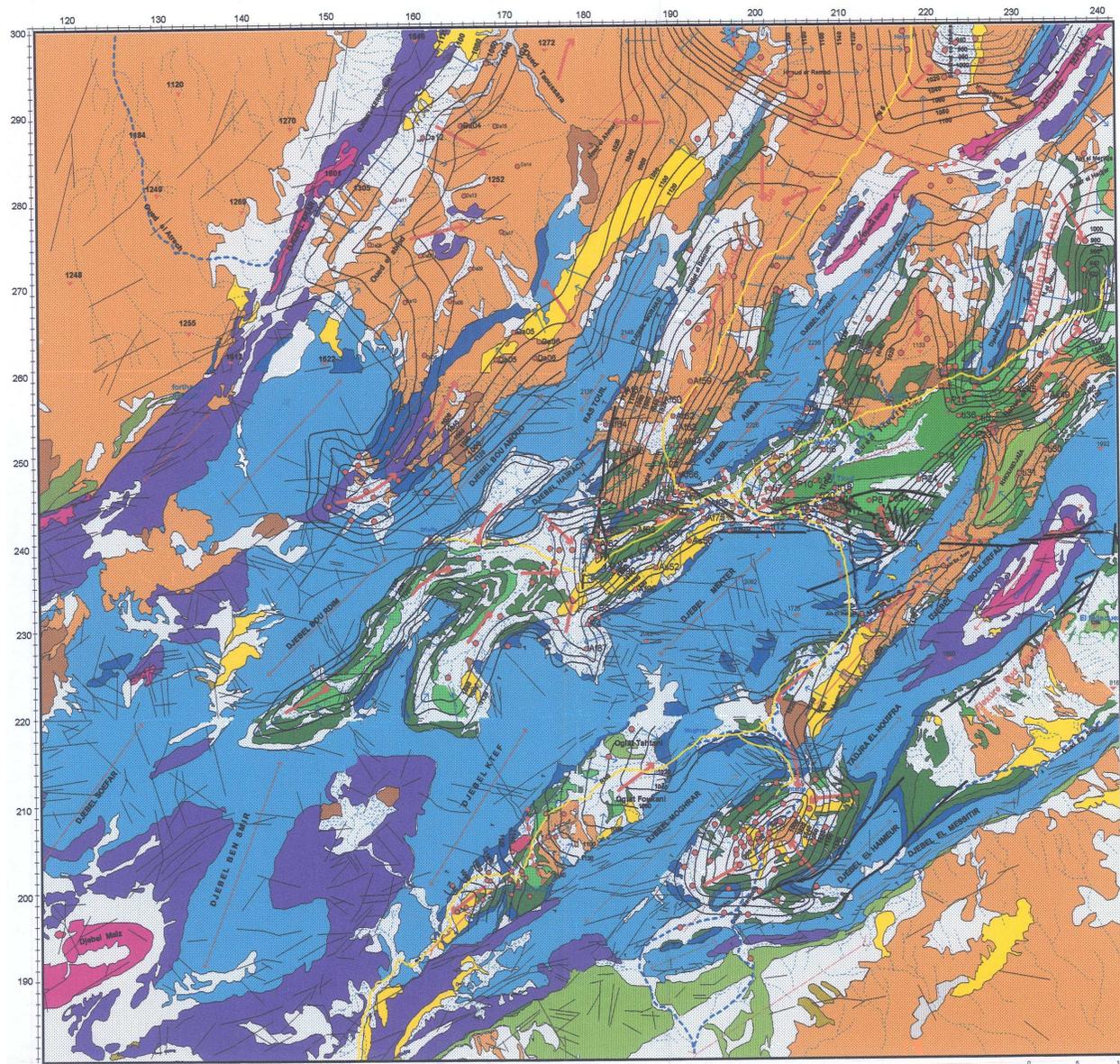
L'établissement de la carte hydrogéologique de synthèse des monts des Ksour a pour but principal de reconnaître les limites hydrogéologiques des grands aquifères liées aux grés du Barrémo-Albo-Aptien (*Continental Intercalaire*).

Après avoir cartographié les eaux souterraines à partir des coupures hydrogéologiques des monts des Ksour, on a pu reconstituer les bassins hydrogéologiques qui sont du Nord vers le Sud :

- Bassin hydrogéologique de Haoud El haïmar, orienté SW – NE, alimenté par les versants Nord du Djebel Arar et ceux du versant Sud du Djebel Morhad (carte Djebel Arar et carte Mékalis).
- Bassin hydrogéologique de Naâma, centré autour de Sebkhet Naâma, alimenté principalement par le Djebel Melah (carte Mékalis).
- Bassin hydrogéologique de Tirkount – Mékalis, orienté SW – NE, alimenté latéralement par les versants des Djebels Morhad, Aïssa et Tifkirt (carte Aïn Séfra et carte Mékalis).
- Bassin hydrogéologique de Dalaât Tiout – Haoud El Botma – Asla, orienté SW – NE, alimenté latéralement au niveau de Dalaât Tiout par les versants des Djebels Mekhter, Djara, Aïssa, Tifkirt et au niveau de Asla par les versants des Djebels Afzouz, Talbouna, Melah et Bram (carte Aïn Séfra et carte Mékalis).. Une alimentation verticale

- ascendante à partir du Jurassique très fracturé est mise en évidence à Tiout (Aïn Séfra) et à Remta (Asla).
- Bassin hydrogéologique El Hendjir – Sfisifa – Forthassa, orienté SW – NE, alimenté par les versants des Djebels Saïga et Mir El Djebel (carte Aïn Séfra et carte Forthassa Gharbia).
- Bassin hydrogéologique de Moghrar sous forme de cuvette synclinale, drainé par l’oued Namous, alimenté d’une part à partir du NE par le petit synclinal drainé par l’oued Rhouiba (Aïn Es Somm, Hassi Ahmar Kheddah) et d’autre part à partir de l’Est par le synclinal des Oglat, drainé par l’oued Moghrar (carte de Moghrar et carte de Djenien Bourezk). Sur le tracé même de l’oued Namous, au droit de son intersection avec l’Oued Fer’at El Beguer, une perte longeant la faille permet d’alimenter la plate forme Saharienne.
- Bassin hydrogéologique de Djenien Bourezk, appelé synclinal de Hadjret El M’guil qui s’étend vers SW jusqu’aux gorges de l’oued Dermel. La plus grande partie de l’impluvium est constituée par la puissante série gréseuse du Jurassique Supérieur qui permet d’alimenter la plate forme Saharienne à partir de la flexure Sud Atlasique.

PLANCHE 08



LEGENDE

Géologie

- Formations dunaires
 - Quaternaire (alluvions)
 - Tertiaire (Calcaire, Argile)
 - Tertiaire (Grés, argile)
 - Céno-Turonien (Marne, Calcaire)
 - Albien (Grés de Tiout)
 - Barrémien-Aptien (Grés)
 - Barrémien (Argiles, Grés)
 - Néocomien (Grés et Calcaires)
 - Jurassique sup cont (Grés)
 - Dogger (Grés, Argiles)
 - Lias (Dolomies, Calcaire marneux)
 - Trias (Argile, gypse)
-
- Faille
 - Flexure Sud Atlasique
 - Anticlinal
 - Synclinal

Hydrogéologie

- Courbe isopièze
- Ligne de courant
- Axe drainage
- Ligne de partage des eaux
- Hydrographie
- Mors
- Point d'eau

Assemblage des cartes 1/500.000°

Zones cartographiées		
DJEBEL ARAR	MEKALIS	MECHERA
FARTHASSA	AW SUPRA	CHILLALA
DJENEN	MOORAR	EL AMOUDI
BOURKED		BEL CHEIKH

Planche 08 - Carte hydrogéologique des Monts des Ksour, Février 2003; (Mansour. H, 2007)



4 – Conclusion

Ainsi grâce à l'apport des SIG, une réflexion et une optique régionale ont été tentées par l'élaboration d'une cartographie hydrogéologique, qui a permis de retracer la configuration des grands écoulements des eaux souterraines dans les Monts des Ksour.

Deux faits majeurs conditionnent la genèse des grands écoulements souterrains de cette partie de l'Atlas Saharien :

- Le rôle hydrodynamique de l'accident Sud Atlasique (Béni Ounif - Djenien Bourezk – Moghrar) dans l'alimentation de la plate forme Saharienne.

- La fonction capacitive des cuvettes synclinales :

- Haoud El haïmar (Dj. Arar)
- Sebkhet Naâma
- Tirkount – Mékalis
- Dalaât Tiout – Haoud El Botma – Asla
- El Hendjir – Sfissifa – Forthassa.

Cet immense appareil hydraulique, régit par un hydrodynamisme complexe et commandé par un contexte géostructural propre au style Atlasique est analysé à partir d'une Base de Données Géospaciales. Cela a permis nous a permis d'établir des cartes de synthèses révisables.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Après les interprétations et conclusions tirées de l'étude hydrogéologique, reposant sur l'analyse du bilan de l'eau (quantification des apports), les caractéristiques lithologiques (conditions aux limites) et structurales (Flexure Sud Atlasique) des formations pouvant constituer des aquiductes ou des écrans, il s'est avéré qu'on est en présence de deux phénomènes majeurs marquant l'hydrogéologie régionale du Nord Ouest du Sahara Algérien, à savoir :

- Immense appareil hydraulique, régit par un hydrodynamisme complexe, commandé par la présence de l'accident Sud Atlasique, qui selon la région jouera le rôle de flux à potentiel imposé (partie occidentale au droit Béni Ounif), de flux nul (partie orientale à El Abiodh Sidi Cheikh) ou flux mixte (partie centrale au droit de Moghrar).
- Symbiose hydraulique, à l'échelle régionale entre les Monts des Ksour, les piémonts de la plate forme Saharienne, le Grand Erg Occidental et la vallée de la Saoura.

L'apport de la morphométrie des bassins Atlasiens au droit de Béni Ounif, Aïn Séfra, El Abiofh Sidi Cheïkh est important dans les relations entre les aquifères gréseux du *Continental Intercalaire* de l'Atlas et ceux du Complexe Terminal à composante argilo-gréseuse.

Vers l'extrémité occidentale des Monts des Ksour entre Béni Ounif et Oued Zoubia (ex Duveirier), les écoulements superficiels de direction Nord – Sud sont étroitement liés aux écoulements souterrains. Au niveau de la partie centrale (Aïn Séfra et Moghrar), le bassin bien hiérarchisé est caractérisé par des écoulements de direction Nord (vers Naâma), Ouest (vers Sfissifa) et Sud (vers Oued Namous). Au niveau de la partie orientale (El Abiodh Sidi Cheïkh – Brizina), le bassin pratiquement parallèle à la flexure Sud Atlasique, de direction Est – Ouest ne participe guère à l'alimentation des piémonts de la plate forme Saharienne.

L'analyse lithostratigraphique et structurale a permis de faire ressortir les grands traits de la géologie des Monts des Ksour, particulièrement les structures synclinales, formant de vastes plaines, comblées par des formations continentales du Crétacé inférieur et qui sont le siège des grands écoulements d'eau souterraines. L'épaisseur peut dépasser 1000 mètres à El Abiodh sidi Cheikh (résultat du rejet de la faille Sud Atlasique).

Plus au Sud, séparées de l'Atlas Saharien par la flexure Sud Atlasique, les formations continentales post – Turoniennes, bien illustrées dans la région de Brezina (El Kohol) forment de grandes épaisseurs. Elles sont généralement discordantes soit sur le Turonien soit sur le *Continental Intercalaire*.

La limite structurale et hydrogéologique, représentée par la faille Sud Atlasique est illustrée à travers des sites représentatifs par des coupes montrant plusieurs positions structurales particulières ayant un impact sur les écoulements souterrains entre l'Atlas et la plate forme Saharienne. On citera la structure anticlinale en genou à Djebel Kerdacha (Djenien Bourezk), le renversement de la série des grés continentaux du *Continental Intercalaire* sur les calcaires dolomitiques du Dogger à Djebel Ouazzani (Béni Ounif) ou encore la série inversée des grés continentaux, coiffés par la corniche des calcaires Turoniens (El Abiodh S/C).

Parmi les principaux résultats de l'étude hydroclimatologique, on citera particulièrement l'apport par les précipitations, représentant une lame d'eau moyenne de 160 mm relative à l'ensemble de la zone cartographiée. L'hydrologie de surface, basée en grande partie sur l'analyse des débits fréquentiels a pris en compte les grands émissaires descendant de l'Atlas Saharien Occidental. Elle nous a permis de dresser un constat, illustrant mes apports capables d'alimenter 02 entités hydrogéologiques distinctes :

- Domaine oriental, parcouru par les Oued Namous, Gharbi et Segguer, alimentant les piémonts de la plate forme saharienne avec un apport total de 84 Millions de mètres cubes.

- Domaine occidental, drainé par la Zousfana et son affluent principal, alimentant la grande vallée de la Saoura avec un apport moyen de 40 Millions de mètres cubes.

Les crues exceptionnelles, d'un débit notable permettent de régénérer les eaux souterraines du **Continental Intercalaire**, du *Complexe Terminal* et des terrasses des grands inféro flux. Les débits instantanés calculés à partir des données hydrométriques sont compris entre 600 m³ /s et 1000 m³ /s.

Au sein des piémonts Nord des Monts des Ksour, les formations gréseuses Jurassico-Crétacées disposent de grandes possibilités aquifères, alimentées d'une part latéralement par les calcaires dolomitiques de l'Aaléno-Bajocien et d'autre part par écoulement hypodermique, particulièrement au droit des Theniet qui constituent des couloirs privilégiés d'alimentation.

Les piémonts Sud des Monts des Ksour, parcourus par le réseau aérien des oueds Zousfana, Namous, Gharbi, et Segguer constituent un vaste système hydrogéologique jouant le rôle de carrefour entre le domaine Atlasique au nord et les terrains de couches rouges du *Complexe Terminal*, sous jacents à la dalle Hamadienne au Sud.

Les caractéristiques des différents forages hydrauliques nous indiquent qu'on est en présence d'une nappe très complexe, contenue à la fois dans le Mio-Pliocène (*Complexe Terminal*) et dans le Barremo-Albo-Aptien (**Continental Intercalaire**). C'est donc un système aquifère multicouche, conditionné particulièrement par des échanges hydrodynamiques verticaux. Nous assistons à un phénomène de drainance ascendante, impliquant l'alimentation du *Complexe Terminal* par le **Continental Intercalaire**. La limite d'extension des marnes Cénomaniennes a pu être identifiée grâce aux forages pétroliers. En effet l'absence de cette formation imperméable entre les forages Taj.1 et Btji laisse reposer directement *Complexe Terminal* sur le **Continental Intercalaire**. Le Trias profond de 1940 mètres (Taj.1) remonte à 500 mètres (Nm.1), caractérisant un bassin subsident au niveau de Hamadat Bent Touadjine.

La Hamada Sud Oranaise, par l'intermédiaire de l'entablement des calcaires Miocènes joue un rôle de relais, permettant de drainer les eaux souterraines, issues des piémonts de l'Atlas et de la nappe sous l'Erg vers la vallée de la Saoura. La grande source de Béni Abbès constitue l'exutoire par excellence de la nappe de l'Erg au droit de cette localité.

La limite occidentale du système est intimement liée à la présence des formations Carbonifères du bassin de Taghit – Béchar, qui à leur tour interviennent pour suralimenter l'aquifère de la Hamada Sud Oranaise.

La Hamada du Guir peut constituer un Karst parsemé de Dayas qui joueraient le rôle de dolines. Nous aurions donc un ensemble de drains partant des différentes dayas et pouvant donner un conduit principal au droit des paléo-oueds. Nous n'aurons donc pas un ensemble continu mais un système de réseaux karstiques pouvant évoluer séparément.

L'apport de l'hydrologie isotopique confirme que les réserves héritées des pluviaux Quaternaires se trouvent mêlées à un apport sporadique actuel, particulièrement au niveau du Grand Erg Occidental. Seule la nappe de la Hamada du Guir est considérée comme fossile.

Les conditions d'émergence des sources dans les monts des Ksour sont liées à 02 origines, l'une structurale donnant naissance à des sources thermales d'origine profonde ; l'autre liée à la fissuration affectant les formations Jurassico-Crétacées. C'est dans les grés du *Continental Intercalaire* qu'on retrouve les sources les plus importantes.

L'étude hydrogéologique des synclinaux des Monts des Ksour a pu être menée en subdivisant le système en 03 grands faisceaux. Cela nous a permis de reconnaître les aquifères des différents synclinaux mais également d'identifier le rôle hydrodynamique de la faille Sud Atlasique depuis le Djebel Grouz (Béni Ounif) jusqu'aux confins du Djebel Tismert (El Abiodh Sidi Cheïkh). Ainsi la cartographie hydrogéologique fait ressortir une liaison

hydrodynamique entre les formations Jurassico – Crétacées de l'Atlas et le Mio-Plioquaternaire des piémonts de la plate forme Saharienne (Béni Ounif – Djenien Bourezk), à partir de la faille Sud Atlasique. Au niveau de la partie centrale des Monts des Ksour, les intercommunications se font à la faveur des couloirs (cuvettes synclinales), encadrés par les anticlinaux d'âge Jurassique. Ces derniers participent souvent à l'alimentation du *Continental Intercalaire*, en remontant le long des failles (Synclinal de Naâma). La partie orientale des Monts des Ksour (El Abiodh Sidi Cheïkh) constitue un système hydrogéologique indépendant, représenté principalement par l'aquifère du *Complexe Terminal*. A ce niveau, la faille Sud Atlasique, d'un rejet dépassant 1000 mètres constitue une limite à flux nul.

Après avoir fait une synthèse des résultats des campagnes piézométriques et hydrochimiques relatives aux synclinaux des Monts des Ksour, nous avons présenté à partir d'un raffinement de méthodes de traitement performantes (imagerie spatiale, méthodes d'intégration et d'analyse des SIG) une cartographie thématique représentant les grands écoulements dans un Atlas Hydrogéologique. Il en ressort que la configuration des bassins hydrogéologiques est intimement liée à la présence de failles, dépassant ainsi le cadre de l'entité d'une carte géologique au 1/100.000^e.

On peut reconnaître 06 bassins hydrogéologiques d'extension régionale. Seuls les systèmes hydrogéologiques de Mogharrar et Djenien Bourezk sont en relation hydrodynamique avec la plate forme Saharienne par l'intermédiaire de la faille Sud Atlasique.

La généralisation de ce modèle sur toute la partie centrale des Monts des Ksour nous a permis d'élaborer une carte de synthèse révisable à des fins d'exploitation du système aquifère du *Continental Intercalaire*. La Base de données Géospaciales est réalisée sur la base du MCD pour permettre une intégration de toutes les données géologiques.

Ainsi des perspectives d'analyse spatiale orientées vers des études de géodynamique et d'hydrogéologie régionale vont s'offrir. On citera particulièrement des travaux de recherche à entreprendre tel que l'étude du

bilan de chaque bassin hydrogéologique, la relation hydrodynamique entre les aquifères du Jurassiques et ceux du *Continental Intercalaire* au droit des cuvettes synclinales. Plus au Sud, au niveau de la flexure Sud Atlasique, l'apport de l'hydrologie isotopique, appuyé par de nouvelles analyses permettra d'éclaircir certains problèmes liées à l'alimentation des piémonts de la plate forme saharienne.

Les résultats de ce travail pourront servir également à l'élaboration d'une politique visant d'une part à la projection des champs de captage, destinées à l'alimentation des besoins en eau et d'autre part à prévenir la pollution sous toutes ses formes des formations aquifères des monts des Ksour.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABADA A. (1986) – Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de l'oued Breïdj (Monts des Ksour, Atlas Saharien Occidental). *Thèse 3^{ème} cycle. Univ – Alger. USTHB.*

AIEA. (1981) – Stable isotope hydrology. Deuterium and oxygen – 18 in the water cycle. *Technical report series, n° 210, 339 p, Vienne, Austria.*

AIEA. (1989) – Isotopes techniques in the Study of the hydrology of fractured rocks. *Proceedings of advisory Group Meeting. Vienna, 17-21.*

AÏT DRISS K. et SELLAH O. (1995) – Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal de Naäma (Monts des Ksour, Atlas Saharien). *Mém. Ing, Univ-Oran, 130 p, 58 fig.*

AÏT OUALI R. (1991) – Le Rifting des Monts des Ksour au Lias. Organisation des bassins, diagenèse des assises carbonatées. Place dans les ouvertures Mésozoïques du Maghreb. *Thèse de doctorat es Sciences, Univ-Alger, 297 p, 16 Tabl, 6 Pl.*

ALGEO. (1977) – Etude géophysique de la région de Djenane El Adham et Forthassa Nord (Mecheria – Aïn Séfra). *Rapport ANRH, 52 p, 11Fig, 13 Pl.*

ALLEMANN et M'DAGHRI ALAOUI A. (1991) – Evaluation comparative de différents traceurs artificiels en hydrogéologie et méthodologie d'analyse. *Bull CHYN, n° 10, 1991.*

ARANYOSSY J.F. (1989) – Quelques études pratiques d'applications des isotopes de l'environnement aux études hydrogéologiques. *BRGM, 89 – 3, pp. 159 – 166.*

ARANYOSSY J.F. (1991) – L'apport des techniques isotopiques à l'étude de la recherche des aquifères sous contraintes techniques et climatiques extrêmes. *Diplôme d'habilitation, Univ – Paris Sud, Orsay.*

AZZAZ A. (1992) – Etude hydrogéologique du synclinal d'El Bayadh. *Mém. Ing, Univ-Oran, 200 p, 92 Fig.*

AZZAZ A. (1996) – Etude hydrogéologique du Chott El Gharbi. *S.E.I.R.E.S / A.N.R.H. Oran. 98 p, 17 fig, 9 pl.*

BAÏCHE A. et DELFAUT J. (1985) – La sédimentation détritique du haut Delta dans le Jurassique de la région de Djenien (Monts des Ksour, Atlas Saharien). *Réunion annuelle des sciences de la terre, p 27.*

BAKALOWICZ M. (1977) – Etude du degré d'organisation des écoulements dans les aquifères carbonatés par une nouvelle approche. *C.R. Acad. Sc. Paris, t.284, Série D, pp. 2463 – 2565.*

BASSETO D. COUMES F. (1967) – Série lithologique du Djebel Laghouat, étude stratigraphique de la zone de passage Jurassique – Crétacé. *Pub. Serv. Carte Géol. Algérie, Nlle Série, n° 35, pp. 13 – 20.*

BASSOULET B. et ILIOU J. (1967) – Découverte de dinosaures associés à des crocodiliens et des poissons dans le Crétacé inférieur de

l'Atlas Saharien Occidental. *C.R. Som. Soc. Géol. France, Fasc.7, pp. 294 – 295*

BASSOULET B. (1973) – Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas Saharien Occidental (Algérie). *Thèse. Sci. Nat, Univ-Paris VI, 2 tomes, 497 p, 50 Fig, 32 Pl.*

BENEST M. (1985) – Evolution de la plate forme de l'Ouest Algérien et Nord Est Marocain au cours du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur. Stratigraphie, milieu de dépôt et dynamique sédimentaire. *Docum. Lab. Géol. Lyon, 95, 1 – 2, 581 p, 145 Fig, 23 Pl.*

BEKHEDDA B. (1992) – Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal de Béni Ounif (Monts des Ksour, Atlas Saharien). *Mém. Ing, Univ-Oran, 162 p, 77 Fig.*

BEL F. et CUCHE D. (1969) – Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Mise au point des connaissances sur la nappe du *Complexe Terminal. Projet UNESCO – Reg.100. Service des études Scientifiques. Direction de l'hydraulique. 14 p.*

BENHABI B. (1980) – Forages à Oum El Assel et Oued Namous. *Rapport interne. D.M.R.H. Oran. 5 p.*

BENYAMINA M. et IGHYL L. (1999) – Etablissement d'un système d'information hydrogéologique (HYGIS) appliqué à un bassin endoréique : cas du Chott Chergui. *Mém. Ing, Univ-Oran, 111 p, 46 fig.*

BETTAHAR A., HABANI H. et MEDAOURI M. (1996) – Analyse structurale d'un tronçon de l'accident sud atlasique El Kohol (Brizina, Atlas Saharien Occidental, Algérie) *Bull. Serv. Géol. Algérie. Vol. 8, n°1, pp. 81 – 94, 14 fig.*

BLANC D. et CONRAD G. (1968) – Evolution géochimique des eaux de l'oued Saoura (Sahara Nord Occidental). *Revue de Géog. Phys et de Géol. Dyn, Fasc.5, Paris, pp. 415 – 428.*

BLAVOUX B., MURDRY J. et PUIG J.M. (1992) – Effet du climat méditerranéen sur les gradients physico-chimiques avec l'altitude en zone montagneuse karstique. *5^e Coll. d'hydr. en pays calc. Neuchatel, 16-18 octobre, pp. 267 – 270.*

BLAVOUX B. (1995) – Apport des techniques isotopiques à la connaissance des eaux souterraines. *Géochronique n°54, France*

BRACENE R. (1992) – Tripologie des structures plicatives dans l'Atlas Saharien Occidental. *9^{ème} séminaire national des sciences de la terre. Tlemcen.*

BRETON L. (1991) : *Introduction aux bases de données, IGN (PARIS).*

BOURGEOIS M. (1959) – Alimentation en eau potable de Béni Ounif. *Rapport. Service de la colonisation et de l'hydraulique. 4 p.*

BOUGUERN A. (1996) – Etude hydrogéologique du synclinal de Asla (partie centrale des Monts des Ksour, Atlas Saharien). *Mém. Ing, Univ – Oran, 136 p, 48 fig.*

BOUKDIR A. (1994) – Contribution à l'étude géothermique du bassin de Tadla, Plateau des phosphates. Application au réservoir calcaire du Turonien. *Univ – Cadi Ayyad, Fac. Semlalia, Marrakech (Maroc), 240 p.*

BULGARGEOMIN (1978 à 1985) – Rapports sur les travaux de forages hydrogéologiques des régions de Naâma, Tirkount, Sfissifa, Tiout, Aïn Ouarka).

BUSSON G. (1971) – Principes, méthodes et résultats des études stratigraphiques du Mésozoïque Algérien. *Thèse doctorat, Paris, 464 p.*

CARATINI C. (1971) – Le passage du Jurassique au Crétacé dans l'Atlas Saharien et les régions voisines. *Mém. Bur. Rech. Géol. Min, n° 75, pp. 1 – 6.*

C.G.G (1973 à 1977) – Etudes géophysique des synclinaux des monts des Ksour (Aïn Séfra, Naâma, Asla, El Abiodh Sidi cheikh, Béni Ounif). *Compagnie générale de géophysique. Rapports internes. DHW de Naâma et de Béchar.*

CHAVAILLON J. (1964) – Etude stratigraphique des formations Quaternaires du Sahara Nord Occidental (Béchar – Reggane). *Thèse. 393 p, 111 fig, 32 pl, 16 cartes. Publ.CRZA. Serv. Géol, n° 5, Paris, CNRS.*

CHERIF A. (2002) – La formation de Tiout (Crétacé inférieur). Sédimentologie et organisation des dépôts dans les secteurs du Djebel Méhirize et Tiout (Monts des Ksour). *Mém. Ing, Univ – Oran, 46 p, 22 fig.*

CHEYLAN G. (1954) – Forages de puits sur les Hamadas de l'oued Zoubia et de l'oued Namous (Territoire de Aïn Séfra). *Etudes scientifiques. SCH. Clairbois. Birmanfreis. Alger. 5 p.*

CHEYLAN G. (1955) – Situation du périmètre de protection au puits communal de Béchar. *Etudes scientifiques. SCH. Clairbois. Birmanfreis. Alger. 6 p.*

CHEYLAN G. (1955) – Recherche des points d'eau Béni Ounif – Moghrar. *Etudes scientifiques. SCH. Clairbois. Birmanfreis. Alger. 7 p.*

CLAIR A. (1951) – Recherche d'eau pour le centre semi permanent du relais aux environs de Béni Ounif. *Rapport SCH. Clairbois, Birmandreis. Alger. 6 p, 1 fig.*

CONRAD G. et ROCHE M.A. (1965) – Etude stratigraphique et hydrogéologique de l'extrémité méridionale de la Hamada du Guir (Sahara Nord Occidental). *Bull, Soc. Géol. France, 7ème Série, t.VII, pp. 695 – 712.*

CONRAD G. et Al (1966) – Etude isotopique des eaux de la région de la haute Saoura (Sahara Nord Occidental). *CR. Acad. Sciences, 262 p, pp. 1058 – 1061.*

CONRAD G. (1969) – L'évolution continentale Post – Hercynienne du Sahara Algérien (Saoura, Erg Chech - Tanezrouft, Ahnet - Mouydir). *Mém. CRZA, n° 10, Serv. Géol. Ed. CNRS. Paris.*

CONRAD G. et FONTES J.CH. (1970) – Hydrologie isotopique du Sahara Nord Occidental. *In Isotope Hydrology, AIEA, pp. 405 – 419. Vienne.*

CONRAD G. et FONTES J.CH. (1972) – Circulations, aires et périodes de recharges dans les nappes aquifères du Nord Ouest Algérien : données isotopiques (^{18}O , ^{13}C , ^{14}C). *C.R. Acad. Sc. Paris. t.275, n° 2, Série D, pp. 165 – 168.*

CONRAD G., MARCE A. et OLIVE P. (1975) – Mise en évidence par le tritium de la recharge actuelle des nappes libres de la zone aride Saharienne (Algérie). *Journal of Hydrology. n° 27, Amsterdam, pp. 207 – 224.*

CORNET A. (1947) – Observations géologiques dans l'Atlas Saharien Sud Oranais. *Bull. Soc. Hist. Nat, Afrique du Nord, t.38, Fasc. 1 – 9, pp. 63 – 69, 8 fig.*

CORNET A. (1948) – Hydrologie de l'Erg Occidental. *Etudes scientifiques. SCH. Clairbois, Birmandreïs. Alger. Rapport I, p 13, 4 fig.*

CORNET A. (1948) – Sur la réalité des mouvement Post Crétacés au Sahara. *Trav. Int. Rech. Sahara. Alger, n° 5, pp. 33 – 56, 4 fig, 2pl.*

CORNET A. (1948) – Recherche d'eau le long de la piste de Bougtob – béchar. *Service de la colonisation et de l'hydraulique (SCH). Etudes générales et grands travaux. Alger. 6 p.*

CORNET A. (1952) – Essais sur l'hydrogéologie du Grand Erg Occidental et des régions limitrophes. *Travaux de l'institut des recherches Sahariennes (Tome III), 4^{ème} partie, pp. 71 – 122, 18 fig, 01 carte.*

CORNET A. (1952) – L'Atlas Saharien Sud Oranais. *XIX^{ème} Congrès géologique interne, Alger, Monographies régionales, 51 p, 9 fig, 1 pl.*

CORNET A. et GOUSKOV N. (1952) – Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara Algérien. (nappe dite « Albienne »). *Travaux de l'institut des recherches Sahariennes (Tome III), 4^{ème} partie, pp. 144 – 169.*

CVIJANOVICH B.G. (1953) – Sur le rôle des dunes en relation avec le système hydraulique de la nappe souterraine du Grand Erg. *Trav. Inst. Rech. Sahar, t.IX, 1^{er} septembre, pp. 131 – 136, 3 fig.*

DELEAU P. (1947) – Le Guir et la Saoura ; cours d'eau du Sahara Oranais. *La nature. 15 mars 1947, n° 3132, pp. 89 – 92.*

DELFAUT J. (1974) – La sédimentation deltaïque ancienne. Exemples Nord Sahariens. *Bull. Centre. Recherches, Pau, SNPA, 8, 1, pp. 241 – 263.*

DELFAUT J. (1975) – Les grès des Ksour, un delta de plate forme stable. *XI^{aire} Congrès. Interne. Sedm, Nice, pp. 151 – 162.*

DELFAUT J., DOUIHASNI M. et ROLET J. (1974) – Mise en évidence des tectoniques superposées dans la région de Aïn Ouarka (Monts des Ksour, Algérie). *CR. Ac. Sc. Paris, t.278, Série D, pp. 1817 – 1820.*

DELFAUT J. (1984) – Le contexte géodynamique des systèmes Atlasique Mésozoïque des grès des Ksour (Atlas Saharien, Algérie). *5^{ème} séminaire des sciences de la terre, Alger, p. 50.*

DHW NAAMA (1980 –2000) – Données pompages d'essai de forages (Naâma, Aïn Séfra, Asla, Moghrar, Sfissifa). *Direction de l'hydraulique de wilaya de Naâma.*

DIDON E. (1990) - *Systèmes d'information géographiques : Concepts, Fonctions, applications*, Laboratoire commun de Télédétection, CEMAGREF/ENGREF (Montpellier).

DODO A. (1993) – Etude des circulations profondes dans le grand bassin sédimentaire du Niger. Identification des aquifères. *Doctorat d'état. Université Neuchatel (Suisse). 101 p, 44 fig, 14 Tabl, 15 annexes.*

DOUIHASNI M. (1974) – Etude structurale de la terminaison Nord Orientale de l'anticlinal de Aïn Ouarka (Monts des Ksour, Atlas Saharien, Algérie). *Mém. DEA, Fac. Sciences. Oran, 113 p, Inédit.*

DOUIHASNI M. et ROLET J. (1975) – Sur quelques aspects de la fracturation dans la région d'Aïn Ouarka (Monts des Ksour, Atlas Saharien, Algérie). *1^{er} séminaire des sciences de la terre. Alger.*

DOUIHASNI M. (1976) – Etude géologique de Aïn Ouarka – Boussemghoun. Analyse structurale (Partie centrale des Monts des Ksour, Atlas Saharien, Algérie). *Thèse 3^{ème} cycle, Univ – Oran, 272 p, 52 fig, 4 pl.*

DOUIHASNI M., ROLET J. et RUHLAND M. (1976) – Le rôle des décrochements dans l'évolution tectonique de la partie centrale des Monts des Ksour (Atlas Saharien, Algérie). *4^{ème} réunion annuelle, paris, p. 143.*

DRESNAY R. DU (1951) – Sur la présence d'un accident tectonique en bordure Nord du haut Atlas Marocain (Atlas Saharien). *CR. Ac. Sc., Paris, t. 232, pp. 997 – 999.*

DRESNAY R. DU (1956) – Contribution à l'étude détritico-Crétacée dans le haut Atlas Marocain oriental. *Notes. Serv. Géol. Maroc, t.14, n° 133, pp. 9 – 32.*

DRESNAY R. DU (1962) – Les discontinuités de sédimentation pendant le Jurassique dans la partie orientale du domaine Atlasique oriental Marocain. Leurs conséquences stratigraphiques et leurs relations avec l'orogénèse Atlasique. *Colloque Jurassique. Luxemburg, pp.899 – 912, 2 fig.*

DRESNAY R. DU (1963) – Carte géologique du Haut Atlas Marocain oriental au 1/200.000^e, feuille Bouarfa, Iche, Talzaza et Figuig. *Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc. n° 158.*

DROGUE C. (1969) – Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrologiques karstiques d'après l'exemple de quelques karsts péri méditerranéens. *Thèse d'état, Fasc. Sci. CERH, Montpellier, 462 p.*

DUBIEF J. (1953) – Essai sur l'hydrologie superficielle du Sahara. *Pub. Serv. Etudes. Sciences. Direc. Serv. De la colonisation et de l'hydraulique. Clairbois. Alger, 457 p, 41 fig, 3 pl.*

DURAND J.H. (1952) – Etude géologique, hydrogéologique et pédagogique des croûtes en Algérie. Publ. Gouvernement général de l'Algérie. Service colonisation et hydraulique. Birmandreis. Alger. 203 p.

ELMI S. (1978) – Polarité tectono – sédimentaire pendant l'effritement des marges septentrionales du bâti africain au cours du Mésozoïque (Maghreb). *Annales. Soc. Géol. Nord*, XCVII, pp. 315 – 323.

ELLOUZ N. (1984) – Etude la subsidence de la Tunisie Atlasique orientale et de la mer Pelagienne. *PHD Theisis. Université Pierre et Marie Curie. Paris IV*.

EL OUALI A. (1995) – Contribution du Haut Atlas central au Sud de Midelt à l'alimentation des aquifères profonds du bassin Crétacé d'Errachdia (Maroc). *Doc. Univ. Franche Conté. 234 p.*

FABRE J. (1976) – Introduction à la géologie du Sahara Algérien. *SNED. ALGER. 1976. 421 p.*

FADILE A. (1987) – Structure et évolution Alpine du Haut Atlas Central de la transversale Aghbala – Imilchil (Maroc). Thèse 3^{ème} cycle. Univ – Paul Sabatier, Toulouse (France).

FLAMAND G.B.M. (1911) – Recherches géologiques et géographiques sur le haut pays de l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et territoires du Sud). *Thèse Sciences. Lyon. n° 47 et A. Rey. Edit, 1001 p, 157 fig, 22 cartes, 16 pl.*

FLANDRIN J. (1952) – Les chaînes Atlasiques et la bordure Nord du Sahara. *Publ. XIX Congr. Géol. Inter. Alger. Monogr. Reg. 1^{ère} Série, n° 14, 82 p, 6 fig.*

FONTES J.CH. et GONFIANTINI R. (1967) – Comportement isotopique au cours de l'évaporation de 02 bassins Sahariens. *Earth and Planetary Sciences letters, Vol 3, n° 3. Décembre 1967.*

FONTES J.CH. (1976) – Isotopes du milieu et cycle des eaux naturelles : Quelques aspects. *Thèse doctorat d'état. Paris VI, 208 p.*

FONTES J.CH. et EDMUNDS W.M. (1989) – The use environmental isotope techniques in arid zone. *Hydrology. A. Critical review. UNESCO.*

GALMIER D. (1970) – Photogéologie de la région de Aïn Séfra (Atlas Saharien, Algérie). *Thèse doctorat d'état. Fasc. Sc. De Paris. 320 p, 9 cartes.*

GARDARIN G. (1988) - *Base de données, les systèmes et leur langage*, Edition : Eyrolles (Paris).

GEE G.W. and HILLEL D. (1998) – Grounwater recharge in arid regions. Review and critique of estimate methods. *Hydrol. Processes, n°2, pp 255 – 266.*

GHENOUS D. (1998) – Stratigraphie, sédimentologie et cortèges sédimentaires Thitonique – Turonien inférieur de la région d'El Abiodh Sidi Cheikh (Atlas Saharien, Algérie). *Mém. Ing, Univ – Oran, 87 p, 31 fig.*

GONFIANTINI R., CONRAD G. et FONTES J.CH. (1976) – Etude isotopique de la nappe du *Continental Intercalaire* et ses relations avec les autres nappes du Sahara septentrional. *Isotopes. Techn., in groun water hydrology Vol. 1, pp. 227 – 241.*

GOUSKOV N. (1943) – Reconnaissance hydrogéologique dans les régions de Aïn Séfra et de Geryville . *SCH. Rapport d'études générales et grands travaux. Alger. 46 p, 11 pl.*

GOUSKOV N. (1944) – Les problèmes hydrauliques à Béni Abbes (Territoire du Sud). *Rapport inédit. SES. Alger, 17 pages.*

GRAIG H. (1961) – Isotopic variation in meteoric waters. *Science, v. 133, pp 1702 – 1703.*

HADJI F. (2003) – Hydrochimie des eaux du Sahara Nord Occidental (Algérie). *Thèse magister – Univ. Oran, 151 p, 82 fig, 50 tab, 2 pl.*

HAMEL A., MAACHE N et MOKADDEM O. (1992) – About middle Jurassic reservoirs in the Saharan Atlas and northern part of saharian platform (Algeria). *9^{ème} Séminaire National des Sciences de la Terre. Tlemcen.*

GUERRE C. (1976) – Alimentation en eau potable de Béni Ounif. *Rapport. Secretariat d'état à l'hydraulique. Béchar. 4 p.*

GUERRE C. (1977) – Création de forages dans la région de l'oued Namous. *Direction de l'hydraulique de la Wilaya de Béchar (DHW). 6 p, 2 tabl.*

HSISSOU Y. (1991) – L'aquifère des calcaires Turoniens (bassin de Tadla, Maroc). Alimentations locales et lointaines à partir de l'Atlas. *Thèse université de Franche Conté. Besançon. 196 p.*

HOWARTH R.B. (1999) – Assesment of elevated nitrate in grounwater in Northwest Country, Idaho, using Environmental isotopes. *Groundwater Quality, T.P. 11.*

JODOT P. (1955) – Les subdivisions du Pliocène dans le Nord de l'Algérie d'après les faunes de mollusques continentaux. *Notes et Mém. Serv. Géol du Maroc, n°126, 122 p, 1 tabl, 9 pl.*

JOSEPH A. et ARANYOSSY J.F. (1989) – Recharge et paléorecharge des aquifères discontinus du socle de l'Aïr (Niger). *Géodynamica Acta. Rapport AIEA, RAF/8/012, Vienna, 30 p.*

KAZI TANI N. (1986) – Evolution géodynamique de la bordure Nord Africaine. Le domaine intra – plaque Nord Africain. Approche mégaséquentielle. *Thèse d'état. Univ. Pau. Tome 1-2, 784 p, 361 fig.*

KAZI TANI N. (2000) – Etude des bassins sédimentaires. Géoressources. Sonatrach. Centre de recherche et développement (CRD). Boumerdes, Cycle 2000, 301 p, 213 fig. (Inedit).

KEBIR L. W. (1999) – Apport de la télédétection et les SIG à l'étude hydrogéologique. Thèse de Magistère (PGS). Centre national des techniques spatiales, Arzew.

KHEDDOUM O. (1998) – Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal d'El Abiodh Sidi Cheikh (Monts des Ksour, Atlas Saharien). *Mém. Ing, Univ – Oran, 148 p, 79 fig.*

KIRALY L. et SCHAEER J.P. (1972) – Fissuration dans les roches carbonatées du Haut Atlas au Sud de Midetl (Maroc). CR. Acad. Sc. Paris.

KRADCHI B. et MESBAHI K. (2001) - Essai de synthèse cartographique des écoulements souterrains des synclinaux des Monts des ksour (Atlas Saharien occidental). *Mém. Ing, Univ – Oran, 81 p, 57 fig.*

KOULAGUINE M. (1975) – Amélioration de l'alimentation en eau potable de la ville de Béni Ounif. *Direction de l'hydraulique de Béchar . 15 p.*

LAFFITE R. (1939) – Les plissements post – Nummulitiques dans l'Atlas Saharien. *Bull. Soc. Géol. France, (5), IX, pp. 135 – 139. 1p, 8 fig.*

LASNIER (1965) – Contribution à l'étude stratigraphique et paléontologique du Jurassique des hautes plaines Algériennes (Aïn Séfra, Mecheria, Nador, Hodna). *Thèse 3^{ème} cycle. Paris. 171 p.*

LAVILLE E., LESSAGE J.L. et SEGURET M. (1972) – Recherches sur la tectonique de l'Atlas Central (Maroc). *Notes et mémoires. Serv. Géol. Rabat. Maroc. Rapport inédit.*

LAVILLE E. (1981) – Rôle des décrochements dans les mécanismes de formation de bassin d’effondrement dans le haut Atlas central Marocain. . *Bull. Soc. Géol. France. T. XXIII, n° 3, pp. 303 – 312.*

LETOUZEY J., WERNER P. and MARTY A. (1990) – “Fault reactivation and structural inversion. Backarc and interplate Compressive deformation”. *Tectonophysics. Vol 183. n° 4, pp. 341 – 362.*

MAHAMMED D. (1992) – Recherche de modèles de traitement automatique des données en géophysique électrique. Application à la connaissance de la structure des aquifères souterrains et à l’estimation de leurs réserves. *Thèse Magister. Univ –Oran. 110 p, 50 fig.*

MAHBOUBI M. (1983) – Etude géologique et paléontologique du Crétacé post Alpin et du Tertiaire de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas Saharien central). *Thèse 3^{ème} cycle, Univ – Oran. 113 p, 26 fig.*

MAHIDI M. (2001) – Contribution de la géophysique à l’étude hydrogéologique du bassin du Chott El Gharbi (Hautes plaines Oranaises, Algérie). *Mém. Ing, Univ – Oran, 116 p, 66 fig.*

MANGIN A. (1975) – Contribution à l’étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Doctorat d’état, Univ – Dijon (ann spéléo. 1974, 29 (3), pp. 283 – 332 ; 29 (4), pp. 495 – 601, 30 (1) ; pp. 121 – 129.*

MANSOUR H., SAFA A et BEKHEDDA B. (1998) - La flexure Sud Atlasique et son rôle hydrodynamique dans la réalimentation de la plateforme Saharienne (cas du synclinal de Béni-Ounif). Journées d’études sur les zones arides, retrospectives, enjeux et réalités ; Adrar.

MANSOUR H. et VERDEIL P. (1992) - Hydrogéologie de la source de Béni-Abbes : son alimentation et son captage (Sahara Nord occidental). Fenêtre ouverte sur la Science au désert. Adrar

MANSOUR H. (1993) – Les isotopes dans l'eau du Sahara Nord Occidental Algérien (Grand Erg Occidental – Hamada du Guir). *2^{ème} journées Tunisiennes de géologie appliquées, Sfax, pp. 88 – 111.*

MARCE A. (1975) – Contribution des méthodes isotopiques à l'étude des modalités d'alimentation et de renouvellement des réserves de quelques nappes souterraines au Maroc. *Rapport du ministère des travaux publics et des communications. Ed. BRGM, 75 SGN, 447 Lab, 131 p.*

M'BONU M. (1991) – Hydrogéologie, hydrochimie et géochimie isotopique des aquifères des socles du plateau de Joe (Nigéria). *Thèse. Université d'Avignon. 171 p.*

MC CLAY K.R. (1989) – « Analogue models of inversion tectonics » in Inversion tectonics, *Geological Society Special Publication, Cooper and Williams ed. Pp. 41 – 63.*

MEDINGER G. (1961) – Etude hydrologique du bassin du Sahara Occidental (oueds Zousfana, oued Namous, oued Segguer). *Service de la colonisation et de l'hydraulique (SCH). Clairbois. Birmendreis. Alger. 11 pages.*

MEDDAH A. (1994) – Etude géologique des appareils diapiriques de l'Atlas Saharien Occidental (Monts des Ksour, Algérie). Essai de synthèse sur les diapirs Atlasiques. *Thèse Magister. USTHB – Alger. 174 p, 51 fig.*

MEKAHLI L. (1995) – Hettangien – Bajocien supérieur dans les Monts des Ksour. Biostratigraphie, évolution paléogéographique et stratigraphie séquentielle (Atlas Saharien Occidental). *Thèse d'état, Univ – Oran – Algérie. Pp. 1 – 358, 67 fig, 49 pl.*

MEKIDECHE D., MANSOUR H., SAI W., TOUT S. et YOUNSI N. (1995) – Notice explicative de la carte hydrogéologique de la région de Béchar

au 1/500.000^e . ANRH. *Projet PNUD/ALG/88/021*. 73 p, 33 fig, 6 tabl, 1 carte.

MEKKAOUI A. (2000) – Bordure du sillon Atlasique et plate forme Saharienne. Jurassique inférieur et moyen : Djebej Grouz méridional – Charef – Fendi, (Partie occidentale des Monts des Ksour, Atlas Saharien). *Thèse Magister, Univ –Oran, Algérie, 250 p, 110 fig, 15 pl.*

MENCHIKOFF N. (1957) – Les grandes lignes de la géologie Algérienne. *Rev. Géogr. Phys. Et Géol. Dynam. Paris, Serv, 2, vol 1, Fasc.1, pp. 37 – 45.*

MICHELOT J., SINAN M., KRINISSA M., BICHARA S. et LOUVAT S. (1992) – Hydrologie isotopique des systèmes aquifères Fes – Meknes, Errachdia et Kheneg El Hamam. *Rapport AIEA. Vienne, 44 p.*

MILVILLE F. (1990) – Contribution à l'étude du mécanisme de la recharge naturelle des aquifères par les pluies en climat semi aride. Application au site expérimental de Barago (Burkina Faso). *Thèse doctorat. Univ – Paris IX.*

MORIZET M. (1970) – Contribution à l'étude géologique de la carte au 1/200.000^e de Brizina (Atlas Saharien, Algérie). *Mém. DEA. Faculté. Sciences. Paris, 70 p, 13 fig.*

MURDRY J. (1987) – Apport du traçage physico – chimique à la connaissance hydrocinématique des aquifères carbonatés. *Thèse doctorat es –sciences, 2s, Sc. Nat, Univ- Besançon. 381 p.*

NATHALIE D. (2000) - *Base de données vectorielles à l'échelle conceptuelle de 1 :250 000, Définitions des données, Document Référence : TOP250v-GIS, IGN-B (Belgique).*

NOUAR O.B. (1983) – Teledetection dans l'Atlas Saharien (structure de réactivation dans le Djebel Amour, Algérie). *Thèse Magister. Univ – Alger. 190 p, 60 fig.*

NOUAR O.B. (2003) – Structures de réactivation dans le Djebel Amour (Atlas Saharien, Algérie). *Bulletin des Sciences géographiques / N° 11, pp. 35 – 42.*

PAREYN C. (1961) – Les massifs Carbonifères du Sahara Sud Oranais.

PIQUE A., AÏT RAHIM L., AÏT OUALI R., GOURMELEM C., LAVILLE E., REKHISS F. et TRICART P. (1998) – Evolution structurale des domaines Atlasiques du Maghreb au Méso – Cénozoïque. Le rôle des structures héritées dans la déformation du domaine Atlasique. *Bull. Soc. Géol. France, t. 196, n°6, pp. 397 – 810.*

RAHMANI A. (1993) – Contribution à l'étude hydrogéologique du synclinal El Hendjir – Aïn Séfra - Tiout (partie centrale des Monts des Ksour, Atlas Saharien). *Mém. Ing. Univ – Oran, 100 p, 55 fig.*

RAZACK M. (1978) – Contribution à l'étude de la structure des aquifères en milieu fissuré. Numérisation et analyse quantitative de la fracturation relevée sur clichés aériens. *Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Sc. Et Tech. Languedoc. Montpellier.*

RAZACK M. (1984) – Application des méthodes numériques statistiques à l'identification des réservoirs fissurés carbonatés. *Thèse d'état. Univ. Sc. Et Tech. Languedoc. Montpellier.*

RITTER E. (1902) – Le Djebel Amour et les Monts des Ouled Naïl. *Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie. 2^{ème} série, n° 3, 100 p, 4 pl, (HT).*

ROCHE M.A. (1973) – Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara Nord Occidental). *Nouvelle série, n°43, Pub. Serv. Géol. Algérie.*

RUSSO P. (1939) – Nouvelles observations sur le grand accident Sud Atlasien. *Bull. Soc. Géol. France. Paris (5), IX, pp. 691 – 701, 1 fig.*

SALHI A. (2002) – Evolution paléogéographique et dynamique de la bordure méridionale du sillon Atlasique au cours du Lias et du Dogger (région de Béni ounif, Atlas Saharien Occidental, Algérie). *Thèse magister, Univ – Oran, 138 p, 66 fig.*

SEKENDRI A. (1993) – Géologie du Crétacé infet sup des Monts des Ksour et du Dj Amour. *Mém. Ing. Univ – Oran, 120 p, 51 fig.*

SIDI YAKOUB A. (2002) – Interprétation des données de géophysiques par prospection électrique appliquées à l'hydrogéologie. Exemple : Forthassa et Djenane (Chott El Gharbi). *Mém. Ing, Université D'Oran. 112 p, 51 fig.*

S.L.C.T (1990) - *Modèle conceptuel de la base nationale de données topographiques*, (Article), Centre canadien de géomatique, (QUEBEC).

SN. REPAL (1952) – Régions Sud Telliennes et Atlas Saharien. *Publ. XIX ème Congr. Géol. Inter. Alger. 1^{er} serv., n° 20, 48 p, 3 fig, 7 pl (HT).*

STROJEXPORT (1972) – Etude et recherche d'eau dans les steppes de la région d'El Bayadh. . *Rapport interne. 56 p, 12 fig, 2 tabl.*

TLILI M. (1995) – Le phénomène récifal du Bajocien de la bordure méridionale de l'Atlas Saharien Occidental (secteur de Aïn Ouarka). Lithostratigraphie, sédimentologie et implications paléoécologiques et paléogéographiques. *Thèse Magister. Univer – Oran, 154 p, 48 fig, 9 pl.*

UNESCO (1972) – Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. *Rapport inédit. ANRH.*

VANNEY J. (1960) – Pluies et crues dans le Sahara Nord Occidental (mars 1959).

VIALLY et Al. (1994) – Basin inversion along the North African Margin The Atlas Saharan (Algérie). *Ed. Technip. Paris, 1994, pp. 79 – 118.*

WICHERSKY B. (2000) – Groundwater quality investigation and wellhead protection study. City of Fruitland, Idaho, *Groundwater quality, tech. Report N°1.*

WILLIAMS G.D., POWELL C.M. and COOPER M.A. (1989) – “Geometry and kinematics of inversion” in inversion tectonics, *Geological Society Special Publication. Cooper and Williams Ed. Pp. 3 – 17.*

YELLES CHAUCHE A.K., AÏT OUALI R., BRACENE R., DEDER M.E.M et DJELLIT H. (2001) – Chronologie de l’ouverture des Monts du bassin des Ksour au début du Mésozoïque. *Bull. Soc. Géol. France, t. 172, n° 3, pp. 283 – 293.*

YOUSFI M. (1984) – Etude géochimique et isotopique de l’évaporation et de l’infiltration en zone non saturée sous climat aride. Béni Abbes, Algérie. *Thèse 3^{ème} cycle. Paris. 274 p.*

YOUSFI N. et Aït AHMED C. (1992) – Contribution à l’étude hydrogéologique de la grande source de Béni Abbes (Sahara Nord Occidental). *Mém. Ing. Univ – Oran, 396 p, 126 fig.*

ZIANE F. (2004) – Le volcanisme Triasique de Djenien Bou- Rezk. Cartographie, pétrographie et mise en place. (Monts des Ksour, Atlas Saharien Occidental). *Mém. Ing. Univ – Oran, 46 p, 7 fig, 17 pl.*

ANNEXES

Coordonnées et côtes piézométriques des points d'eau inventoriés dans les synclinaux des Monts des ksour

AIN SEFRA

puits	X	Y	Z	NV-S	NV-P
Af59	191,600	259,300	1205	8,80	1196,20
Af60	188,150	257,150	1210	11,00	1199,00
Af61	188,100	257,200	1215	9,10	1205,90
Af62	189,600	255,300	1200	15,50	1184,50
Af63	189,800	254,000	1200	16,80	1183,20
Af64	190,420	252,320	1190	15,60	1174,40
Af65	183,600	251,300	1210	13,00	1197,00
Af66	190,000	248,500	1150	15,00	1135,00
Af67	189,500	248,600	1160	15,00	1145,00
Af68	195,400	248,100	1200	15,50	1184,50
Af69	190,500	246,800	1180	10,00	1170,00
Af70	190,800	246,900	1160	10,00	1150,00
Af71	191,000	246,800	1160	10,50	1149,50
Af72	191,300	246,800	1180	15,50	1164,50
Af73	190,800	246,700	1180	14,70	1165,30
Af74	191,700	245,500	1160	9,25	1150,75
Af75	193,000	243,500	1060	10,25	1049,75
Af76	192,980	243,550	1080	12,00	1068,00
Af77	192,500	243,000	1100	18,00	1082,00
Af78	191,200	243,100	1100	18,00	1082,00
Af79	191,300	242,700	1100	18,00	1082,00
Af80	187,100	240,000	1060	17,50	1042,50
Af81	181,700	242,200	1065	17,00	1048,00
Af82	180,500	240,700	1070	2,10	1067,90
Af83	184,000	242,000	1065	2,00	1063,00
Af84	181,500	242,500	1070	2,00	1068,00
Af85	180,700	242,200	1070	2,10	1067,90
Af86	180,000	242,300	1065	2,50	1062,50
Af87	179,100	228,600	1180	21,00	1159,00
Af88	200,050	245,450	1048	20,00	1028,00
Af89	184,500	232,800	1210	18,40	1191,60
Af90	182,500	237,500	1120	17,00	1103,00
Af91	189,400	252,000	1200	16,70	1183,30
Af92	188,800	244,300	1095	14,50	1080,50
Af93	189,700	244,500	1110	14,10	1095,90
Af94	191,800	245,300	1070	13,60	1056,40
Af95	193,400	245,220	1070	21,30	1048,70
Af96	194,800	246,300	1080	21,00	1059,00
Af97	198,400	245,800	1085	21,00	1064,00
Af98	187,000	240,600	1100	13,60	1086,40
Af99	179,950	241,450	1180	32,00	1148,00

P1	180,500	239,200	1170	13,10	1156,90
P2	180,800	245,100	1250	33,80	1216,20
P3	180,300	233,200	1115	11,15	1103,85
P4	179,300	231,400	1130	9,15	1120,85
P5	179,800	232,100	1113	10,80	1102,20
P6	180,700	232,200	1110	7,50	1102,50
P7	212,800	245,800	1035	30,00	1005,00
P8	212,400	245,400	1040	30,00	1010,00
P9	209,300	245,000	1025	15,30	1009,70
P10	204,800	247,000	1060	22,00	1038,00
P11	201,500	250,500	1055	23,00	1032,00
P12	201,700	246,700	1070	26,40	1043,60
P13	198,400	245,800	1065	20,40	1044,60
P14	194,800	246,300	1070	21,00	1049,00
P15	214,900	258,700	1068	20,50	1047,50
P16	208,450	245,930	1020	16,00	1004,00
P17	209,300	244,200	1015	15,60	999,40
P18	209,600	243,000	1020	15,20	1004,80
P19	192,100	241,200	1070	9,50	1060,50
P20	181,800	241,800	1150	7,50	1142,50
P21	215,200	258,800	1080	5,50	1074,50
P22	257,700	229,900	1150	71,00	1079,00
P23	223,560	254,620	1100	40,00	1060,00
P24	218,200	247,800	1108	50,00	1058,00
P25	212,100	248,800	1030	8,40	1021,60
P26	208,000	243,800	1030	23,40	1006,60
P27	203,500	244,550	1040	14,00	1026,00
P28	205,400	247,100	1040	16,00	1024,00
P29	206,900	250,000	1060	16,10	1043,90
P30	200,450	246,870	1062	44,00	1018,00
P31	200,050	245,450	1060	19,40	1040,60
P32	182,100	240,400	1120	4,00	1116,00
P33	193,120	245,220	1081	2,30	1078,70
P34	191,800	245,300	1090	13,60	1076,40
P35	189,700	244,500	1100	8,70	1091,30
P36	188,800	244,300	1095	14,70	1080,30
P37	188,550	241,700	1090	12,00	1078,00
P38	178,000	235,000	1170	14,00	1156,00
P39	179,950	241,450	1135	32,00	1103,00

TIOUT

Puits	X	Y	Z	NV-S	NV-P
ti1	214,600	256,600	1070	5,50	1064,50
ti2	209,250	256,800	1140	1,50	1138,50
ti3	205,400	256,000	1145	1,50	1143,50
ti4	205,200	256,000	1150	1,50	1148,50
ti5	225,200	254,700	1159	1,50	1157,50
ti6	206,900	250,900	1060	16,10	1043,90
ti7	200,750	246,900	1070	44,00	1026,00
ti8	203,500	244,750	1040	13,80	1026,20
ti9	204,000	244,700	1045	14,92	1030,08
ti10	203,700	244,000	1040	14,92	1025,08
ti11	204,200	243,900	1030	17,30	1012,70
ti12	200,500	242,500	1036	17,30	1018,70
ti13	204,500	243,500	1020	13,00	1007,00
ti14	205,000	243,600	1020	12,00	1008,00
ti15	208,500	246,700	1040	12,00	1028,00
ti16	208,300	246,000	1042	12,00	1030,00
ti17	208,600	245,600	1042	12,20	1029,80
ti18	208,500	245,400	1040	12,00	1028,00
ti19	208,300	245,600	1030	12,30	1017,70
ti20	208,600	245,900	1030	12,60	1017,40
ti21	210,100	246,500	1035	12,85	1022,15
ti22	218,200	247,800	1100	55,15	1044,85
ti23	211,500	242,600	1010	55,15	954,85
ti24	220,700	238,100	1010	55,15	954,85
ti25	217,800	235,200	1010	55,15	954,85
ti26	211,650	231,950	950	11,10	938,90
ti27	211,500	233,600	950	11,10	938,90
ti28	200,340	246,580	1070	26,40	1043,60
ti29	207,500	250,500	1060	23,00	1037,00
ti30	205,200	246,400	1065	23,00	1042,00
ti31	204,800	247,200	1065	23,00	1042,00
ti32	209,300	246,000	1035	15,30	1019,70
ti33	212,800	247,100	1050	25,26	1024,74
ti34	212,900	245,400	1070	30,00	1040,00
ti35	206,700	244,650	1060	30,00	1030,00
ti36	214,300	255,600	1070	30,00	1040,00
ti37	212,200	230,000	950	11,00	939,00
ti38	207,600	227,300	930	11,20	918,80
ti39	201,700	222,960	950	9,50	940,50
ti40	198,000	233,800	930	6,00	924,00
ti41	199,000	230,000	930	5,30	924,70
ti42	196,700	229,000	930	3,60	926,40
ti43	211,900	230,900	935	2,50	932,50
ti44	212,200	230,600	935	0,50	934,50

ASLA

Puits	X	Y	Z	NV-S	NV-P
As45	229,300	257,900	1090	70,00	1020,00
As46	229,900	257,750	1090	69,50	1020,50
As47	223,560	254,620	1100	41,20	1058,80
As48	223,600	254,600	1100	10,00	1090,00
As49	224,400	241,500	1180	7,60	1172,40
As50	231,000	240,200	1208	6,20	1201,80
As51	231,200	239,900	1170	5,97	1164,03
As52	230,300	238,900	1140	5,85	1134,15
As53	232,800	240,800	1050	26,80	1023,20
As54	233,200	240,800	1050	27,50	1022,50
As55	213,000	228,700	950	2,50	947,50
As56	232,000	240,000	1060	27,60	1032,40
As57	231,500	232,170	1075	13,00	1062,00
As58	223,600	241,100	1080	17,80	1062,20

DJ. ARAR

puits	X	Y	Z	NV-S	NV-P
Da01	140,950	263,750	1340	3,40	1336,60
Da02	140,000	263,600	1338	5,70	1332,30
Da03	155,400	283,430	1315	18,00	1297,00
Da04	165,000	288,900	1237	17,50	1219,50
Da05	188,600	262,150	1430	2,50	1427,50
Da06	178,000	262,900	1436	2,00	1434,00
Da07	170,300	299,500	1190	5,50	1184,50
Da08	173,100	299,250	1149	4,60	1144,40
Da09	173,200	298,500	1160	3,40	1156,60
Da10	170,150	297,950	1150	2,00	1148,00
Da11	162,900	292,100	1245	25,70	1219,30
Da12	160,550	287,600	1240	17,00	1223,00
Da13	141,100	269,000	1286	3,50	1282,50
Da14	140,800	268,200	1284	2,00	1282,00

FORTHASSA

puits	X	Y	Z	NV-S	NV-P
sf01	130,400	256,100	1435	2,10	1432,90
sf02	130,950	256,400	1430	1,90	1428,10
sf03	131,000	256,400	1390	1,90	1388,10

sf04	151,000	259,000	1350	1,00	1349,00
sf05	165,500	258,100	1310	27,00	1283,00
sf06	175,700	259,100	1390	27,00	1363,00
sf07	122,750	242,900	1380	27,50	1352,50
sf08	138,100	244,200	1270	30,00	1240,00
sf09	139,300	243,400	1265	32,50	1232,50
sf10	141,550	245,700	1320	25,00	1295,00
sf11	142,450	244,800	1360	26,50	1333,50
sf12	139,300	235,800	1214	30,00	1184,00
sf13	138,150	233,500	1202	35,00	1167,00
sf14	130,000	257,000	1430	36,00	1394,00
sf15	124,500	250,600	1480	39,00	1441,00
sf16	122,500	248,000	1470	55,00	1415,00
sf17	122,250	248,100	1475	54,00	1421,00
sf18	120,250	248,000	1485	54,00	1431,00
sf19	119,650	246,800	1540	61,00	1479,00
sf20	154,430	246,150	1320	64,90	1255,10
sf21	160,620	246,730	1280	36,00	1244,00
sf22	165,880	242,490	1280	15,10	1264,90
sf23	166,500	242,800	1285	15,10	1269,90
sf24	168,300	243,800	1290	15,00	1275,00
sf25	166,500	239,000	1306	16,00	1290,00
sf26	174,900	240,100	1162	16,00	1146,00
sf27	177,500	240,000	1165	17,50	1147,50
sf28	174,900	238,800	1150	10,00	1140,00
sf29	175,400	238,900	1155	8,50	1146,50
sf30	174,900	238,900	1160	8,00	1152,00
sf31	172,200	231,100	1170	5,00	1165,00
sf32	169,000	229,700	1175	4,20	1170,80
sf33	166,990	229,450	1180	2,60	1177,40
sf34	159,430	234,720	1260	32,50	1227,50
sf35	151,150	224,600	1305	25,00	1280,00
sf36	150,150	229,100	1360	21,00	1339,00
sf37	132,000	255,400	1430	18,60	1411,40
sf38	139,850	246,450	1370	17,50	1352,50
sf39	138,100	244,400	1260	17,50	1242,50
sf40	138,800	244,500	1260	9,00	1251,00
sf41	166,900	240,800	1200	4,46	1195,54
sf42	166,000	242,500	1280	8,00	1272,00
sf43	176,000	239,900	1180	8,00	1172,00
sf44	178,000	235,000	903	8,20	894,80
sf45	176,900	236,100	1150	9,00	1141,00
sf46	177,800	233,900	1148	14,80	1133,20
sf47	175,800	232,600	1130	13,20	1116,80
sf48	176,400	235,400	1150	7,00	1143,00

MEKALIS

puits	X	Y	Z	NV-S	NV-P
puits01	236,900	279,900	1134	7,60	1126,40
puits02	238,400	279,500	1143	7,50	1135,50
puits03	233,500	270,500	1128	9,00	1119,00
puits04	241,790	277,700	1154	10,50	1143,50
puits05	239,000	274,400	1155	14,00	1141,00
puits06	240,100	272,700	1129	15,50	1113,50
puits07	231,510	271,800	1130	17,80	1112,20
puits08	225,100	270,650	1122	19,50	1102,50
puits09	221,000	261,400	1142	9,10	1132,90
puits10	222,600	260,700	1130	6,00	1124,00
puits11	235,250	266,750	1180	2,20	1177,80
puits12	235,400	267,100	1090	4,00	1086,00
puits13	235,600	267,300	1090	3,35	1086,65
puits14	237,400	268,500	1140	9,10	1130,90
puits15	237,800	268,800	1112	10,50	1101,50
puits16	236,300	263,400	1090	19,70	1070,30
puits17	236,700	263,800	1080	11,65	1068,35
puits18	237,500	264,100	1060	12,50	1047,50
puits19	238,100	264,110	1062	11,36	1050,64
puits20	238,800	263,700	1060	7,50	1052,50
puits21	239,000	262,100	1080	3,80	1076,20
puits22	238,700	262,900	1080	2,26	1077,74
puits23	236,300	261,700	1100	22,50	1077,50
puits24	238,100	261,850	1085	70,00	1015,00
puits25	238,000	275,000	1120	23,60	1096,40
puits26	230,500	271,500	1130	13,80	1116,20
puits27	222,000	272,700	1190	14,00	1176,00
puits28	222,100	269,600	1225	93,60	1131,40
puits29	222,300	268,800	1135	80,90	1054,10
puits30	230,450	264,500	1160	16,40	1143,60
puits31	238,000	263,300	1090	24,30	1065,70
puits32	236,000	266,450	1080	39,20	1040,80
puits33	236,200	266,440	1075	28,00	1047,00
puits34	236,900	263,200	1075	22,50	1052,50
puits35	241,750	263,000	1075	18,60	1056,40
puits36	191,800	274,400	1270	18,00	1252,00
puits37	201,900	272,500	1275	16,90	1258,10
puits38	201,780	269,880	1300	2,00	1298,00
puits39	201,850	269,700	1300	2,00	1298,00
puits40	202,200	269,500	1310	1,70	1308,30
puits41	203,580	268,510	1380	1,50	1378,50
puits42	191,500	266,100	1245	11,80	1233,20

puits43	191,950	263,040	1225	28,40	1196,60
puits44	219,200	298,900	1170	8,10	1161,90
puits45	219,600	298,600	1165	8,00	1157,00
puits46	221,750	294,000	1170	5,00	1165,00
puits47	225,900	292,520	1180	3,10	1176,90
puits48	228,100	282,800	1185	3,60	1181,40
puits49	229,000	282,000	1162	8,00	1154,00
puits50	235,800	282,000	1140	6,40	1133,60
puits51	236,800	282,100	1124	1,50	1122,50
puits52	237,100	282,100	1125	1,50	1123,50
puits53	239,800	283,600	1150	18,60	1131,40
puits54	217,400	297,150	1180	18,00	1162,00
puits55	197,800	294,300	1185	18,20	1166,80
puits56	200,300	296,400	1200	20,50	1179,50
puits57	203,700	289,600	1200	18,00	1182,00
puits58	207,200	293,000	1185	21,00	1164,00
puits59	206,500	289,000	1200	20,50	1179,50
puits60	206,050	283,050	1240	33,00	1207,00
puits61	207,300	279,100	1260	50,00	1210,00
puits62	211,800	279,500	1240	1,50	1238,50
puits63	211,800	297,500	1170	15,00	1155,00
puits64	214,150	289,500	1190	103,00	1087,00
puits65	215,400	298,800	1170	7,80	1162,20
puits66	215,200	299,300	1166	7,00	1159,00
puits67	216,500	299,800	1170	6,00	1164,00
puits68	218,250	299,600	1170	5,20	1164,80
puits69	219,100	299,500	1171	6,00	1165,00
puits70	217,600	297,500	1172	17,00	1155,00
puits71	219,500	300,300	1170	8,90	1161,10
puits72	219,400	300,300	1170	8,50	1161,50
puits73	220,800	300,100	1168	8,20	1159,80
puits74	219,800	299,850	1165	8,00	1157,00
puits75	219,600	299,100	1163	8,00	1155,00
puits76	186,200	299,650	1175	7,80	1167,20
puits77	185,400	289,600	1210	7,00	1203,00
puits78	190,000	277,000	1288	6,40	1281,60
puits79	212,550	266,370	1105	5,00	1100,00
puits80	214,850	266,350	1130	8,00	1122,00
puits81	214,600	266,000	1140	8,00	1132,00
puits82	214,800	265,000	1155	8,40	1146,60

BENI OUNIF

puits	X	Y	NV-P
Bnf1	127,500	168,500	810,750
Bnf2	127,200	168,300	807,250
Bnf3	127,500	168,000	812,130
Bnf4	127,700	167,900	811,900
Bnf5	128,200	168,600	811,180
Bnf6	127,900	168,700	810,410
Bnf7	127,600	168,700	810,640
Bnf8	128,500	168,500	808,400
Bnf9	135,700	169,000	812,080
Bnf10	115,200	166,500	824,700
Bnf11	129,300	162,300	801,580
Bnf12	127,300	162,800	809,400
Bnf13	127,000	163,000	808,600
Bnf14	126,000	159,000	788,700
Bnf15	126,000	158,900	786,400
Bnf16	129,300	171,300	838,360
Bnf17	129,000	169,200	820,300
Bnf18	129,500	169,200	820,320
Bnf19	129,600	169,200	820,220
Bnf20	128,600	169,300	819,850
Bnf21	128,200	169,000	818,710
Bnf22	128,400	168,000	815,880
Bnf23	128,400	168,100	814,610
Bnf24	129,900	168,400	815,010
Bnf25	129,700	168,600	815,880
Bnf26	129,600	169,000	821,050
Bnf27	120,600	172,200	844,250
Bnf28	109,500	165,200	867,000
Bnf29	92,500	163,600	955,000
Bnf30	92,000	166,200	958,700
Bnf31	136,600	169,500	809,000
Bnf32	136,900	169,600	806,500
Bnf33	126,600	166,300	812,000
Bnf34	126,000	165,700	815,000
Bnf35	128,400	170,000	810,200
Bnf36	124,300	168,700	821,260

DJENIEN BOU-REZK

puits	X	Y	Z	NV-S	NV.P
Db01	177,850	211,950	1050	17,00	1033,00
Db02	174,250	209,580	1045	14,65	1030,35
Db03	167,850	211,000	1050,00	11,00	1039,00
Db04	168,300	215,200	1050,00	11,50	1038,50
Db05	164,700	215,150	1055,00	11,60	1043,40
Db06	166,500	213,500	1055,00	11,80	1043,20
Db07	152,600	211,000	1060,00	11,20	1048,80
Db08	151,100	210,800	1060,00	9,60	1050,40
Db09	147,900	209,200	1050,00	7,80	1042,20
Db10	145,600	202,000	1045,00	7,00	1038,00
Db11	171,330	202,970	1020	6,00	1014,00
Db12	171,830	202,120	1010	6,20	1003,80
Db13	171,400	202,600	1005	6,40	998,60
Db14	170,000	202,000	1000	10,40	989,60
Db15	167,500	202,800	990	6,50	983,50
Db16	167,700	201,800	980	6,00	974,00
Db17	167,300	201,900	976	4,70	971,30
Db18	163,800	198,320	981	4,22	976,78
Db19	163,780	198,290	966	5,50	960,50
Db20	160,000	192,400	960	21,50	938,50
Db21	158,650	192,880	950	22,00	928,00
Db22	154,880	188,130	920	5,00	915,00
Db23	170,100	200,250	905	3,50	//
Db24	167,100	193,000	//	//	//
Db25	163,200	190,200	//	//	//
Db26	170,100	202,900	//	//	//

MOGHRAR

puit	X	Y	Z	NV-S	NV-P
Mo01	200,300	220,500	905	34,00	871,00
Mo02	190,650	218,850	900	33,20	866,80
Mo03	191,500	218,000	1000	15,00	985,00
Mo04	191,180	217,850	1003	7,00	996,00
Mo05	191,000	217,200	1009	5,00	1004,00
Mo06	191,000	217,100	1020	5,00	1015,00
Mo07	188,890	215,700	1000	24,70	975,30
Mo08	185,700	216,300	1010	5,00	1005,00
Mo09	183,600	215,400	1017	5,00	1012,00
Mo10	183,500	215,500	1027	0,50	1026,50
Mo11	183,200	215,200	1033	2,50	1030,50
Mo12	183,500	215,000	1040	2,00	1038,00
Mo13	201,000	217,900	920	5,85	914,15
Mo14	201,450	216,200	920	4,60	915,40
Mo15	203,000	214,800	880	4,60	875,40
Mo16	203,200	214,700	867	4,50	862,50
Mo17	202,400	214,600	830	5,00	825,00
Mo18	203,400	209,200	822	5,20	816,80
Mo19	214,000	202,750	805	5,80	799,20
Mo20	194,900	198,000	800	6,40	793,60
Mo21	198,650	189,850	801	7,00	794,00
Mo22	199,600	188,150	802	9,00	793,00
Mo23	193,700	219,000	980	39,90	940,10
Mo24	202,500	214,800	884	4,90	879,10
Mo25	210,600	211,700	860	3,00	857,00
Mo26	200,100	212,140	840	15,00	825,00
Mo27	192,000	212,000	1500	59,70	1440,30
Mo28	191,300	201,100	835	33,00	802,00
Mo29	205,750	201,000	861	21,50	839,50
Mo30	227,100	213,850	870	18,00	852,00
Mo31	233,890	210,450	845	5,00	840,00

Piézométrie – Hydrochimie : Aïn Séfra

puits	X	Y	Z	NS	NV-P	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	So4 mg/l	Hco3 mg/l	No3 mg/l	PH	R.S	minira
P01	215,200	258,800	1080	5,50	1074,50	281	50	315	313	998	248	11	8,1	2380	1426
P02	257,700	229,900	1150	71,00	1079,00	96	64	60	65	211	340	20	8	660	558
P03	223,560	254,620	1100	40,00	1060,00	269	48	96	280	312	149	90	8,2	1560	1054
P04	218,200	247,800	1108	50,00	1058,00	260	51	91	290	320	155	80	8,1	1580	1080
P05	212,100	248,800	1030	8,40	1021,60	1122	331	491	2658	1536	182	44	8	7200	2852
P06	208,000	243,800	1030	23,40	1006,60	166	73	152	228	499	310	19	8,1	1480	1050
P07	203,500	244,550	1040	14,00	1026,00	192	97	196	392	566	226	35	8,2	1900	1240
P08	205,400	247,100	1040	16,00	1024,00	281	116	221	494	672	238	25	8	2340	1488
P09	206,500	250,900	1060	16,10	1043,90	260	120	195	370	520	210	30	8,2	2100	1340
P10	200,450	246,870	1062	44,00	1018,00	74	47	90	120	205	180	19	8,2	710	558
P11	200,050	245,450	1060	19,40	1040,60	76	48	87	123	211	187	19	8,4	680	552
P12	182,100	240,400	1180	4,00	1176,00	170	87	523	474	1008	471	5	8,1	2640	1731
P13	180,500	239,200	1170	13,10	1156,90	84	45	42	58	158	247	22	8,7	640	496
P14	180,800	245,100	1250	33,80	1216,20	100	57	38	44	240	263	35	8	700	558
P15	176,900	236,100	1150	9,00	1141,00	56	49	26	31	139	298	8	7,9	480	372
P16	177,800	233,900	1148	14,80	1133,20	76	47	32	34	158	307	16	8,1	640	434
P17	180,300	233,200	1115	11,15	1103,85	80	24	14	27	58	237	27	8,2	440	310
P18	175,800	232,600	1130	13,20	1116,80	110	76	60	75	317	279	20	8,4	880	620
P19	179,300	231,400	1130	9,15	1120,85	42	40	57	82	101	188	20	8,4	480	372
P20	179,800	232,100	1113	10,80	1102,20	80	79	201	270	300	315	27	7,9	1100	992
P21	170,700	232,200	1110	7,50	1102,50	90	69	150	211	245	271	18	8,4	1000	868
P22	176,400	235,400	1150	7,00	1143,00	128	87	77	136	307	262	25	8,5	1120	806
fo1	212,800	245,800	1035	25,26	1009,74	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
fo2	212,400	245,400	1040	30,00	1010,00	208	75	397	416	720	222	26	8,2	2200	1674
fo3	209,300	246,000	1025	15,30	1009,70	401	92	567	855	1104	278	24	8	3460	2976
fo4	204,800	247,200	1060	22,00	1038,00	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
fo5	208,500	250,500	1058	23,00	1035,00	112	46	64	102	211	231	53	7,8	720	558
fo6	208,700	246,700	1067	26,40	1040,60	116	56	134	198	322	242	20	8,4	1000	806
fo7	198,400	245,800	1065	20,40	1044,60	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
fo8	194,800	246,300	1070	21,00	1049,00	35	29,75	150	291,1	260	230	22	8,2	7400	956,32
fo9	193,120	245,220	1081	2,30	1078,70	832	560	1145	2477	2255	268	80	8	7540	4200
fo10	191,800	245,300	1090	13,60	1076,40	561	151	568	1160	1440	309	70	7,8	4960	4259
fo11	189,700	244,500	1100	8,70	1091,30	168	82,96	241,5	390,5	523,2	228	21	7,58	1533	1634,2
fo12	188,800	244,300	1095	14,70	1080,30	172	97	259	422	470	240	17	8	1680	1364
fo13	188,550	241,700	1090	12,00	1078,00	90	76	115	184	250	227	22	8,5	880	744
fo14	178,000	235,000	1170	14,00	1156,00	90	71	46	72	192	264	19	8,5	620	558
fo15	179,950	241,450	1135	32,00	1103,00	80	47	52	51	158	282	25	7,8	640	496
soc1	214,900	258,700	0	0	0	245	39	262	225	787	273	14	8	1900	1240
soc2	208,450	245,930	0	0	0	108	47	84	129	178	230	27	8	680	620
soc3	209,300	244,200	0	0	0	160	97	237	354	499	260	15	7,9	1660	1364
soc4	209,600	243,000	0	0	0	112	41	510	695	365	247	9	8	2080	1550
soc5	192,100	241,200	0	0	0	146	71	147	170	413	257	14	7,9	1200	992
soc6	181,800	241,800	0	0	0	90	55	51	68	178	253	20	8,4	660	558

Tableau d'inventaire des points d'eau (campagne février 2004)

SYNCLINAL EL KHELOUA – ARBAOUET

Numéro et nom du point d'eau	X utm 31	Y utm 31	Z utm 31	Niveau statique	Cote piézométrique	Aquifère
1- forage El Kheloua	274.961	3.673.645	1100	22	1078	Albien
2- forage El Golita	275.430	3.671.987	1096	16	1090	Albien
3- puits, près du pont	276028	3.667571	1052	05	1047	Quaternaire
4- forage Koudiet echih	275230	3.670596	1094	fermé	/	Albien
5- forage Ben tsaloul	269370	3.673467	1094	13	1081	Aptien
6- forage Fs	268665	3.673088	1100	26	1074	Aptien
7- forage chergui. Fc	273061	3.675057	1101	21	1080	Aptien
8- Hassi Siffeur	270596	3.670833	1076	03	1073	C..terminal
9- piézomètre	275274	3.671680	1096	fermé	/	Aptien
10- forage bou gamra	277342	3.671835	1103	fermé	/	Albien
11- puits à éolienne	283498	3.679528	1122	12	1110	Aptien
12- Hassi Cheguig	294.20	311.90	1130	15	1115	Aptien
13- Hassi bel askri	285.00	301.25	1060	remblaié	/	C..terminal
14- Hassian el Krima	297.50	313.25	1150	/	:	Aptien
15- Hassi bou gamra	282.90	312.60	1170	/	/	Albien
16- forage ZB 12	291.60	306.20	1115	13	1102	Aptien
17- forage ZB 13	289.90	301.00	1112	12	1100	Aptien
18- forage ZB 14	288.40	303.10	1100	22	1078	Albien
19- forage ZB 15	286.40	301.25	1096	20	1076	Albien
20- forage ZB 16	282.70	305.80	1118	26	1092	Albien

TABLE DES MATIERES

RESUME	01
AVANT – PROPOS	03
CHAPITRE PREMIER: GENERALITES	
I – INTRODUCTION	08
II – PRESENTATION GENERALE DU DOMAINE D’ETUDE	12
1 – Cadre géographique.....	12
1 – 1. Monts des Ksour dans leur contexte régional.....	12
1 - 2. Domaine d’étude.....	14
2 – Cadre géologique et structural.....	15
3 - Historique et état actuel des connaissances.....	16
3 – 1. Période d’exploration.....	16
3 – 2. Période Flamand, Cornet , Galmier et Bassoulet.....	17
3 – 3. Période récente.....	18
3 – 4. Les études hydrogéologiques.....	19
III - LES GRANDS ENSEMBLES GEOMORPHOLOGIQUES	20
1 – Le réseau hydrographique.....	20
1 – 1. Bassin de la Saoura.....	22
1 – 2. Bassin de l’Oued Namous.....	24
1 – 3. Bassin de l’Oued Gharbi.....	24
1 – 4. Bassin de l’Oued Segguer.....	24
2 - Les grands ensembles géographiques et géomorphologiques.....	27
2 – 1. Contexte régional.....	27
2 – 2. Grand Erg Occidental.....	27
2 – 3. Les massifs Nord Atlasiques des Monts des Ksour.....	29
3 – Aperçu morphométrique.....	34
3 – 1. Synclinal de Béni Ounif.....	34
3 – 2. Synclinal de Aïn Séfra.....	38
3 – 3. Synclinal de Labial Sidi Cheikh.....	40
4 - Conclusion	45

CHAPITRE DEUXIEME : GEOLOGIE

I – INTRODUCTION.....	49
II – CADRE GEOLOGIQUE ET LITHOSTRATIGRAPHIE DES MONTS DES KSOUR	49
1 – Permo-Trias.....	50
2 - Infralias.....	50
3 – Lias.....	51
3 – 1. Série calcaire et calcairo-marneux.....	51
3 – 2. Série des calcaires dolomitiques.....	51
3 – 3. Série de transition.....	51
4 – Dogger.....	51
4 – 1. Faciès des parties centrales des Monts des Ksour.....	52
4 – 2. Faciès des parties latérales des Monts des Ksour.....	52
5 – Jurassique supérieur – Crétacé inférieur.....	54
5 – 1. Introduction.....	54
5 – 2. Unités lithostratigraphiques.....	55
6 – Crétacé supérieur – Cénomano-Turonien.....	65
6 – 1. Formation de M'daouer.....	66
6 – 2. Formation de Khoundjaïa.....	66
7 – Formations continentales Post-Turoniennes.....	68
7 – 1. Carapace calcaire.....	69
7 – 2. Terrains des Hamadas ou couches rouges.....	69
7 – 3. Poudingues des Ksour.....	69
7 – 4. Terrains des Gours.....	69
7 – 5. Formation d'El Kohol.....	71
8 – Quaternaire.....	72
8 – 1. Limons anciens.....	72
8 – 2. Colluvions et piémonts.....	72
8 – 3. Alluvions anciennes.....	72
8 – 4. Alluvions récentes.....	72
8 – 5. Formations éoliennes.....	72
III – LES SYNCLINAUX DES MONTS DES KSOUR.....	73
1 – Synclinal de Aïn Séfra.....	73
1 – 1. Gouttière synclinales.....	74
1 – 2. Lithologie du synclinal.....	78
2 – Synclinal de Asla.....	79
2 – 1. Lithologie du synclinal.....	80
2 – 2. Déformations du synclinal.....	83
3 - Synclinal de Naâma.....	83
3 – 1. Cadre géologique.....	83
3 – 2. Lithologie du synclinal.....	84
3 – 3. Déformations du synclinal.....	87
4 – Synclinal de Béni Ounif.....	87
4 – 1. Série stratigraphique.....	90
4 – 2. Analyse structurale.....	92
5 – Gouttières synclinales de Djenien Bourezk.....	93
5 – 1. Remontée du Trias.....	93

5 – 2. Série stratigraphique.....	96
6 – Synclinal El Kheloua-Arbaouet.....	97
6 – 1. Unités lithostratigraphiques.....	97
6 – 2. Structure du synclinal.....	100
7 – Synclinal d’El Abiodh S/C Cheikh.....	101
7 – 1. Lithostratigraphie.....	101
7 – 2. Structure du synclinal.....	104
VI – TECTONIQUE.....	
105	
1 – Alignements morpho-tectoniques.....	105
2 – Etude quantitative de la fracturation.....	105
2 – 1. Densité de la fracturation.....	106
2 – 2. Longueurs et discontinuités des accidents tectoniques.....	106
3 – Accident Sud Atlasique.....	109
3 – 1. Evolution morpho-tectonique.....	109
3 – 2. Inversion tectonique.....	112

CHAPITRE TROISIEME : HYDROLOGIE

I - INTRODUCTION.....	119
II - CLIMATOLOGIE DES MONTS DES KSOUR.....	120
1 – Caractéristiques climatiques.....	121
1 – 1. Régimes pluviométriques.....	121
1 – 2. Températures.....	123
1 – 3. Nébulosité.....	124
1 – 4. Humidité – Evaporation.....	125
2 – Pluviométrie.....	127
2 – 1. Climat.....	127
2 – 2. Pluviométrie annuelle.....	131
2 – 2. Distribution mensuelle des pluies.....	133
2 – 3. Pluies de courtes durée.....	135
III - HYDROLOGIE SUPERFICIELLE.....	138
1 – Domaine oriental.....	138
1 – 1. Situation des bassins versants.....	138
1 – 2. Caractéristiques générales des bassins.....	140
1 – 3. Apports liquides.....	141
1 – 4. Etudes des crues.....	146
2 – Domaine occidental.....	152
2 – 1. Situation du domaine occidental.....	152
2 – 2. Aperçu sur l’hydrologie de la Saoura.....	153
2 – 3. La Zousfana.....	157
3 – Conclusion.....	162

CHAPITRE QUATRIEME : HYDROGEOLOGIE

INTRODUCTION.....	167
I – HYDROGEOLOGIE REGIONALE.....	168
1 – Piémonts Nord des monts des Ksour.....	168
1 – 1. Cadre géologique.....	168
1 – 2. Les principaux aquifères.....	172
1 – 3. Zones d'alimentation.....	177
2 – Piémonts Sud des monts des Ksour.....	181
2 – 1. Nappes des terrasses des grands oueds.....	181
2 – 2. Nappes du Complexe Terminal.....	183
3 – Plate forme Saharienne.....	191
3 – 1. Hamada Sud Oranaise.....	191
3 – 2. Hamada du Guir.....	194
3 – 3. Grand Erg Occidental.....	198
4 – Vallée de la Saoura.....	207
4 – 1. Introduction.....	207
4 – 2. Hydrogéologie de la vallée de la Saoura.....	207
4 – 3. Aquifères de la Saoura.....	213
5 – Apport de l'hydrologie isotopique.....	222
5 – 1. Introduction.....	222
5 – 2. Teneurs isotopiques des eaux souterraines.....	225
5 – 3. Teneurs isotopiques des eaux superficielles.....	235
II – CONSEQUENCE HYDROGEOLOGIQUE DE LA LITHOLOGIE ET LA FRACTURATION SUR LES EMERGENCES DES MONTS DES KSOUR.....	235
1 – La lithologie.....	235
1 – 1. Sables argileux du Complexe Terminal.....	235
1 – 2. Grés fissurés du Continental Intercalaire.....	235
1 – 3. Calcaires et dolomies du Jurassique.....	236
2 – Etude de la fracturation et de la fissuration.....	236
2 – 1. Structure de Tiout – Aïn El Hadjadj – Asla.....	236
2 – 2. Fracturation et fissuration.....	237
3 – Les sources et leurs conditions d'émergence.....	246
3 – 1. Emergences d'origine structurale.....	246
3 – 2. Emergences liées à la fracturation.....	253
III – SYNCLINAUX DES MONTS DES KSOUR.....	261
1 – Synclinaux de la partie occidentale.....	261
1 – 1. Unités hydrogéologiques de Djenien Bou Rezk – Moghrar.....	261
1 – 2. Unité hydrogéologique de Moghrar.....	267
1 – 3. Synclinal de Béni Ounif.....	269
2 – Synclinaux de la partie centrale.....	292
2 – 1. Gouttières synclinales de Aïn Séfra.....	292
2 – 2. Synclinal de Naäma.....	312
2 – 3. Synclinal de Asla.....	328

3 - Synclinaux de la partie orientale.....	340
3 – 1. Synclinal d’El Abiodh Sidi Cheikh.....	341
3 – 2. Synclinal El Kheloua – Arbaouet.....	356

CHAPITRE CINQUIEME : CARTOGRAPHIE HYDROGEOLOGIQUE

I - INTRODUCTION.....	367
II - BASE DE DONNEES GEOSPATIALES.....	368
1 – Introduction.....	368
2 – Systèmes d’informations géographiques.....	368
2 – 1. Fonctionnalités d’un SIG.....	368
2 – 2. Nécessité d’une méthode spécifique.....	370
3 – Mise en œuvre et applications.....	370
3 – 1. Mapinfo.....	370
3 – 2. Saisie des données.....	371
3 – 3. Manipulation des données.....	371
3 – 4. Analyse spatiale.....	374
3 – 5. Application : prototype du modèle global.....	379
III – RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	380
1 – Mise à jour des données structurales par l’image satellite.....	380
2 – Carte hydrogéologique de Aïn Séfra.....	382
3 – Carte hydrogéologique de synthèse des Monts des Ksour.....	387
4 – Conclusion.....	391
 CONCLUSION GENERALE.....	 393
 BIBLIOGRAPHIE.....	 400
 ANNEXES.....	 413

LISTES DES TABLEAUX

- 1 - Stations pluviométriques des Monts des Ksour
- 2 - Répartition mensuelle de la température (El Kheïter et aïn Séfra)
- 3 - Nébulosité moyenne
- 4 - Humidité relative
- 5 - Moyennes mensuelles d'évapotranspiration
- 6 - Evaporation potentielle
- 7 - Répartition mensuelle de la pluviométrie
- 8 - Comparaison des totaux pluviométriques annuels dans le bassin
- 9 - Répartition mensuelles moyennes de la pluviométrie
- 10 - Résultats des estimations statistiques des intensités durée/fréquence (Mechria)
- 11 - Caractéristiques physiques des bassins du domaine oriental
- 12 - Récapitulatif des caractéristiques morphométriques
- 13 - Répartition mensuelle des apports annuels (station ANRH)
- 14 - Récapitulatif des résultats des apports fréquentiels
- 15 - Récapitulatif des résultats des apports fréquentiels
- 16 - Débits de pointe des temps de retour selon Mallet-Gauthier
- 17 - Intensités fréquentielles pour différents temps de retour
- 18 - Débits de crues maximas
- 19 - Débits de crues maximas proposés
- 20 - Volume des crues pour chaque fréquence
- 21 - Evaluation des crues fréquentielles en Hm³
- 22 - Résultats des apports et fréquences de crues
- 23 - Tableau récapitulatif des résultats
- 24 - Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages hydrauliques
- 25 - Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages pétroliers
- 26 - Caractéristiques hydrogéologiques des principaux forages pétroliers
- 27 - Equation des droites de régression ¹⁸O et ²H en climat aride et semi aride
- 28 - Teneur isotopique des eaux de la hamada du Guir
- 29 - Teneur en isotopes lourds sur le profil en long de la Saoura
- 30 - Enrichissement en isotopes lourds
- 31 - Répartition des 180 fractures répertoriées
- 32 - Résistivités et comportement hydrogéologique du Continental Intercalaire
- 33 - Résultats des essais par différentes méthodes
- 34 - Comparaison des coupes géoélectriques (forage mouilah
- 35 - Comparaison des coupes géoélectriques (forage Bel handjir)
- 36 - Diagraphies du forage Naftal de Aïn Séfra
- 37 - Comportement hydrogéologique des différentes formations
- 38 - Comparaison coupes géoélectriques – coupe du puits AF10
- 39 - Comportement hydrogéologique des formations du CI
- 40 - Ouvrages hydrauliques dans le synclinal d'El Abiodh S/C
- 41 - Comportement hydrogéologique des différentes formations
- 42 - Comportement hydrogéologique des différentes formations
- 43 - Résultats des analyses physico-chimiques

LISTES DES FIGURES

Chapitre I - INTRODUCTION

- 01 - Cadre géologique des systèmes aquifères du CI et CT
- 02 - Les monts des Ksour dans leur contexte régional
- 03 - Domaine d'étude
- 04 - Réseau hydrographique
- 05 - Bassin versant de la Saoura
- 06 - Bassins versants des Oueds Namous, Gharbi et Segguer
- 07 - Le Grand Erg Occidental
- 08 - Synclinal de Béni Ounif
- 09 - Courbe hypsométrique et profil en long de l'Oued Safsaf
- 10 - Courbe hypsométrique et profil en long de l'Oued Mérides
- 11 - Bassin versant de l'Oued Breïdj
- 12 - Courbe hypsométrique de l'Oued Breïdj
- 13 - Bassin versant du synclinal D'El Abiodh S/C
- 14 - Courbe hypsométrique et profil en long de l'Oued Djeraf
- 15 - Courbe hypsométrique et profil en long de l'Oued Tafarahit

Chapitre II – GEOLOGIE

- 16 - Principales unités stratigraphiques et leur faciès
- 17 - Coupes de la formation de Tiloula et Teniet El Rhnem
- 18 - Colonne lithologique du Crétacé inférieur
- 19 - Colonne lithologique du Crétacé inférieur à Mehirize et Melabed
- 20 - Colonne lithologique du Crétacé inférieur à Tiloula
- 21 - Corrélation stratigraphique du CI dans les Monts des Ksour
- 22 - Corrélation stratigraphique du CS dans les Monts des Ksour
- 23 - Log stratigraphique des formations post-Turonien D'El Kohol
- 24 - Coupe dans les terrains des Gours et de la Hamada
- 25 - Coupe dans l'Eocène d'El Kohol
- 26 - Coupes à travers le synclinal de Aïn Séfra
- 27 - Faciès du CI recoupé par les forages de Aïn Séfra
- 28 - Faciès du CI recoupé par les forages de Asla
- 29 - Coupes à travers le synclinal de Naâma
- 30 - Essai de corrélation des coupes des forages du synclinal de Naâma
- 31 - Log stratigraphique de la région de Chebket Charef
- 32 - Carte géologique de l'affleurement Triasique de Djenien
- 33 - Carte et coupe géologique de la série renversée de l'o. Dermel
- 34 - Carte géologique du synclinal d'El Kheloua – Arbaouet
- 35 - Succession lithologique des Djebel Gharbi et Chergui
- 36 - Coupes du CI et du Ceno-Turonien à Dj. Tismert et Tafarahit
- 37 - Réseau de fracturation et discontinuités tectoniques
- 38 - Schéma tectonique de l'atlas Saharien
- 39 - Modèle expérimental et faille décrochante avec fracturation et plis

- 40 - Flexure Sud Atlasique affectant le chaînon de Kerdacha
- 41 - Relais de la faille Atlasique à Djebel Ouazzani
- 42 - Relais de la faille Atlasique à Djebel Tismert

Chapitre III – HYDROLOGIE

- 43 - Répartition des précipitations annuelles (1969 – 2001)
- 44 - Distribution des températures mensuelles à Aïn Séfra et El Kheiter
- 45 - Climagramme de Aïn Séfra et El Abiodh S/C
- 46 - Diagramme pluviothermique à Aïn Séfra
- 47 - Indice d'aridité de De Martonne
- 48 - Répartition de la pluviométrie mensuelle (1973 – 2002)
- 49 - Ajustement à une loi log normale : station Mecheria (1970 – 2002)
- 50 - Plan de situation des BV du domaine oriental
- 51 - Apports mensuels à Aïn El Hadjadj et Larouia
- 52 - Ajustement à une loi Gumbel des apports annuels à Aïn El Hadjadj
- 53 - Ajustement à une loi Gumbel des apports annuels à Larouia
- 54 - Ajustement à une loi Gumbel des débits maximums annuels à Aïn El Hadjadj
- 55 - Ajustement à une loi Gumbel des débits maximums annuels à Larouia
- 56 - Carte en courbes isohyètes et propagation des crues
- 57 - Débits et volumes écoulés du Guir à Djorf Torba (1967-1968)
- 58 - Débits et volumes maximum annuels écoulés (1966-1967)
- 59 - Fréquences mensuelles des pluies et des crues dans le bassin de la Saoura
- 60 - Ajustement des débits annuels à une loi log normale à Djorf Torba (1967-1968)
- 61 - Ajustement des précipitations maximales journalières à une loi log normale (B.O)

Chapitre IV – HYDROGEOLOGIE

- 62 - Situation de l'accident Nord Atlasique
- 63 - Coupe schématique de la structure Jurassico-crétacée des piémonts Nord des MK
- 64 - Carte géologique de la dorsale du Reha (Aïn Ben khellil)
- 65 - Carte géologique de la dorsale de Hafid Bou – Rhenissa
- 66 - Coupe du forage de Forthassa Gharbia
- 67 - Forage de Mesdouria et courbe de pompage
- 68 - Aquifère des calcaires dolomitiques dans le Jurassique moyen
- 69 - Zone d'alimentation par écoulement hypodermique (Guetob et Reha)
- 70 - Coupes des sondages pétroliers (Oueds Namous et Gharbi)
- 71 - Carte hydrogéologique de la Hamada sud Oranaise
- 72 - Coupe géologique schématique Atlas – Hamada – Grand Erg – Saoura
- 73 - Corrélation entre les sondages de la Hamada du Guir
- 74 - Esquisse des hydroisohypses de la nappe de la Hamada du Guir
- 75 - Esquisse hydrogéologique de la bordure du Grand Erg Occidental
- 76 - Carte piézométrique de la nappe du Grand Erg Occidental
- 77 - Extrait de la carte piézométrique de la nappe du Grand Erg Occidental
- 78 - Carte piézométrique de la nappe du CI et du Grand Erg Occidental
- 79 - Diagramme d'analyse d'eau de la bordure Ouest de la nappe sous l'Erg
- 80 - Coupes hydrogéologiques à travers la Saoura (Igli et Seguia Haboura)

- 81 - Diagramme d'analyse d'eau de la région d'Igli à Touzdit
- 82 - Coupe hydrogéologique E – W au droit de Mazzer (Hamada du Guir
- 83 - Coupe hydrogéologique à travers le palier de Hemama (Béni Abbes
- 84 - Carte géologique du bassin de la Zousfana
- 85 - Coupes des forages Mertouma n° 3 et Oum Graf
- 86 - Carte piézométrique de la nappe de la palmeraie de Béni Abbes (1991
- 87 - Corrélation entre la composition isotopique oxygène 18 – hydrogène
- 88 - Carte des points d'eau de la nappe du Grand Erg Occidental
- 89 - Teneur en deuterium et oxygène 18 des précipitations à Béni Abbes
- 90 - Corrélation entre les teneurs en oxygène 18 et hydrogène des eaux du G.E.O
- 91 - Evolution de la teneur en tritium de la Saoura à Béni Abbes
- 92 - Teneur en deuterium et oxygène 18 de la nappe et du réseau de surface
- 93 - La fracturation dans le synclinal de Tiout par photogéologie
- 94 - Différence et comportement de 03 niveaux gréseux face à la fracturation
- 95 - Fracturation dans le Djebel Chemarikh
- 96 - Fracturation dans le synclinal de Khoundjaïa
- 97 - Diagramme polaire de la fissuration des grés à El Abiodh S/C
- 98 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Aïn Mélias
- 99 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Aïn Ouarka
- 100 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence d'El Hendjir
- 101 - Esquisse géologique et structurale. Impact sur l'émergence d'El Hendjir
- 102 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Aïn Tessala
- 103 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Tiout
- 104 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Aïn Skhouna
- 105 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence de Tiourtelt
- 106 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence des sources de l'Aptien
- 107 - Coupe schématique montrant les conditions d'émergence des sources du Dj. Aissa
- 108 - Zone de l'accident Sud Atlasique (Béni Ounif, Dermel, H.M'guil). Extrait pl. 06
- 109 - Carte piézométrique des cuvettes synclinales de Djenien Bou Rezk et Moghrar
- 110 - Carte géologique sommaire des formations Jurassico-crétacées (Cornet, 1947)
- 111 - Esquisse géologique et coupe géologique du Turonien et du CI à Béni Ounif
- 112 - Carte des résistivités apparentes du synclinal de Béni Ounif
- 113 - Schémas interprétatifs des coupes géoélectriques du synclinal de Béni Ounif
- 114 - Logs synthétiques des forages hydrauliques de Béni Ounif
- 115 - Coupes hydrogéologiques à Béni Ounif a, b, c et d
- 116 - Carte piézométrique de la nappe des grés du CI du synclinal de Béni Ounif
- 117 - Courbe de descente du forage F4 (Béni Ounif
- 118 - Cartographie hydrochimique des principaux éléments majeurs
- 119 - Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal de Béni Ounif
- 120 - Plan de position des sondages électriques
- 121 - Coupes géoélectriques
- 122 - Coupes hydrogéologiques schématiques à travers le synclinal de Aïn Séfra
- 123 - Carte piézométrique du synclinal de Aïn Séfra - Courbe de descente du forage Bel
Hendjir
- 124 - Courbe de descente du forage Naftal
- 125 - Courbe de descente du forage Maâder
- 126 - Carte d'isoteneur des minéralisations
- 127 - Carte d'isoteneur des sulfates
- 128 - Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal d'Aïn Séfra
- 129 - Carte de position des SE de Naâma

- 130 - Coupes géoélectriques
- 131 - Coupe géologique du forage AF41
- 132 - Coupes hydrogéologiques schématiques à travers le synclinal de Naâma
- 133 - Carte piézométrique des cuvettes synclinales de Mekalis, Naâma et Asla
- 134 - Courbe de remontée du forage AF41
- 135 - Carte d'isoteneur des résidus secs des eaux du synclinal de Naâma
- 136 - Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal de Naâma
- 137 - Carte de position des SE
- 138 - Coupes géoélectriques a et b
- 139 - Courbe de remontée du forage Remta 4 et de descente du forage Remta 7
- 140 - Carte d'isoteneur de la minéralisation
- 141 - Carte d'isoteneur des sulfates
- 142 - Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal de Asla
- 143 - Forage en cours d'exploitation captant 02 aquifères gréseux superposés
- 144 - Carte des résistivités transversales du synclinal de Labiodh S/C
- 145 - Coupes géoélectriques E, G et F
- 146 - Coupe hydrogéologique interprétative du flanc méridional du Dj. Tismert
- 147 - Carte piézométrique de la nappe superficielle d'El Abiodh S/C
- 148 - Carte de répartition des résidus secs
- 149 - Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal d'El Abiodh S/C
- 150 - Unités aquifères de l'Aptien et de l'Albien recoupées par les forages
- 151 - Coupe hydrogéologique schématique du synclinal El Kheloua – Arbaouet
- 152 - Carte piézométrique du synclinal El Kheloua – Arbaouet
- 153 - Représentation graphique des analyses d'eau du synclinal El Kheloua – Arbaouet

Chapitre V – CARTOGRAPHIE HYDROGEOLOGIQUE

- 154 - Les fonctions d'un SIG
- 155 - Format et système d'information hydrogéologique
- 156 - exemple de structuration en couches avec croisement d'informations
- 157 - Requêtes sous forme de tables
- 158 - Prototype du modèle
- 159 - Images satellites
- 160 - Carte piézométrique des terminaisons synclinales d'El Hendjir et de Haoud Haïmer
- 161 - Carte piézométrique de la cuvette de Haoud Haïmer

LISTE DES PLANCHES

Planche 01 - Les grands ensembles géomorphologiques des Monts des Ksour

Planche 02 - Carte géologique du synclinal de Aïn Séfra

Planche 03 - Carte géologique des cuvettes synclinales de Naâma et Asla

Planche 04 - Carte géologique de Béni Ounif

Planche 05 - Carte géologique de Djenien Bou Rezk

Planche 06 - Carte hydrogéologique de Béchar

Planche 07 - Carte hydrogéologique de Aïn Séfra

Planche 08 - Carte hydrogéologique de synthèse des Monts des Ksour

ANNEXES