

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

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade de

Magister en Science de la terre

Option : Hydrogéologie

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SYNCLINAL DE NAAMA

(Monts des KSOUR, Atlas saharien occidental)

Par

FILLALI Khadidja

Soutenu le

devant la commission d'examen

MANSOUR H.	Maître de conférences	Université d'Oran	Président
BENALI A.	Professeur	Université d'Oran	Rapporteur
HAYANE S. M.	Maître de conférences	Université d'Oran	Examineur
HASSANI M.I.	Maître de conférences	Université d'Oran	Examineur
STAMBOUL M.	Maître de Conférences	Université de Laghouat	Examineur
MAHBOUBI M.	Professeur	Université d'Oran	Invité

Année universitaire 2010-2011

Remerciement

*Au terme de ce mémoire, j'ai la satisfaction d'exprimer toute ma gratitude la plus sincère et la plus profonde à mon encadreur Monsieur **A.BENALI** ; pour sa collaboration effective et ces judicieux conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer tout le long de ce travail.*

*Je remercie Monsieur **MANSOUR H.** qui m'a prodigué encouragements et conseils, et qui a eula bienveillance d'accepter de juger ce travail et de présider le jury de soutenance.*

*Toute ma reconnaissance va également à, **HAYANE S. M.** qui a bien voulu d'accepter d'examiner ce travail.*

*Je tiens à remercier Monsieur **HASSANI M.I.** qui a bien voulu faire partie du Jury.*

*Je tiens aussi à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur **STAMBOUL M.** pour sa participation au jury.*

*Je suis très heureuse de compter parmi les membres de Jury Monsieur **MAHBOUBI M.** qui malgré ses nombreuses engagements, il a accepté notre invitation.*

J'ai l'agréable tâche de témoigner ma grande reconnaissance aux différents services techniques auprès desquels j'ai bénéficié d'un aimable appui, notamment ceux qui m'ont facilité l'accès aux données de mesures et à la documentation, en particulier :

- la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Nâama ;*
- L'Institut National du Sol et d'Irrigation et Drainage de Ksar Chellala, wilaya de Tiaret.*

Il m'est particulièrement agréable d'adresser mes plus vifs remerciements à ma famille, mon époux ; qui m'ont aidé à réaliser ce travail, en m'apportant encouragements, aide et soutien.

RESUME

La région de l'Atlas saharien occidental ou Monts des Ksour constitue un espace géographique, géologique et climatique très contrasté. Dans ce contexte hétérogène, se trouve notre secteur d'étude "synclinal de Nâama" qui est compris entre deux anticlinaux jurassiques; Dj.Aïssa et Dj.Mekter à l'Est, Dj. Morhad à l'Ouest.

Dans un tel contexte il nous a paru utile de faire une synthèse hydrogéologique du synclinal en portant une attention particulière au réservoir aquifère mio-plio-quadernaire et de le caractériser de point de vue hydrodynamique, hydrogéologique et hydrogéochimique. L'objectif général de cette étude sera d'établir une carte hydrogéologique du synclinal de Nâama à l'aide des outils modernes : Systèmes d'Information Géographique (SIG), analyse statistique (analyse en composante principale(ACP)), ainsi que la géostatistique ; par l'intégration des données topographiques, géomorphologiques (relief, nature du sol, structure de sol), et hydrogéologiques qui permettent une analyse spatiale et environnementale très précise pour la prise de décision.

Après avoir fait une synthèse des résultats des campagnes piézométriques et hydrochimiques relatives au synclinal de Nâama, nous présenterons dans un atlas hydrogéologique une carte thématique des écoulements souterrains dont est le siège le synclinal de Nâama que structure deux bassins hydrogéologiques ; Bassin hydrogéologique de Nâama, centré autour de Sebkheth Nâama, alimenté principalement par le Djebel Mellah et le bassin hydrogéologique de Tirkount orienté SW – NE, alimenté latéralement par les versants des Djebels Morhad, Aïssa et Tifkirt .

Mots clés : Synclinal, Mio-plio-quadernaire, Systèmes d'Information Géographiques (SIG), Analyse en Composante Principale (ACP), carte hydrogéologique.

ABSTRACT

The region of the Western Saharan Atlas or the Ksour Mountains is a geographical, geological and climate area with high contrast. In this heterogeneous context, is our study area "synclinal of Nâama" which situated between two Jurassic anticlinals; Dj.Aissa, Dj.Mekter in the East, Dj. Morhad in the West.

In this context it seemed useful to summarize a hydrogeologic synthesis of this synclinal. Wearing a particular attention to the Mio-Plio-Quaternary aquiferous and to characterize it viewpoint hydrodynamically, hydrogeologically and hydrogeochemically. The overall objective of this study is to make a Hydrogeological map of this synclinal using modern tools: Geographic Information Systems (GIS), statistical analysis (principal component analysis (PCA) and geostatistics, by integration of topographic data, geomorphological data (relief, soil type, soil structure), and hydrogeological data allowing a spatial and environmental analysis very detailed to take a decision.

After a summary of piezometric and hydrochemical results related to synclinal of Nâama, we present in a hydrogeological atlas a thematic map of underground flow which structure two groundwater basins, Hydrogeological Basin of Nâama, centered around Sebkheth Nâama, fueled mainly by Dj. Mellah and Hydrogeological basin of Tirkount oriented SW - NE, powered by the lateral sides of Dj.Morhad, Dj.Aissa and Dj.Tifkirt.

Key words: Synclinal, Mio-plio-quaternary, Geographic Information Systems (GIS), Principal Component Analysis (PCA), Hydrogeological map.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX.....	10
INTRODUCTION	12
PREMIERE PARTIE.....	16
CHAPITRE 1	17
CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL GENERAL DES MONTS DES Ksour.....	17
I. <i>LE DOMAINE ATLASIQUE</i>	17
II. <i>RETROSPECTIVE SUR LA GEOLOGIE DE L'ATLAS SAHARIEN</i>	19
A. <i>Géologie</i>	19
B. <i>Stratigraphie</i>	20
III. <i>FOCUS SUR L'ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL</i>	22
A. <i>Historique des travaux</i>	22
B. <i>Géologie</i>	23
C. <i>Géodynamique et tectonique</i>	25
CHAPITRE 2.....	29
ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE ET HYDROCLIMATOLOGIQUE DU SYNCLINAL DE NAAMA	29
I. <i>SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE</i>	29
II. <i>LITHOSTRATIGRAPHIE DU SYNCLINAL DE NAAMA (FIG.10)</i>	29
A. <i>Les formations mésozoïques (fig. 12)</i>	33
B. <i>Les formations tertiaires</i>	37
C. <i>Les formations quaternaires</i>	37
III. <i>DEFORMATIONS DU SYNCLINAL DE NAAMA</i>	39
IV. <i>MORPHOLOGIE</i>	40
A. <i>Les chaîons</i>	40
B. <i>Les dépressions</i>	40
C. <i>Les Synclinaux</i>	41
D. <i>Les plaines</i>	41
E. <i>Les sebkhas</i>	41
V. <i>HYDROCLIMATOLOGIE</i>	42
A. <i>E tude des paramètres climatologiques</i>	42
B. <i>Bilan hydrologique</i>	49
VI. <i>RESEAU HYDROGRAPHIQUE</i>	52
A. <i>L'oued Gharbi</i>	52
B. <i>L'oued Namous</i>	52
C. <i>L'oued Zousfana</i>	53
D. <i>L'oued Zoubia</i>	53

VII. VEGETATION	53
VIII. CONCLUSION	55
CHAPITRE 3.....	57
CARACTERISATION DES RESERVOIRS AQUIFERES.....	57
I. CARACTERISATION A PARTIR DES SONDAGES ELECTRIQUES	57
A. Interprétation des profils géo électriques	60
B. Interprétation des coupes des résistivités apparentes.....	65
C. Interprétation des cartes des résistivités apparentes ab=2000m (fig. 33).....	70
D. Interprétation des cartes des résistivités apparentes ab = 4000m (fg.34).....	70
E. Carte du toit du jurassique (fg.35).....	70
F. Etude des formations mio-pliocènes et mésozoïques du bassin de Tirkount.....	72
G. Résultats.....	80
II. POTENTIALITES HYDROGEOLOGIQUES.....	81
A. Les émergences d'origine structurale.....	81
B. Les sources liées a la fracturation.....	81
C. Coupes hydrogéologiques schématiques (fig. 40).....	83
III. CONCLUSION	85
DEUXIEME PARTIE.....	86
CHAPITRE 1	88
CARACTERISATION HYDROGEOCHIMIQUE.....	88
I. CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES SUR LE CHIMISME DES EAUX SOUTERRAINES	89
A. Facteurs du chimisme	89
B. Aperçu sur quelques systèmes chimiques.....	89
C. Origine des éléments en solution	90
II. APPLICATION A LA NAPPE LIBRE DU SYNCLINAL DE NAAMA.....	91
A. Validation des résultats.....	94
B. Considérations sur l'hydrochimie de la nappe superficielle.....	94
C. Fonctionnement.....	133
III. CONCLUSION	134
CHAPITRE 2.....	135
CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE	135
I. INVENTAIRE DES DONNEES.....	135
A. Données géographiques.....	135
B. Données satellitales	135
C. Données météorologiques.....	135
D. Données géologiques (stratigraphie, tectonique)	136
E. Données hydrogéologiques.....	136
II. APPLICATION ET RESULTATS.....	136

A.	<i>Supports de travail</i>	136
B.	<i>Méthodologie de travail</i>	138
C.	<i>Elaboration de la carte hydrogéologique</i>	147
III.	<i>DISCUSSION DES RESULTATS</i>	149
A.	<i>La configuration des bassins hydrogéologiques liée a la tectonique</i>	149
B.	<i>La configuration des bassins hydrogéologiques liée a la piézométrie.</i>	150
C.	<i>La configuration des bassins hydrogéologiques liée a l'hydrochimie</i>	151
	CONCLUSION GENERALE.....	152
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	156
	ANNEXES.....	159

Liste des figures

FIG. 1 : (A) - CARTE DE SITUATION DE LA WILAYA DE NAAMA.....	13
FIG. 2 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ATLAS SAHARIEN (BENEST, 1985)	18
FIG. 3 : LA SERIE MESO-CENOZOÏQUE DES MONTS DES Ksour (AIT OUALI, 1991).....	24
FIG. 4: LOGS LITHOSTRATIGRAPHIQUES DES DOMAINES SAHARIEN – ATLASIQUE - HAUTS PLATEAUX.....	26
FIG. 5: SCHEMA D'OUVERTURE DU BASSIN ATLASIQUE AU TRIAS : EFFONDREMENT LIE A L'ASM.....	26
FIG. 6: COUPE SYNTHETIQUE DANS LES MONTS DES Ksour.....	27
FIG. 7: COUPE SCHEMATIQUE ET INTERPRETATIVE DANS LES MONTS DES Ksour.....	27
FIG. 8 : COUPE SCHEMATIQUE DU DJEBEL ANTAR (IN CHERGUI, 2010).....	27
FIG. 9: SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE	30
FIG. 10: CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE NAAMA (GALMIER. 1973) MODIFIEE.....	31
FIG. 11 : ESSAI DE CORRELATION DES COUPES DE FORAGES DU SYNCLINAL DE NAAMA	32
FIG. 12: COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS MESOZOÏQUE DANS LA PARTIE CENTRALE DES MONTS DES Ksour. (AIN SEFRA) (DOUIHASNI, 1976)	35
FIG. 13: COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS DU CENOMANO-TURONIEN DANS LA PARTIE CENTRALE DES MONTS DES Ksour (AIN SEFRA) (DOUIHASSNI, 1976).....	36
FIG. 14: COUPES GEOLOGIQUES A TRAVERS LE SYNCLINAL DE NAAMA	38
FIG. 15: RESEAU DE FRACTURATION ET CONTINUTE DES ACCIDENTS TECTONIQUES CASSANTS	39
FIG. 16: REPARTITION DES PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES (1969-2001) (MANSOUR, 2006).....	43
FIG. 17: VARIATION INTERANNUELLE DES PRECIPITATIONS AU NIVEAU DES STATIONS DE NAAMA, MECHERIA ET AIN SEFRA.....	44
FIG. 18 : VARIATION MENSUELLES DES PRECIPITATIONS AU NIVEAU DES STATIONS DE NAAMA, MECHERIA ET AIN SEFRA.....	45
FIG. 19 : REPARTITION SAISONNIERE DES PRECIPITATIONS.....	46
FIG. 20: VARIATION DES TEMPERATURES MENSUELLES A LA STATION DE MECHERIA(1985- 2001).....	47
FIG. 21: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU BILAN HYDRIQUE.....	50
FIG. 22: CARTE DE SITUATION DES SONDEGES ELECTRIQUES DANS LE SYNCLINAL DE NAAMA (CGG, 1974).....	58
FIG. 23: CARTE DE POSITION DES SONDEGES ELECTRIQUES DANS LA DEPRESSION DE TIRKOUNT.....	59
FIG. 24 : COUPES GEOELECTRIQUES DU SYNCLINAL DE NAAMA (CGG.1974).....	62
FIG. 25 : COUPE GEOELECTRIQUE F DU BASSIN DE TIRKOUNT (MEKKI, 1986) MODIFIEE PAR CE TRAVAIL	63
FIG. 26: COUPE GEOELECTRIQUE G DU BASSIN DE TIRKOUNT (MEKKI, 1986) MODIFIEE PAR CE TRAVAIL	63
FIG. 27: COUPE GEOELECTRIQUE I DU BASSIN DE TIRKOUNT (MEKKI, 1986) MODIFIEE PAR CE TRAVAIL	64
FIG. 28: COUPE GEOELECTRIQUE H DU BASSIN DE TIRKOUNT (MEKKI, 1986) MODIFIEE PAR CE TRAVAIL	64
FIG. 29: COUPE G DE RESISTIVITE APPARENTE DU BASSIN DE TIRKOUNT (MEKKI, 1986) MODIFIEE PAR CE TRAVAIL.....	66

FIG. 31: COUPE H DE RESISTIVITE APPARENTE DU BASSIN DE TIRKOUNT (MEKKI, 1986) MODIFIEE PAR CE TRAVAIL.....	67
FIG. 32 : COUPE I DE RESISTIVITE APPARENTE DU BASSIN DE TIRKOUNT (MEKKI, 1986) MODIFIEE PAR CE TRAVAIL.....	67
FIG. 33: CARTE DES RESISTIVITES APPARENTES EN LIGNE AB= 2000 M (MEKKI, 1986), MODIFIEE PAR CE TRAVAIL.....	68
FIG. 34: CARTE DES RESISTIVITES APPARENTES EN LIGNE AB= 4000 M (MEKKI, 1986), MODIFIEE PAR CE TRAVAIL.....	69
FIG. 35 : CARTE DU TOIT DE JURASSIQUE (MEKKI, 1986), MODIFIEE PAR CE TRAVAIL.....	71
FIG. 36 : CARTE DE SITUATION DES PUIITS ET FORAGES DANS LA DEPRESSION DE TIRKOUNT.	74
FIG. 37: LOG STRATIGRAPHIQUE DU FORAGE F2.	75
FIG. 38: LOG STRATIGRAPHIQUES DE TIRKOUNT, BOU GHELLABA, EL OACH.....	78
FIG. 39: COUPE SCHEMATIQUE MONTRANT LES CONDITIONS D'EMERGENCE DES SOURCES DU DJEBEL AISSA (MANSOUR, 2007).....	83
FIG. 40: COUPES HYDROGEOLOGIQUES SCHEMATIQUES A TRAVERS LE SYNCLINAL DE NAAMA (MANSOUR, 2007)	84
FIG. 41: REPARTITION SPATIALE DE LA MINERALISATION.....	95
FIG. 42: REPARTITION SPATIALE DU RAPPORT SO4 / CL.....	96
FIG. 43: RELATION CHLORURES –SODIUM	97
FIG. 44: RELATION CALCIUM – MAGNESIUM	98
FIG. 45: RELATION PH – PCO2	98
FIG. 46: RELATION $HCO_3 - pco_2$	99
FIG. 47 : RELATION CALCIUM – SULFATES	100
FIG. 48: RELATION CALCIUM – SODIUM	100
FIG. 49 : RELATION SODIUM – CHLORURES	101
FIG. 50: RELATION CA – HCO3	101
FIG. 51 : RELATION $Ca^{2+} + Mg^{2+} - HCO_3 - CO_3^{2-} - SO_4^{2-} -$	102
FIG. 52: DISTRIBUTION SPATIALE DES INDICES DE SATURATION.....	104
FIG. 53: DISTRIBUTION DE LA PRESSION PARTIELLE EN CO ₂	104
FIG. 54: ETAT D'EQUILIBRE DES EAUX DE L'AQUIFERE AVEC LA DOLOMITE.....	105
FIG. 55: ETAT D'EQUILIBRE DES EAUX DE L'AQUIFERE AVEC LA CALCITE.....	105
FIG. 56: ETAT D'EQUILIBRE DES EAUX DE L'AQUIFERE AVEC L'ARAGONITE.....	106
FIG. 57: ETAT D'EQUILIBRE DES EAUX DE L'AQUIFERE AVEC LE GYPSE	106
FIG. 58: ETAT D'EQUILIBRE DES EAUX DE L'AQUIFERE AVEC L'ANHYDRITE.....	107
FIG. 59 : RELATION IS CALCITE – IS DOLOMITE (AF02 ET AF17)	107
FIG. 60: CORRELATION IS CALCITE - IS DOLOMITE	108
FIG. 61 : RELATION INDICE DE SATURATION EN CALCITE – PH.....	108
FIG. 62: RELATION INDICE DE SATURATION EN DOLOMITE – PH.....	109
FIG. 63: RELATION IS GYPSE – IS ANHYDRITE	109
FIG. 64: FACIES BICARBONATE CALCIQUE DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA.....	111
FIG. 65: FACIES SULFATE CALCIQUE DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA	112
FIG. 66: FACIES CHLORURE CALCIQUE, FACIES CHLORURE MAGNESIEN ET FACIES BICARBONATE MAGNESIEN.	114
FIG. 67: DIAGRAMME DE PIPER DES EAUX DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA.....	115
FIG. 68: CARTE DE DISTRIBUTION DES TENEURS DES RESIDUS SECS DES EAUX DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA.	117

FIG. 69: CARTE DE DISTRIBUTION DES TENEURS EN SULFATES DES EAUX DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA.	119
FIG. 70: CARTE DE DISTRIBUTION DES TENEURS EN CHLORURES DES EAUX DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA	121
FIG. 71: CARTE DE DISTRIBUTION DES TENEURS EN CALCIUM (CA++) DES EAUX DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA	122
FIG. 72: CARTE DE DISTRIBUTION DES TENEURS EN MAGNESIUM DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA.	124
FIG. 73: CARTE DE DISTRIBUTION DE LA MINERALISATION DES EAUX DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA.	125
FIG. 74: PROJECTION DES VARIABLES SUR LE PLAN FACTORIEL (1X2) ET LE PLAN FACTORIEL (1X3).	131
FIG. 75: PROJECTION DES VARIABLES ET DES ECHANTILLONS SUR LE PLAN FACTORIEL (1X3)	132
FIG. 76: COUPURES CARTOGRAPHIQUES UTILISEES	136
FIG. 77: TRICHROMIE DE LA REGION D'AIN SEFRA.	137
FIG. 78: LA CARTE GEOLOGIQUE SCANNEE (1/1000.000 ^{EME}).....	138
FIG. 79: LA CARTE GEOLOGIQUE DIGITALISEE.....	139
FIG. 80: CARTE ALTIMETRIQUE DE LA REGION D'ETUDE.....	139
FIG. 81: CARTE D'INVENTAIRE DES POINTS D'EAU AU NIVEAU DU SYNCLINAL DE NAAMA... ..	140
FIG. 82: CARTE PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA (AVRIL 2006)	143
FIG. 83 : CARTE DE L'ECART-TYPE REDUIT DE KRIGEAGE APPLIQUEE ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.	
FIG. 84: CARTE DE L'ECART-TYPE REDUIT DE KRIGEAGE APPLIQUEE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIG. 85: CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA	148
FIG. 86: FAILLE DU DJEBEL AÏSSA AFFECTANT LE SYNCLINAL DE TIRKOUNT- MEKALIS	149
FIG. 87: FAILLE AU NORD DU MEKALIS AFFECTANT LE BASSIN HYDROGEOLOGIQUE DE NAAMA	149
FIG. 88: REPRESENTATION DE LA PIEZOMETRIE DU REMPLISSAGE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA EN 3D	150
FIG. 89: REPRESENTATION DE LA MINERALISATION DES EAUX DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE DU SYNCLINAL DE NAAMA EN 3D	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

Liste des tableaux

TABLEAU N°1: Stations pluviométriques des Monts des ksour	43
TABLEAU N° 2: Calcul de l'etp selon Thornthwaite a la station de Mécheria	48
TABLEAU N°3: Calcul de bilan hydrologique a la station de Mécheria.....	50
TABLEAU N°4: Echelle des resistivites des formations (CGG, 1974)	60
TABLEAU N°5: Schéma synoptique de l'hydrogeologie des formations du synclinal de Nâama.....	73
TABLEAU N°6: Comparaison entre le sondage électrique I et le log stratigraphique du puits p3.....	76
TABLEAU N° 7: Comparaison entre le sondage électrique G et le log stratigraphique du puits p4.....	77
TABLEAU N°8: Comparaison entre le sondage électrique H et le log stratigraphique du puits p6.....	79
TABLEAU N° 9: les résultats obtenus a l'aide du forage f2 et les puits.....	80
TABLEAU N°10: Résultats des analyses chimiques des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama	92
TABLEAU N° 11: Résultats du traitement des données des analyses chimiques des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama.....	93
TABLEAU N° 12: Les données statistiques descriptives de chaque variable.....	127
TABLEAU N° 13: Pourcentage de variance exprimée.....	128
TABLEAU N° 14: Matrice de corrélation des paramètres chimiques.....	129

Introduction

En 1984, la région de Nâama a été élevée au rang de wilaya dans les limites administratives des wilayas de Tlemcen, Sidi Bel Abbès, El Bayadh, Béchar et de la frontière algéro marocaine (fig. 1). Ces limites territoriales délimitent une superficie de près de 30 000 km², comprenant une vaste zone steppique au nord (75%), une zone montagneuse médiane et une zone pré-saharienne au sud. Cette variété géographique lui est conférée par sa situation enclavée entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien Occidental.

C'est cette zone montagneuse, qui relie les parties septentrionale et méridionale de la wilaya que l'on dénomme Monts des KSOUR, appellation toponymique qui rend compte de la prolifération de ces antiques constructions des populations sédentaires, mitoyennes du chapelet de petits oasis qui, avec les nombreux sites d'art rupestre, ont fait la renommée de la région.

Depuis quelque temps déjà, aussi bien les autorités locales que les associations civiles invoquent et revendiquent un mode de développement durable de la wilaya avec de multiples projets de réhabilitation des palmeraies affectées, ici, par l'ensablement des émergences, là, par le tarissement des sources, exutoires naturels de la nappe de l'Albien dont l'interférence des rabattements, induits par les multiples forages d'exploitation, est cause des effets préjudiciables sur le régime du débit de ces sources.

Ce sommaire état des lieux pose la question du choix du mode d'exploitation des eaux souterraines, entre un mode gravitaire compatible avec les intérêts des agents exploitants et un mode plus technique et plus en mesure de répondre à l'acte de gestion global. Mais les impératifs de développement des activités socio-économiques de la wilaya placent les autorités en charge de la gestion des ressources en eau devant des alternatives d'allocation de la ressource où, en climat semi-aride, le planificateur s'épuiserait à intervenir dans les modalités des choix de modes d'exploitation et de déploiement des ouvrages.

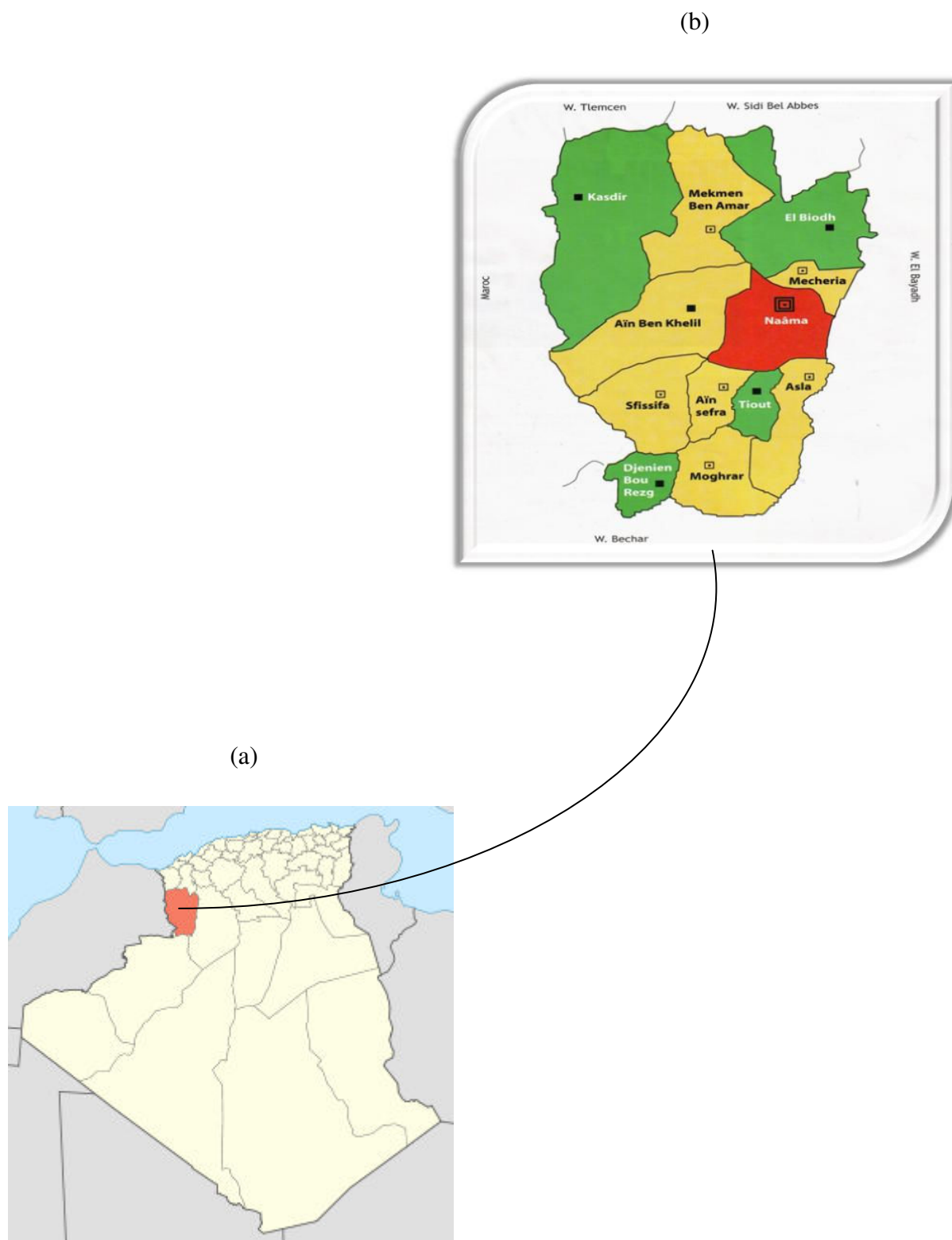


Fig. 1 : (a) - Carte de situation de la wilaya de Nâama
(b) - Carte du découpage administratif de la wilaya

La prospection de nouvelles ressources en eaux, conventionnelles ou non conventionnelles, est une alternative à ce conflit.

Le présent travail est une contribution à cette action par le fait qu'il porte sur l'étude hydrogéologique d'une structure géologique, éminemment favorable à l'emmagasinement de l'eau et commune dans la région : le synclinal.

C'est une structure sédimentaire dont l'exploration peut rendre compte de ses possibilités aquifères qui se déclinent dans une formation stratifiée ou dans celles d'un multicouche.

Le synclinal de Nâama, comme sa désignation l'indique, procède de ce type de structure. Ses possibilités aquifères, déjà avérées lors des premières campagnes de prospection géologique, ont requis l'attention de l'Agence National des Ressources Hydrauliques (ANRH) concrétisée par un programme de campagnes géophysiques et hydrogéologiques ainsi que la réalisation de plusieurs forages.

Outre les données de la bibliographie publiée, ce travail utilise celles que les organismes publics ont bien voulu rendre disponibles aux fins de documentation, de traitement et d'interprétation.

Ce mémoire est présenté en deux parties.

La première partie est conduite selon une méthodologie classique. Elle débute par un chapitre qui situe les Monts des Ksour dans leur contexte géologique et structural régional sur la base d'une synthèse des travaux accessibles et portés à notre connaissance.

Le second chapitre situe le synclinal de Nâama dans son environnement géologique et hydroclimatologique.

Le troisième chapitre expose un essai de caractérisation géologique et géophysique réalisés dans le cadre de la prospection hydrogéologique entreprise en vue de la caractérisation des aquifères hébergés par le synclinal de Nâama.

La seconde partie se focalise sur la nappe mio-pliocène. Elle s'ouvre sur un premier chapitre où est exposé un essai de caractérisation hydrochimique réalisé à partir d'un

échantillon de données partielles et certainement partiales du fait qu'il ne porte que sur le niveau aquifère superficiel dont la nappe est sollicitée par des puits et forages de faibles profondeurs à des fins d'irrigation et de consommation domestique.

Dans la seconde partie, la synthèse des résultats est consignée dans un SIG dont la base de données reflète celles collectées et répertoriées. L'analyse spatiale des données par krigeage permet de produire une carte piézométrique krigée assortie d'un indicateur de précision qui autorise d'envisager l'implantation d'un réseau de mesures optimisé.

Notre souci premier en utilisant le SIG en tant qu'outil auxiliaire à la cartographie hydrogéologique est d'offrir l'opportunité d'amender et d'actualiser sa base de données en lui intégrant la caractérisation des aquifères afin d'améliorer au fur et à mesure la connaissance hydrogéologique du synclinal de Nâama.

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE 1

**CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL GENERAL DES MONTS
DES KSOUR**

C'est à Bassoulet (1973) et Guardia (1975) que l'on s'est référé pour puiser les principaux éléments de cet aperçu sur le domaine atlasique.

La région étudiée est située dans l'un des trois ensembles structuraux qui caractérisent la géologie algérienne : le domaine ATLASIQUE (fig.2).

I. LE DOMAINE ATLASIQUE

1. Dans sa partie septentrionale, il est formé par les HAUTES PLAINES ou HAUTS PLATEAUX avec d'Ouest en Est:

- Les Hautes plaines oranaises ou Hauts plateaux oranais
- Les Hautes plaines algéroises
- Les Hautes plaines constantinoises

Leur limite septentrionale, marquée par une série de déversements vers le sud se démarque de leur limite méridionale formée par un ensemble de failles diffuses qui constituent l'ACCIDENT Nord-Atlasique.

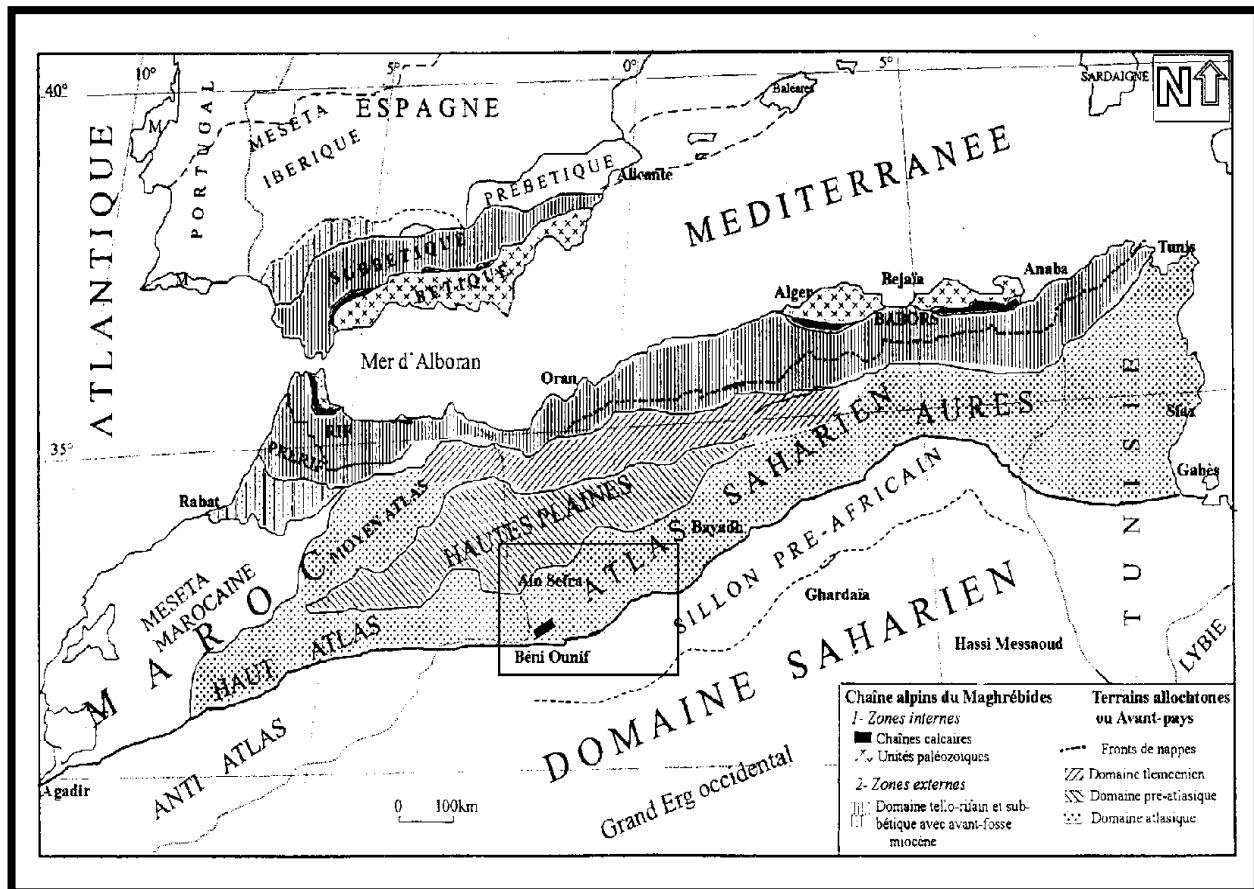


Fig. 2 : Situation géographique de l'Atlas saharien (Benest, 1985)

2. La partie méridionale de ce domaine, dénommée aussi « domaine PRESAHARIEN », est formée d'un ensemble de segments bien individualisés, assimilés aux éléments d'une chaîne intracratonique méso-cénozoïque connue sous le nom d'ATLAS SAHARIEN (Ritter, 1902) avec d'Ouest en Est:

- L'Atlas saharien occidental ou Monts des Ksour
- L'Atlas saharien central ou Djebel Amour
- L'Atlas saharien oriental ou Monts des Ouled Nail

Leur limite méridionale est marquée par l'ensemble des accidents qui constituent la « FLEXURE SUD-ATLASIQUE » de Lafitte (1930), ultime structure géologique avant le domaine saharien.

L'individualisation des éléments de la chaîne intracratonique préconisée par Ritter (1902) ne saurait dispenser de situer l'histoire géologique de ces segments dans le contexte de celle de l'Atlas saharien. Pour cette raison, les faits marquants de la géologie de l'Atlas saharien sont rapportés en préambule à celle des Monts des Ksour qui, rappelons-le, en désigne la partie occidentale.

II. RETROSPECTIVE SUR LA GEOLOGIE DE L'ATLAS SAHARIEN

A. Géologie

L'Atlas saharien est né du long sillon subsident, pincé entre les hauts plateaux et la plateforme saharienne, que combla, au Mésozoïque, une puissante série sédimentaire de 7000 à 9000 m d'épaisseur. Durant le Tertiaire, une tectonique compressive réactiva les structures extensives antérieures en failles et structures inverses aboutissant à la formation de cette chaîne montagneuse sous la forme d'un alignement de reliefs que l'on observe immédiatement au sud des Hautes Plaines.

C'est un édifice plissé qui s'étire sur plus de 1000 km, de la terminaison orientale du Haut Atlas marocain jusqu'à la bordure occidentale des Aurès. Il délimite un domaine structuré par deux familles de plis et de plis failles de directions N40° et N60° héritées du dispositif jurassique. Certaines de ses structures, situées en bordure de chaîne, se conforment à la direction d'ensemble alors que d'autres en dévient selon un tracé sigmoïdal. Selon les géologues structuralistes, cette disposition suggérerait qu'au jurassique un mouvement décrochant senestre accompagnait les mouvements verticaux le long des failles normales. L'érosion, qui n'a que faiblement entamé les plis, en a préservé les parties supérieures. Selon Nouar (2003), et sous réserve que le dispositif visible en surface dans le Haut Atlas marocain soit le même que celui qui existe en profondeur dans l'Atlas Saharien, le modèle de formation de ces plis invoquent « des jeux de failles successifs, extensifs, syn-sédimentaires puis compressifs » responsables du style éjectif des anticlinaux et de leur orientation.

La validation de ce modèle structural et sa généralisation aux segments occidental et oriental de l'Atlas Saharien donne à penser qu'« à partir du Trias supérieur, ces régions ont

été des fossés intracontinentaux, affectés de failles normales à composante décrochante » (Nouar, 2003)¹.

Tel est le contexte structural qui aurait prévalu dans l'atlas saharien.

Qu'en est-il de la stratigraphie de ses formations ?

B. Stratigraphie

Le substratum des formations de couverture n'a été reconnu nulle part dans l'Atlas Saharien. Ces formations sédimentaires vont du Trias au Cénozoïque avec des affleurements essentiellement jurassiques dans les Monts des Ksour et crétacés dans le djebel Ksour. L'état des connaissances actuelles sur la région suggère le film des évènements géologiques suivant :

1. Jurassique

- ***Lias***: Après l'épisode évaporitique du Trias supérieur, le caractère marin s'accroît durant le Lias. Le faciès calcaréo-dolomitique évolue progressivement vers les marnes du Lias supérieur. Ce caractère marin du Lias s'affirme par l'apparition de calcaires

¹ Les failles normales délimitaient des blocs basculés affectant le socle. Après un épisode de rifting au Lias, les mouvements relatifs entre les blocs basculés se sont progressivement atténués au cours du Jurassique pour s'annuler au début du Crétacé, la subsidence d'ensemble ne cessant qu'au Crétacé supérieur. Le dispositif sédimentaire était en éventail, les composantes normales du rejet se cumulant en profondeur et le pli d'entraînement lié au jeu de la faille normale étant plus marqué au niveau du Lias que dans le jurassique. La compression cénozoïque a réactivé légèrement les failles en inverse et l'ensemble s'est plissé. Les synclinaux se sont formés entre les failles majeures ce qui a pour conséquence de situer les anticlinaux à l'aplomb de ces failles. Certaines d'entre elles se terminent dans le Crétacé inférieur. L'érosion, relativement faible dans l'Atlas Saharien, a conservé les plis dans le Crétacé et permet d'observer le Jurassique supérieur et les parties hautes des anciennes failles normales. ... Les pendages du Lias au contact de la faille majeure, déjà forts à la fin de la période de subsidence à cause du dispositif sédimentaire en éventail et de l'accentuation du pli d'entraînement de la faille normale avec la profondeur, se sont encore accentués à cause de la compression. Le faible rejeu inverse des failles normales n'a pas permis la formation de plis d'entraînement compressifs au niveau du Lias, alors que dans le Jurassique supérieur, les plis d'entraînement compressifs compensent ceux de la distension qui sont très faibles à ce niveau »

dolomitiques et oolithiques indiquant un milieu ouvert aux influences pélagiques sans pour autant être très profond. Le Lias débute par un niveau carbonaté qui coiffe les séquences évaporitiques du Keuper. En divers points de l'Atlas saharien, ce niveau est d'âge Rhétien. Dans les zones méridionales de la chaîne, ce sont des dépôts essentiellement carbonatés qui comblent la fosse atlasique.

- **Dogger** : Le faciès est de type argilo-gréseux avec plus de 2000 m d'épaisseur. Dans l'Atlas saharien occidental, on relève au Bajocien supérieur les traces d'une sédimentation détritique qui traduit la proximité d'une activité fluvio-deltaïque. A l'est du méridien passant par Sedrata-Laghouat, un milieu marin franc sans apport détritique persiste durant tout le Jurassique supérieur.

2. Crétacé

Il affleure quasiment dans tout l'Atlas saharien. Ses sédiments détritiques et siliceux connaissent leur plus grand développement dans les Monts des KSOUR avec des épaisseurs atteignant 1200 m.

- **Néocomien-Barrémien**: Cette période est caractérisée par une régression maximum au Barrémien avec un retrait de la mer du NE de la fosse atlasique. Les faciès présentent le plus souvent des alternances d'épisodes argilo-gréseux et de niveaux carbonatés.

- **Aptien**: Dans la fosse atlasique, rien ne permet de distinguer l'Aptien de l'Albien, sauf dans la région de Laghouat où des dépôts calcaires ont été retrouvés.

- **Albien**: L'Albien gréseux à la base, évolue vers des faciès flysch vers le sud de la chaîne.

- **Cénomaniens**: Après la transgression albiens, la mer se stabilise. Dans le sud, une diminution de la tranche d'eau entraîne une sédimentation évaporitique. Ailleurs, la tendance est nettement marine.

- **Turonien**: à l'exception de certaines zones, la mer recouvre tout le Nord de l'Algérie et le Sahara.

- **Sénonien**: La paléogéographie précédente persiste jusqu'au Sénonien supérieur

III. FOCUS SUR L'ATLAS SAHARIEN OCCIDENTAL

A. Historique des travaux

C'est à Pouyanne et Peran (1853; 1874) que l'on doit les premières reconnaissances géologiques dans la région. Elles portent sur le Crétacé de la région de Tiout (Aïn Séfra). Elles furent suivies par celles de Mares (1857) sur les grés d'El Bayadh (Crétacé inférieur) puis par celles de Ville (1858) qui décrit les dépôts argilo-salins des djebels Mellah de Mécheria dont l'âge triasique ne fut entériné que plus tard, lors de la réunion de la Société Géologique de France (1896). Flamand compléta ces premières données, au cours de la période 1891-1911, pour élaborer une échelle stratigraphique encore d'actualité. Il avait alors reconnu les caractères spécifiques de la sédimentation atlasique et interprétait la tectonique de l'Atlas saharien par l'interférence des directions orthogonales sur les structures.

Plus tard, Cornet (1952) proposa une synthèse stratigraphique de la géologie des Monts des Ksour et du Djebel Amour accompagnée d'une analyse tectonique. La série y est décrite avec minutie et les épaisseurs de ses différentes formations ainsi que leurs variations latérales de faciès précisées. Il put ainsi apporter, pour le Crétacé inférieur et le Jurassique supérieur, des modifications à l'échelle stratigraphique établie par Flamand. Il précisa, par la même occasion, la stratigraphie du Cénomano-Turonien.

En 1973, Bassoulet présenta un important travail sur le Mésozoïque des Monts des Ksour qui établit les relations entre les subdivisions lithostratigraphiques et l'évolution sédimentaire du bassin. Douihasni (1973) fut sans doute le précurseur de l'analyse structurale de la région. Il offrit à Kazi-Tani (1986) l'opportunité de mettre en évidence deux phases dans l'évolution dynamique et paléogéographique de la bordure nord-africaine et à Ait Ouali (1991) celle de préciser le rifting des Monts des Ksour dans l'organisation du bassin et la diagenèse des formations carbonatées du Lias.

A partir des années 1980, les travaux initiés par le département de géologie de l'université d'Oran sur la biostratigraphie, la sédimentologie, la chronostratigraphie, la paléogéographie et l'hydrogéologie de la région des Monts des Ksour commencèrent à aboutir

(Mahboubi, 1995; Mekahli, 1986 ; Ouali, 1995 ; Mekkaoui, 2000 ; Salhi, 2002 ; Sebane, 2008, Mansour ,2008 ; Meddah, 2011, ...). Elles apportaient de nouveaux éclairages pour penser l'évolution géodynamique des Monts des Ksour.

B. Géologie

L'Atlas saharien Sud oranais ou Atlas saharien occidental ou encore Monts des Ksour est une région assez élevée, avec certains sommets dépassant 2000m d'altitude comme au djebel Aissa, 2236 m, au djebel Mir, 2145 m et au Djebel Mekter, 2029m.

Il est constitué de chaînons allongés, d'orientation SW-NE, séparés des Hautes Plaines oranaises au nord, par l'accident nord-atlasique et de la Plateforme saharienne au sud, par l'accident sud-atlasique. Il se prolonge à l'ouest, par le Haut Atlas marocain et à l'est par l'Atlas saharien central (Djebel Amour) et oriental (Monts des Ouled Naïls).

Sur le plan stratigraphique, les Monts des Ksour sont essentiellement constitués de formations mésozoïques de près de 3000 m d'épaisseur (fig.3). Elles se distinguent du reste de l'Atlas Saharien par des termes plus anciens de caractère plus continental et lagunaire. La stratigraphie de ces formations mésozoïques s'enclenche sur des terrains du Primaire avec un terme du Permo-Trias relatant une transgression marine d'Ouest en Est.

Ces formations ont été subdivisées en quatre ensembles principaux par Bassoulet (1973) :

- un ensemble triasique argileux- gypseux accompagné de basaltes.
- une épaisse série carbonatée à la base, marneuse au sommet datée du Lias-Bajocien moyen.
- une série détritique argilo-gréseuse avec des passés de carbonates, attribuée au Bathonien-Albien.
- une série argilo-gypseuse avec des intercalations de bancs dolomitiques surmontée de calcaires et de marnes. Cet ensemble est daté du Cénomano-Turonien.

De menus réaménagements ont été apportés à cette subdivision par Douihasni (1974), Mekahli (1993), Mekkaoui (2000) et Salhi (2002), notamment par la définition d'une série de transition.

Sur le plan tectonique, le style plus cassant observé dans les Monts des Ksour est associé à la nature gréseuse des puissantes séries lithologiques, particulièrement celles d'âge Jurassique – Crétacé.

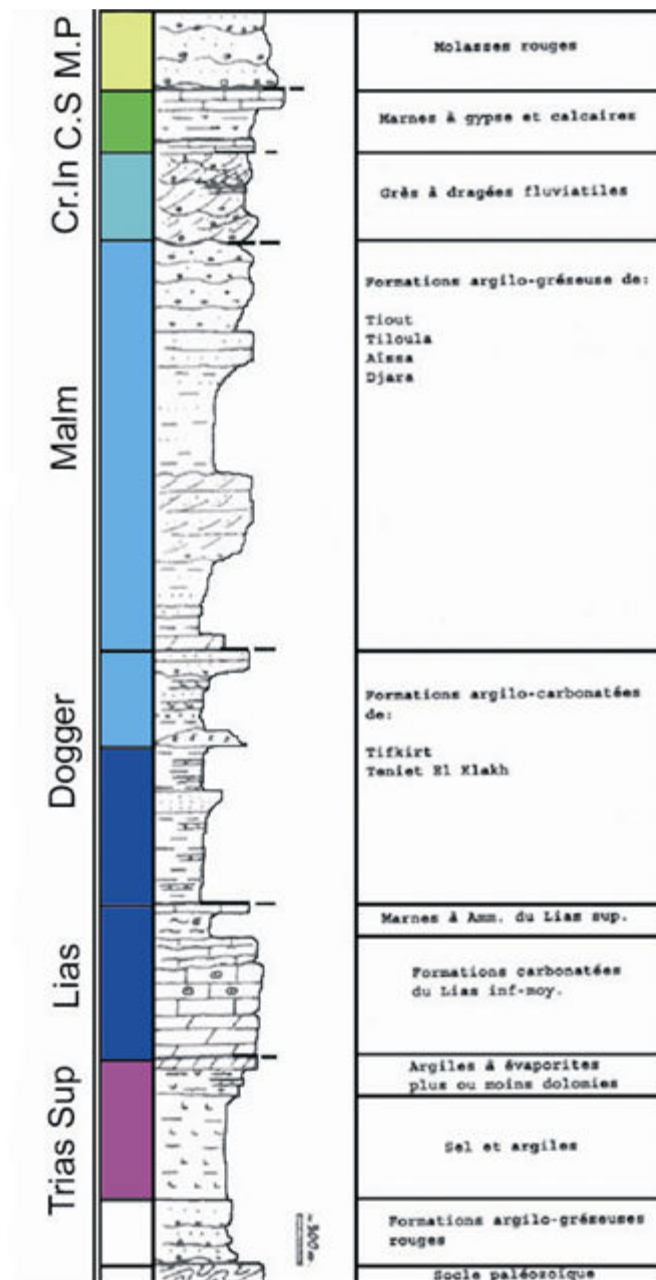


Fig. 3 : La série méso-cénozoïque des Monts des Ksour (Ait Ouali, 1991)

C. Géodynamique et tectonique

Actuellement, l'étude des Monts des Ksour suggère une variante au modèle d'évolution de la chaîne atlasique classiquement admis qui attribue son évolution à deux évènements tectono-sédimentaires telle que cela a été exposée dans le chapitre précédent.

1. Les données du modèle actualisé

Ce modèle (Chergui, 2010) est fondé sur des données collectées dans les Monts des Ksour qui concourent à établir les faisceaux de faits suivants :

- a. des accidents subméridiens compartimentent un même socle hercynien aux domaines de la plateforme saharienne, de l'Atlas et de la Meseta, exception faite de l'accident sud mésetien qui est de direction NE-SW;(fig.5).
- b. les accidents de la couverture mésozoïque sont exclusivement NE-SW;(fig.6, 7)
- c. l'absence de l'accident Sud-atlasique, en tant qu'accident du socle y est corroborée par la gravimétrie;
- d. la géométrie des fosses est celle de bassins rhombiques allongés, analogues à ceux de l'Atlas marocain;
- e. les colonnes stratigraphiques des domaines de la plateforme saharienne, de l'Atlas et de la Meseta présentent des différences remarquables dans les épaisseurs des séries;(fig.4).
- f. le Crétacé supérieur se limiterait au Cénomano-Turonien
- g. une structure en relais de plis en échelons NE-SW, de plis anticlinaux étroits et aigus, séparés par de larges synclinaux à fonds plats, de grands plis formés de petits plis coniques à axe plongeant (fig.8).
- h. des caractéristiques des rides anticlinales alignées selon la direction remarquable NE-SW et typiques de zones de cisaillement, de style éjectif.

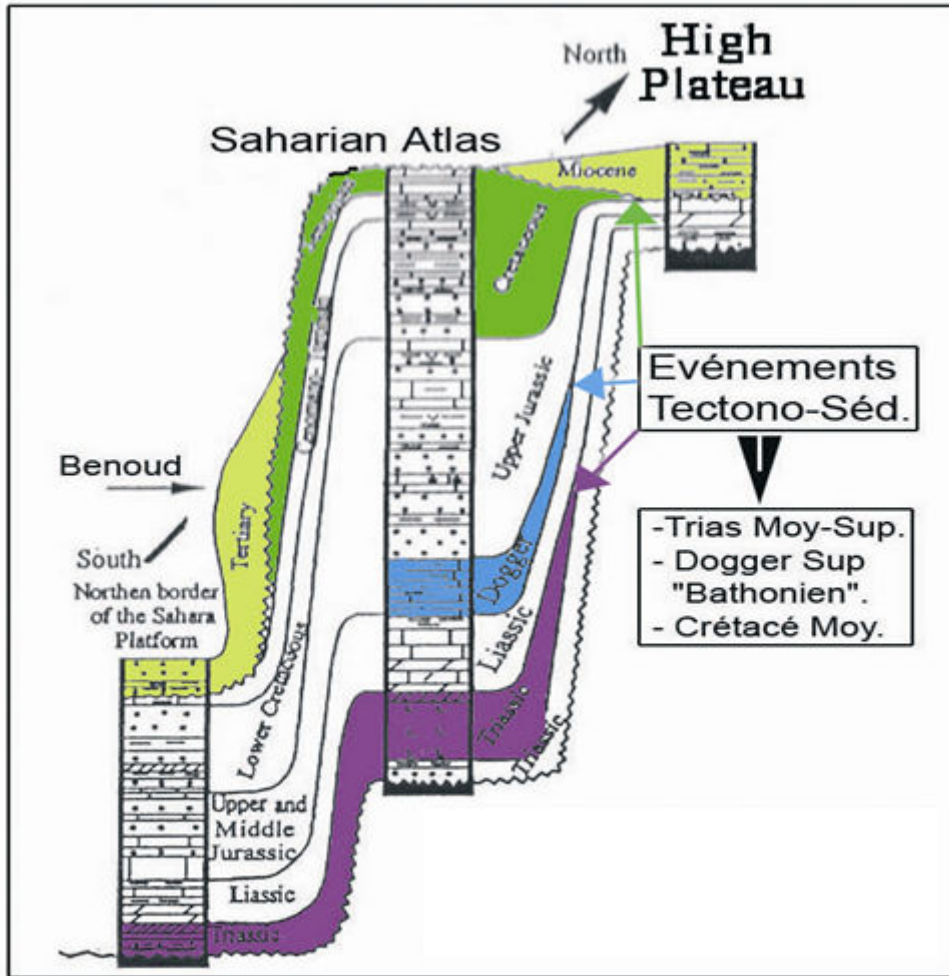


Fig. 4: Logs lithostratigraphiques des domaines saharien – atlasique - hauts plateaux (Lamotte et al, 2000)

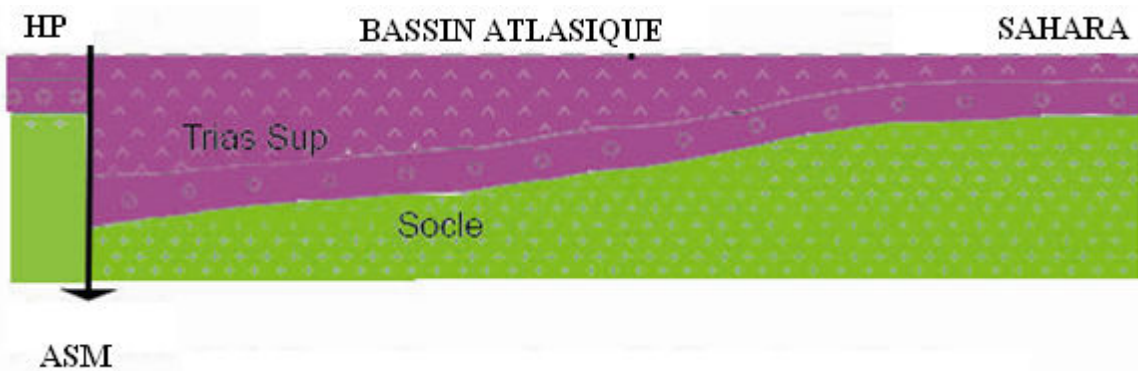


Fig. 5: Schéma d'ouverture du bassin atlasique au Trias : effondrement lié à l'ASM.

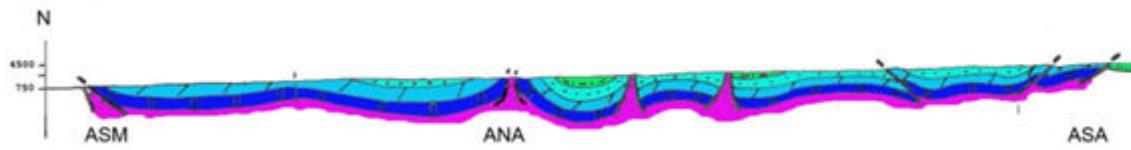


Fig. 6: Coupe synthétique dans les Monts des Ksour

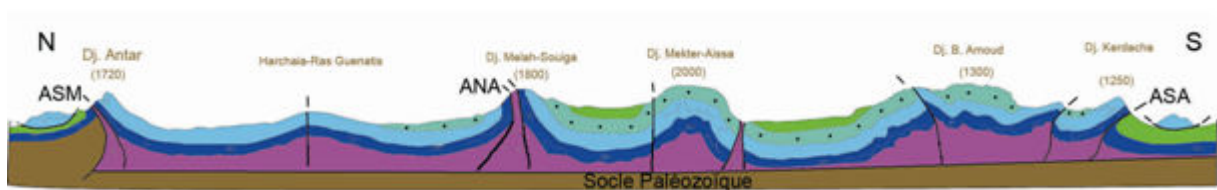


Fig. 7: Coupe schématique et interprétative dans les Monts des Ksour

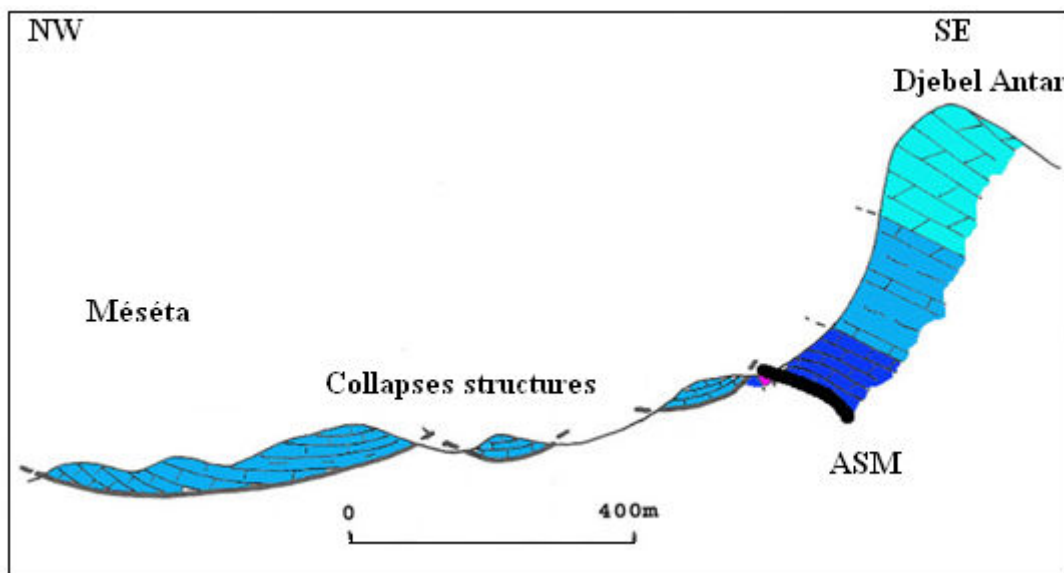


Fig. 8 : Coupe schématique du Djebel Antar (in Chergui, 2010)

a. Le modèle actualisé

La formulation de ce modèle invoque trois évènements majeurs liés à l'ouverture de l'Océan Atlantique. Ils correspondent à trois stades distincts :

- a. stade d'ouverture lié aux décrochements N-S héritée de l'orogénèse hercynienne à partir du Trias ;
- b. stade de structuration au Jurassique moyen – Crétacé inférieur où les failles syn-sédimentaires rejouent en cisaillement;
- c. stade de décollement – décrochement NW-SE à partir du Cénomano-Turonien correspondant à une phase compressive qui utilise les fractures NE-SW :
 - L'épisode de décollement
 - L'épisode de décrochement post turonien durant lequel les plans de décollement jouent en décrochements dextres.

CHAPITRE 2

Environnement géologique et hydroclimatologique du synclinal de Nâama

I. SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

Le synclinal de Nâama est situé dans la partie septentrionale des Monts des Ksour, identifiée à la zone pré atlasique. Il est limité au Nord par la ville de Mécheria, au Sud-Ouest par l'anticlinal de Djebel Morhad, au Sud par le Djebel Mekter et la ville d'Ain Sefra et à l'Est par le Djebel Mellah et le Djebel Aissa (fig.9).

II. LITHOSTRATIGRAPHIE DU SYNCLINAL DE NAAMA (FIG.10)

Le synclinal, de plus de 30 km de courbure, est constitué d'épaisses séries détritiques allant du Bathonien supérieur au Crétacé inférieur. Les logs des forages hydrauliques qui y ont été implantés ont permis de mettre en évidence les principales caractéristiques des formations qui le constituent (fig. 11).

CHAPITRE 2 Environnement géologique et hydroclimatologique du synclinal de Nâama

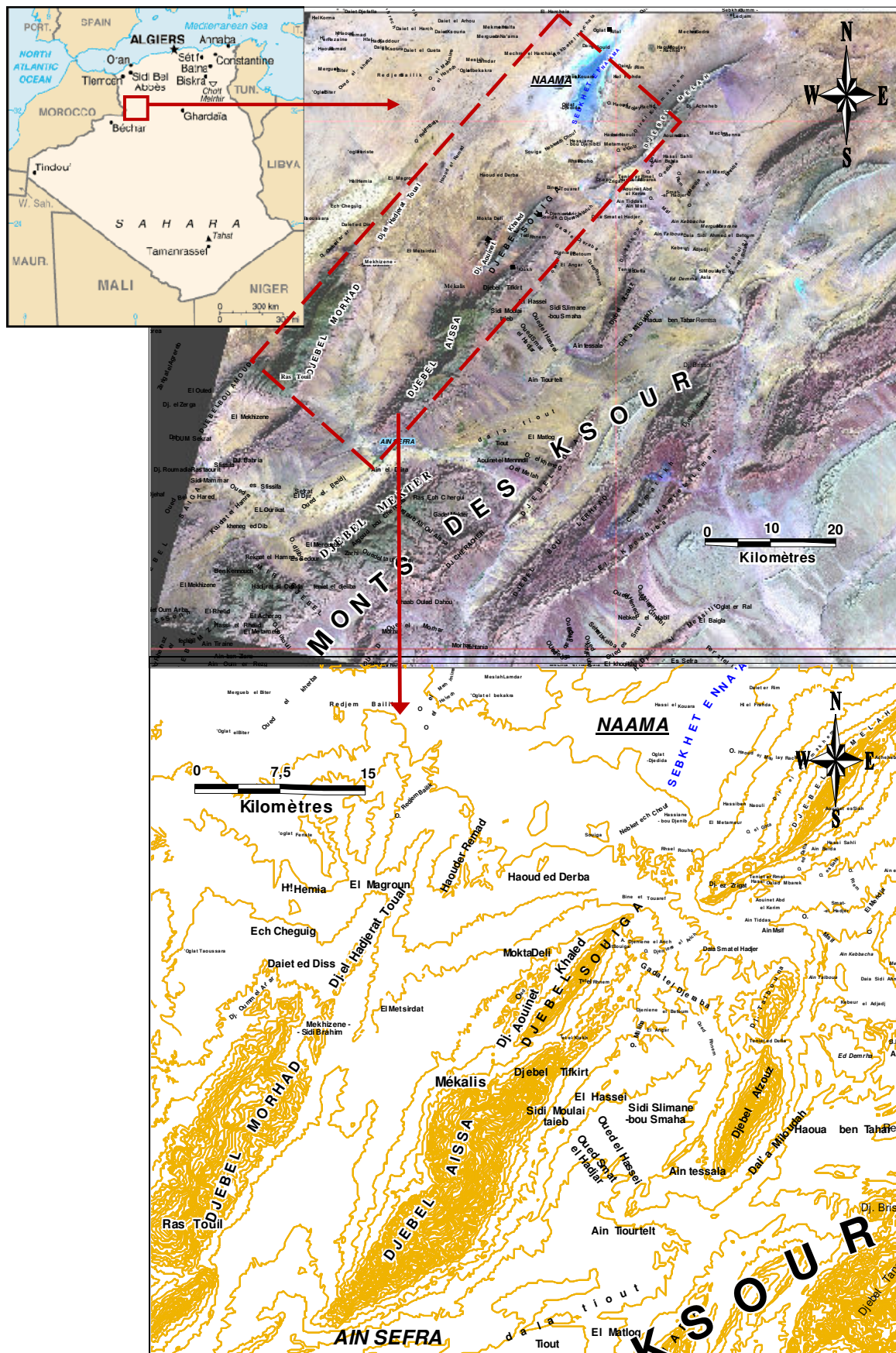


Fig. 9: Situation géographique du secteur d'étude

CHAPITRE 2 Environnement géologique et hydroclimatologique du synclinal de Nâama

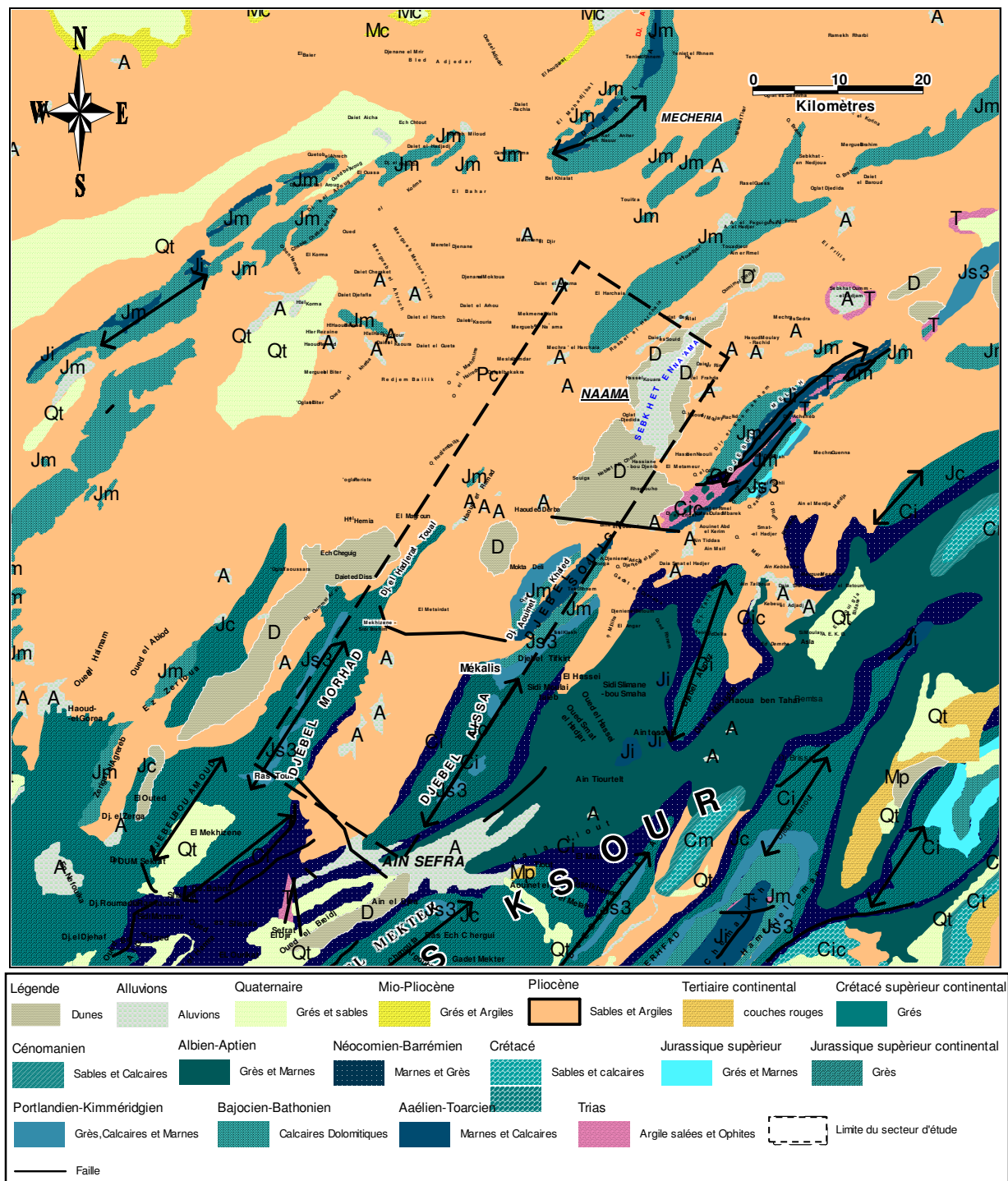


Fig. 10: Carte Géologique de la région de Nâama (Galmier. 1973) modifiée.

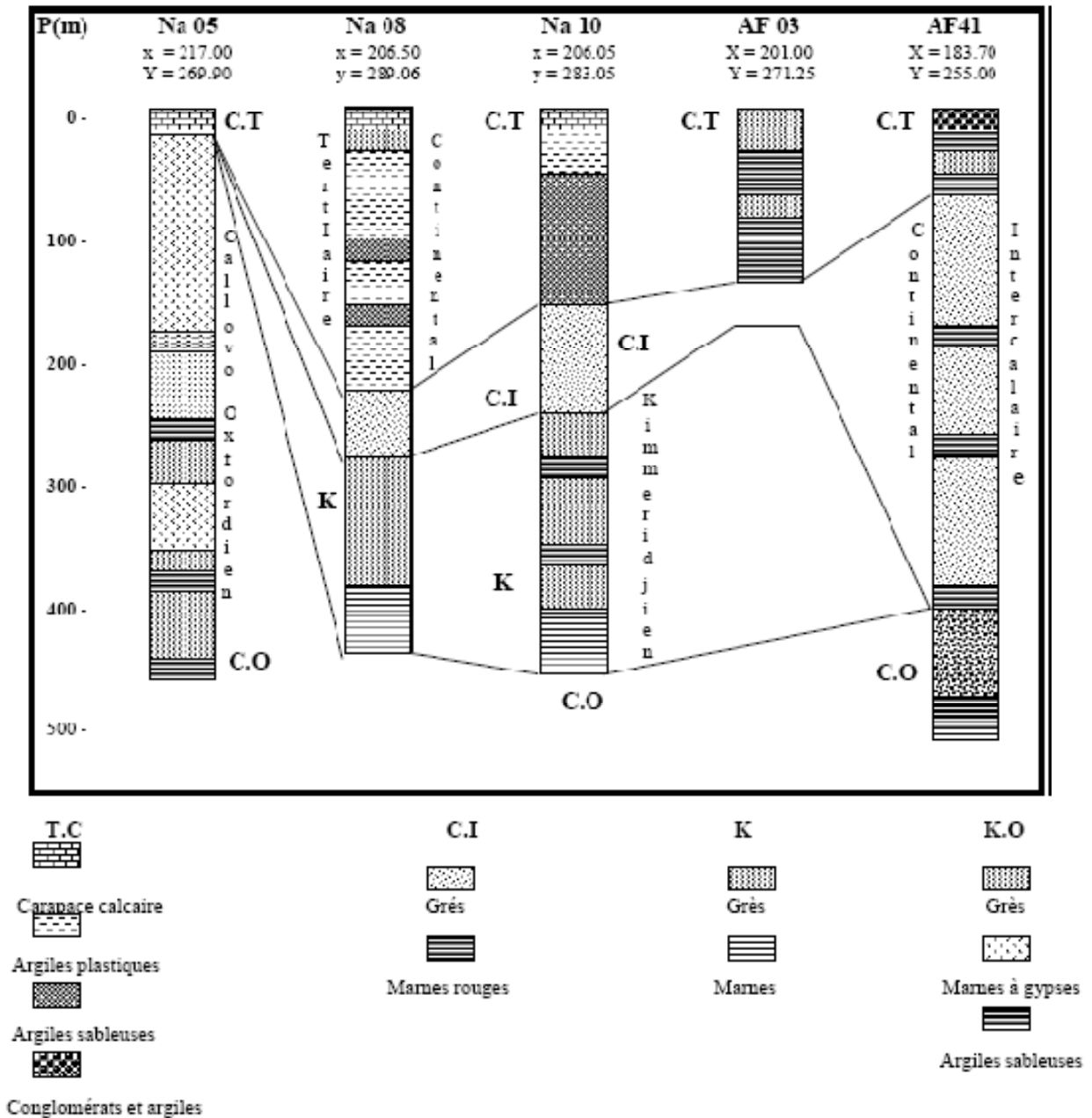


Fig. 11 : Essai de corrélation des coupes de forages du synclinal de Nâama

A. Les formations mésozoïques (fig. 12)

1. *Jurassique supérieur*

Il correspond à une formation gréseuse à stratification oblique constante à l'échelle du banc. Les grosses barres sont formées de grés peu consolidés à ciment calcaire qui renferme des dragées de quartz de taille variable. Cette formation est limitée à sa base, par une dépression argilo-péltique grise avec au sommet, des grés fins renfermant des galets d'argiles péltiques.

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) :

1. 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.
2. Ensemble argilo-gréseux, représenté au Djebel Morhad dans une boutonnière au Sud du sommet 2030 mètres.
3. Ensemble gréseux continental (Portlandien), représenté par des grés variés assez grossiers, souvent peu consolidés et à stratifications entrecroisées (Djebel Aïssa).
4. Série de transition infra Crétacé, apparaît au flanc Est du Djebel Morhad et se poursuit au Nord et à l'Ouest du relief Hadjret Toulal pour disparaître sous ce relief.

2. *L'infra-Crétacé*

L'infra-Crétacé est une série de transition gréseuse bien individualisée. Elle débute par une petite dépression argile péltique très sombre surmontée par une grande barre de grés clairs. Au-dessus, apparaît une dépression gris-foncée intercalée en son milieu d'un gros banc gréseux clair à chenaux.

3. *Crétacé inférieur (Continental Intercalaire)*

a. Néocomien : Le Néocomien est représenté par une série marno-calcaire dans laquelle s'intercalent des barres gréseuses à stratification oblique. 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.

b. **Barrémo-Albo-Aptien** : La sédimentation est constituée essentiellement de faciès gréseux à stratification obliques. La formation gréseuse renferme des niveaux lenticulaires de dragées de quartz de forme allongée et sphérique. Quelques intercalations argileuses ou pélitiques séparent les bancs gréseux et correspondent à des petites dépressions allongées bien visibles sur les flancs monoclinaux.

Cette formation du Barrémo-Albo-Aptien, 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 et 350 mètres

4. Le Cénomano-Turonien (fig.13)

Le Cénomaniens inférieur est représenté par une sédimentation évaporitique constituée par des marnes à gypse, correspondant à la grande transgression cénomaniens qui atteint son maximum au Turonien inférieur avec les dépôts de faciès profonds (marnes avec intercalations des calcaires).

Au niveau Du Djebel Khoundjara, le Cénomano-Turonien est constitué par trois membres. (Douhasni, 1976) :

- un membre inférieur calcaire à Ostréides et à Gastéropodes formant une barre ;
- un membre intermédiaire marno-calcaire à Gastéropodes et Oursins affleurant en combe ;
- un membre supérieur formé de calcaires dolomitiques massifs ocre à cassures blanchâtres. Les niveaux de calcaires contiennent une microfaune assez pauvre (Lamillibranches).

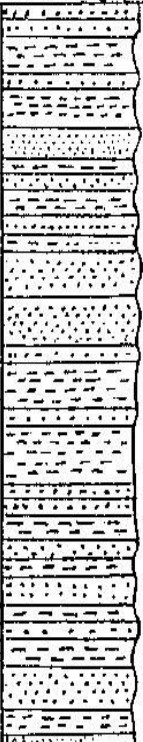
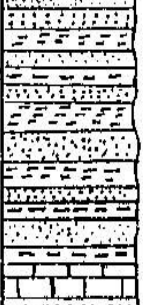
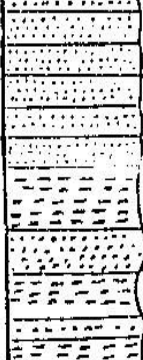
Etage	Formation	Epaiss	Colonne lithologique	Description lithologique
BARREMO ALBO - APTIEN	DE TIOUT	260 m		Grès grossiers à stratifications obliques Grès tendres massifs à dragées de quartz Grès rouges à stratifications obliques et chenaux Argiles verticales Grès blancs massifs Alternances d'Argiles rouges et de grès à stratifications obliques Grès rouges massifs à dragées de quartz à stratification oblique
PORTANDIEN HAUTIERIVIEN	DE TILOULA	370 m		Grès fins silteux à microstratification oblique Calcaires dolomitiques
KIMMERIDIEN PORTLANDIEN	DE AISSA	480 m		Grès à stratification oblique Argile silteuse rouge Grès à stratification oblique Argile silteuse rouge

Fig. 12: Coupe lithostratigraphique des formations mésozoïque dans la partie centrale des Monts des Ksour. (Ain Sefra) (Douhasni, 1976)

CHAPITRE 2 Environnement géologique et hydroclimatologique du synclinal de Nâama

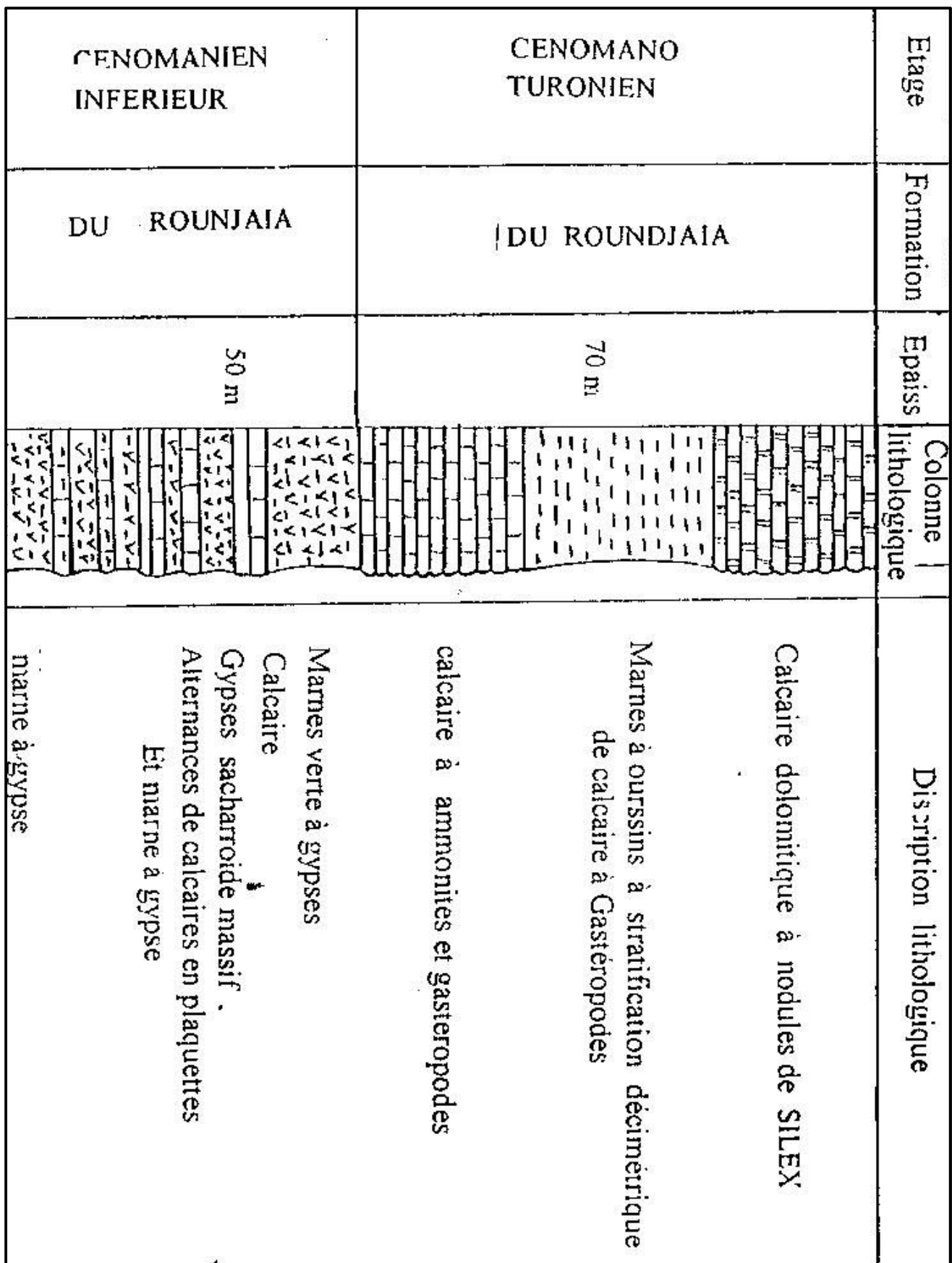


Fig. 13: Coupe lithostratigraphique des formations du Cenomano-Turonien dans la partie centrale des Monts des Ksour (Ain Sefra) (Douihassni, 1976)

B. Les formations tertiaires

Le Tertiaire continental est constitué par le remaniement du matériel détritique crétacé, résultant du démantèlement des reliefs de l'Atlas saharien par les phénomènes d'érosion. Il occupe le centre de la dépression de Tirkount et est constitué de conglomérats, de galets, des sables, de grès et des passées argilo-gypseuses. Les conglomérats correspondent aux poudingues des ksour (Bassoulet 1973).

C. Les formations quaternaires

Au niveau du secteur étudié, le Quaternaire est représenté par plusieurs types de dépôts :

1. Les colluvions de piedmonts

Les colluvions de piedmonts sont représentés par des dépôts de pente, de teinte sombre constitués par des cailloutis à ciment carbonaté et sont localisées sur les flancs des massifs des Djebel Aissa, Morhad et Mekter.

2. Les alluvions anciennes

Les alluvions anciennes sont constitués par un mélange de graviers, de sable et d'argiles, avec parfois des lentilles de grès tendres de teinte gris clair.

3. Les alluvions récentes

Les alluvions récentes sont formés par des dépôts de comblement du fond des vallées et correspondent à une formation sablo-argileuse qui jalonne les lits d'oueds et en particulier celui de l'Oued Breidj.

Les coupes géologiques réalisées à travers le synclinal de Nâama, à partir de la carte géologique, basées sur les données de forage permettent de reconnaître la série stratigraphique suivante (fig.14).

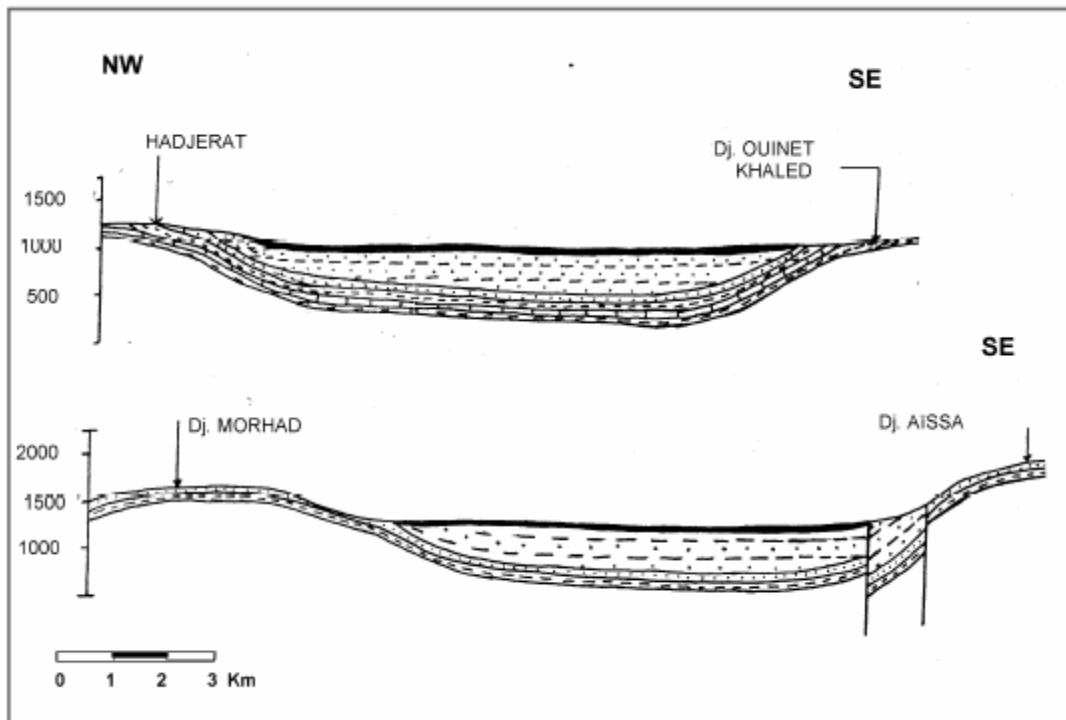


Fig. 14: Coupes géologiques à travers le synclinal de Nâama

III. DEFORMATIONS DU SYNCLINAL DE NAAMA

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 microfracturation. Dans la partie centrale se concentrent 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.

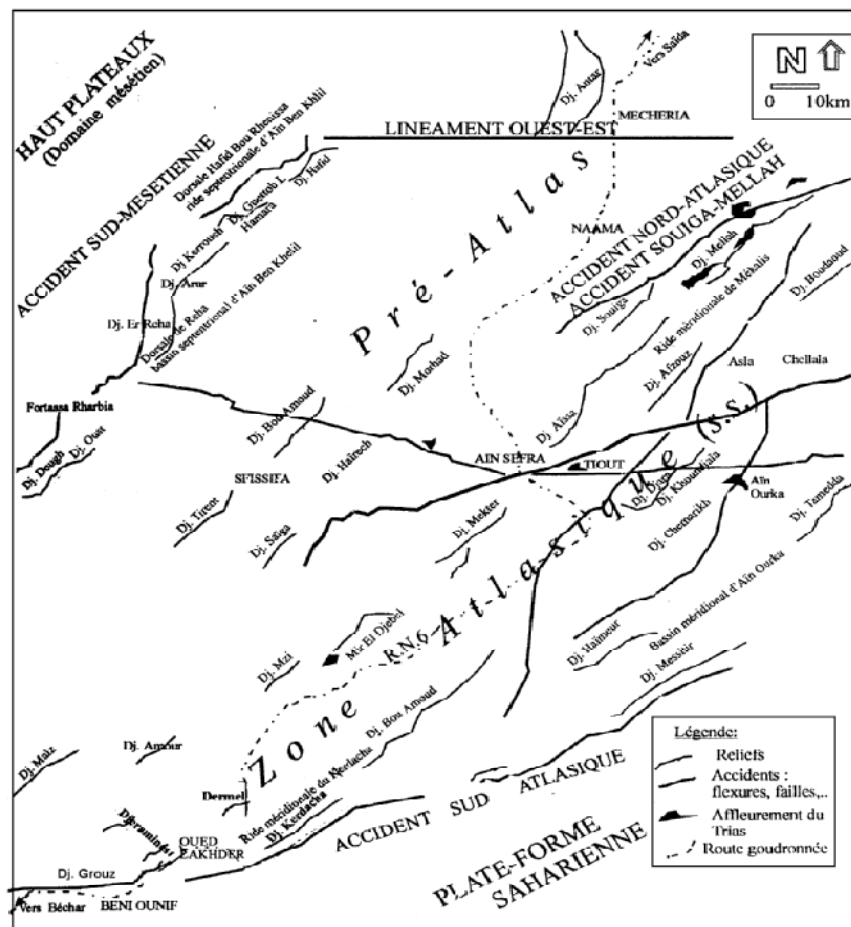


Fig. 15: Réseau de fracturation et continuité des accidents tectoniques cassants (Yelles Chaouche et al. 2001)

IV. MORPHOLOGIE.

La morphologie de la région est celle des différents objets géologiques et géomorphologiques qui y prévalent. Ils impriment leurs cachets sur les reliefs constitués de chaînons, de dépressions, de synclinaux, de plaines et de Sebkhass.

A. **Les chaînons** : Ce sont des structures anticlinales formées par les masses gréseuses du continental intercalaire Ils constituent les éléments du relief de la région avec :

- Le Djebel Aissa (2136 m) qui se prolonge vers le Sud au delà d'Ain Sefra par un anticlinal crétacé, arasé coupant le centre du bassin.
- Le Djebel Tifkirt (2091m), chaînon dissymétrique se trouvant au Sud-Ouest de Djebel Souiga, constitués par des alternances de calcaires et marnes, parfois dolomitiques.
- Le Djebel Afzouz (1787 m) cerné par de cuvettes gréseuses d'âge Crétacé.
- Le Djebel Souiga (1778 m) long de 16 km, relayé vers le Nord-Est par le Djebel Ez-Zerigat (1395 m) puis par Djebel El Mellah (1817 m) long de 17 km soit par la série du Jurassique supérieur continental dans le Mir El Djebel (2062 m), Djebel Mekter (2062 m), Djebel Morhad (2136m au Rass Touil) au Nord-Ouest d'Ain Séfra, sa terminaison s'abaisse au Sud-Ouest (Djebel Hairech). Il s'oriente brutalement vers l'Ouest, au niveau de Rass Touil, et trouve son prolongement dans le Djebel Bou Amoud.

B. **Les dépressions**: Elles sont orientées E-O et sont désignées par la toponymie du lieu où elles prennent place :

- La dépression de Mekalis – Tirkount, constituée d'un remplissage tertiaire plus ou moins épais et augmentant probablement d'épaisseur vers le Nord. Cette dépression sépare la dorsale de Aissa-Mellah de la dorsale de Bou Amoud-Morhad.
- La dépression de Hessiane Sfaia qui sépare la dorsale de Bou Amoud-Morhad de la dorsale de Rhelida-Doughd et qui se rejoignent vers le NW de Nâama en donnant la grande étendue d'Ain Ben Khlil.

- La double dépression de Djeneine Bourezg qui sépare le Djebel M'zi - Mir El Djebel au NW et Bou Amoud au SE. Elle sépare la dépression de Mekhizen au Nord-Est de Sfisifa et la cuvette d'Ain sefra-Tiout-El Handjir.
- C. **Les Synclinaux**: Ce sont des synclinaux de calcaires crétacés souvent en position perchée comme le synclinal de Nâama.
- D. **Les plaines**: Elles occupent les vastes synclinaux de grés Crétacé et séparent des reliefs souvent isolés.
- E. **Les sebkhas**: Ce sont des dépressions caractérisées par leur sol salé : Sebkhet Nâama et Sebkhet Oum Ledjam. La direction de l'orographie correspond à la direction tectonique générale.

V. HYDROCLIMATOLOGIE

L'Atlas saharien constitue une barrière climatique aux précipitations dégradées du régime méditerranéen et de l'air tropical continental chaud du Sahara oriental et central. A ces deux régimes peuvent s'ajouter les orages locaux principalement en montagnes et ceux provoqués par les contrastes thermiques entre les massifs et les hautes plaines. C'est pour cette raison que les moyennes interannuelles passent de 280 – 300 mm, dans les hautes montagnes aux environs de Nâama, à 130 - 150 mm au Sud, dans l'extrême limite des piémonts à El Abiodh Sidi Cheikh à l'Est.

A. E tude des paramètres climatologiques**1. Les précipitations**

On entend par précipitations la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle, ou autres formes de condensation. Nous intéresserons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordial dans le comportement hydrologique de la région.

a. Les précipitations nivales.

Au niveau des plaines, les chutes de neige sont assez régulières mais toujours faibles et de courte durée. Sur les sommets du Djebel Aïssa et du Djebel Morhad, elles sont assez fréquentes et beaucoup plus importantes.

b. Les précipitations moyennes annuelles (1987-2004)

L'étude climatologique sur longue période de la zone de Nâama a été réalisée sur la base de séries relatives aux stations de Mécheria et Ain Sefra, provenant des archives de l'Agence National des Ressources Hydriques (ANRH). Pour cela des séries, étendues sur une période de 17 ans, ont été considérées à la station de Nâama(fig.17). Les principales stations pluviométriques des Monts des Ksour (1969 – 2001) résumées au tableau n°1, donnent la répartition des précipitations en courbes isohyètes de la figure16.

Stations	Altitudes (mètres)	Coordonnées Lambert	
		x	y
El Kheiter	1000	260.5	260.5
Mécheria	1187	225.0	330.5
El Bayadh	1310	346.5	344.7
Aïn Séfra	1058	275.7	271.4
El Abiod	904	300.0	225.0
Beni Ounif	825	127.5	168.0
Béchar	777	57.7	345.0

Tableau n°1: Stations pluviométriques des Monts des Ksour

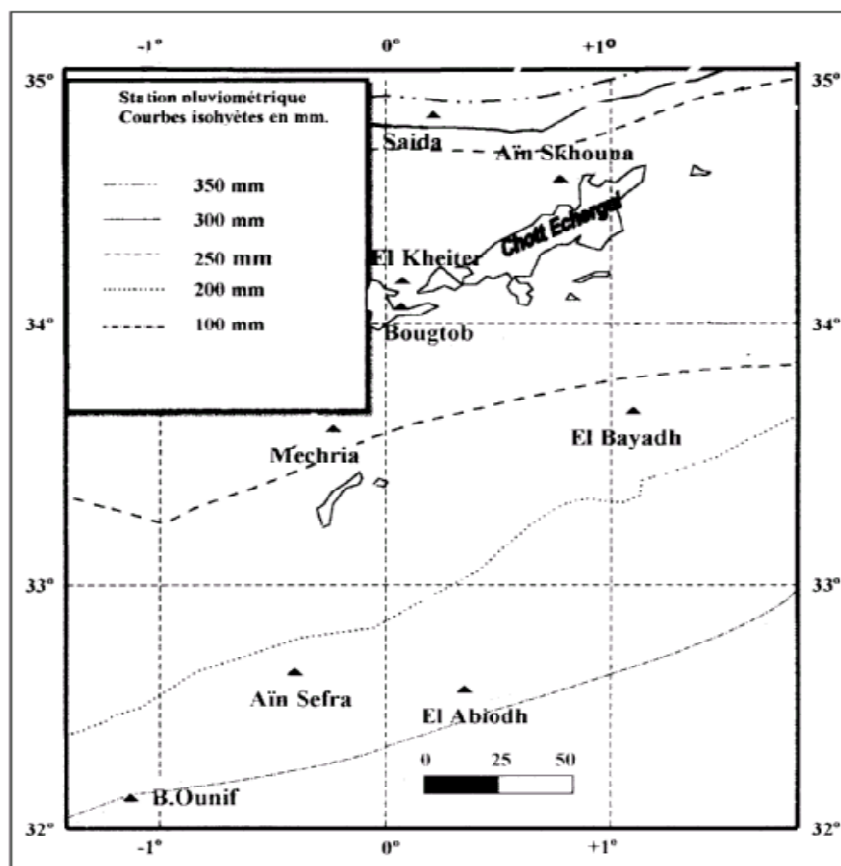


Fig. 16: Répartition des précipitations moyennes annuelles (1969-2001) (Mansour, 2006)

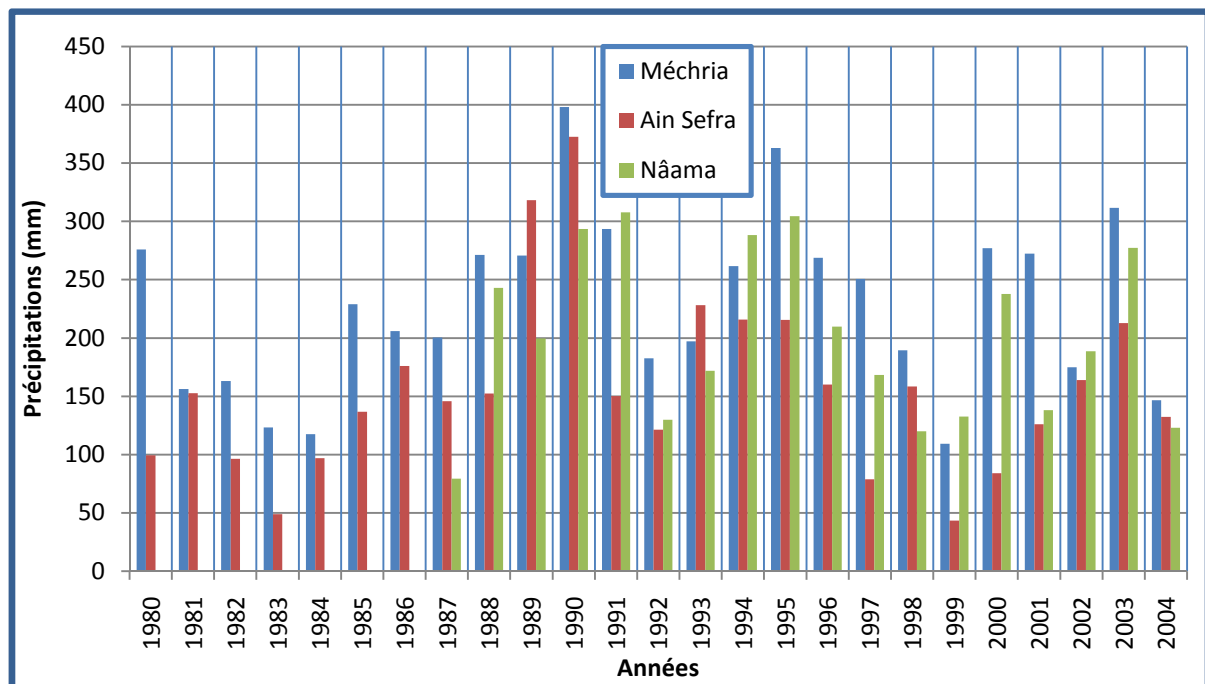


Fig. 17: Variation interannuelle des précipitations au niveau des stations de Nâama, Méchria et Ain Sefra.

Ces séries représentées dans la figure n°17, permettent de dire que pour:

➤ **la station de Méchria**

Le maximum de la pluviométrie a été observé en 1990 avec 398,1 mm et alors que le minimum a été enregistré en 1999 avec 109,3 mm.

➤ **la station de Nâama**

Pendant la période d'observation, le maximum de la pluviométrie a été observé en 1991 avec 307,8 mm alors que le minimum est de 79,3 mm qui a été enregistré en 1987.

➤ **la station d'Ain Sefra**

Pendant la période d'observation, le maximum de la pluviométrie a été observé en 1990 avec 372,5 mm alors que le minimum a été enregistré en 1999 avec 43,4 mm.

En générale, L'allure de la répartition interannuelle des précipitations est pratiquement identique, pour les trois stations.

c. Répartition moyenne mensuelle des précipitations

L'analyse des graphes relatifs à la variation des précipitations mensuelles (fig.18) montre que le début des précipitations est enregistré durant le mois de Aout, avec un maximum au mois de Mars, alors que le minimum est enregistré au mois de Juillet pour toutes les stations.

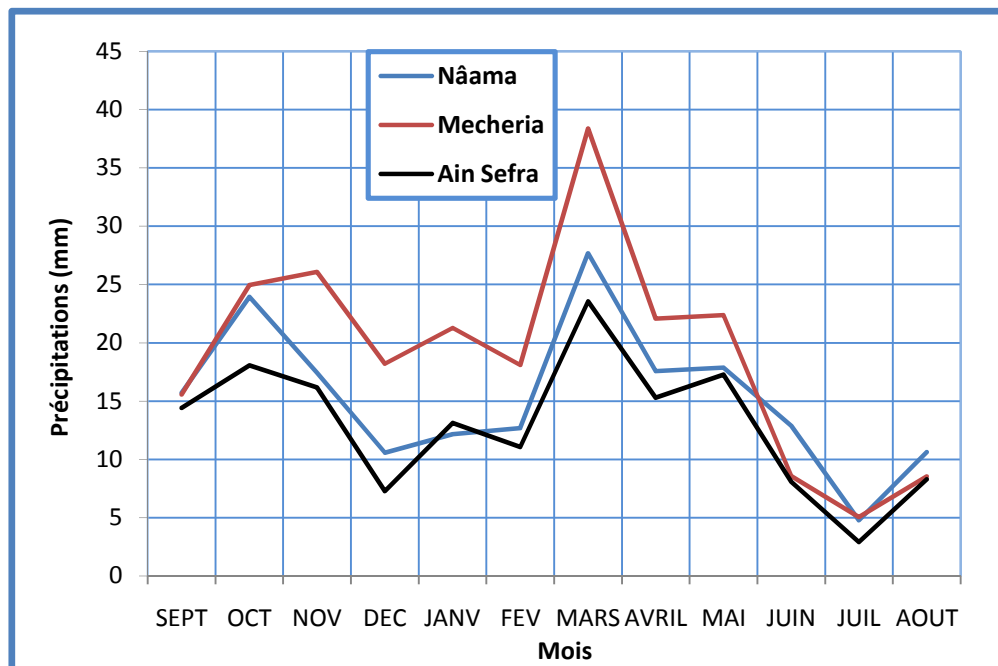


Fig. 18 : Variation mensuelles des précipitations au niveau des stations de Nâama, Mécheria et Ain Sefra.

d. Répartition saisonnière des précipitations

Le graphe de la figure 19 traduit clairement les variations saisonnières de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle. On y observe que les précipitations sont peu abondantes. Les moyennes mensuelles montrent des maxima au printemps pour les 03 stations, particulièrement au mois de Mars. Ceci est fondamentalement important car cela confirme bien que la réalimentation de l'Atlas et des piémonts de la plateforme saharienne est subordonnée entre autres aux apports issus des crues brèves et violentes de printemps.

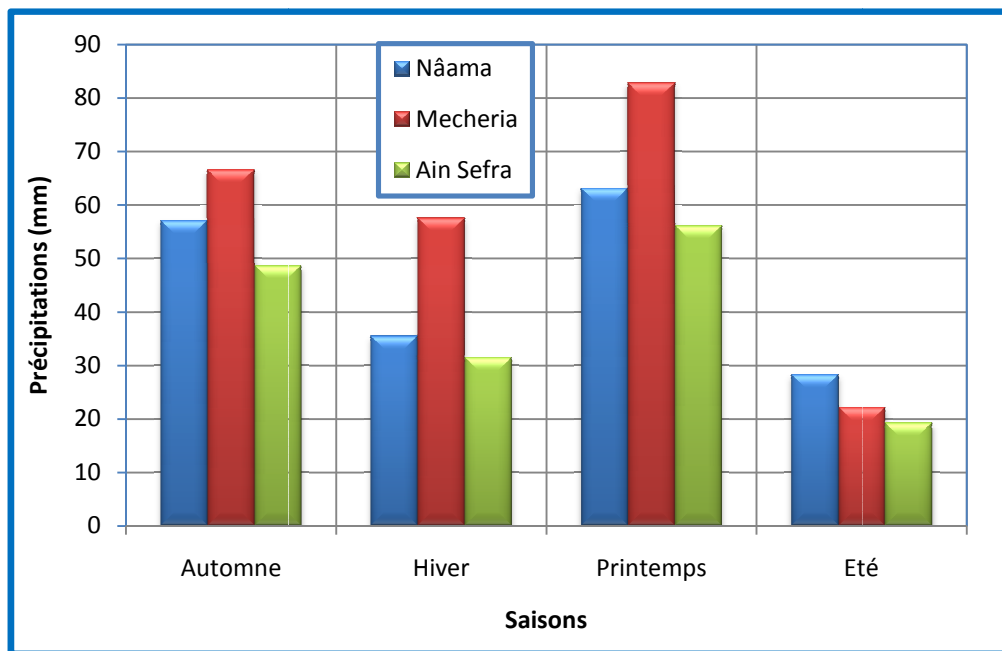


Fig. 19 : Répartition saisonnière des précipitations

2. Les températures

Afin de compléter la description climatologique, des séries historiques de mesures de températures relevées au niveau de la station de Mécheria sur une période de 16 ans (1985-2001) ont été considérées. La variation de leurs moyennes mensuelles a été représentée dans la figure 20. Elle montre que les températures présentent de grands écarts dans la journée et dans l'année. Les vents déterminent une forte évaporation qui remobilise fortement les plans d'eau libres des Sebkhass, des Chotts et des eaux des nappes libres peu profondes.

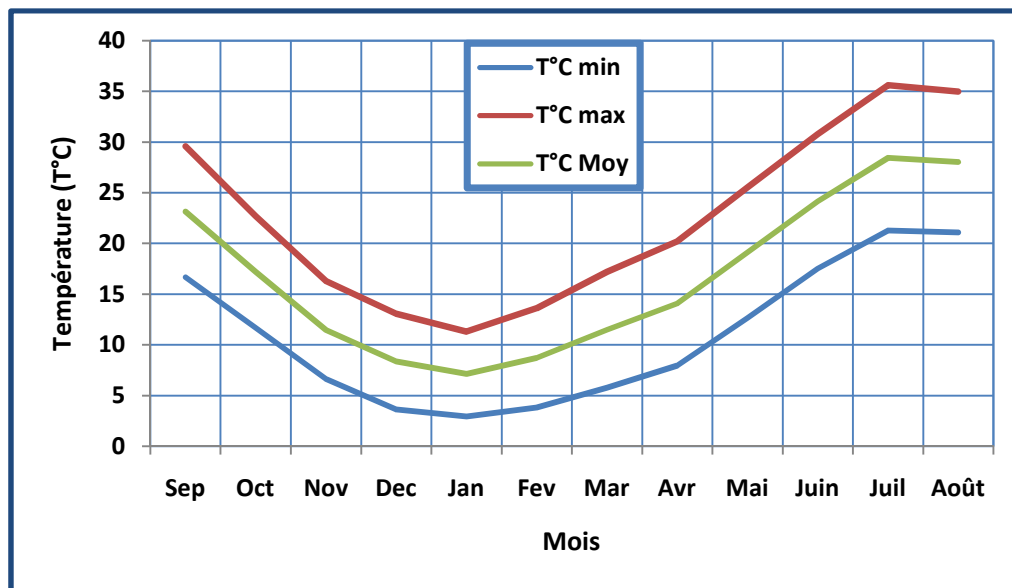


Fig. 20: Variation des températures mensuelles à la station de Mécheria(1985-2001)

3. Evaporation

L'évaporation est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous forme de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (sol, végétaux, eau libre). Elle dépend de la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal ...

a. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle est la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Pour son estimation, on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques. Cependant le choix dépend principalement du type de données climatiques disponibles et du type de climat de la région. Pour le cas présent, on a utilisé la formule empirique de Thornthwaite². Les résultats obtenus sont rapportés dans le tableau n° 2.

² $ETP = 16 \left(\frac{I}{T} \right)^a K$ où ETP est l'évapotranspiration potentielle mensuelle, exprimée en mm et T la température moyenne mensuelle du mois considéré en degrés Celsius et a un coefficient donné par l'expression :

$$\alpha = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5 \quad \text{où l'indice thermique annuel } I \text{ est égal à la somme des douze valeurs de l'indice thermique mensuel : } i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad K : \text{Coefficient de correction, qui dépend de la latitude.}$$

CHAPITRE 2 Environnement géologique et hydroclimatologique du synclinal de Nâama

	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
T(°C)	23,13	17,19	11,46	8,36	7,13	8,71	11,5	14,07	19,11	24,15	28,44	28,04
i	10,15	6,49	3,5	2,17	1,72	2,31	3,53	4,76	7,61	10,85	13,9	13,61
ETP	98,7	58,1	28,2	16,1	12,1	17,3	28,4	40,6	70,1	106,3	142,3	138,7
K	1,03	0,97	0,88	0,86	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,2	1,22	1,15
ETPc	101,68	56,32	24,83	13,84	10,67	14,89	29,24	44,30	83,42	127,60	173,55	159,52
P	18,17	27,72	20,04	18,31	25,48	20,36	46,17	26,16	24,42	9,04	4,28	9,32
P- ETPc	-83,51	-28,60	-4,79	4,47	14,81	5,47	16,93	-18,14	-59,00	-118,56	-169,27	-150,20

Tableau n° 2: Calcul de l'ETP selon Thornthwaite à la station de Mécheria
Latitude de Mécheria est égale à 33°N

b. Evapotranspiration réelle

Plusieurs méthodes sont utilisables. Nous avons fait le choix de la méthode de Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

où le pouvoir évaporant est donné par l'expression $L = 300 + 25T + 0.05T^3$.

Avec les données de la Station de Mécheria : $\begin{cases} P = 249 \text{ mm} \\ T = 16^\circ\text{C} \end{cases}$, $L = 955.1$ et $ETR = 254 \text{ mm}$.

B. Bilan hydrologique

Cette évaluation du bilan fait intervenir quatre paramètres: ETP, ETR, déficit agricole (DA) et l'excédent (EX). Ce dernier permet de déduire le ruissellement et l'infiltration. Tous ces paramètres, reposent sur l'estimation de la réserve facilement utilisable (RFU). Pour la station de Mécheria, l'examen de cette figure 21 montre qu'à l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations ; à l'échelle mensuelle, on observe l'existence de deux saisons bien distinctes :

- une saison excédentaire pendant la quelle les précipitations sont supérieures ou égale à l'ETP (Décembre - Mars)
- une saison déficitaire du mois d'avril à Novembre.

Pendant la saison froide, les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la formation de la RFU. A partir du mois de Avril on a une épuisement de la RFU qui se traduit par un déficit agricole.

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
P	18.17	27.72	20.04	18.31	25.48	20.36	46.17	26.16	24.42	9.04	4.28	9.32	249
ETPc	101.68	56.32	24.83	13.84	10.67	14.89	29.24	44.30	83.42	127.60	173.55	159.52	839
P-ETP	-83.51	-28.60	-4.79	4.47	14.81	5.47	16.93	-18.14	-59.00	-118.56	-169.27	-150.20	
ETR	18.17	27.72	20.04	13.84	10.67	14.89	29.24	26.16	24.42	9.04	4.28	9.32	207
RFU	0	0	0	4.47	14.81	5.47	16.93	0	0	0	0	0	
Déficit	83.51	28.60	4.79	0	0	0	0	18.14	59.00	118.56	169.27	150.20	632

Tableau n°3: Calcul de bilan hydrologique à la station de Mécheria

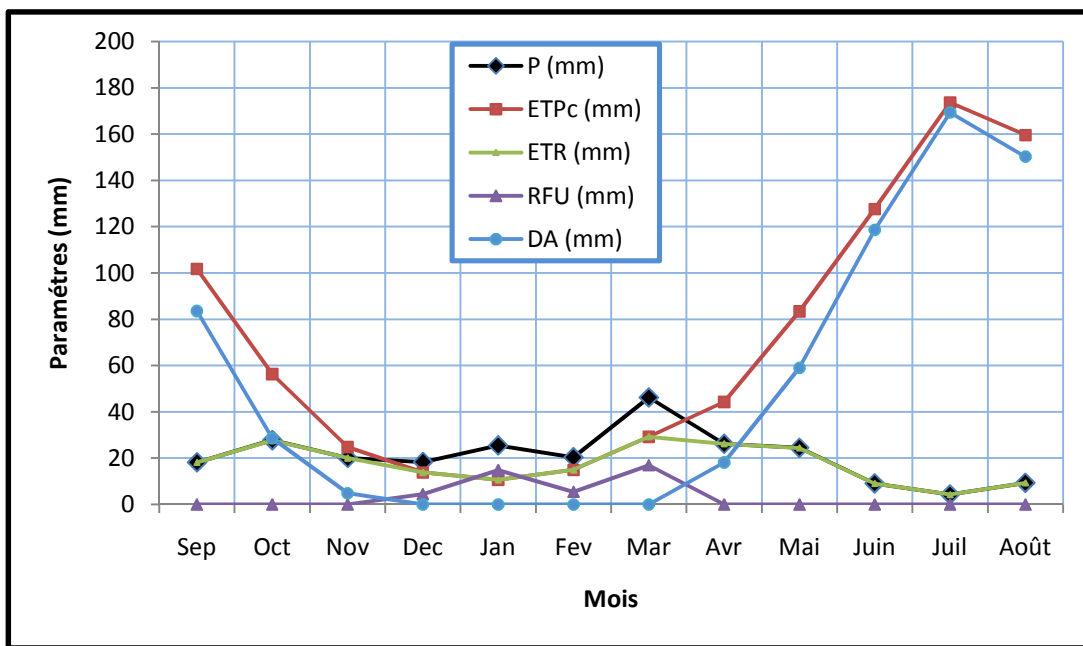


Fig. 21: Représentation graphique du bilan hydrique

1. Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique permet d'évaluer la répartition des précipitations entre les différents termes du bilan : l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration.

Le bilan est établi selon la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

- le ruissellement superficiel R est estimé à partir de la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$R = \frac{P^3}{3(ETP_c)^2}$$

avec $\begin{cases} P = 249 \text{ mm} \\ ETP_c = 839 \text{ mm} \end{cases}$, R est égal à 7.3 mm soit 2.9 % des précipitations.

Cette valeur est faible ce qui traduit des conditions d'alimentation et d'écoulement très défavorable notamment une forte évaporation.

- L'infiltration est le passage de l'eau à travers la surface du sol. Elle est obtenue de l'équation du bilan :

$$I = P - ETR - R$$

On obtient $I = 34.7$ mm, ce qui représente 13.9 % des précipitations.

VI. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Malgré l'altitude et les précipitations, le réseau hydrographique n'est pas bien développé à cause des Dayas et Sebkhass qui absorbent les eaux de ruissellement. Les cours d'eaux sont réduits à des oueds temporaires qui ne récupèrent qu'une partie de la pluie qui ruissèle.

A l'occasion de fortes pluies, ce réseau hydrographique peut être le siège d'écoulements importants, vers l'intérieur du Sahara, dans des formations en communication avec les nappes aquifères souterraines.

A l'instar des autres éléments de la chaîne atlasique, l'Atlas saharien occidental est lui aussi mal drainé. On peut le décrire comme suit :

- Au Nord, de petits oueds se perdent rapidement dans les dépressions : Dayas et Sebkhass. La Sebkhass de Nâama et la sebkhass de *Oum Ledjam* recueillent les pluies tombées sur le flanc Nord-Ouest du Djebel Mellah. Quant à Mekmen el Abiod, au Nord-Ouest du Djebel Antar, elle récupère les eaux venant de l'Antar Guettai.
- Au Sud, le réseau hydrographique est complet et donne des oueds qui se perdent dans le Sahara.

A. L'oued Gharbi

Il prend sa source dans la partie orientale des Monts des Ksour à 1500 m d'altitude jusqu'à El Biod Sidi Chikhj. Il draine la région d'Asla Bou Semghoun. Il se perd dans les sables du grand Erg occidental. Ses crues sont variables avec une fréquence de 2 à 5 mois/an au cours de la période 1940-50. L'oued est, cependant, à sec une grande partie de l'année.

B. L'oued Namous

Il constitue le cours méridional de l'oued El Rhouiba, entre Moghrrar et Ain Sefra, et de l'oued El Breidj. Il draine toute la région d'Ain Sefra, sur une superficie de 8900 km². Il prend sa source vers 1900 m d'altitude dans les Monts des Ksour. Il se perd 350 km plus en aval, dans les sables du grand erg occidental. Dubief (1956) note que

dans sa partie amont, près de Ain Sefra, il enregistre 2.6 mois de crues par an sur la période 1938-51.

C. L'oued Zousfana

La superficie de son bassin versant, telle quelle ressort du ruissellement actuel, est de 16000 km². Il prend son origine au Maroc et rejoint l'oued Guir pour former la confluence de l'oued Saoura qui s'enfonce très loin dans le Sahara occidental. Il est alimenté par les eaux qui ruissellent du versant méridional des Monts des Ksour. A cause de la forte altitude de Beni Ounif, le débit est considérable et les cours d'eau de la Zousfana contribuent à l'alimentation de la nappe du continental intercalaire du Gourara.

D. L'oued Zoubia

A 2000 m d'altitude, l'oued Zoubia prend naissance dans les Monts des Ksour et fait partie des affluents de la Zousfana. Après un parcours de 50 km, il débouche dans les vastes plaines orientées Nord - Sud.

VII. VEGETATION

Le territoire de Nâama constitue une zone charnière entre le Nord et le Sud-Ouest du pays. Il comporte trois (03) grands espaces distincts:

- Une zone a vocation pastorale constituée d'immenses réserves steppiques occupant 74% du territoire de la wilaya où s'étendent les nappes d'Alfa et de Chih (armoise blanche). A partir d'Ain Sefra, l'Alfa disparaît progressivement dans les plaines, et ne se retrouve plus que sur les reliefs à une certaine altitude ;
- Zone montagneuse localisée dans la région Sud-Ouest avec des pics de 2000 m d'altitude et occupe 12%, celle ci se caractérise par une activité agricole de type Oasien. En altitude, les Génévriers apparaissent vers 1200 m, et vers 2000 m, des chênes verts et de rares îlots de pins d'Alep (Djebel Aissa, Tifkirt) ;
- Zone prés-saharienne qui s'étend sur 14% du territoire ou s'étend un tapis végétal discontinu a caractère subdésertique.

Les premières palmeraies sont localisées autour des points d'eau, sur les berges des oueds, dans des sites jouissant d'un microclimat particulièrement chaud comme ceux de Tiout, Bou Semghoun et Moghrar.

Le climat du secteur étudié est de type semi-aride à aride, caractérisé par des écoulements temporaires analogues à de simples drainages endoréiques.

VIII. CONCLUSION

Le synclinal de Nâama appartient à une région qui constitue un espace géographique, géologique et climatique très contrasté.

Du point de vue hydro climatologique, le secteur étudié montre les particularités hydrologiques des zones semi-arides à arides. Les précipitations et les températures présentent de grands écarts dans la journée et dans l'année.

Du point de vue stratigraphique, le synclinal de Nâama est compris entre deux axes anticlinaux jurassiques; Djebel Morhad à l'Ouest, Djebel Aissa et Djebel Mellah à l'Est.

Ces anticlinaux font apparaître les formations jurassiques : Jurassique Continental Supérieur, Jurassique Supérieur (Portlandien-Kimméridgien), Jurassique moyen (Bajo-Bathonien) et Jurassique inférieur. La série jurassique la plus complète apparaît dans la prolongation N.E du Djebel Aissa, au Djebel Souiga.

Le bassin proprement dit est constitué d'un remplissage tertiaire plus ou moins épais et augmentant probablement d'épaisseur vers le Nord. Il laisse apparaître, surtout vers le Sud, les formations crétacées qui constituent l'ensemble du synclinal : Crétacé inférieur, Crétacé Continental, grés et argiles de l'Aptien et de l'Albien ainsi qu'un petit affleurement cénomaniens, très limité, visible à l'extrémité sud du bassin. Les accidents qui affectent le synclinal ont provoqué la remontée des formations triasiques constituées d'argiles salées et d'ophites observables au S-W d'Ain Sefra, au sud d'Ain Sfisifa et dans le prolongement NE de l'anticlinal du Djebel Aissa i.e. au Djebel Mellah.

Du point de vue tectonique, il est important d'apporter les précisions suivantes :

- L'anticlinal jurassique du Djebel Aissa se prolonge vers le Sud, au-delà d'Ain Sefra, par un anticlinal crétacé, topographiquement arasé et coupant le centre du bassin. Son prolongement naturel se retrouve au Sud-Ouest, au Djebel Saïga.
- Les formations crétacées sont coupées par le horst triasique d'El hendjir de direction NS;
- L'anticlinal du Djebel Morhad s'oriente brutalement vers l'ouest, au niveau de Ras Touil, et trouve son prolongement dans le Djebel Ben Amoud.

En ce qui concerne le Djebel el Hairech, constitué également de Jurassique, il faut y voir un autre anticlinal, faillé sur son flanc SE, et dont le prolongement, dans la région de Sfisifa, est très fracturé et accompagné d'injection d'ophites triasiques.

La tectonique de ce bassin est donc relativement complexe, notamment au niveau d'Ain Sefra-Ras Touil. Les pendages, aussi bien au Djebel Aissa qu'au djebel Morhad sont de l'ordre de 20 à 40°.

La lithostratigraphie du synclinal met en évidence trois horizons aquifères interstratifiés séparés par des lentilles argileuses et représentés par :

- Grés compacts à porosité d'interstices et de fractures, d'âge Jurassique;
- Série gréseuse attribuée au Barrémo-Albo-Aptien à porosité des fractures, d'interstices et de chenaux dans lesquelles s'intercalent des lentilles argileuses;
- Formation gréso-argileuse mio-pliocène à porosité d'interstices;

L'étude paléogéographique montre bien le rôle joué par la subsidence dans le tassement des différentes formations susceptibles d'être aquifère, et par conséquent on pourrait s'attendre à une porosité d'interstices beaucoup plus élevée pour le Crétacé que pour le Jurassique.

CHAPITRE 3**CARACTERISATION DES RESERVOIRS AQUIFERES**

La lithostratigraphie des formations sédimentaires du synclinal de Nâama a permis d'en dresser les potentialités aquifères. L'analyse tectonique a montré en quoi la fracturation et la fissuration des matériaux compacts sont susceptibles de contribuer à frayer les voies et moyens à la circulation et l'emmagasinement de l'eau tandis que la segmentation des blocs aquifères affecte la circulation de l'eau. Au terme de cet examen, le schéma synoptique de l'hydrogéologie des formations géologiques du synclinal a pu être dressé.

Il reste à en préciser la géométrie.

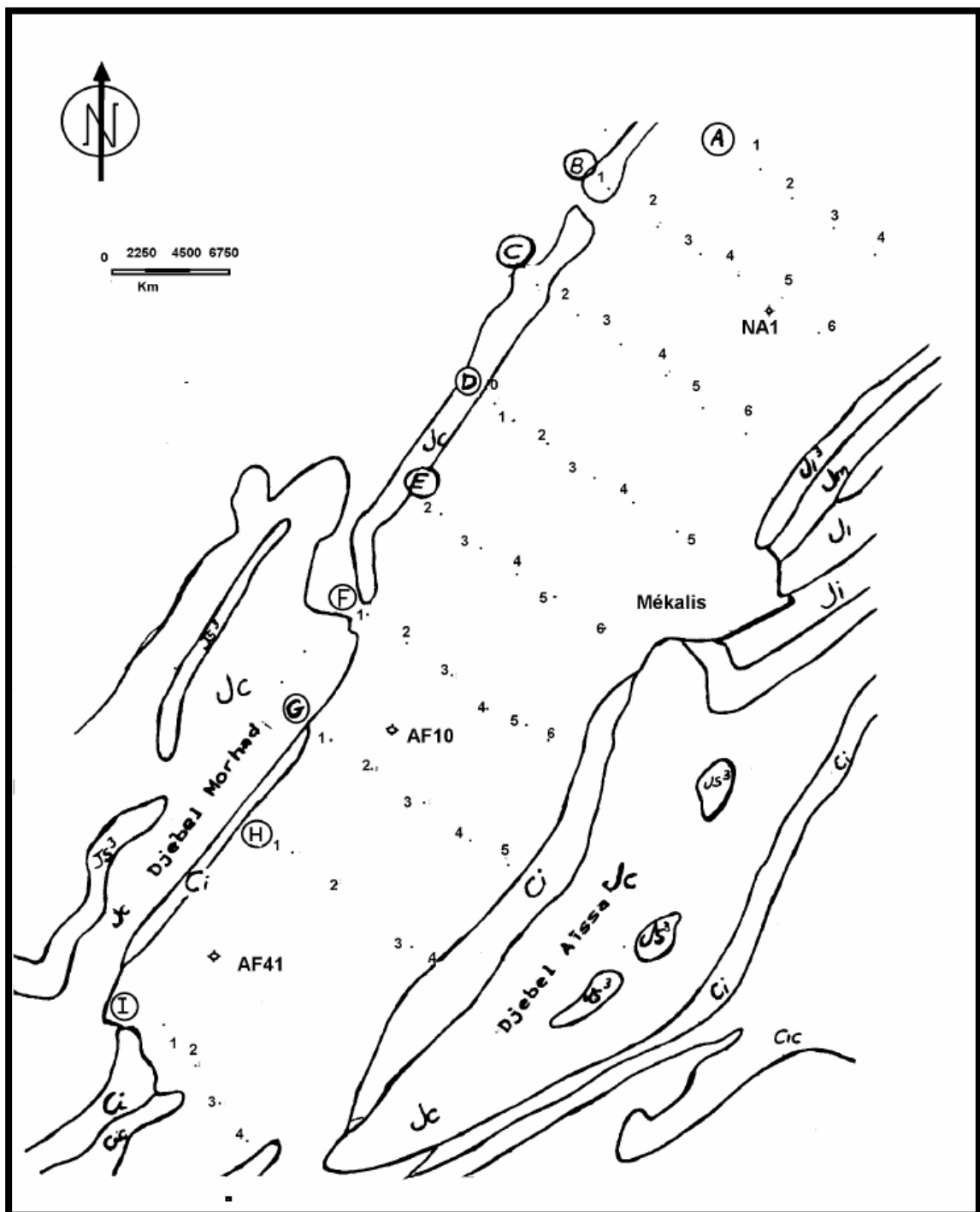
I. CARACTERISATION A PARTIR DES SONDAGES ELECTRIQUES

Des éléments de réponse peuvent être produits par l'exploitation des résultats de la campagne de prospection géophysique réalisée par la CGG (1974) le long du synclinal (Fig.22).

L'étude comprend 45 sondages électriques (SE) distants entre eux de 2 km environ et repartis sur 9 profils de direction Nord Ouest – Sud Est et de longueurs de ligne AB égales à 2000 m et 4000 m.

Quant à la seconde campagne de prospection, entreprise par le Service des Etudes et Inventaires des Ressources en Eaux et Sols en 2000, elle n'a apporté aucun élément nouveau.

Les 5 profils, indexés E, F, G, H, I, perpendiculaires à la dépression de Tirkount sont détaillés dans ce chapitre. (Fig.23).



Sondage électrique – AF : Forage mécanique - A : Numéro de la coupe – Ci : Crétacé
– J : Jurassique

Fig. 22: Carte de situation des sondages électriques dans le synclinal de Nâma (CGG, 1974)

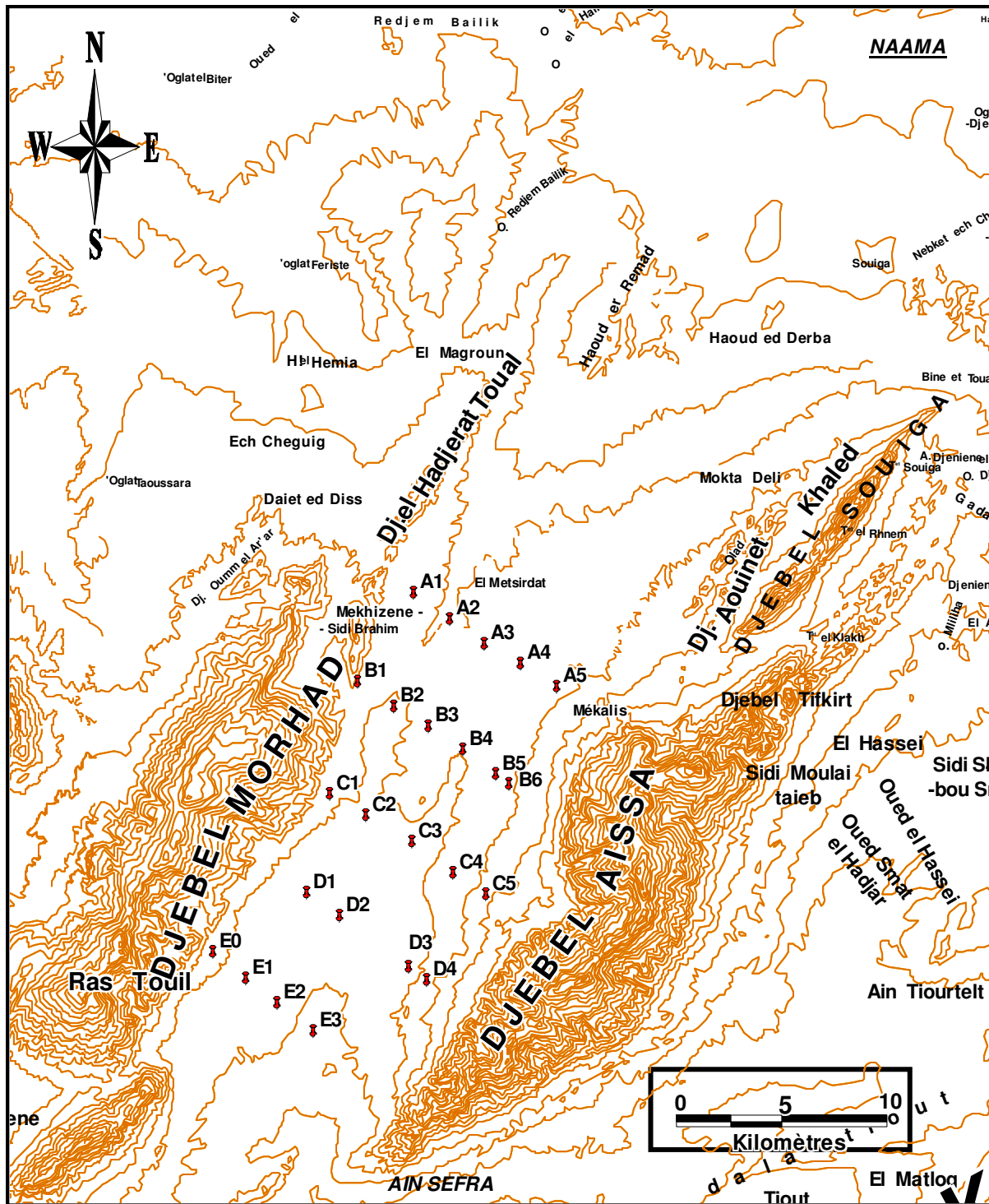


Fig. 23: Carte de position des sondages électriques dans la dépression de Tirkount (CGG, 1974)

L'interprétation des SE (CGG, 1974) est calée sur l'échelle des résistivités suivantes :

Résistivités ($\Omega.m$)	Caractéristiques lithologiques	Age des formations
15-30	Argiles rouges	Mio-Pliocène
50-200	Grés et sables	
100-300	Alternance de grés et d'argiles	Crétacé Inférieur
20-40	Argiles avec rares passées gréseuses	
300-500	Grés à stratification oblique et niveau argileux de faible épaisseur	Jurassique
100-300	Ophites emballées dans un matériel argileux	Trias
15-30	Argiles gypso-saline	

Tableau n°4: Echelle des résistivités des formations (CGG, 1974)

A. Interprétation des profils géo électriques

1. Coupe A (fig.24)

Cette coupe montre une structure plissée en synclinal recouverte en discordance par une formation sub horizontale. Le Crétacé inférieur, moins résistant est caractérisé par une résistivité moyenne de 100 Ohm.m limité par un toit conducteur dont la résistivité varie entre 15 et 25 Ohm.m et son mur conducteur caractérisé par une résistivité varie entre 20 à 30 Ohm.m. Au centre du synclinal, le Jurassique supérieur est atteint à 800 mètres de profondeur, il est représenté par une formation résistante. (fig.24)

2. Coupe B (fig.24)

Le second fond synclinal est apparu au niveau de cette coupe, il est localisé entre SE5 et SE6. Au niveau du SE1 Le Jurassique atteint une résistivité de 500 Ohm.m. 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.

3. Coupe C (fig.24)

Cette coupe montre 02 synclinaux séparés par un anticlinal que recouvre en discordance les formations superficielles.

4. Coupe D et E (fig.24)

Au niveau de cette coupe la structure est 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.

5. Coupe F (fig.25)

Orientée NW-SE montre la continuité des structures et des formations d'une part, et la mise en place d'une formation conductrice attribuée au Trias d'autre part. A l'intérieur du sous-bassin, le remplissage mio-pliocène est plus épais avec prédominance d'une formation argileuse de recouvrement. Les formations du Crétacé inférieur forment un horizon continu d'épaisseur constante et de résistivité 200 Ohm.m.

6. Coupes G et H (fig.26, 27)

Ces coupes montrent une structure plissée avec un enfouissement de l'axe anticlinal jurassique et la disparition de la formation conductrice triasique au niveau de SE G1.

7. Coupe I (fig.28)

Cette coupe montre de légères modifications au niveau de la structure plissée qui se traduisent par le rétrécissement et le rejet du bombement anticlinal vers le NW qui favorisent une extension latérale importante du synclinal. Il y a disparition de recouvrement mio-pliocène et apparition à l'affleurement des formations crétacées.

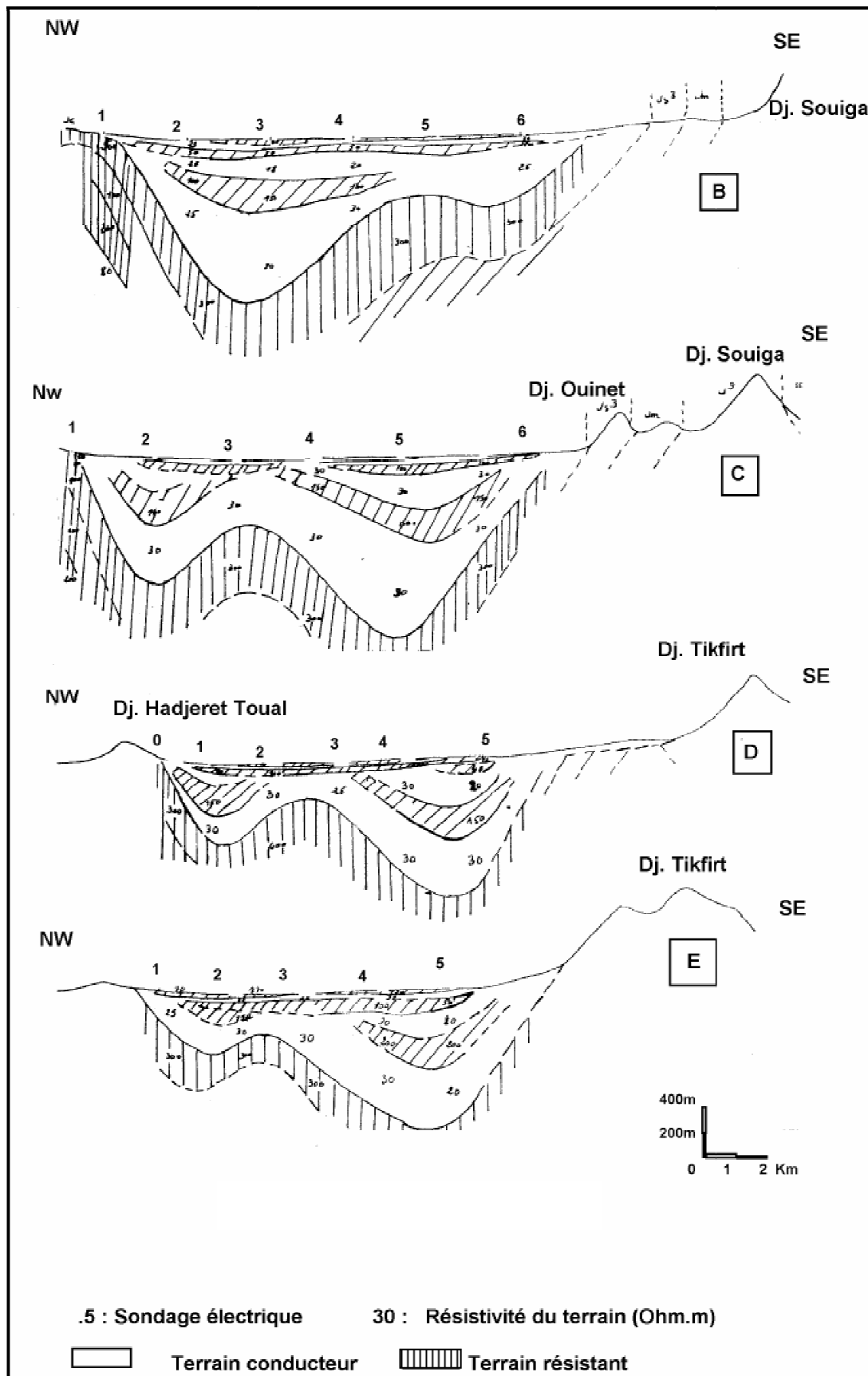


Fig. 24 : Coupes géoélectriques du synclinal de Nâama (CGG.1974)

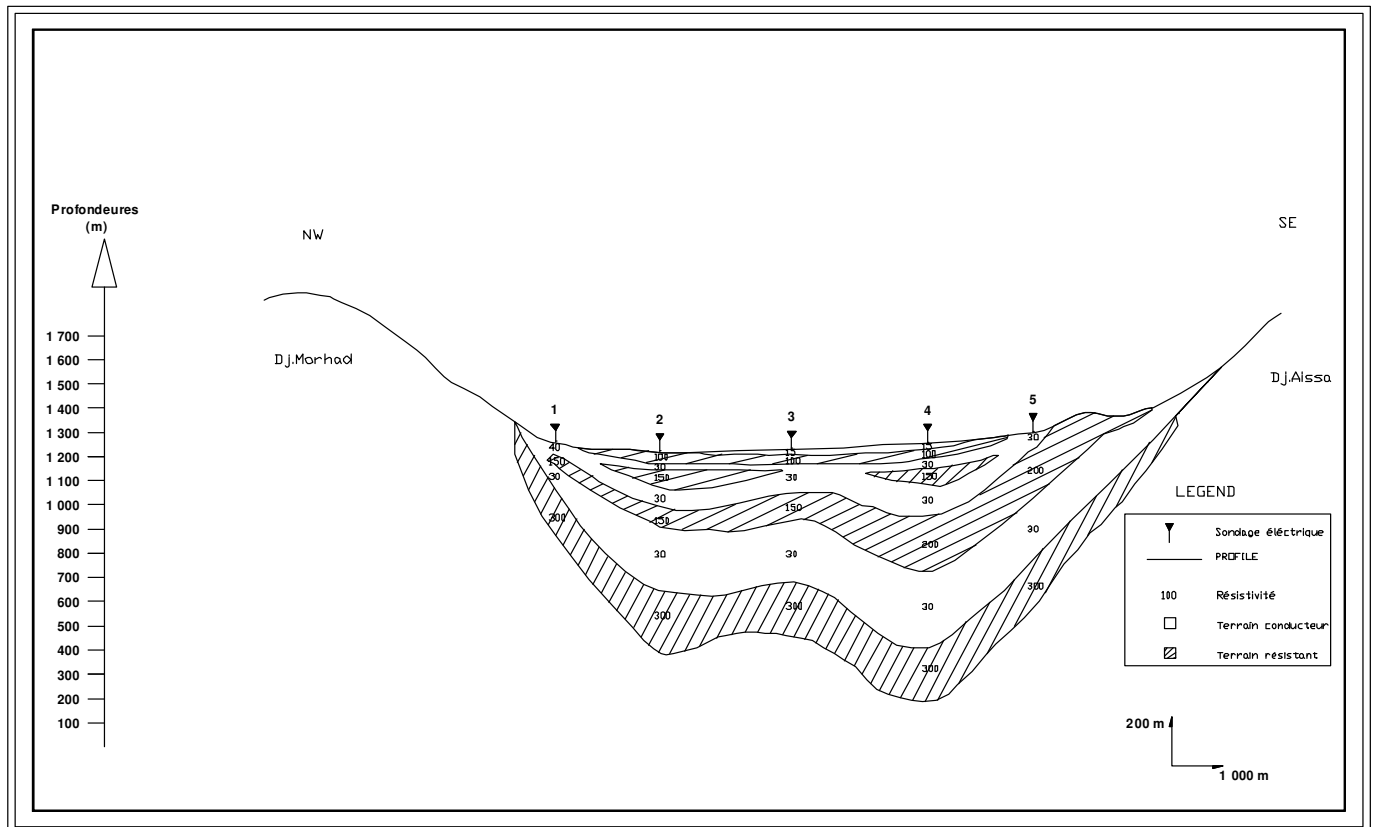
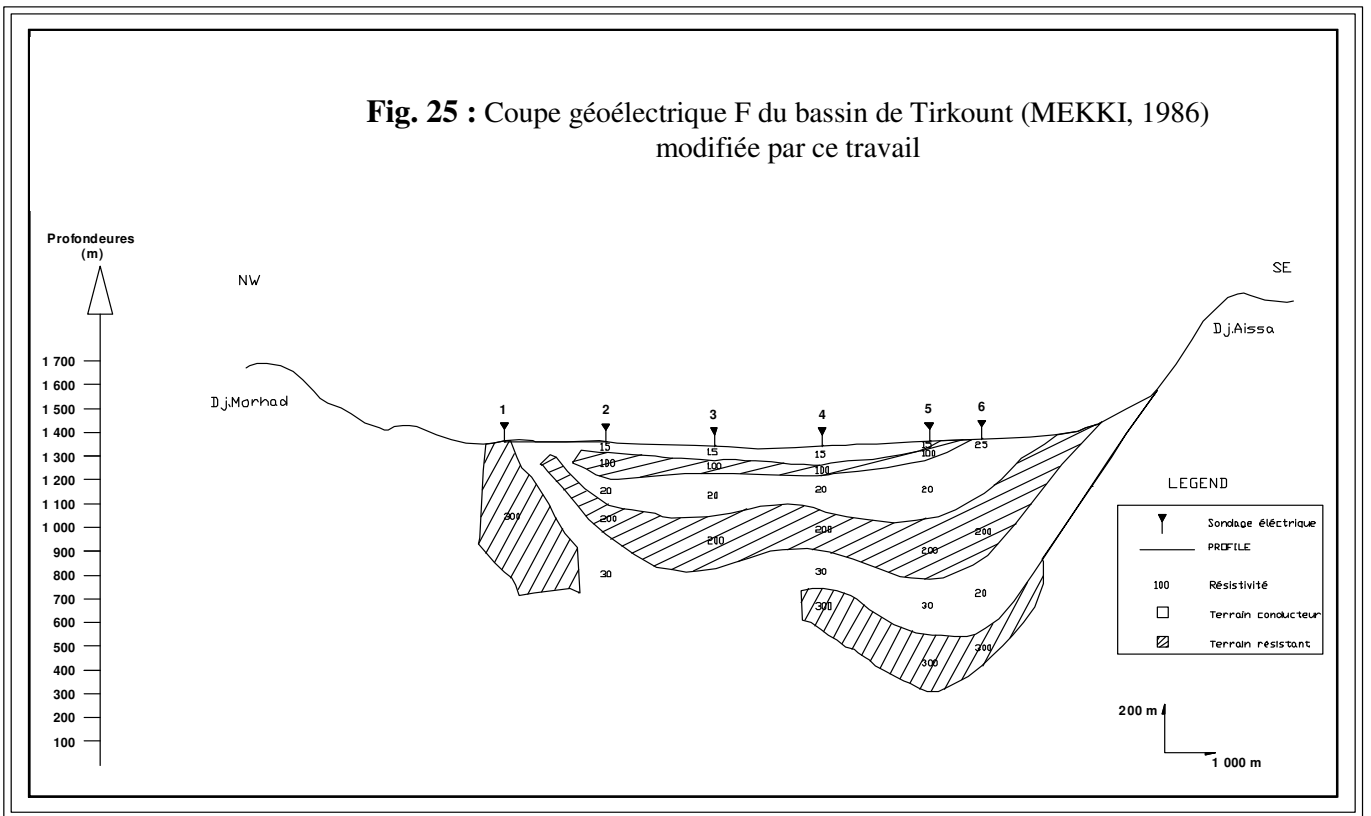


Fig. 26: Coupe géoélectrique G du bassin de Tirkount (MEKKI, 1986)
modifiée par ce travail

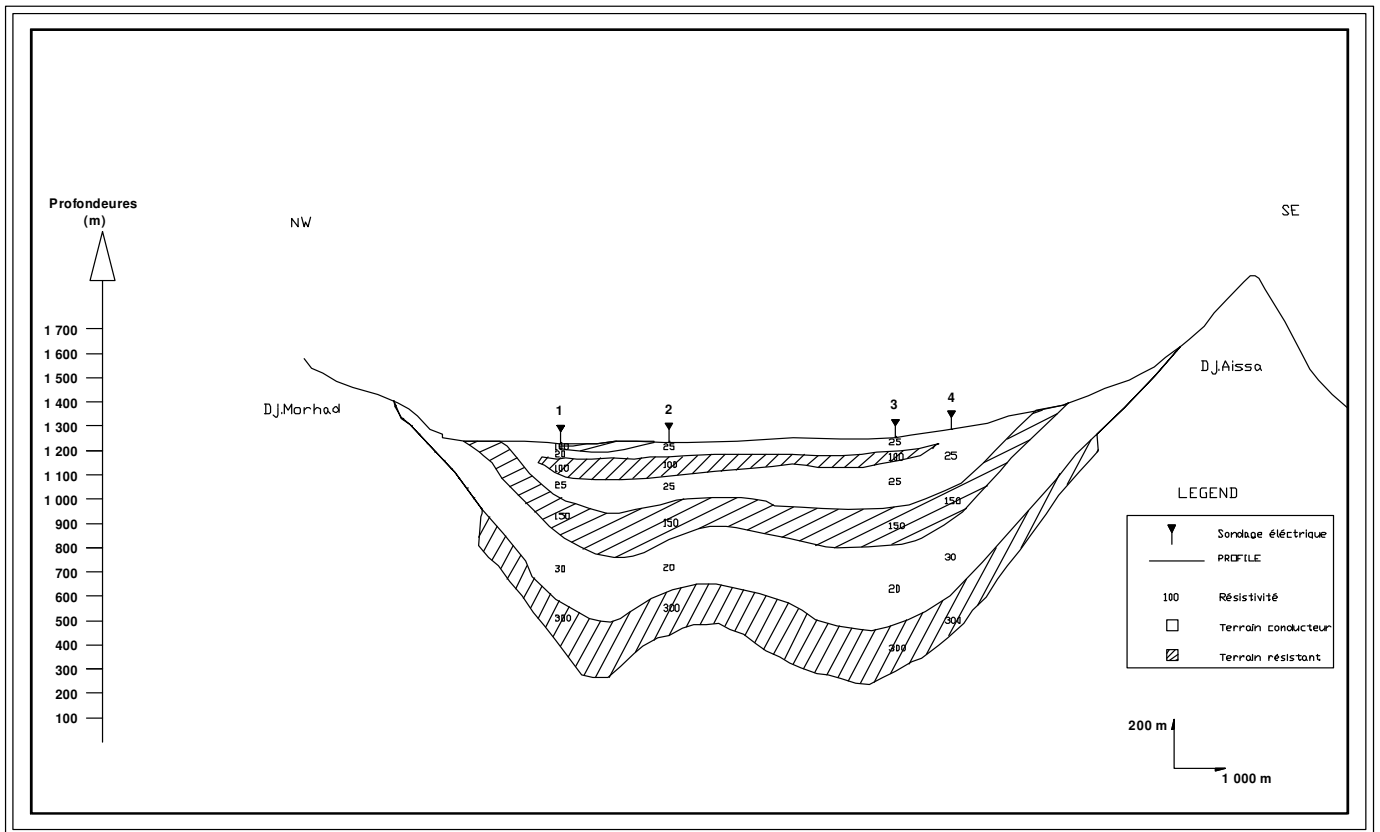


Fig. 28: Coupe géoélectrique H du bassin de Tirkount (MEKKI, 1986) modifiée par ce travail

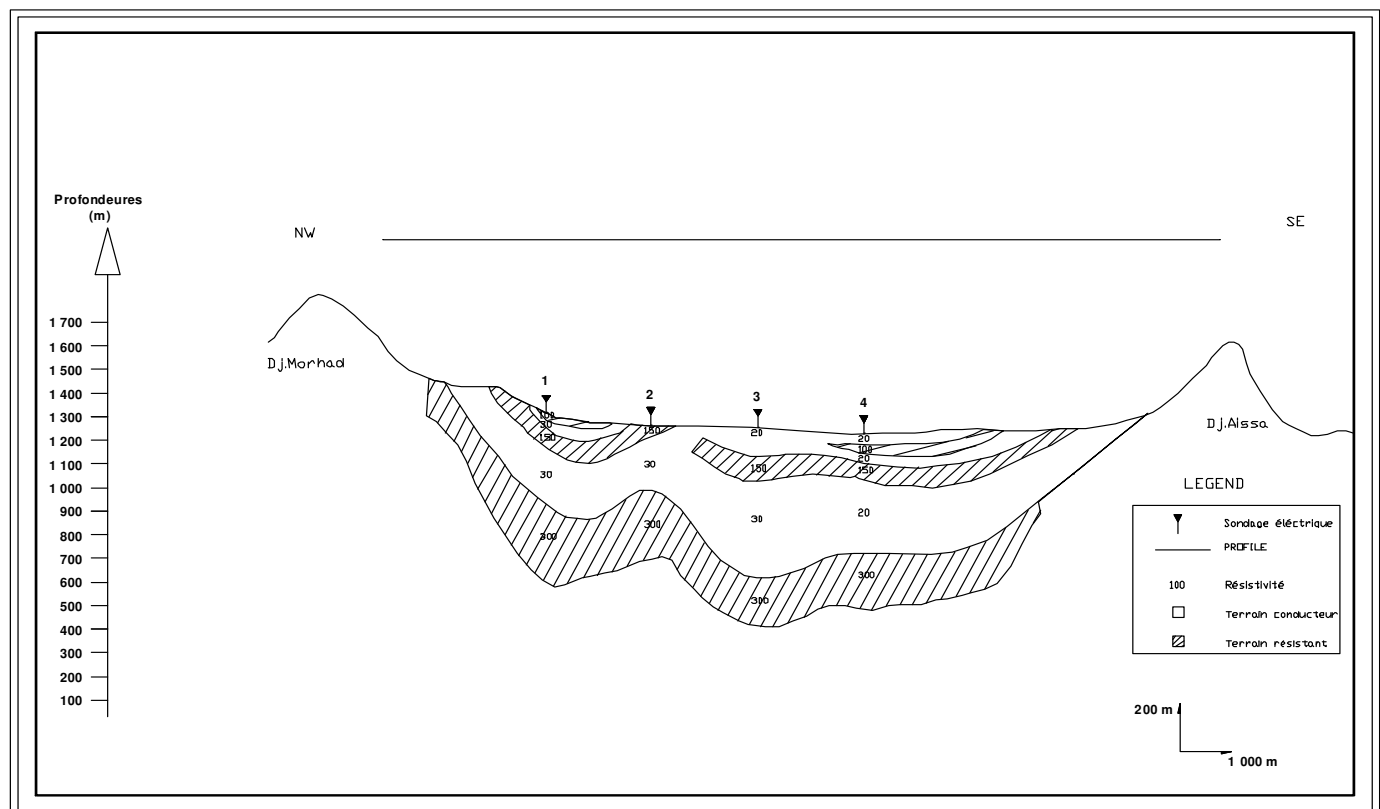


Fig. 27: Coupe géoélectrique I du bassin de Tirkount (MEKKI, 1986) modifiée par ce travail

B. Interprétation des coupes des résistivités apparentes**1. Coupe F (fig. 29)**

Cette coupe montre une diminution des résistivités due à l'influence du Trias, un écartement des courbes à 40 ohm.m et la disparition des courbes résistantes d'âges Jurassique supérieur, Crétacé inférieure et Tertiaire.

2. Coupe G (fig. 30)

Au niveau de cette coupe les formations du Mio-pliocène et du Crétacé inférieur résistant ne subissent aucune influence de la formation jurassique située au SE G1.

3. Coupe H (fig. 31)

Une structure plissée est bien nette au niveau de cette coupe avec un développement plus important du synclinal SE que celui NW.

4. Coupe I (fig. 32)

Elle permet de retrouver la structure de l'ensemble. Au niveau du synclinal SE, on remarque que l'effet de la courbe conductrice de base du Crétacé inférieur est bien net avec une atténuation des résistivités apparentes due au Mio-pliocène continental résistant du SE I1 et aux formations jurassiques représentées par l'axe anticlinal et le flanc SE du Djebel Morhad.

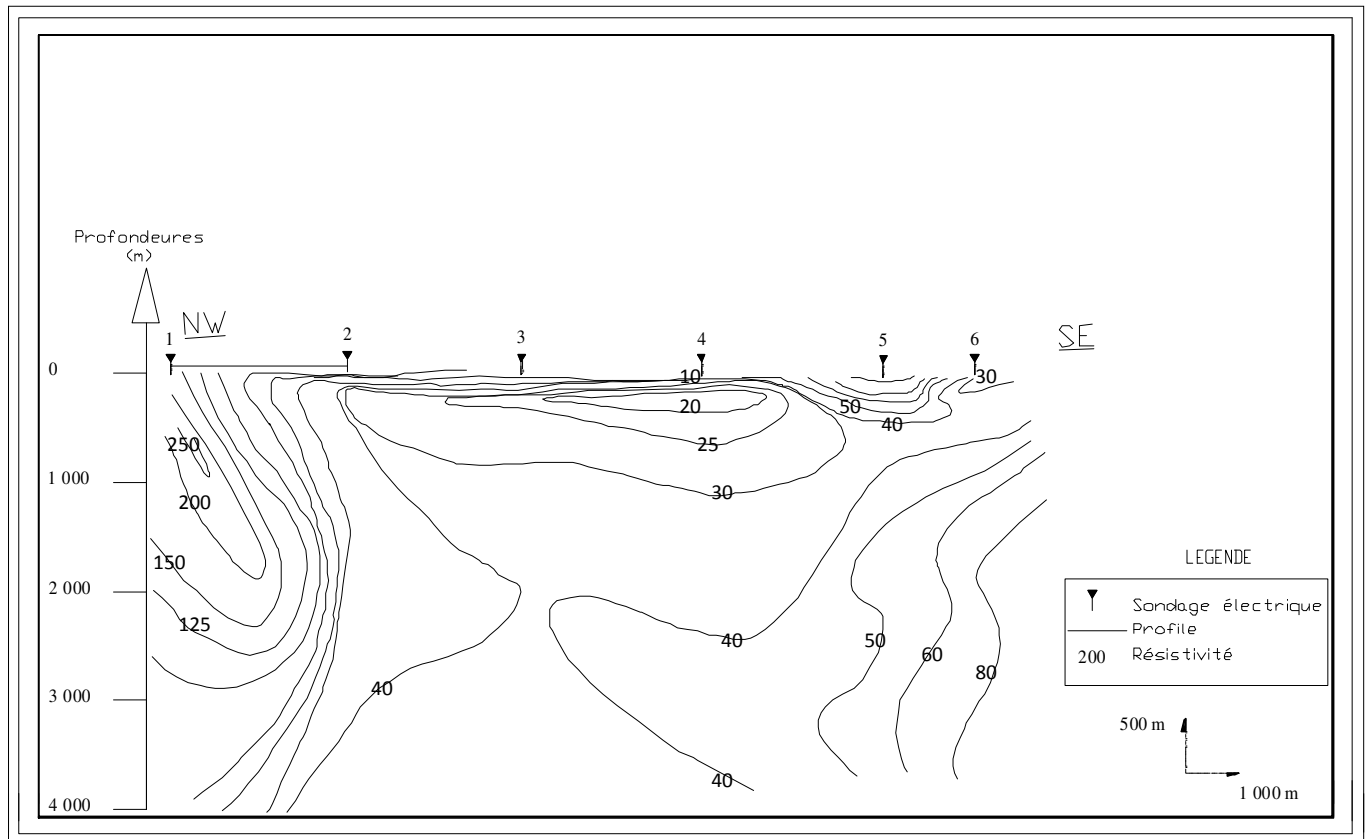


Fig. 29: Coupe F de résistivité apparente du bassin de Tirkount (MEKKI, 1986) modifiée par ce travail

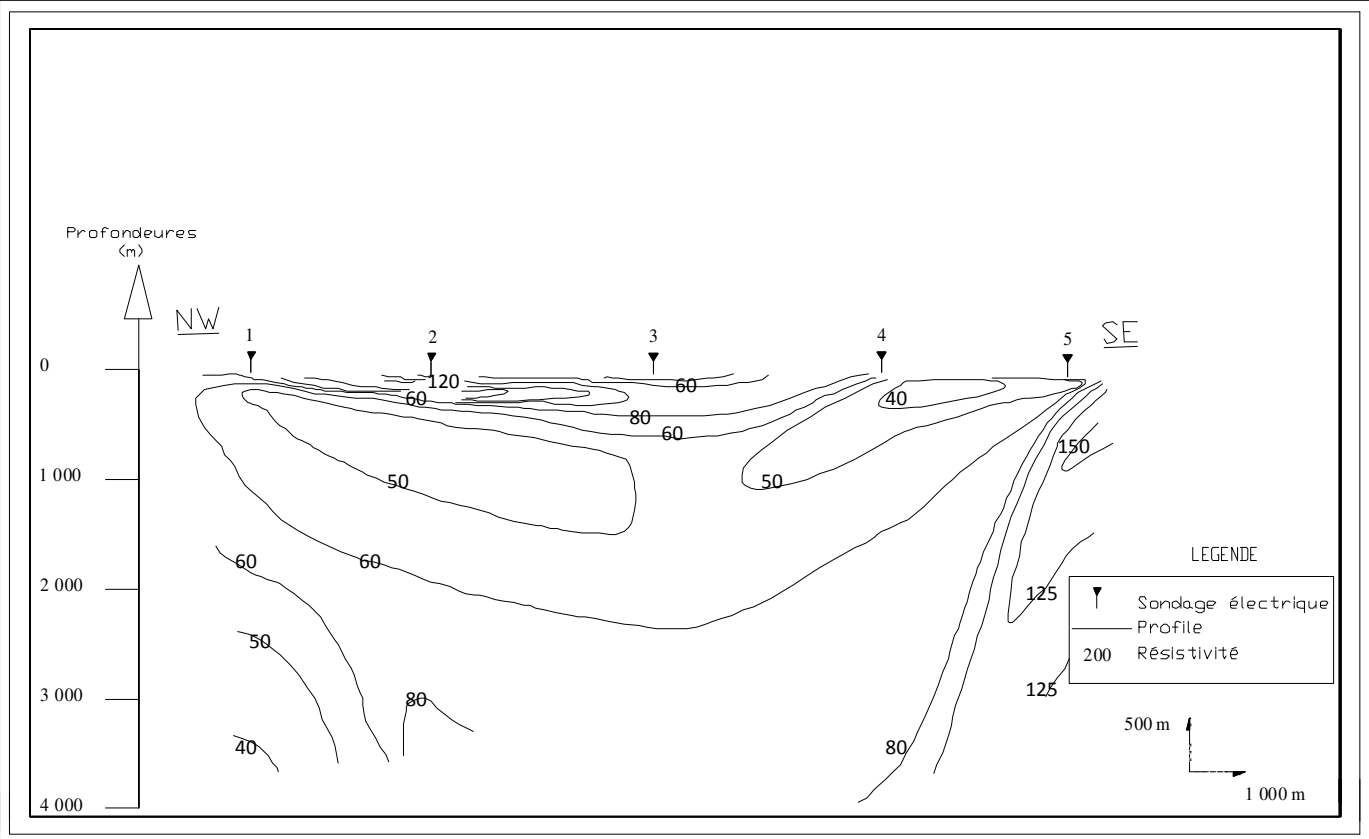


Fig. 29: Coupe G de résistivité apparente du bassin de Tirkount (MEKKI, 1986) modifiée par ce travail

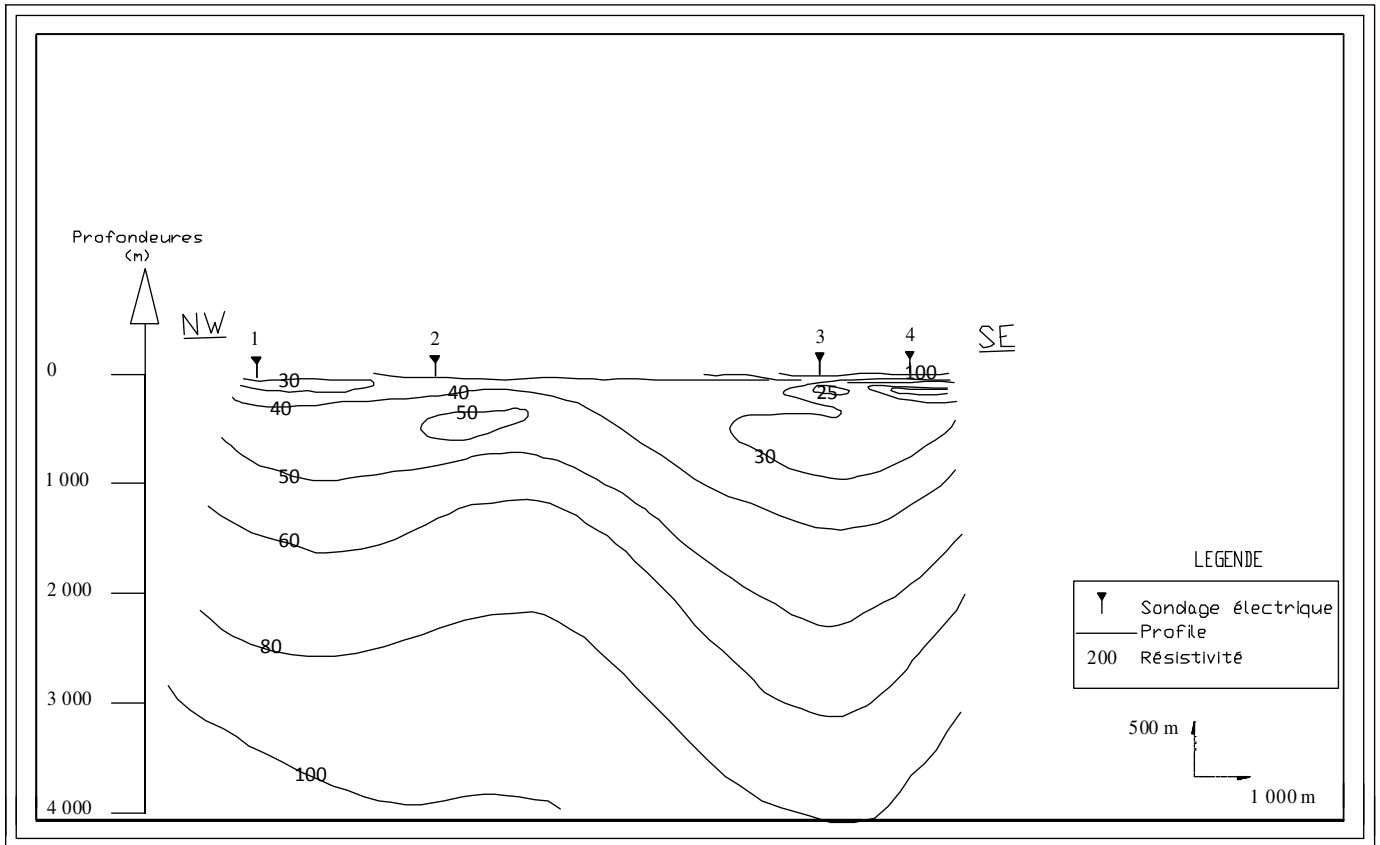


Fig. 32: Coupe H de résistivité apparente du bassin de Tirkount (MEKKI, 1986) modifiée par ce travail

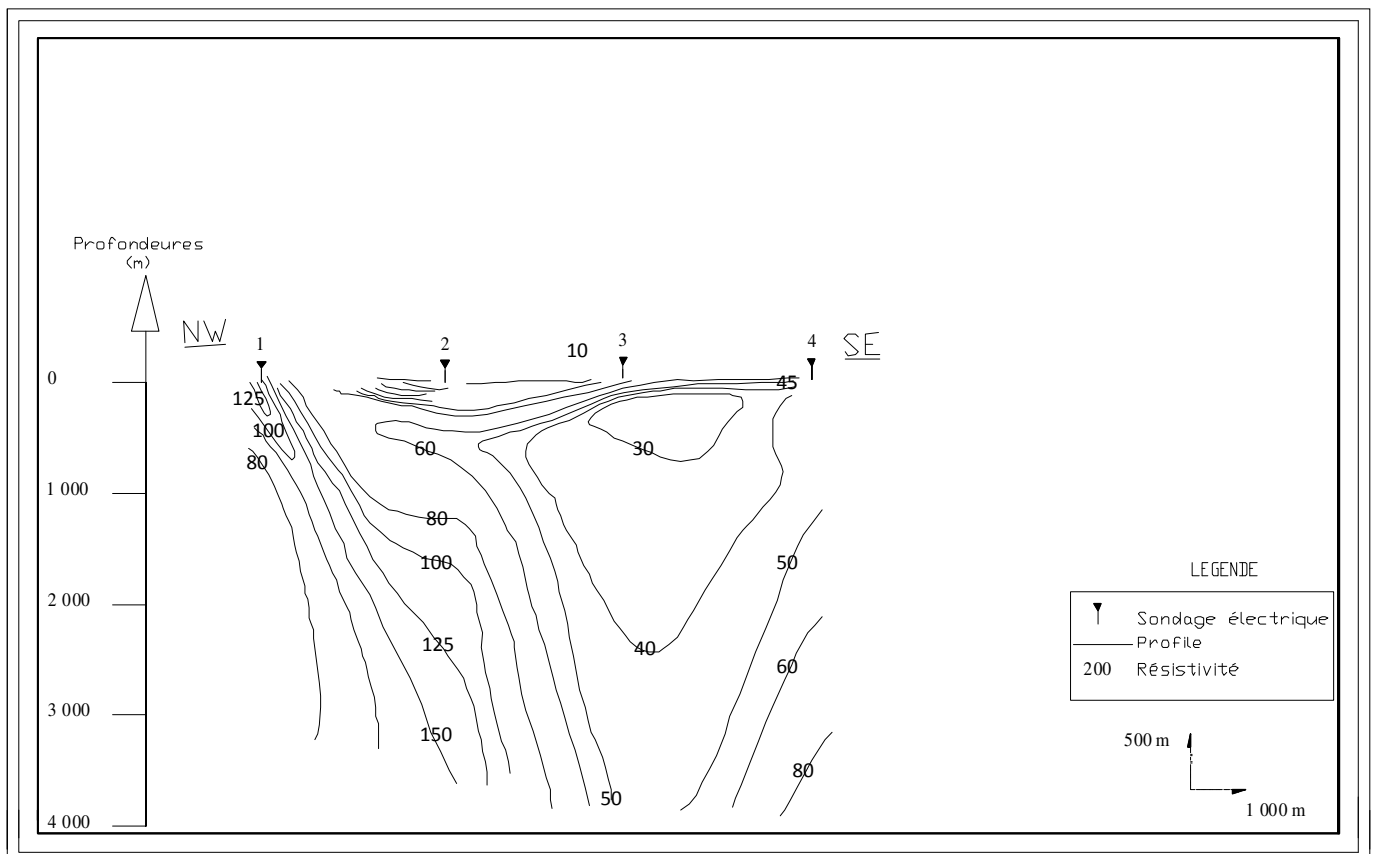
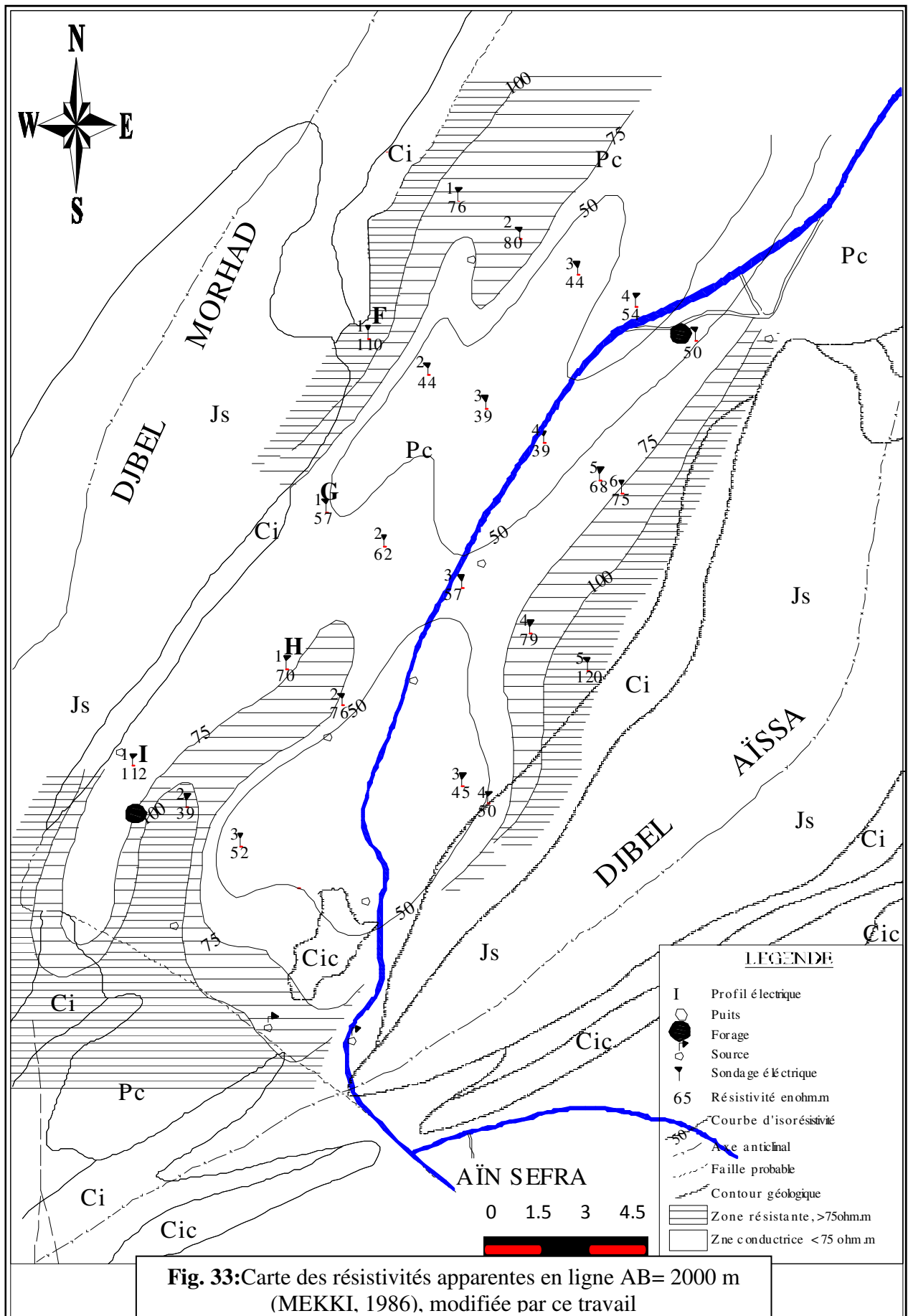


Fig. 31 **Fig. 32 :** Coupe I de résistivité apparente du bassin de Tirkount (MEKKI, 1986) modifiée par ce travail



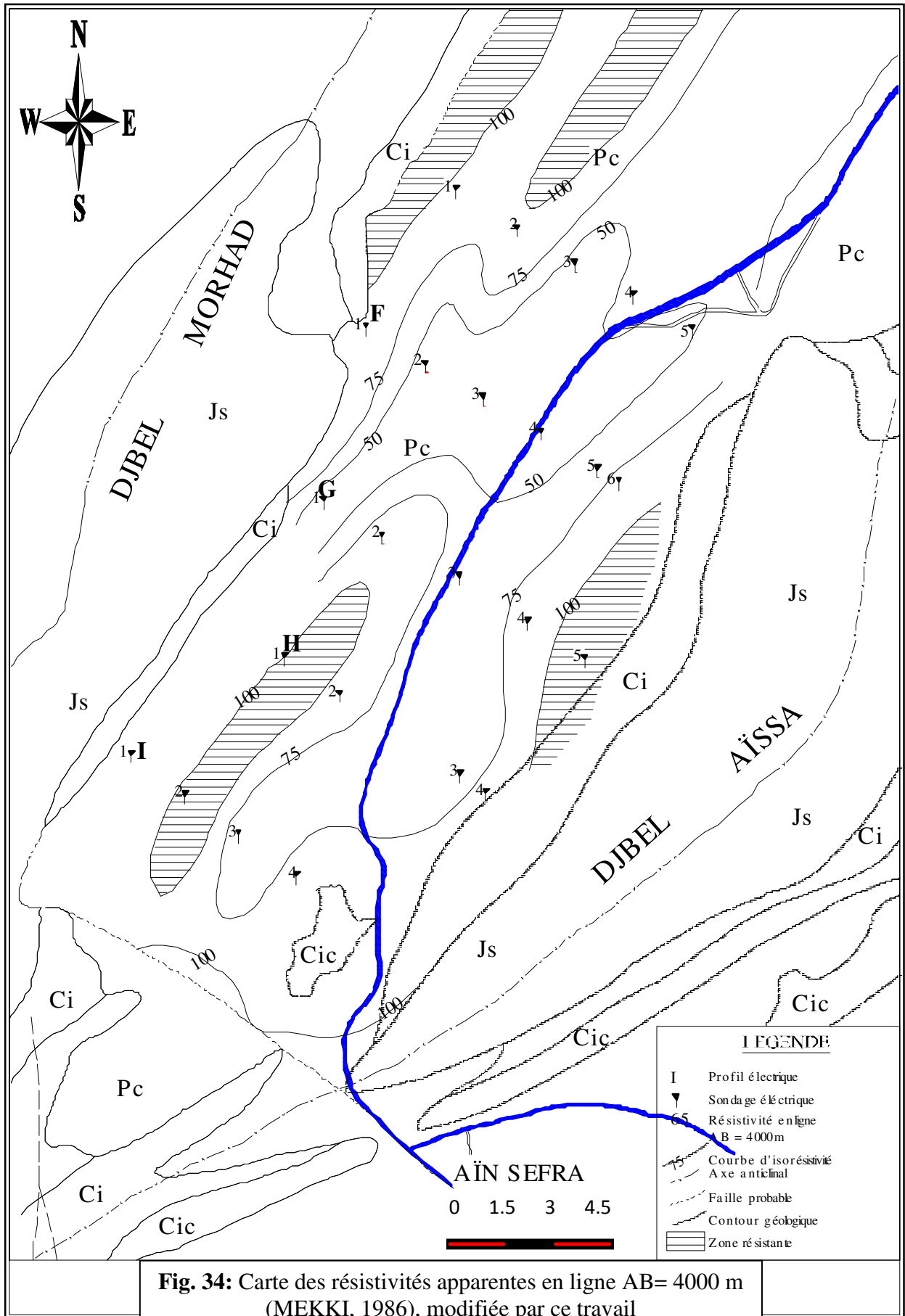


Fig. 34: Carte des résistivités apparentes en ligne AB= 4000 m (MEKKI, 1986), modifiée par ce travail

C. Interprétation des cartes des résistivités apparentes $ab=2000m$ (fig. 33)

La carte des résistivités apparentes montre un changement de faciès au niveau des formations crétacées. Les zones périphériques sont marquées par des résistivités apparentes plus élevées (75 à 100 $\Omega.m$). Au SW, les courbes d'iso résistivité supérieure à 75 $\Omega.m$ marquent l'influence de l'anticlinal jurassique médian. La présence d'un niveau crétacé résistant visible sur les coupes F et G n'influe pas sur les zones les plus conductrices délimitées par deux courbes fermées de résistivités de 50 $\Omega.m$. la zone comprise entre les deux courbes de résistivités 50 à 75 $\Omega.m$ correspond à l'apparition des lentilles gréseuses crétacées et à une augmentation de l'épaisseur des niveaux moi-pliocènes résistants (coupes G et H).

D. Interprétation des cartes des résistivités apparentes $ab = 4000m$ (fg.34)

Cette carte de plus grande profondeur d'investigation permet de suivre la nature et l'allure des formations jurassiques. Elle nous donne une idée sur la structure des formations profondes. Au SW, les courbes d'isorésistivités supérieures à 100 $\Omega.m$ marquent l'influence de l'anticlinal jurassique médian orienté parallèlement à la direction atlasique.

E. Carte du toit du jurassique (fg.35)

Cette carte met en évidence la structure plissée et l'axe anticlinal médian d'orientation :

- N55°E dans la partie SW correspondant à la direction principale des plissements atlasiques ;
- N10°E à N 15°E dans la zone centrale entre les profils G et F ;
- N20°E à N 30° E dans le secteur septentrional de Mékalis

A la lumière de ces constatations, il ressort que l'existence d'un accident tectonique entre les profils E et F est probable (Abada, 1986).

Dans le secteur central, entre les profils géoélectriques E et F, l'axe anticlinal médian s'ennoie sous les formations crétacées et mio-pliocènes.

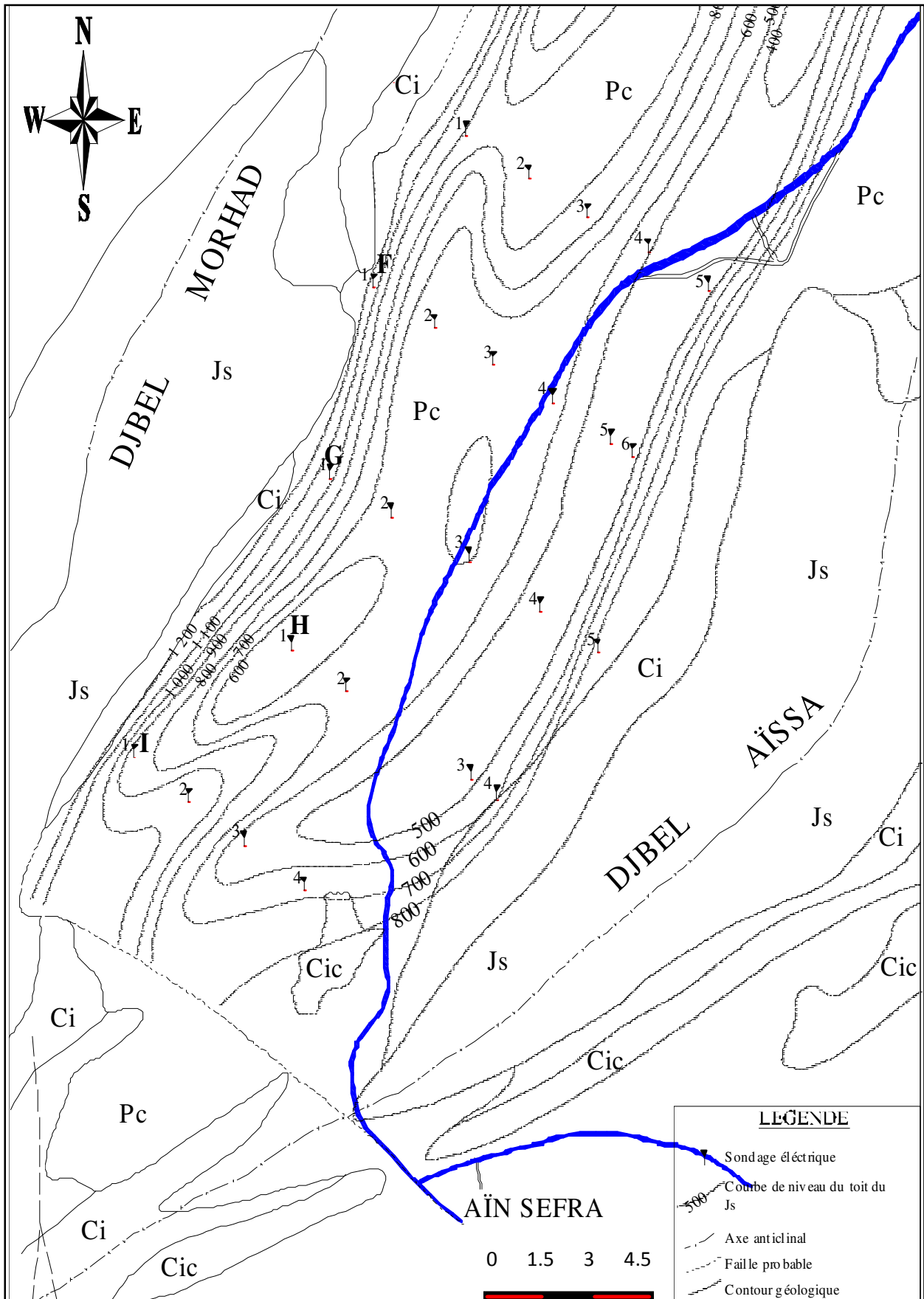


Fig. 35 : Carte du toit de Jurassique (MEKKI, 1986), modifiée par ce travail

F. Etude des formations mio-pliocènes et mésozoïques du bassin de Tirkount

L'étude géophysique a permis de préciser la structure du bassin de Tirkount, de délimiter les différents horizons susceptibles d'être aquifères et de faire une étude comparative avec les données de carottage mécanique et des coupes lithologiques réalisées lors du creusement des puits.

1. Etude à l'aide des forages

Le forage F2 de Tirkount réalisé par BULGARGEOMIN en 1983 a donné quelques précisions sur l'hydrogéologie des formations du Crétacé inférieur. L'ouvrage a recoupé la succession lithologique donnée par la coupe de la figure 37.

La coupe géoélectrique I et le sondage F2 (Sondage étalon F2 (x = 183.7; y = 255.00) permettent de dresser un tableau comparatif des différentes formations, précisant leur comportement hydrogéologique (tableau n°5). 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 par l'étude géophysique.

La coupe du forage F2 (fig. 37) apporte des précisions sur la succession lithologique, l'épaisseur des différentes formations. On remarque que :

- Le Mio-Pliocène est moins épais mais très résistant par rapport aux autres couches (voir tableau n° 5).
- Le Crétacé inférieur comporte 03 horizons :
 - un horizon conducteur argileux de (60 m) d'épaisseur et de résistivité faible.
 - un horizon résistant formé par une alternance d'argiles et de grés de 109 m d'épaisseur.
 - un horizon très conducteur argileux de 236 m d'épaisseur.

Le jurassique n'a pas été recoupé par le forage.

Age	Coupe géoelectrique I			Coupe du forage F2			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	impermeable	-----
Jurassique supérieur	Grés compactes	310	300	Grés et Argiles sableuses	53		Perméable	Nappe semi captive à captive
					37	----- --	-----	

Tableau n°5: Schéma synoptique de l'hydrogéologie des formations du synclinal de Nâama

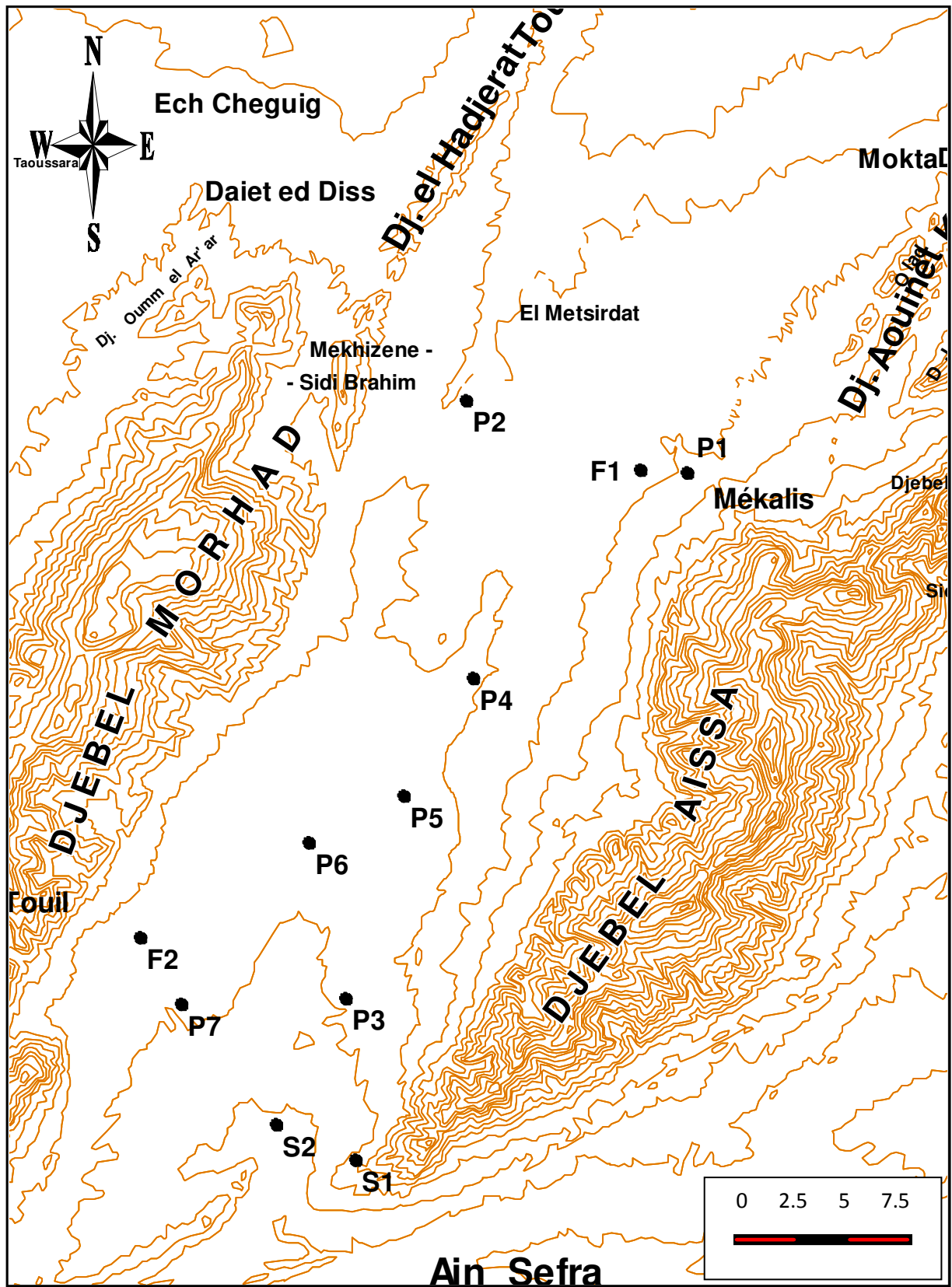


Fig. 36 : Carte de situation des puits et forages dans la dépression de Tirkount

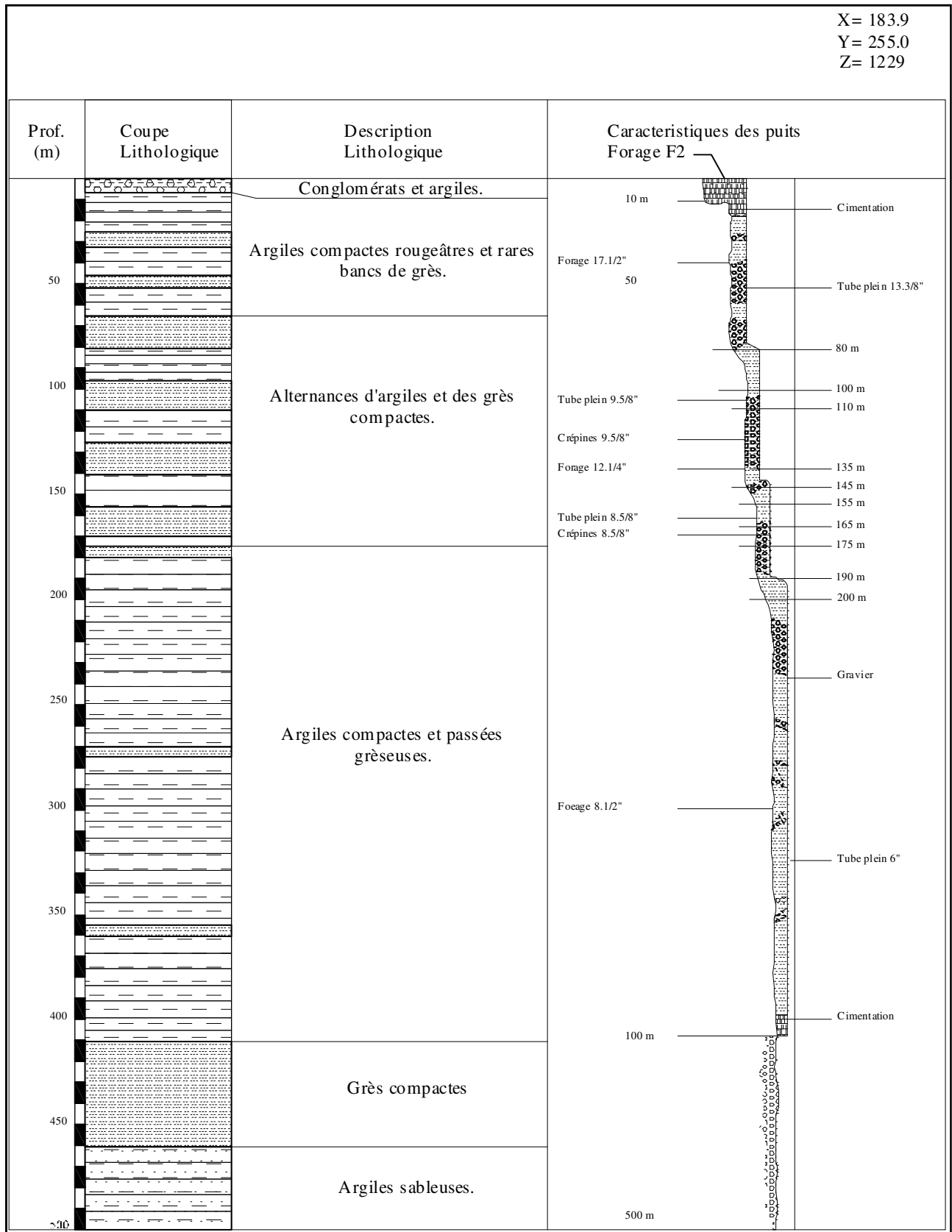


Fig. 37: Log stratigraphique du forage F2.

2. Etude à l'aide des puits

Trois puits intéressants localisés dans la dépression de Tirkount nous ont permis de mieux étudier le remplissage mio-pliocène et mésozoïque du bassin de Tirkount.

a. Puits de Tirkount (P3)

Situé au Nord de la localité de Tirkount, l'ouvrage a recoupé les formations suivantes (fig.38.a) :

- 0 à 3m : Conglomérat
- 3 à 10.5m : Argiles compactes.
- 10.5 à 26.7m : Grés argileux.

Le sondage électrique I et le log lithologique du puits P3 permettent de dresser les éléments de comparaison rapportés dans le tableau n°6.

Ce tableau montre que la formation conglomératique d'âge Mio-Pliocène rencontrée au puits P3 est moins épaisse et plus résistante que celle déterminée par l'étude géophysique. Le niveau résistant gréseux est représenté par une alternance de grés et d'argiles à porosité d'interstices et de fractures avec un niveau piézométrique situé à la côte 1177.15m (Février 1986).

Âge	Coupe géoelectrique I			Log stratigraphique du p3		
	Formation	Epaisseur (m)	Résistivité ($\Omega.m$)	Formation	Epaisseur (m)	Résistivité ($\Omega.m$)
Mio-pliocène	Conglomérats	8	190	Conglomérats	3	507
Crétacé inférieur	Argiles	33	30	Argiles	7.5	7
	Grés compactes	43	100	Grés argileux	-	-

Tableau n°6: Comparaison entre le sondage électrique I et le log stratigraphique du puits p3.

b. Puits de Boughellaba (P4)

Situé dans la partie centrale de la dépression de Tirkount, la succession lithologique du Mio-pliocène recoupée par ce puits est illustrée dans la figure 38.b. La coupe géoélectrique G et le log stratigraphique du puits p4 permettent d'établir le tableau comparatif (tableau n°7).

Ce tableau fait apparaître sur la coupe du puits p4 un terrain conducteur de résistivité et d'épaisseur plus faible que sur la coupe géoélectrique G puis un terrain résistant constitué d'une alternance de grés et d'argiles. Le niveau piézométrique localisé à la côte 1217.33 (Février 1986).

Age	Sondage électrique G			Coupe du puits P4		
	Formation	Epaisseur (m)	Résistivité ($\Omega.m$)	Formation	Epaisseur (m)	Résistivité ($\Omega.m$)
Mio-pliocène	Argiles	18.5	40	Argiles rouges	13	28
	Grés compacts	46	200	Grés et argiles	22.40	--
	Argiles	120	30	--	--	--

Tableau n° 7: Comparaison entre le sondage électrique G et le log stratigraphique du puits P4.

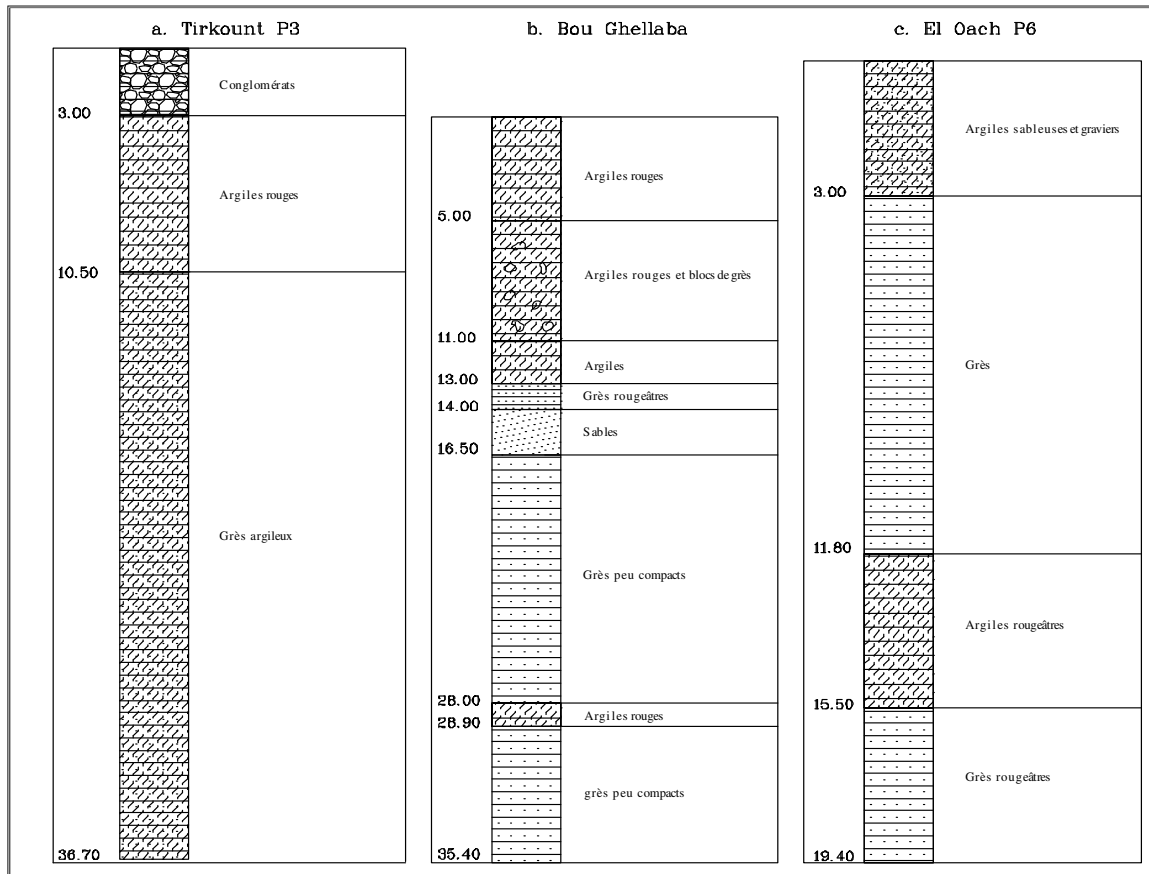


Fig. 38: log stratigraphiques de Tirkount, Bou Ghellaba, El Oach

c. Puits d'El Aoch (P6)

Ce puits localisé à 9 km au nord de celui de Tirkount (p3), a recoupé les formations données par la coupe de la figure 38.c.

Le tableau comparatif ci-dessous illustre les terrains rencontrés au puits P6 et dans le sondage électrique H.

Âge	Coupe géoélectrique H			Coupe du puits (p6)		
	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	-----

Tableau n°8: Comparaison entre le sondage électrique H et le log stratigraphique du puits P6.

Le tableau n°8 montre que l'horizon résistant conglomératique mis en évidence par la géophysique, est en fait représenté sur la coupe du puits p6 par des argiles sableuses et des graviers d'épaisseur plus faible et de résistivité plus importante. De plus, la formation argileuse imperméable de résistivité de 25 Ω m renferme quelques bancs gréseux mis en évidence par la coupe du puits p6.

Le niveau piézométrique situé à la côte 1205.5m (Février 1986) correspond à une nappe libre.

G. Résultats

L'étude des terrains mio-pliocènes et mésozoïques du bassin de Tirkount à l'aide du forage F2 et des puits, a permis à mieux préciser les résistivités et mieux comprendre le rôle hydrogéologique des différentes formations. Ces résultats traduisent l'existence de trois horizons aquifères interstratifiés. Suivant leur position stratigraphique, ces aquifères sont libres, semi captifs et captifs. Le tableau n°9 récapitule les résultats obtenus.

Age	Lithologie	Epaisseur (m)	Résistivité (Ω m)	Nature hydrogéologique	Type de nappe
Mio-pliocène	Conglomérats plus ou moins argileux	0-55	450-870	--	--
	Argiles rouges	--	--	Imperméable	--
	Alternance d'argiles et de grés.	--	--	Perméable	Nappe libre à porosité d'interstices
Crétacé inférieur	Argiles compactes avec de rares bancs de grés	60	80	Semi-perméable	Semi-captive
	Alternance d'argiles et de grés compactes fracturés	109	128	Perméable	Nappe libre (Tirkount) pouvant être captive (F2) à porosité d'interstices et de fractures et chenaux
	Argiles compactes et grés argileux	--	--	--	--

. **Tableau n° 9:** les résultats obtenus à l'aide du forage F2 et les puits.

II. POTENTIALITES HYDROGEOLOGIQUES

Les potentialités aquifères locales que suggèrent les caractérisations géologiques et géophysique sont étayées par les conditions d'émergences des nombreuses sources.

A côté des sources thermales d'origine structurale, coexistent les sources liées à la fissuration. Les plus importantes, sont celles issues des grés albiens du continental intercalaire.

A. Les émergences d'origine structurale

1. Aïn Ouarka

Située à 44 km à l'Est de Aïn Séfra sur la route de Mécheria. 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 élevée. .

2. Source El Hendjir

Cette source est située à 13 km d'Aïn Séfra, débite de 10 l/s, Cette source constitue une ressource importante pour les habitants de cette localité.

3. Aïn Tessala

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 grés Albien.

B. Les sources liées a la fracturation

1. Les sources de grés Aptiens

a. 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.

b. 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:

- **Sources émergentes dans les sables alluvionnaires**

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.

- **Sources émergentes dans les sables Pliocènes**

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.

- **Groupe de sources à la base du Crétacé inférieur**

Les sources affleurent généralement au niveau des piémonts, au passage entre les grés du Continental Intercalaire et ceux du Jurassique supérieur. Les sources du Djebel Aïssa font partie de ce mode de gisement (fig. 39).

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 grés siliceux compacts et fissurés. Les marnes sont rares et peu étendues. Par contre, au contact avec le Jurassique, les intercalations marneuses deviennent nombreuses.

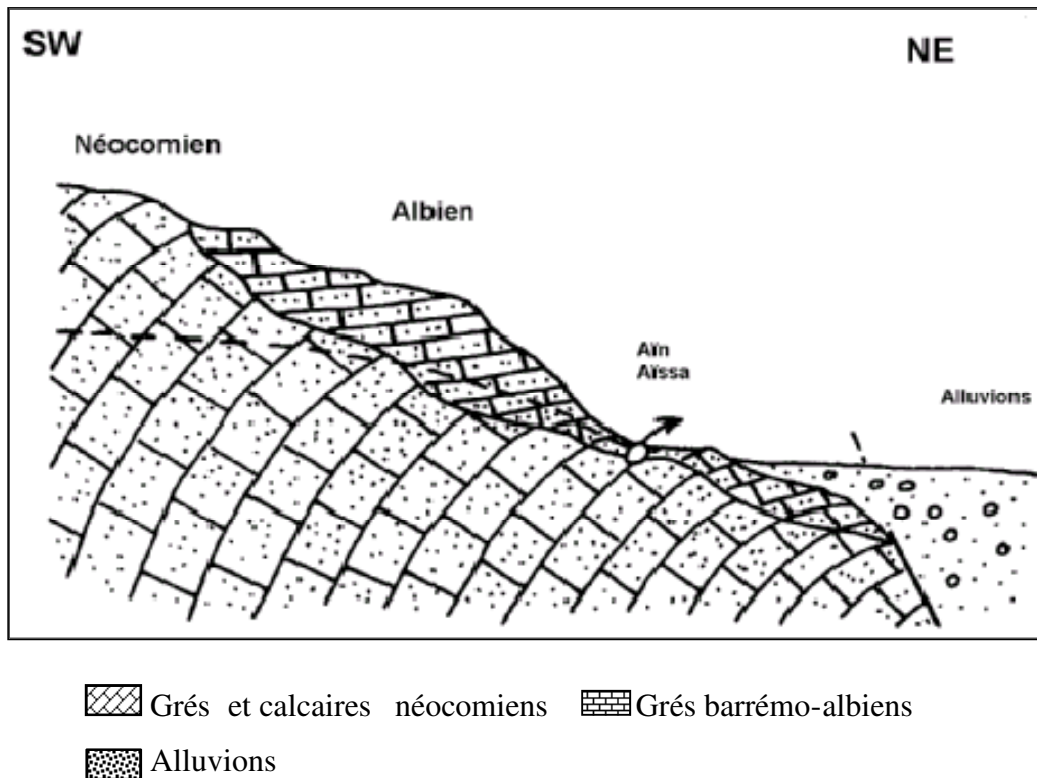


Fig. 39: Coupe schématique montrant les conditions d'émergence des sources du djebel Aïssa (MANSOUR, 2007)

Les sources de Djebel Aïssa sont localisées entre les niveaux argileux du continental Intercalaire et les grés siliceux du Jurassique supérieur. On distinguera:

a. Au niveau du Néocomien

- Niveau supérieur : Aïounes Rachgoun et Hassi El Haïssa
- Niveau inférieur : Aïounes Hassi Ben Debbane

b. Passage du Néocomien au Jurassique

- Aïounes Boudjenib
- Aïn Aïssa (2 l/s).

C. Coupes hydrogéologiques schématiques (fig. 40)

A l'aide de la prospection géophysique effectuée au niveau du synclinal de Nâama, on a dressé 02 coupes hydrogéologiques schématiques ; l'une entre le Djebel Morhad et Djebel Aïssa, l'autre entre Hadjeret Toulal et Djebel Tifkirt. (Mansour 2007)

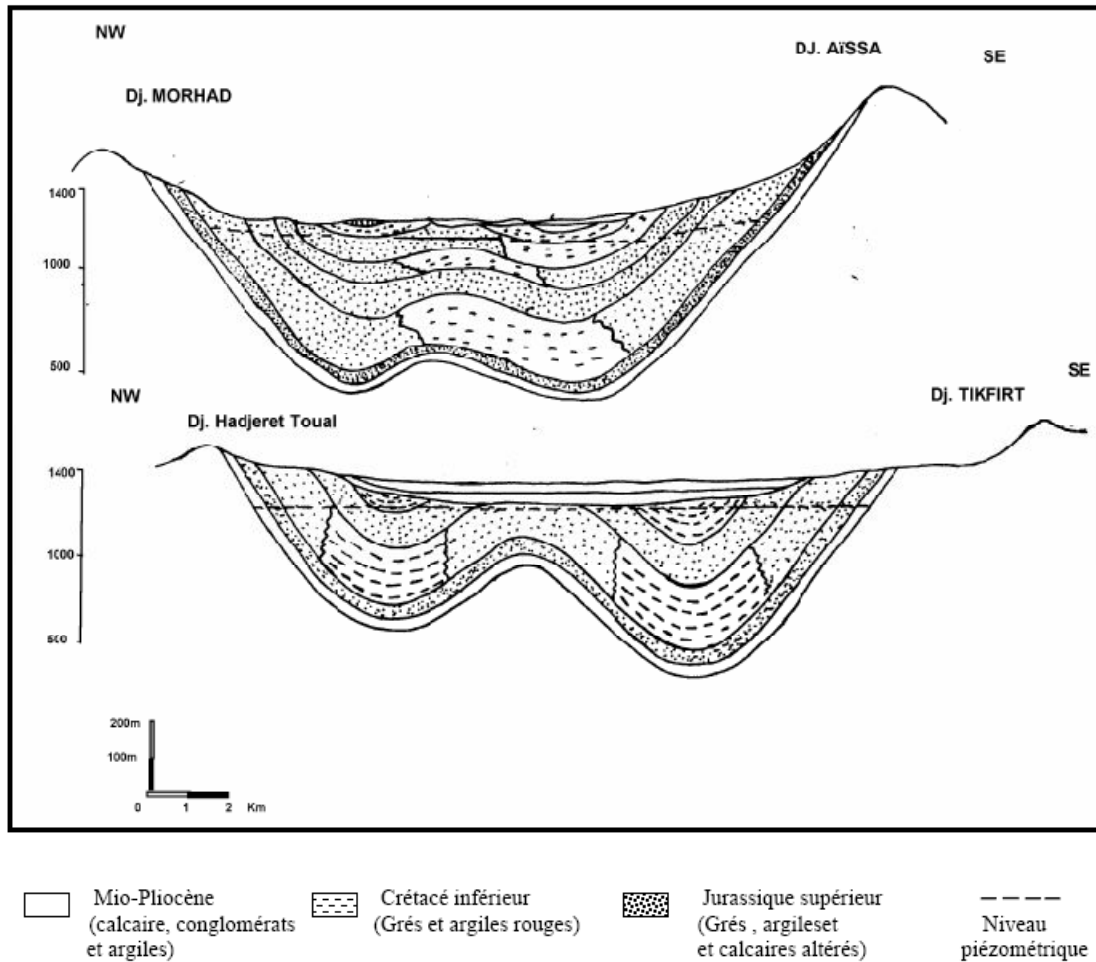


Fig. 40: Coupes hydrogéologiques schématiques à travers le synclinal de Nâama (MANSOUR, 2007)

III. CONCLUSION

L'étude géophysique, les puits et les sondages mécaniques ont précisé la structure géologique, la géométrie et la nature des réservoirs aquifères existants au niveau du bassin de Tirkount.

a. Du point de vue géologique, la structure du bassin est plissée de direction NE-SW et affectée, dans sa partie centrale, par un accident tectonique de direction N110°E (Djebel Mekter) à N130°E (Oued Tirkount). L'accident de Ras Touil-Ain Sefra a joué un rôle prépondérant dans la répartition des faciès détritiques du Jurassique et au Crétacé inférieur. Cet accident recoupe l'ensemble des structures et limite l'extension des terrains tertiaires vers le SW (A.ABADA 1986).

b. Du point de vue hydrogéologique, l'étude géophysique et les sondages mécaniques mettent en évidence trois aquifères interstratifiés séparés par des lentilles argileuses et représentés par :

- Des grés mio-pliocènes à porosité d'interstices dans lesquels s'intercalent des lentilles argileuses imperméables, dont l'épaisseur varie de 0 à 150 m. La nappe peut être libre, semi-captive ou captive.
- Une formation gréseuse d'âge crétacé à porosité d'interstices, et fractures et de chenaux dans laquelle s'intercalent des lentilles argileuses. Cette formation gréseuse a été recoupée par le forage F2 et atteint 109 m d'épaisseur. Le niveau piézométrique localisé dans les argiles (forage F2) et dans les grés (P3) montre que la nappe peut être libre ou captive.
- Une formation gréseuse d'âge Jurassique à porosité d'interstices et de fractures dans laquelle s'intercalent des lentilles d'argiles.

DEUXIEME PARTIE

Pour les raisons déjà invoquées dans la première partie, les données disponibles ne concernent que la nappe superficielle du synclinal de Nâama : la nappe mio- pliocène.

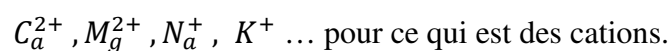
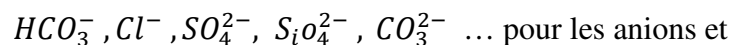
Ces données portent sur :

- Les données d'une campagne de prélèvements d'échantillons d'eau (2006) aux fins d'analyse ;
- la côte de la surface libre mesurée au niveau de quelques puits et forage.

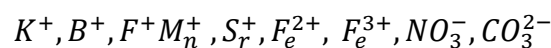
Elles nous serviront pour préciser la caractérisation de la nappe mio-pliocène et élaborer sa carte hydrogéologique.

CHAPITRE 1**CARACTERISATION HYDROGEOCHIMIQUE**

En abordant l'interface atmosphère-sol, l'eau a la composition des eaux de pluie. Son écoulement à la surface du sol et dans le sous-sol modifie son contenu chimique selon ses interactions avec les matériaux géologiques traversés. Elle acquiert alors un chimisme qui reflète la dynamique du système de par la composition des minéraux dissous ou précipités. Comme, par ailleurs, c'est là un système ouvert, ce chimisme est aussi soumis à l'influence de facteurs externes. Sa caractérisation se réfère d'abord au contenu des éléments chimiques majeurs ($C > 10$ mg/l) qui le constituent :



ainsi qu'aux éléments mineurs ($5 \text{ mg} < C < 10 \text{ mg}$) :



et aux éléments traces en sus des paramètres relatifs à la dureté, l'alcalinité, la conductivité, le pH, la température.

I. CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES SUR LE CHIMISME DES EAUX SOUTERRAINES

A. Facteurs du chimisme

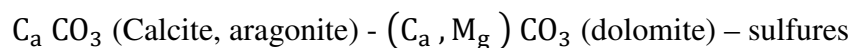
La conductivité, et par extension la minéralisation, est le paramètre le plus facilement accessible pour avoir une idée première du contenu chimique de l'eau. Elle est déterminée par la solubilité des minéraux constitutifs de la roche et modulée par le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, lui-même assujéti aux paramètres hydrodynamiques et aux conditions aux limites. L'ordre de grandeur de la minéralisation s'étend du pôle des eaux en contact avec les minéraux du cortège des roches évaporitiques (gypse, anhydrite, halite) au pôle des eaux en contact avec les minéraux des roches cristallines et autres sables quartziques de moindre minéralisation.

B. Aperçu sur quelques systèmes chimiques

Deux types de systèmes sont en rapport avec le contexte de cette étude : les systèmes diphasiques et les systèmes triphasiques.

1. Systèmes diphasiques

Ce sont ceux des sels comme les chlorures, les sulfates et les nitrates, souvent associés à la dissolution des minéraux du contexte évaporitique :



et accessoirement environnemental.

2. Systèmes triphasiques

Le système carbonaté $CO_2 - H_2O - \text{carbonates}$ en est le prototype du fait de la prévalence du contexte sédimentologique calcaire et dolomitique au niveau des structures anticlinales qui délimitent le synclinal de Nâama. Ses concentrations en éléments majeurs HCO_3^- , C_a^{2+} , M_g^{2+} sont sous le contrôle de la pression partielle en CO_2 et de la différence

entre le pH d'équilibre et le pH mesuré (dpH) relatif respectivement à la calcite et à la dolomite. Ce dpH permet de rendre compte de l'état de la solution à travers les indices de saturation de la calcite (ISc) et de la dolomite (ISd).

De ce fait, l'état du système $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{carbonates}$ est assujéti aux variables p_{CO_2} et ISc qui déterminent les concentrations en HCO_3^- , C_a^{2+} et M_g^{2+} et l'acidité de l'eau mesurée par le pH. Pour cette raison, on s'accorde à voir en p_{CO_2} et ISc, des indicateurs fiables de l'état de l'eau, eu égard aux conditions d'écoulement et au temps de contact de l'eau avec la roche aquifère.

Quant à l'indice de saturation relatif à un minéral donné, il indique si l'eau a été suffisamment en contact avec ce minéral.

Dans les systèmes calco-carboniques :

- la sous-saturation de l'eau ($\text{IS} < 0$) est reliée à des temps de résidence courts. L'eau dispose de son potentiel de dissolution de ce minéral
- La sursaturation ($\text{IS} > 0$) est liée à des temps de résidence longs ou à des dégazages dans l'aquifère. L'eau a alors tendance à laisser précipiter ce minéral.
- $\text{SI} = 0$ est caractéristique d'une eau saturée i.e. en équilibre.

C. Origine des éléments en solution

La géochimie renseigne sur la répartition des éléments chimiques. Ainsi pour ce qui concerne, les éléments majeurs caractéristiques du chimisme des eaux, on relève :

1. Calcium (C_a^{2+})

L'apport du calcium par la pluie est négligeable par rapport à celui des matériaux carbonatés.

2. Magnésium (M_g^{2+})

L'origine du magnésium dans les eaux souterraines est interne au système aquifère. Sa cinétique de dissolution est lente quand elle porte sur des calcaires, des dolomies mais plus

rapide quand elle concerne des minéraux de roches évaporitiques. Son acquisition est alors corrélée à celle du Cl^- et du SO_4^{2-} .

3. Sulfates (SO_4^{2-})

Son origine est variée : externe (pluie, anthropiques) interne (oxydation de minéraux sulfurés, dissolution de gypse, 'anhydrite), biologique (dégradation de matière organique).

4. Sodium, Potassium, Chlorures (Na^+ , K^+ , Cl^-)

A priori, leur origine est météoritique ou anthropique. Elle peut aussi être interne au système aquifère dans le cas de lessivage de formations évaporitiques. Des processus de reconcentration en ces éléments peuvent aussi résulter de :

- l'évapotranspiration et l'évaporation de nappes peu profondes,
- de processus biologiques favorisant l'absorption sélective de K^+ par les plantes,
- d'échanges de base avec les argiles ($\text{Na}^+, \text{K}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$) ou avec les matières organiques.

II. APPLICATION A LA NAPPE LIBRE DU SYNCLINAL DE NAAMA

Les données hydrochimiques proviennent de la campagne de prélèvements d'eau effectuée dans 16 sites par la Direction de l'Hydraulique de la willaya de Nâama. Elle a permis de caractériser 8 variables chimiques :



et 5 variables physico-chimiques :

pH, TH, C_w , TDS, TS

(Tableau n°10)

CHAPITRE 1

Caractérisation hydrogéochimique

Puits	X	Y	pH	TH	C _{eau}	TDS	RS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃
NA02	216800	299300	7,5	36,65	1000	758	640	73	44	30	6	140	98	101	
NA04	212700	299600	8	29	1080	818,64	440	60	34	46	4	77	52	273	
NA08	203800	290300	7,7	31	682	487,63	525	80,6	26,1	19,1	4,1	95,1	60,9	209,2	13,3
NA10	204300	282700	8,2	33,9	700	500,5	560	74	37	21	3	154	25	242	
NA12	211200	278100	8	47,45	1200	909,6	900	122	41	51	1	130	159	206	
AF02	189200	271600	6,6	42,45	885	670,83	631	90,3	47,8	31	6,9	205	73	216,3	1,3
AF04	200200	271000	8,2	33,35	800	572	520	96	23	25	3	72	78	205	
AF06	201100	268300	6,7	21,25	1400	1061,2	397	75	6	21,3	3,3	34,7	35,7	260,6	10,1
AF09	190100	267600	8,1	35,35	800	572	520	76	40	30	2	96	67	256	
AF10	194200	263200	8	35,8	797	569,85	438	105	23	15,1	1,3	179,1	62	144,1	2,5
AF11	192000	259500	7,7	57,25	1079	817,9	804	154	45	35,3	4,1	232	160	193,7	11,3
AF12	189000	258000	7,9	45,35	915	693,57	658	123	35,1	26	4,1	140	105	218,7	12
AF16	191300	253100	7,7	56,75	2766	2096,63	764	107	72	25,9	5,3	180	169	156,5	26,4
AF17	185000	252900	7	81	2766	2074,5	1648	216	64,8	242,1	11,1	247	638	209,3	11,4
S1	190500	248000	7,7	35,15	975	739,05	713	100,2	24,3	67,3	6,9	146,9	98,3	258,1	12
S2	197300	246000	7,3	51,55	600	429	951	93	68	103	8,3	189	211	267,7	12,3
AF41	183700	255000	8,2	28,55	1700	1288,6	460	48	40	32	5	53	68	232	
AF43	189700	252000	7,9	57,55	915	693,57	1280	134	58	145	2	250	324	290	

Tableau n°10: Résultats des analyses chimiques des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama (Avril 2006)

Unités : coordonnées (m) - titre hydrométrique (°F) - conductivité (µS/cm) - concentrations (mg/l).

Nom	Cations[meq]	Anions[meq]	Ca	Mg	Na	K	HCO3	CO3	Cl	SO4	Balance	IsDolor	IsGyps	IsCalcite	IsAragor
NA04	7,89500	7,54520	60	34	46	4	273		52	77	+2%	1,62	-1,65	0,76	0,61
NA08	7,10540	7,57020	80,6	26,1	19,1	4,1	209,2	13,3	60,9	95,1	-3%	0,79	-1,43	0,47	0,32
NA10	7,72740	7,87950	74	37	21	3	242		25	154	+1%	2,02	-1,27	0,98	0,84
AF02	9,96450	9,91560	90,3	47,8	31	6,9	216,3	1,3	73	205	+0%	-1,13	-1,09	-0,60	-0,75
AF09	8,44000	8,08560	76	40	30	2	256		67	96	+2%	1,91	-1,47	0,92	0,78
AF10	7,82220	7,92390	105	23	15,1	1,3	144,1	2,5	62	179,1	+1%	1,10	-1,06	0,71	0,56
AF11	13,02800	12,89500	154	45	35,3	4,1	193,7	11,3	160	232	+1%	1,12	-0,84	0,65	0,51
AF12	10,26200	9,86170	123	35,1	26	4,1	218,7	12	105	140	+2%	1,48	-1,12	0,84	0,69
AF16	12,52600	11,96000	107	72	25,9	5,3	156,5	26,4	169	180	+2%	0,99	-1,10	0,41	0,26
AF17	26,92500	26,94900	216	64,8	242,1	11,1	209,3	11,4	638	247	+0%	-0,04	-0,75	0,06	-0,08
S1	10,10300	10,46200	100,2	24,3	67,3	6,9	258,1	12	98,3	146,9	-2%	0,98	-1,19	0,62	0,48
S2	14,92900	14,68400	93	68	103	8,3	267,7	12,3	211	189	+1%	0,56	-1,16	0,17	0,03
AF41	7,20650	6,82550	48	40	32	5	232		68	53	+3%	1,86	-1,90	0,80	0,65
AF43	17,81800	19,09800	134	58	145	2	290		324	250	-3%	1,87	-0,90	0,94	0,80

Tableau n° 11: Résultats du traitement des données des analyses chimiques des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama

A. Validation des résultats

Seules 14 analyses présentant un bilan ionique à $\pm 5\%$ sont validées par l'examen de leur balance ionique.

Aux variables chimiques et physico-chimiques qui y ont été mesurées, sont adjointes les variables du système diphasique caractéristique de l'environnement évaporitique et celle du système triphasique $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{carbonates}$ (tableau n°11). Le traitement préliminaire des données a été réalisé à l'aide du logiciel DIAGRAMMES (Simler, 19). Les résultats obtenus sont portés dans le tableau n°11.

B. Considérations sur l'hydrochimie de la nappe superficielle

Les observations suivantes sont déduites des tableaux et même des résultats des relations entre les éléments chimiques.

1. Variations des paramètres physico-chimiques

Le pH de l'eau est compris entre 6.5 et 8.2. Il se situe dans la marge acceptable des eaux potables. Usuellement, celui des eaux naturelles oscille entre 7.5 et 8.5. Pour ce niveau de pH, les ions carbonates sont minoritaires devant les ions bicarbonates ce dont on peut s'assurer en examinant le rapport $\frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \ll 1$.

Le TH de l'eau est compris entre 28 et 81°F. Il indique une eau dure à très dure, plus fortement corrélée à Ca ($r = 0.91$) qu'à Mg ($r = 0.76$).

La conductivité est parfaitement corrélée à la minéralisation ($r = 0.99$) ainsi qu'il fallait s'y attendre.

La minéralisation (<1g/l) est symptomatique d'une eau douce à saumâtre (<10 g/l). Sa distribution spatiale, effectuée sur cette base, met en évidence 3 familles d'eau :

- un groupe prédominant d'eaux de moindre minéralisation (<1000 mg/l),
- un second groupe (site 10) de minéralisation intermédiaire (<1500 mg/l)

- et un dernier groupe (sites 6 et 7) caractéristique d'une eau plus minéralisée (>2000 mg/l) (fig. 41).

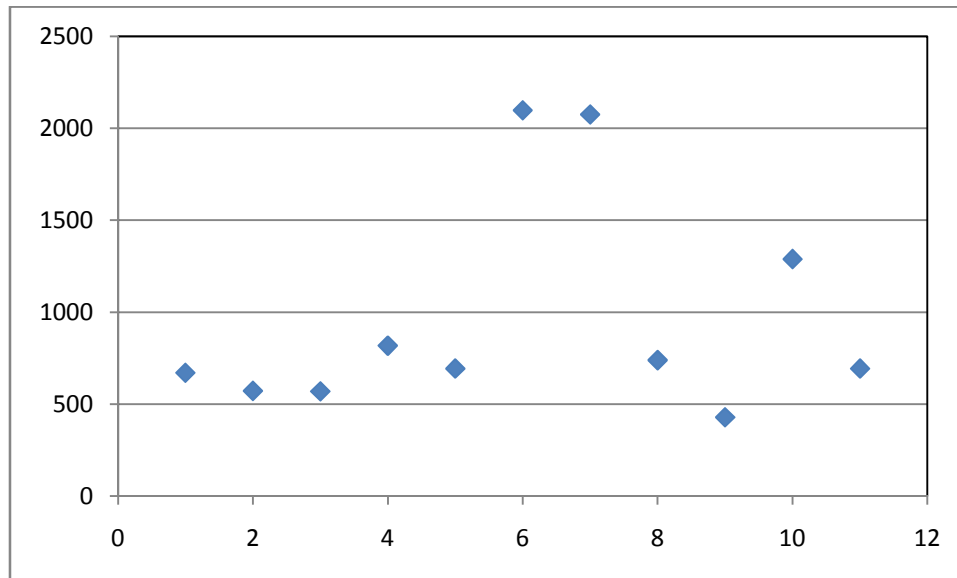


Fig. 41: Répartition spatiale de la minéralisation

2. Répartition des différents types d'ions

a. Sulfates, chlorures et alcalins

Le rapport SO_4/Cl , presque toujours supérieur à 1, est en moyenne égal à 1.75. A priori, c'est là une valeur sensiblement éloignée du rapport observé dans les eaux des précipitations des stations de la région de SAIDA, à défaut de disposer de celles de la région étudiée. Les pics de teneurs en sulfates observés çà et là seraient, de ce fait, à imputer à des causes internes au système aquifère mio – plio - quaternaire, probablement à l'échange cationique entre l'eau et les intercalations des lentilles argileuses ou à la dissolution des minéraux des évaporites. L'examen des rapports des forages, s'ils avaient été accessibles, aurait permis d'y apporter une réponse.

La relation Na – Cl livre une bonne corrélation. A l'instar de la relation Cl - SO_4 , elle donne à penser que ces éléments sont issus de la combinaison des facteurs présidant aux apports par infiltration des précipitations et par dissolution dans l'aquifère.

Le faible coefficient de variation de HCO_3^- et du pH, d'une part, et la très faible corrélation relevée entre eux, d'autre part, suggèrent que le pouvoir de dissolution du ciment dolomitique de la matrice gréseuse est limité par la pCO_2 de l'eau.

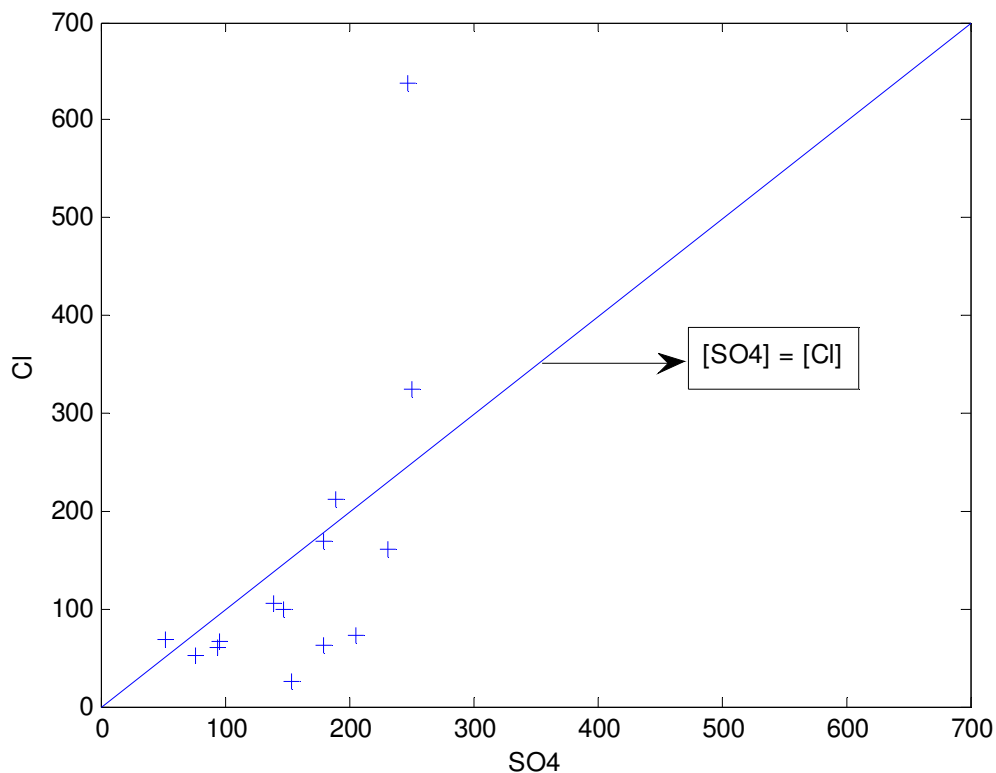


Fig. 42: Répartition spatiale du rapport SO_4 / Cl

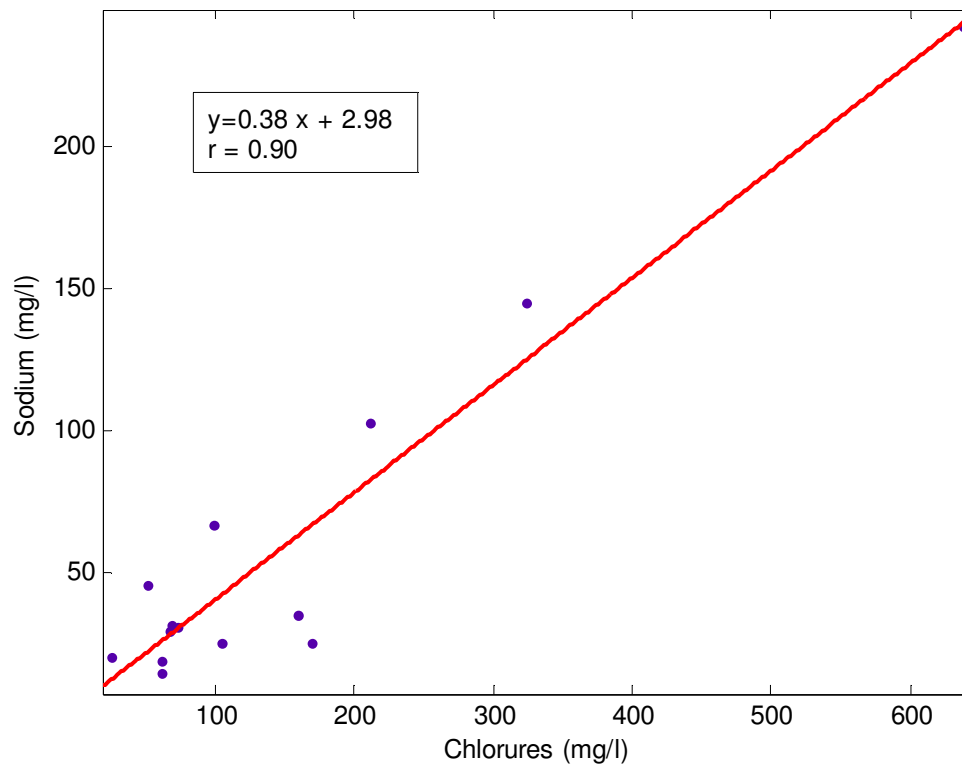
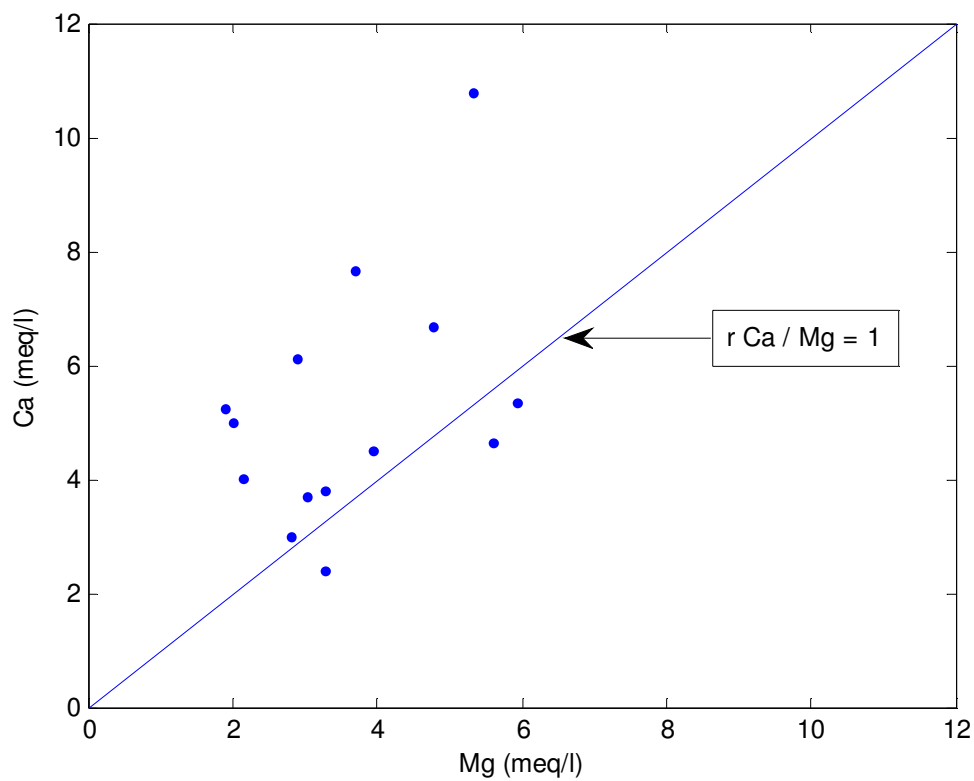
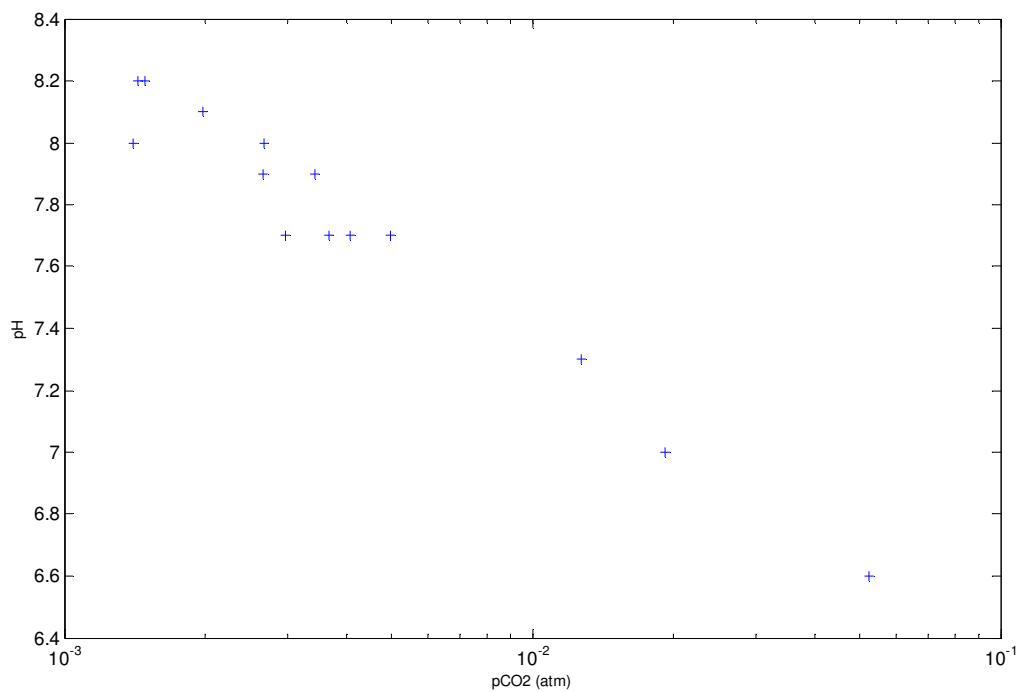


Fig. 43: Relation chlorures –sodium

b. Carbonates

Le rapport C_a / M_g reste presque toujours supérieur à 1 (fig. 44) hormis au niveau des sites AF16, AF20/S2 et AF41. On serait tenté d'imputer cette différenciation au pH puisque selon le schéma classique, une augmentation du pH induirait une dissolution moindre de C_a^{2+} et l'augmentation des bicarbonates serait le résultat de la dissolution du carbonate double de calcium et de magnésium i.e. de dolomies ou de calcaires dolomitiques.

**Fig. 44:** Relation calcium – magnésium**Fig. 45:** Relation $pH - pCO_2$

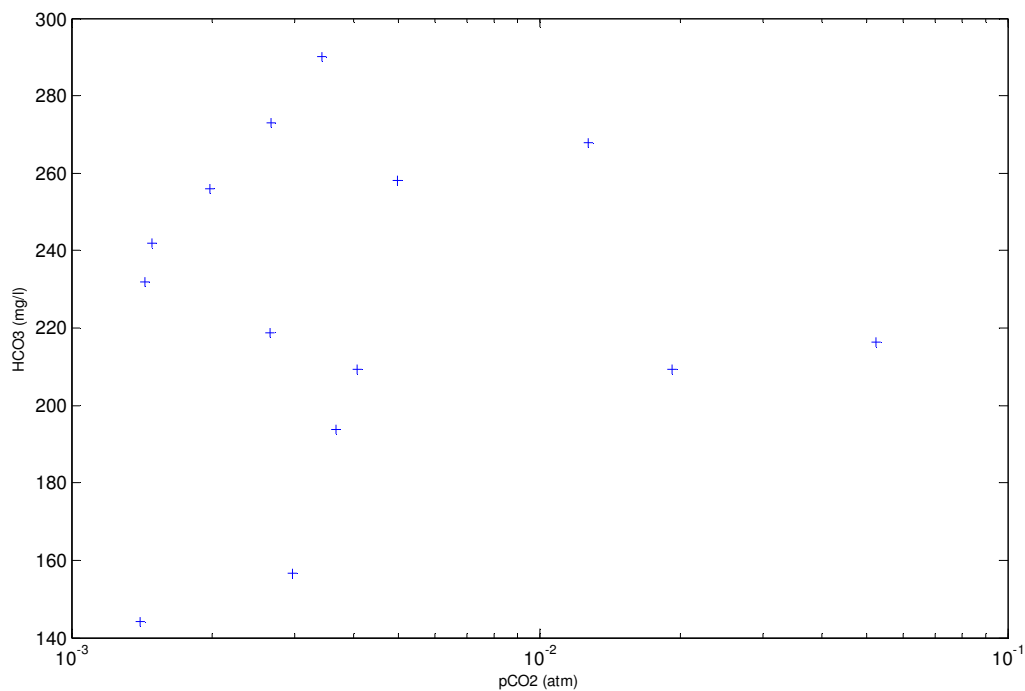


Fig. 46: Relation $HCO_3 - p_{CO_2}$

La corrélation observée entre les teneurs en calcium et en sulfates montre un alignement au dessus de la droite de dissolution du gypse. L'excès de calcium, exprimé par le rapport $C_a^{2+}/SO_4^{2-} > 1$ (fig. 47), invalide l'idée de sa contribution aux échanges cationiques avec les argiles. Cela est confirmé par l'excès en Na que montre la répartition des points au dessus de la droite $C_a^{2+}/N_a^+ = 1$ (fig. 48). La bonne corrélation entre Na et Cl, révélée par la figure 49, incline à penser à une dissolution de l'halite au cours du transit de l'eau comme pourrait aussi en attester le rapport $Cl/N_a^+ \sim 1$.

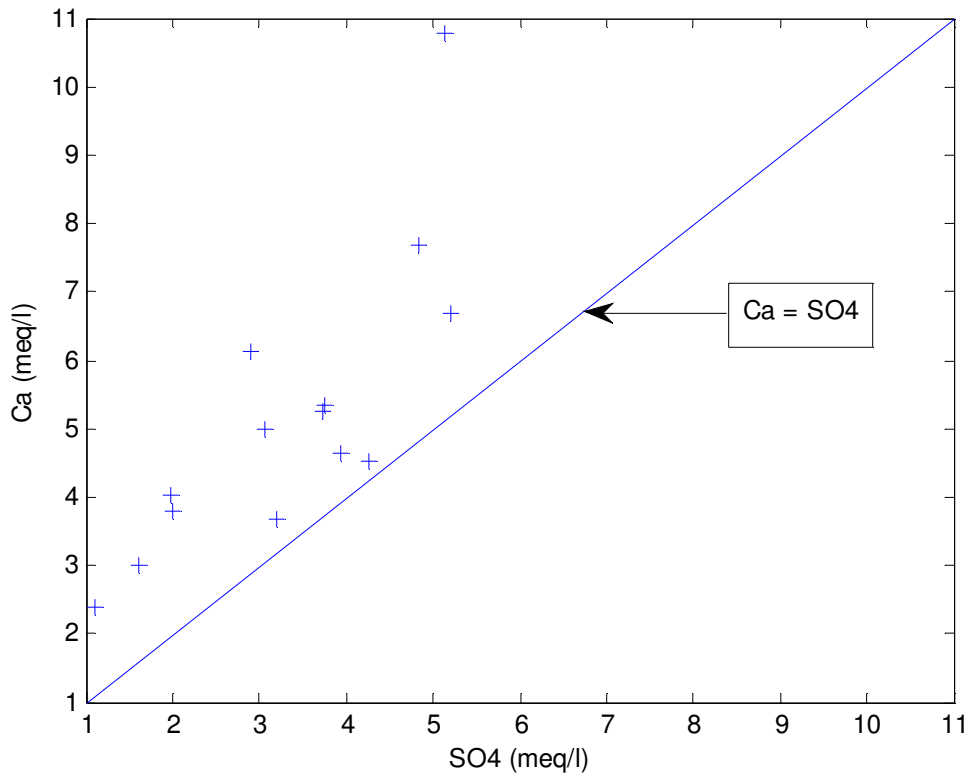


Fig. 47 : Relation calcium – sulfates

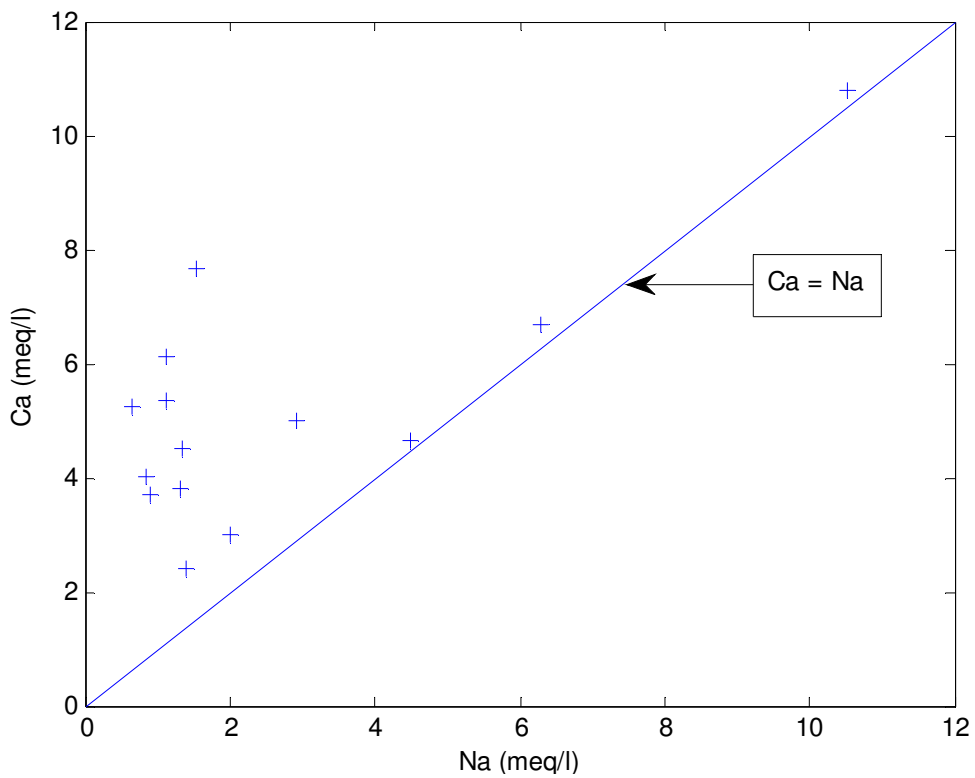
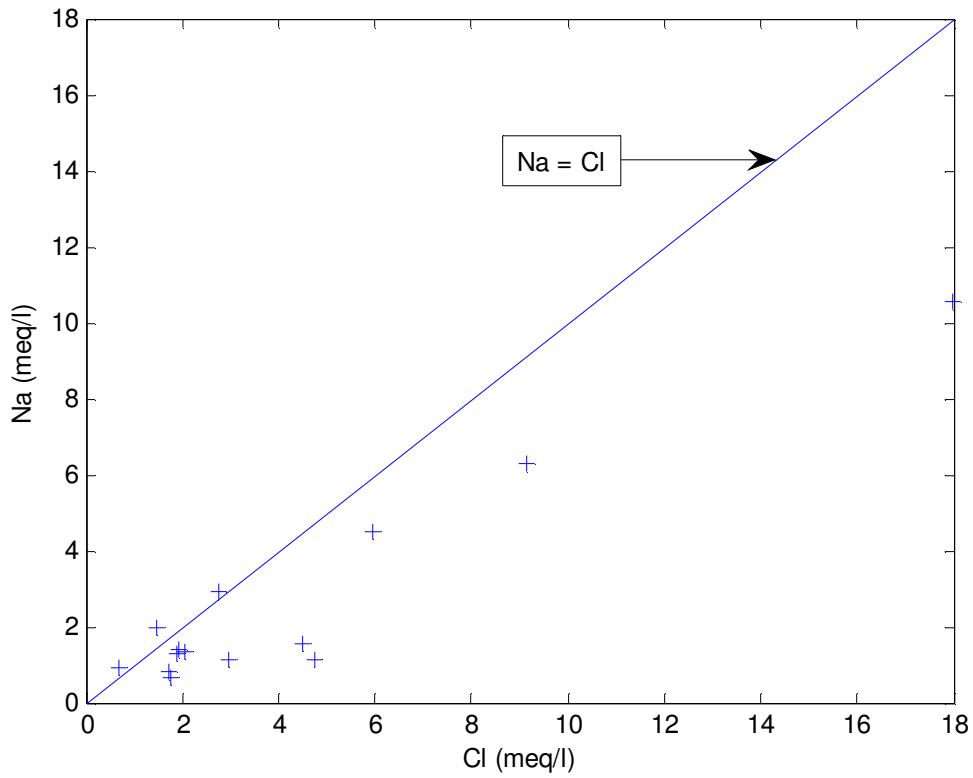
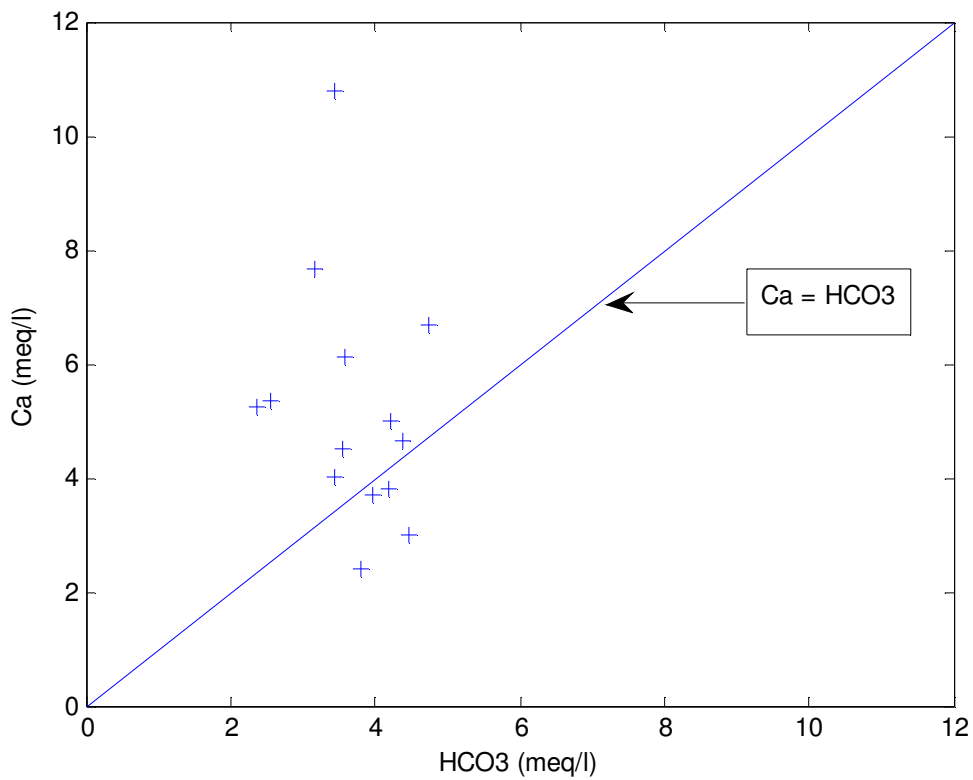


Fig. 48: Relation calcium – sodium

**Fig. 49 :** Relation sodium – chlorures**Fig. 50:** Relation Ca – HCO₃

Dans ce cas, l'excès de C_a^{2+} , montré par le rapport $C_a^{2+}/HCO_3^- > 1$, veut dire que la dissolution du gypse produit d'autant plus de C_a^{2+} qu'il ne peut être consommé par la précipitation de la calcite.

La répartition des points de la figure 50 au dessus de la droite et sur la droite $C_a^{2+}/N_a^+ = 1$ suggère deux origines à ces 2 éléments qui s'expriment, ici par un excès de C_a^{2+} et un déficit en N_a^+ , là par une bonne corrélation $C_a^{2+} - N_a^+$. Pour s'expliquer cette différence, il faut convenir soit que des phénomènes de dissolution affectent aussi bien le gypse que la calcite soit que la dissolution concerne exclusivement les minéraux carbonatés. C'est ce que semble confirmer la répartition des points dans la figure 51.

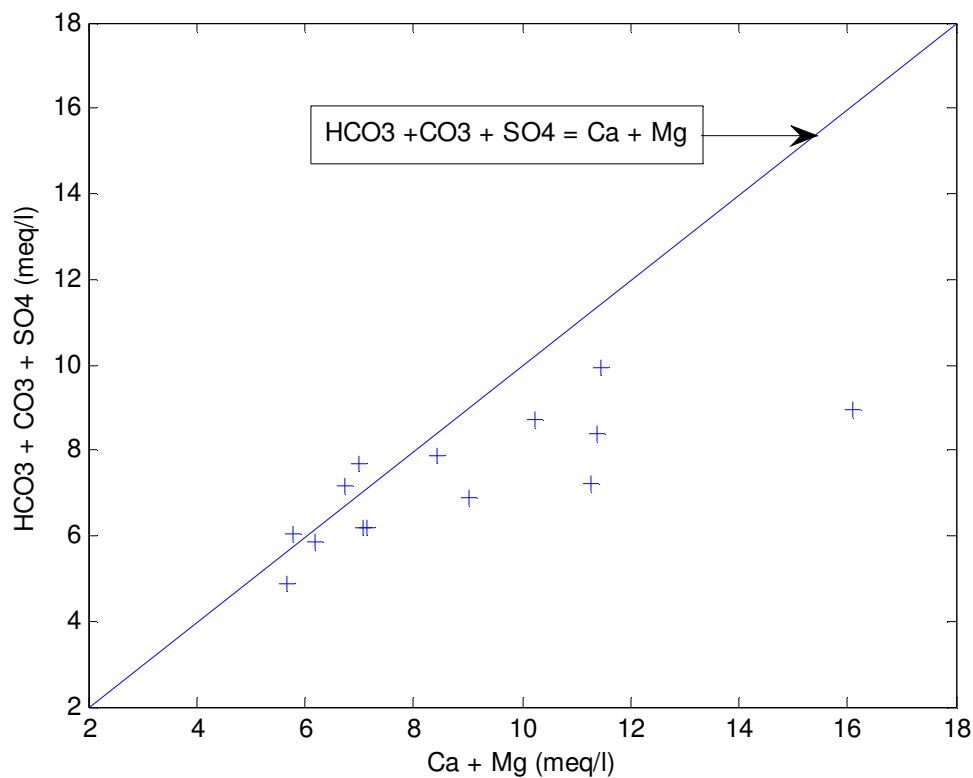


Fig. 51 : Relation $(C_a^{2+} + M_g^{2+}) - (HCO_3^- + CO_3^{2-} + SO_4^{2-})$

c. Indices de saturation et p_{CO_2}

Quelques indices de saturation en rapport avec les systèmes chimiques rencontrés ont été calculés pour voir l'état d'équilibre des eaux de l'aquifère mio-plio-quadernaire avec la calcite, la dolomite, le gypse, l'aragonite et l'anhydrite (tableau n° 11). La figure 52 en donne une représentation plus synthétique.

Les échantillons d'eau prélevés au niveau des 15 sites retenus sont tous sursaturés relativement à la calcite et l'aragonite (fig.55, 56) et sous-saturés pour ce qui concerne l'anhydrite et le gypse (fig.57, 58). Quant à l'indice de saturation relatif à la dolomite (fig.54), il indique une sursaturation générale au niveau de tous les points de prélèvement hormis au site AF02 où l'eau serait sous-saturée relativement à la dolomite et au site AF 17 où elle serait en quasi équilibre (fig.59)

L'examen des figures suivantes montrent qu'il y a une bonne corrélation entre l'indice de saturation de la calcite et l'indice de saturation de la dolomite (fig. 60). La même observation peut être faite en ce qui concerne la corrélation entre l'indice de saturation de la calcite et le pH des eaux (fig. 61). De ces observations, on peut conjecturer de l'existence d'une aussi bonne corrélation entre l'indice de saturation de la dolomite et le pH (fig. 62).

Pour ce qui est des pressions partielles en CO_2 , elles sont supérieures à celles de l'atmosphère ($\sim 10^{-4}$ atm) de près de deux ordres de grandeurs. L'étude de sa relation avec le pH révèle qu'elle lui est corrélée négativement i.e. lorsque le pH augmente, la p_{CO_2} diminue.

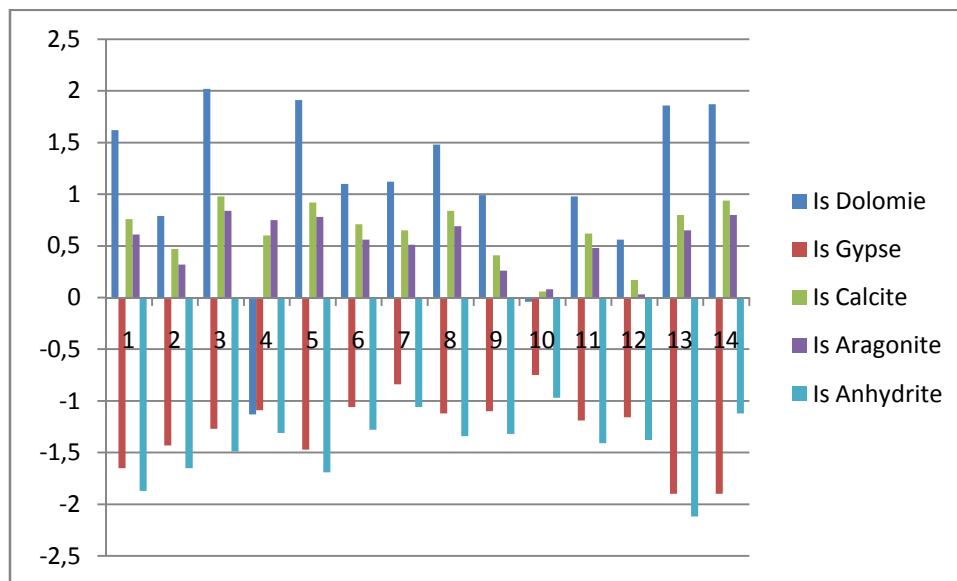


Fig. 52: Distribution spatiale des Indices de saturation

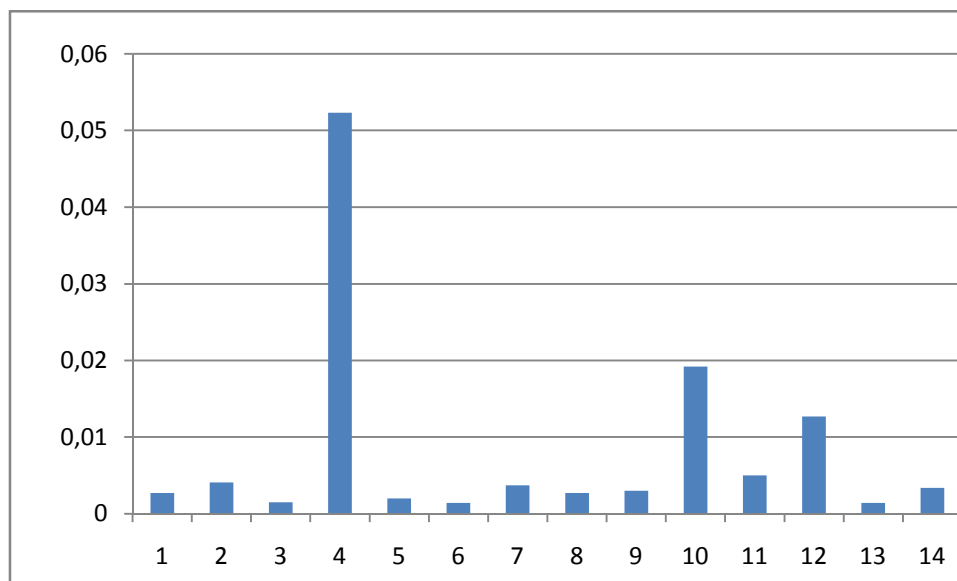


Fig. 53: Distribution de la pression partielle en CO₂

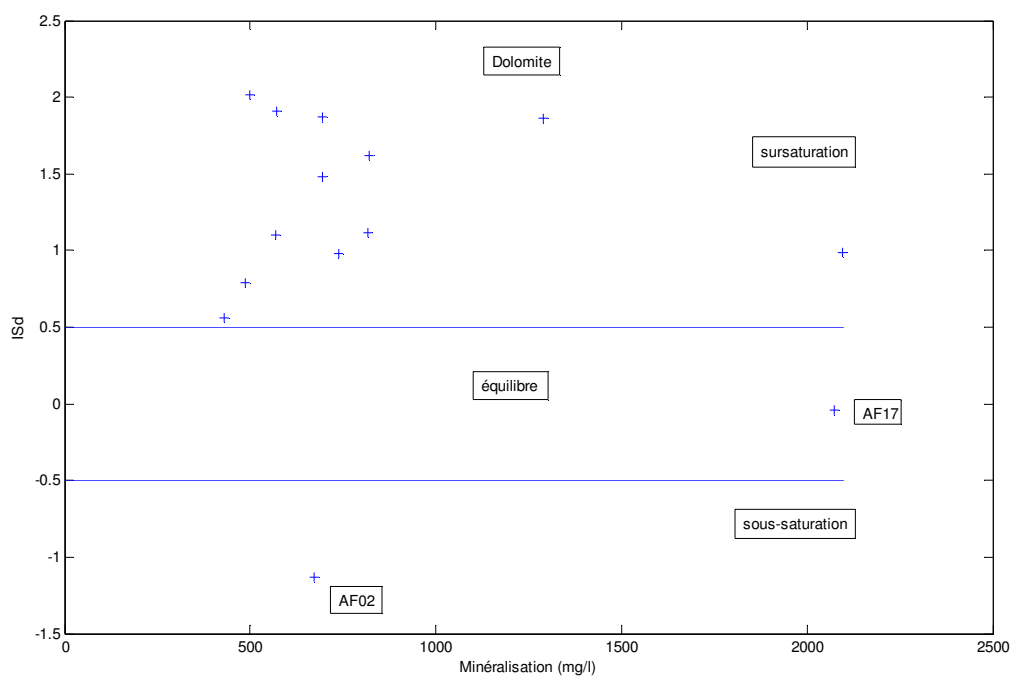


Fig. 54: Etat d'équilibre des eaux de l'aquifère avec la dolomite

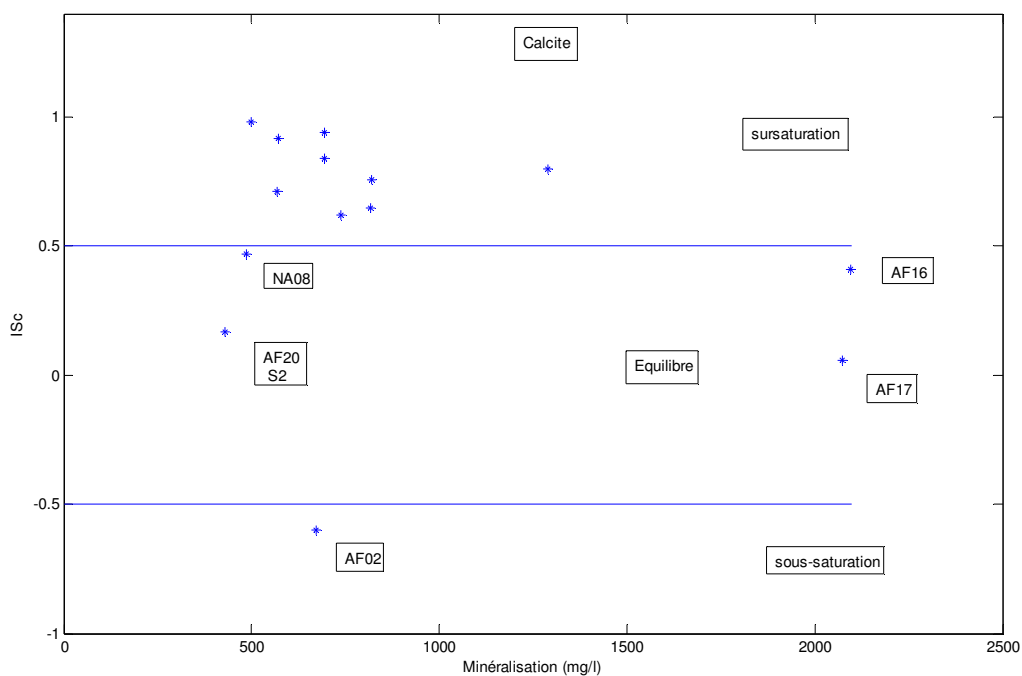


Fig. 55: Etat d'équilibre des eaux de l'aquifère avec la Calcite

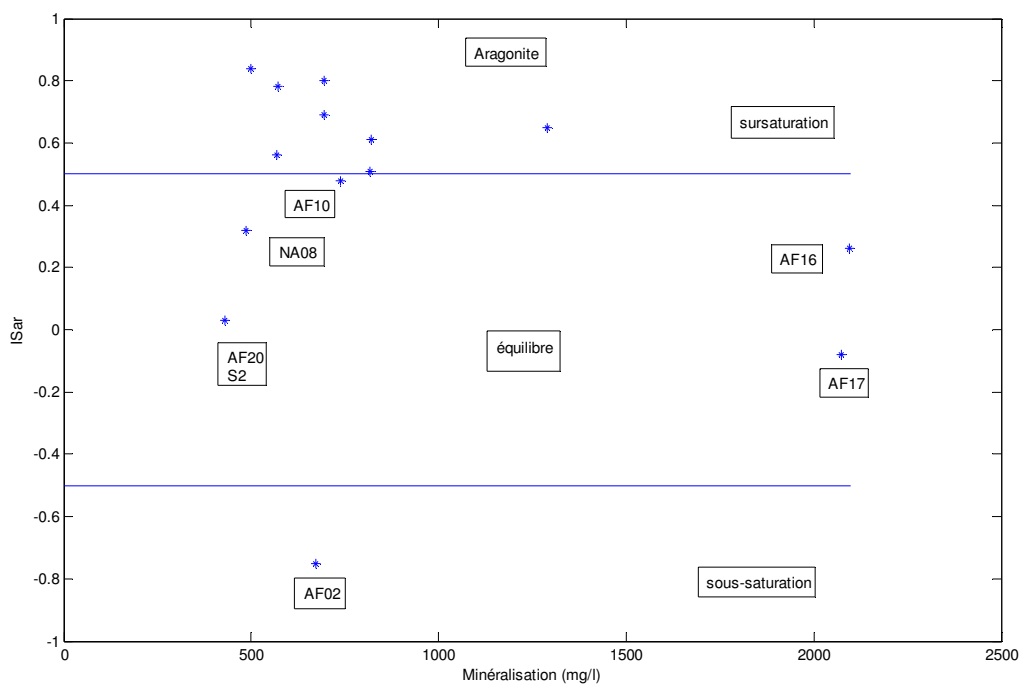


Fig. 56: Etat d'équilibre des eaux de l'aquifère avec l'Aragonite

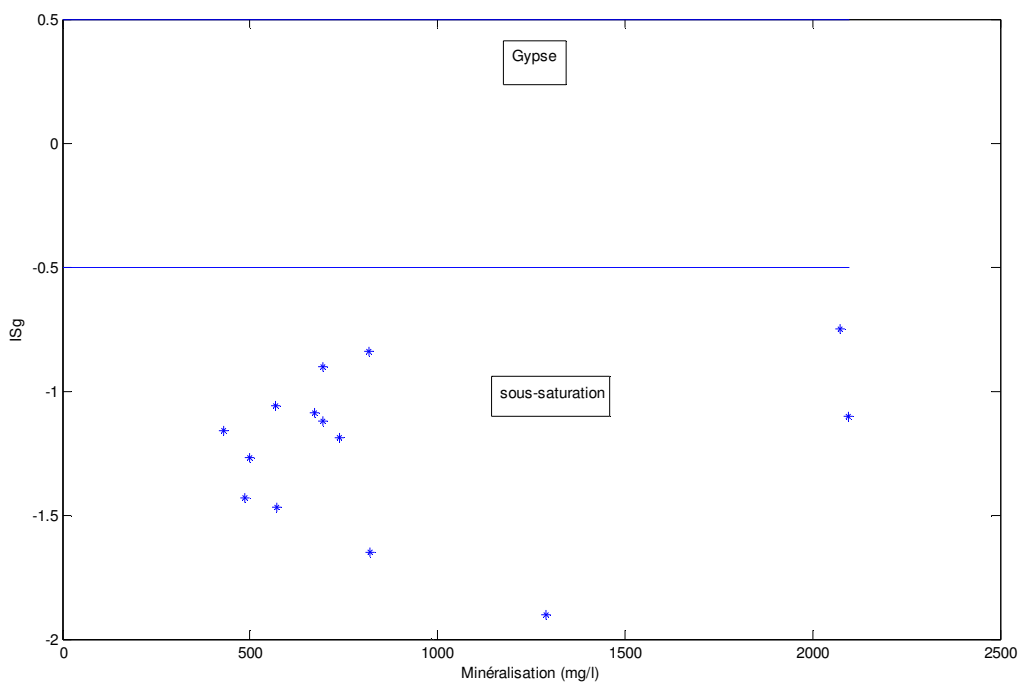


Fig. 57: Etat d'équilibre des eaux de l'aquifère avec le Gypse

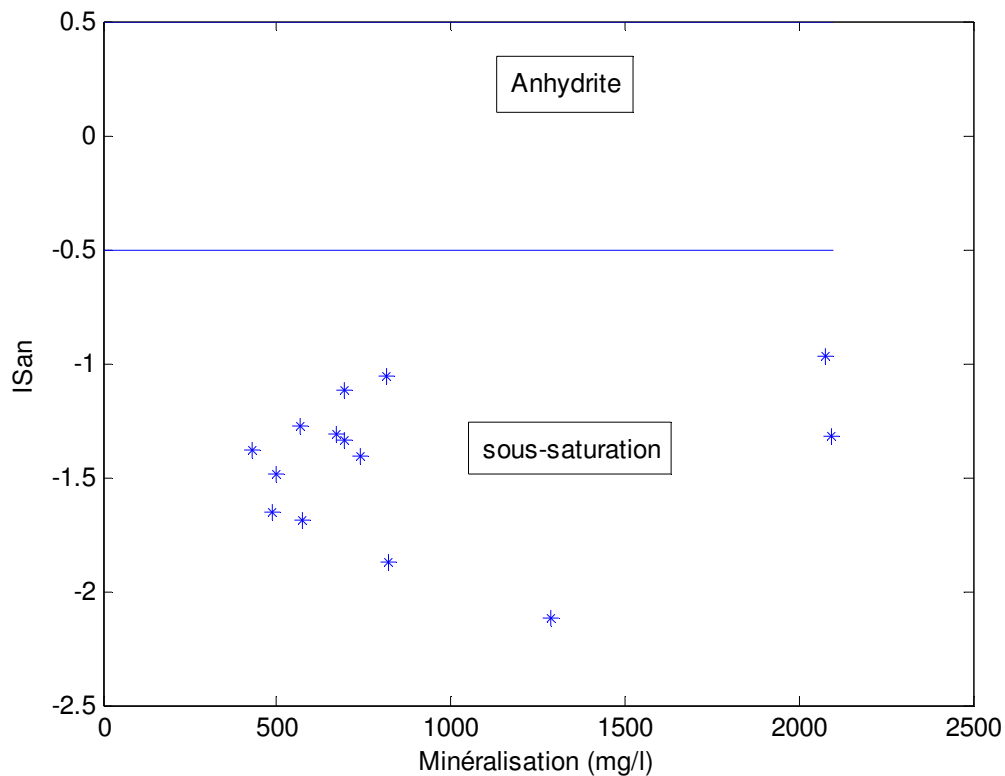


Fig. 58: Etat d'équilibre des eaux de l'aquifère avec l'Anhydrite

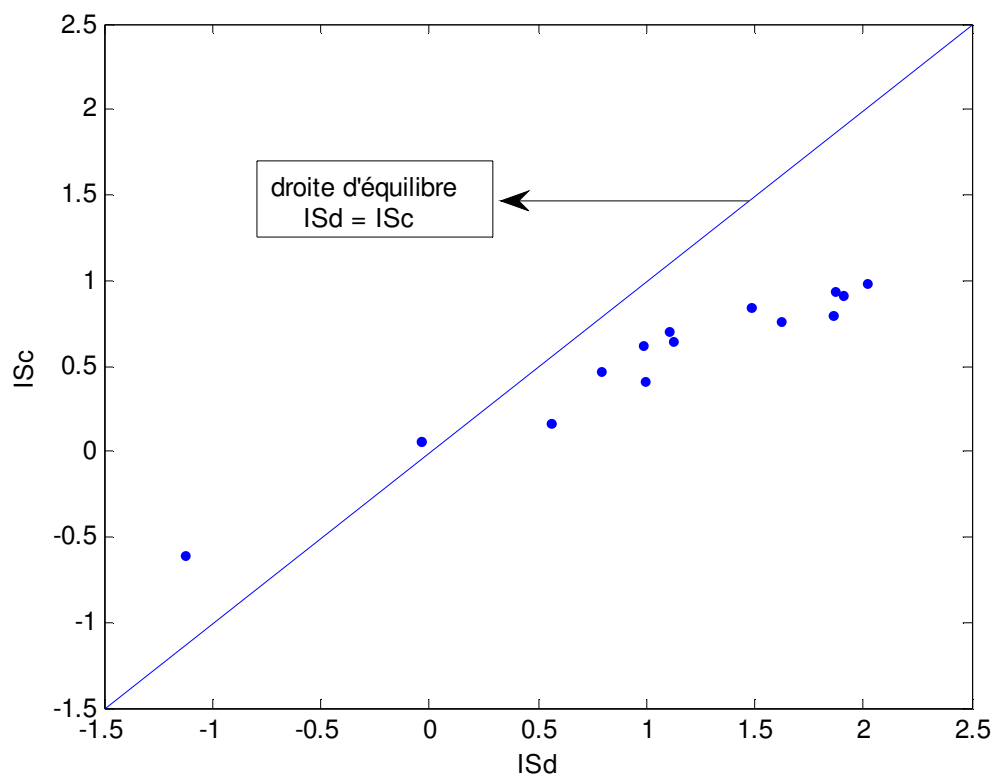
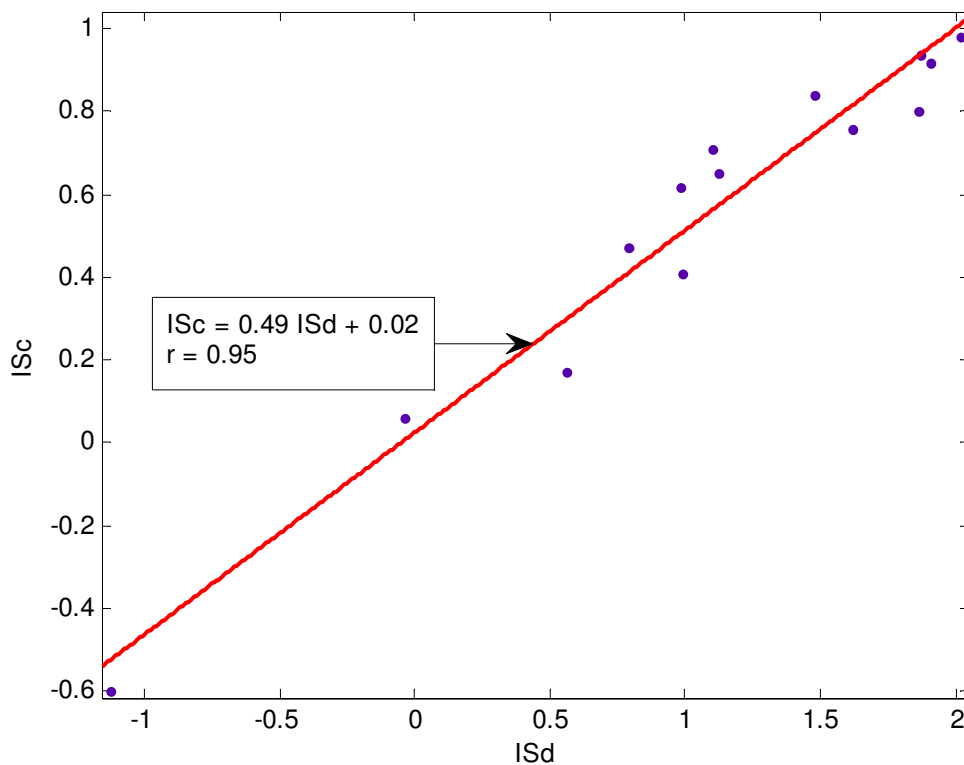
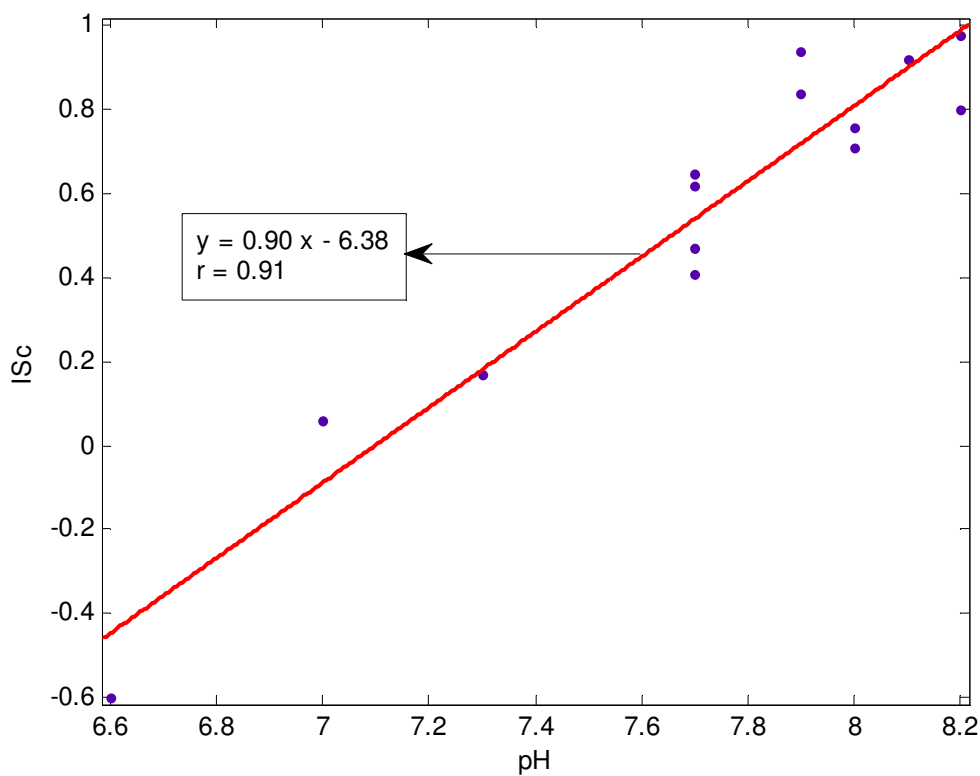
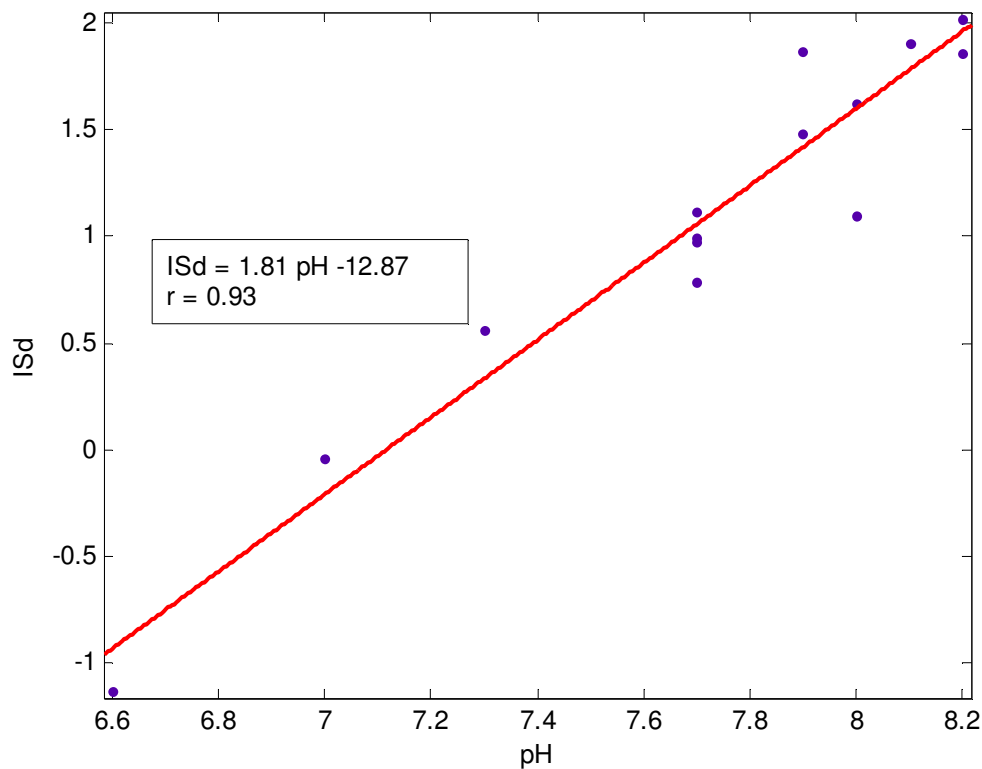
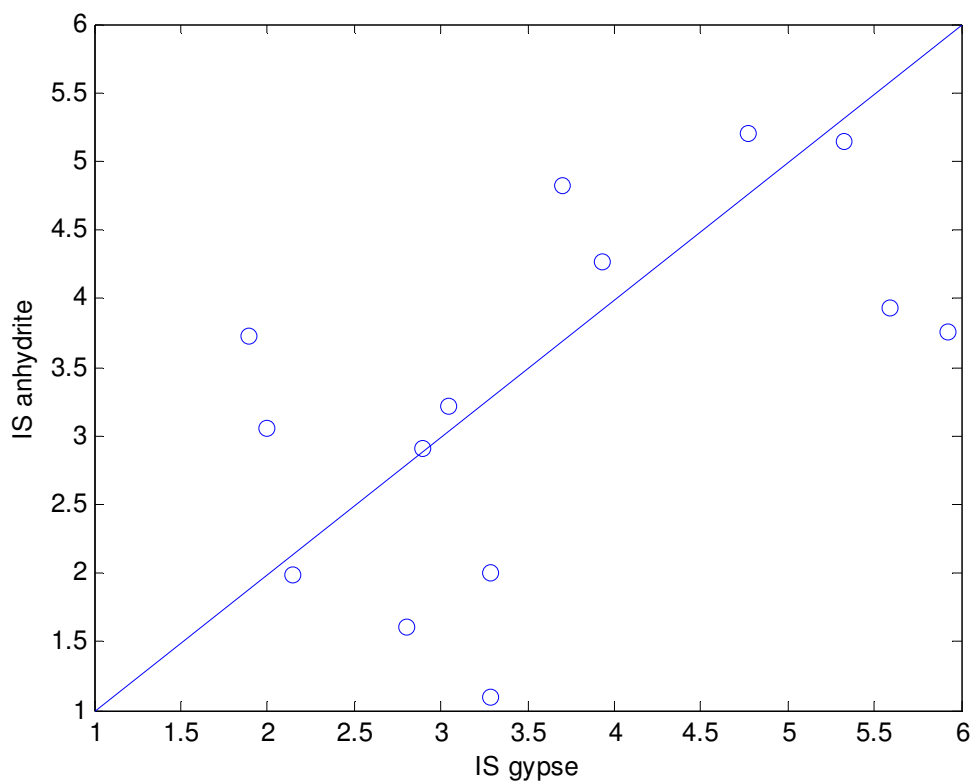


Fig. 59 : Relation IS calcite – IS dolomite (AF02 et AF17)

**Fig. 60:** Correlation IS calcite - IS dolomite**Fig. 61 :** Relation indice de saturation en calcite – pH

**Fig. 62:** Relation indice de saturation en dolomite – pH**Fig. 63:** Relation IS gypse – IS anhydrite

3. *Interprétation des résultats*

a. Représentation graphique

i. Diagramme de Schoeller – Berkaloff

Ce diagramme montre que les échantillons des eaux de la nappe superficielle présentent cinq types de minéralisation avec une mention particulière à celle du puits AF11, situé au centre de la dépression de Tirkount, à celle du puits AF17 et à celle prélevée au niveau de la source S2 où la minéralisation est remarquable à cause des intrusions du matériel triasique le long de l'accident Ras-Touil-Ain Sefra.

La caractérisation des faciès avec les diagrammes de Schoeller –Berkaloff a permis de mettre en évidence :

➤ *Faciès bicarbonatées calciques (fig. 64)*

Ce faciès caractérise les eaux de la source S1 localisée dans les formations jurassiques, ainsi que les puits NA04, NA08, NA10 situés dans la partie septentrionale du synclinal et le puits AF09 localisé dans la partie centrale du synclinal de Nâama, sans oublier le puits AF12 situé dans la dépression de Tirkount.

Leurs formules caractéristiques sont les suivantes :



L'accroissement de la concentration en ions Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} est dû essentiellement au changement de faciès des formations mio-pliocènes qui deviennent plus argileuses dans la partie centrale de la dépression de Tirkount.

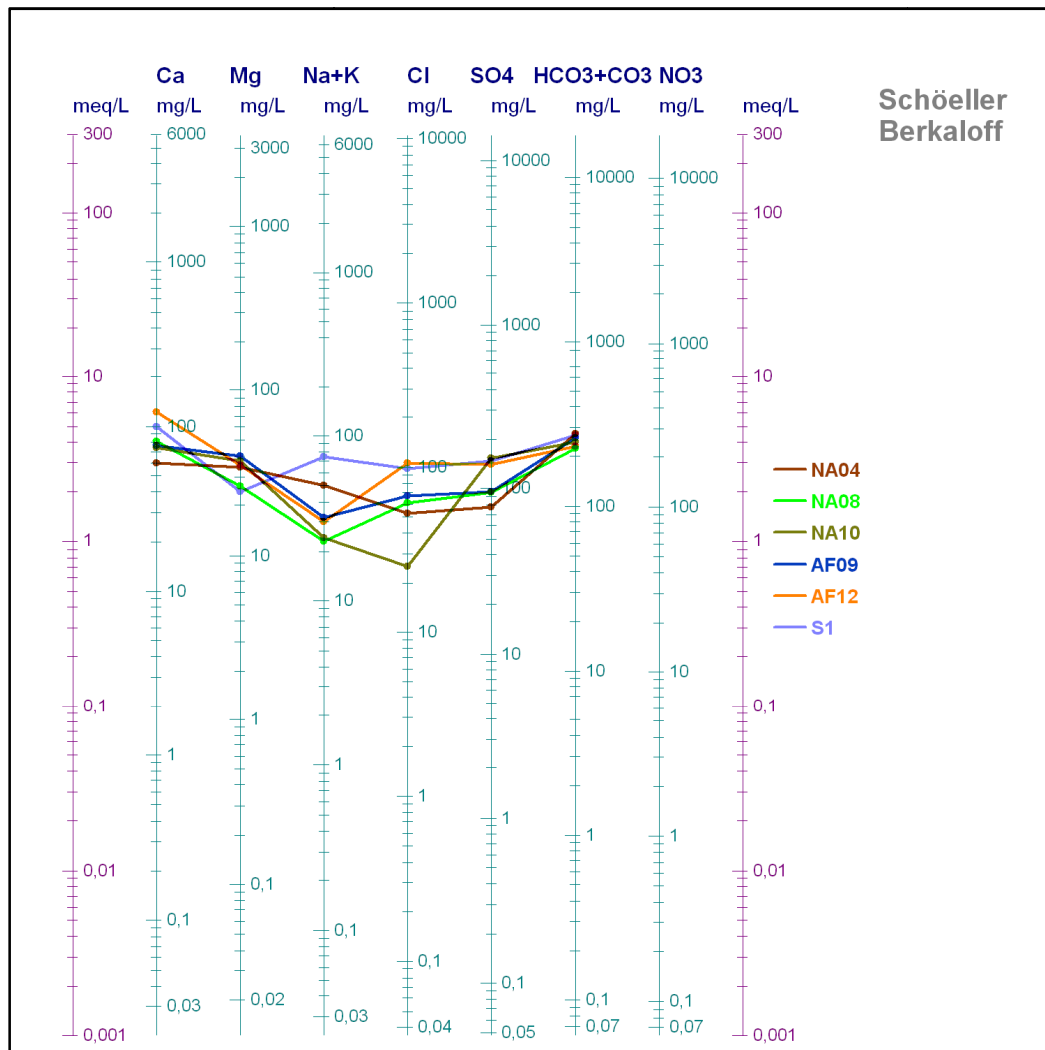


Fig. 64: Faciès bicarbonaté calcique de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama

➤ **Faciès sulfaté calcique (fig. 65)**

Les puits AF10 et AF11, situés dans la dépression de Tirkount ainsi que le puits AF02, localisé à Mékhizene Sidi Brahim, se caractérisent par un faciès sulfaté calcique. Les formules caractéristiques de ces eaux sont :

$$r \text{ SO}_4 > r \text{ HCO}_3 > r \text{ Cl} \quad \text{avec} \quad r \text{ Ca} > r \text{ Mg} > r \text{ Na}$$

$$r \text{ SO}_4 > r \text{ Cl} > r \text{ HCO}_3 \quad \text{avec} \quad r \text{ Ca} > r \text{ Mg} > r \text{ Na}$$

L'évolution de la teneur en sulfates est liée à l'activité agricole. On peut ajouter un autre facteur qui joue un rôle important, c'est le lessivage des formations salifères par les précipitations.

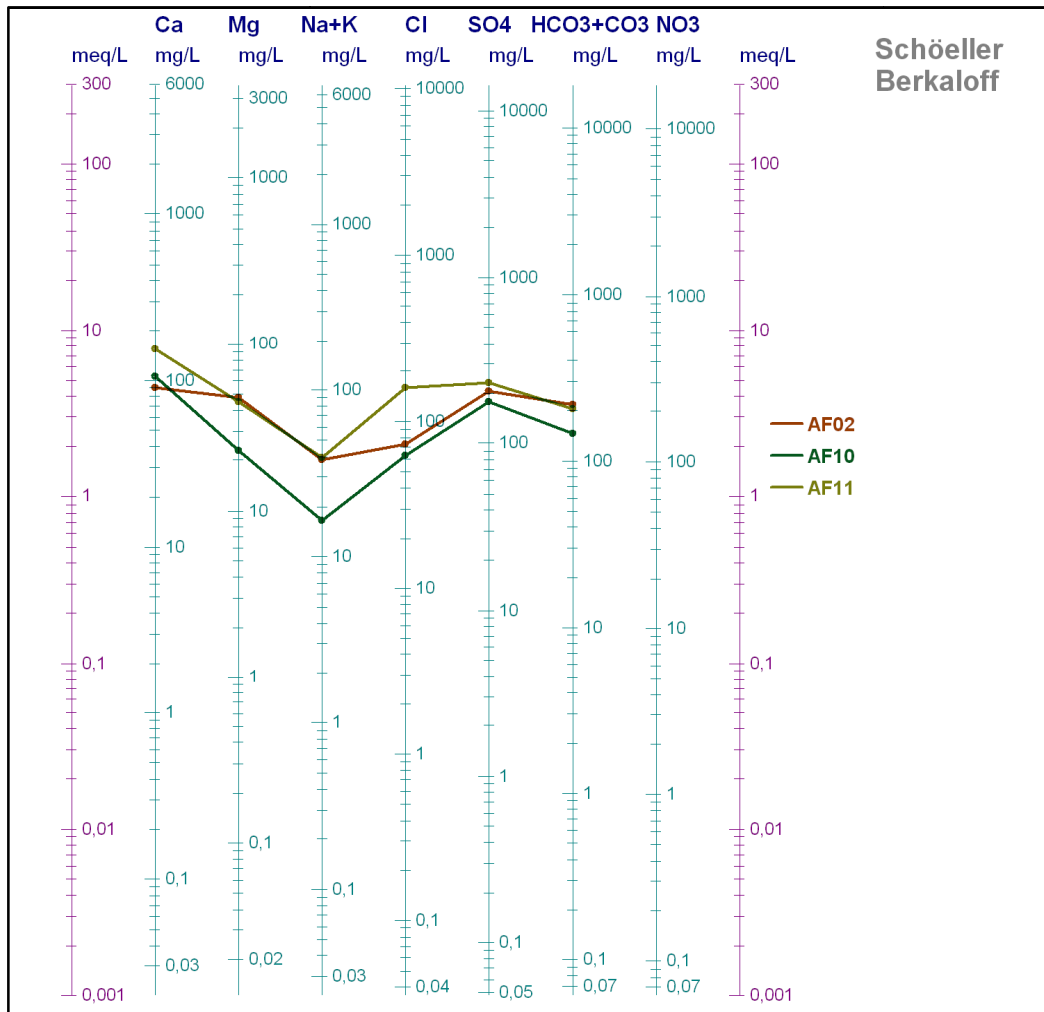
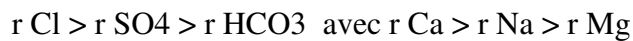


Fig. 65: Faciès sulfaté calcique de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama

➤ ***Faciès chloruré calcique (fig. 66)***

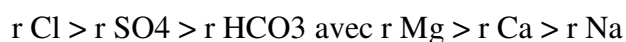
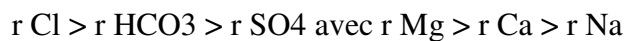
Le faciès chloruré calcique a été rencontré au niveau des puits AF17 et AF43 implantés à proximité de l'accident de Ras Touil - Ain Sefra. La formule caractéristique est :



Les teneurs élevées en chlorures sont dues au matériel triasique injecté le long de l'accident de Ras Touil - Ain Sefra.

➤ ***Faciès chloruré magnésien (fig. 66)***

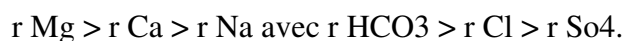
La source S2, localisée dans les formations crétacées et le puits AF16 sont caractérisés par les formules caractéristiques suivantes :



Les teneurs élevées en chlorures sont dues à des injections triasiques le long de l'accident Ras-Touil - Ain-sefra tandis que les teneurs élevées en magnésium sont dues à la dissolution du ciment dolomitique des grés crétacés.

➤ ***Faciès bicarbonaté magnésien (fig.66)***

Ce faciès caractérise les eaux du puits AF41 qui se situe dans la partie SW du synclinal de Nâama. La formule caractéristique est :



L'augmentation de la concentration en ions HCO₃ et Mg est à rapporter au lessivage des roches carbonatées par les précipitations.

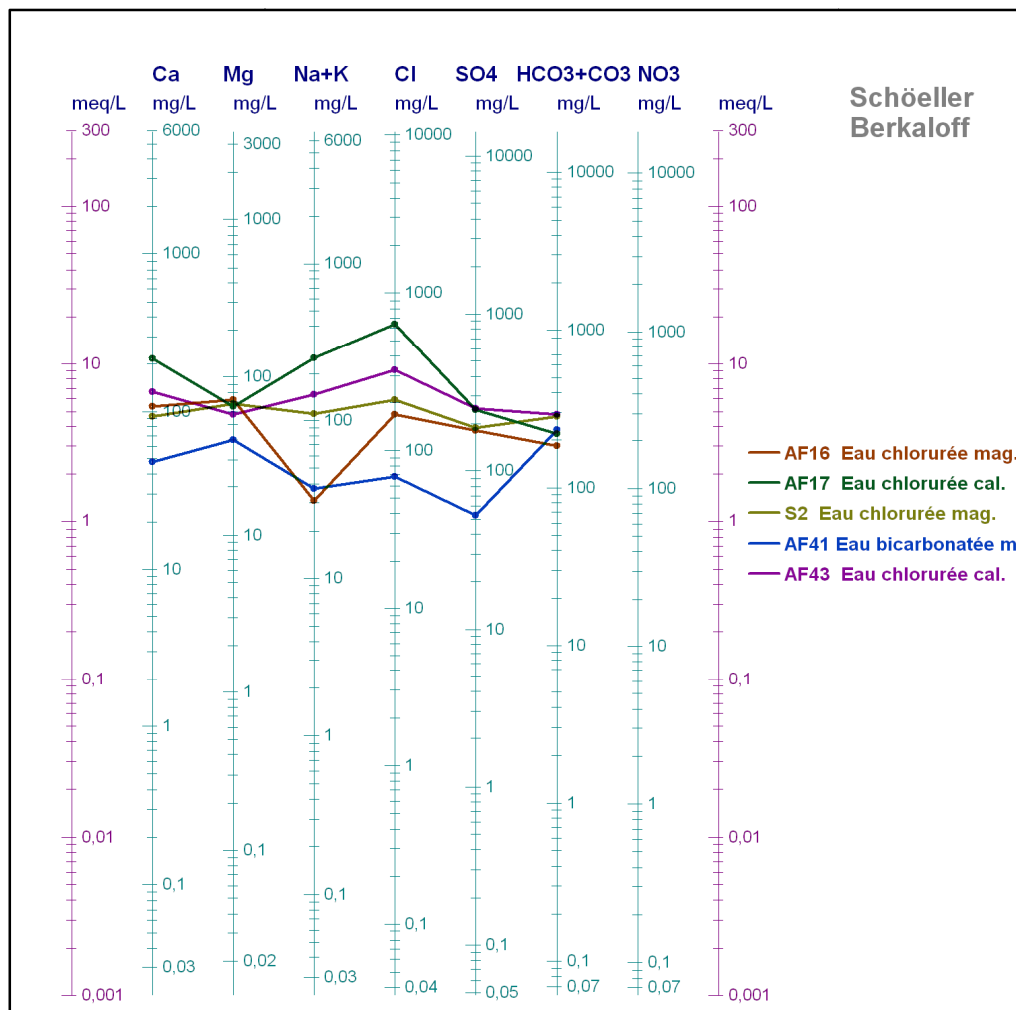


Fig. 66: Faciès chloruré calcique, faciès chloruré magnésien et faciès bicarbonaté magnésien.

ii. Diagrammes de Piper

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de PIPER montre que les eaux du synclinal de Nâama appartiennent principalement au faciès bicarbonatés calcique, plus ou moins magnésien. Selon que le sens d'écoulement souterrain emprunté est imprimé par la configuration de l'oued Tirkount ou celui de direction SSE-NNW vers Haoud Derba, l'évolution hydrochimique se fait soit par un appauvrissement progressif en bicarbonates soit par un enrichissement en chlorures, magnésium, calcium et sulfates. L'augmentation des sulfates est à rapporter à la pollution par les engrais consécutives à l'agriculture existante de part et d'autre de l'oued Tirkount. On remarque, d'ailleurs, que la minéralisation augmente avec la proximité des zones agricoles.

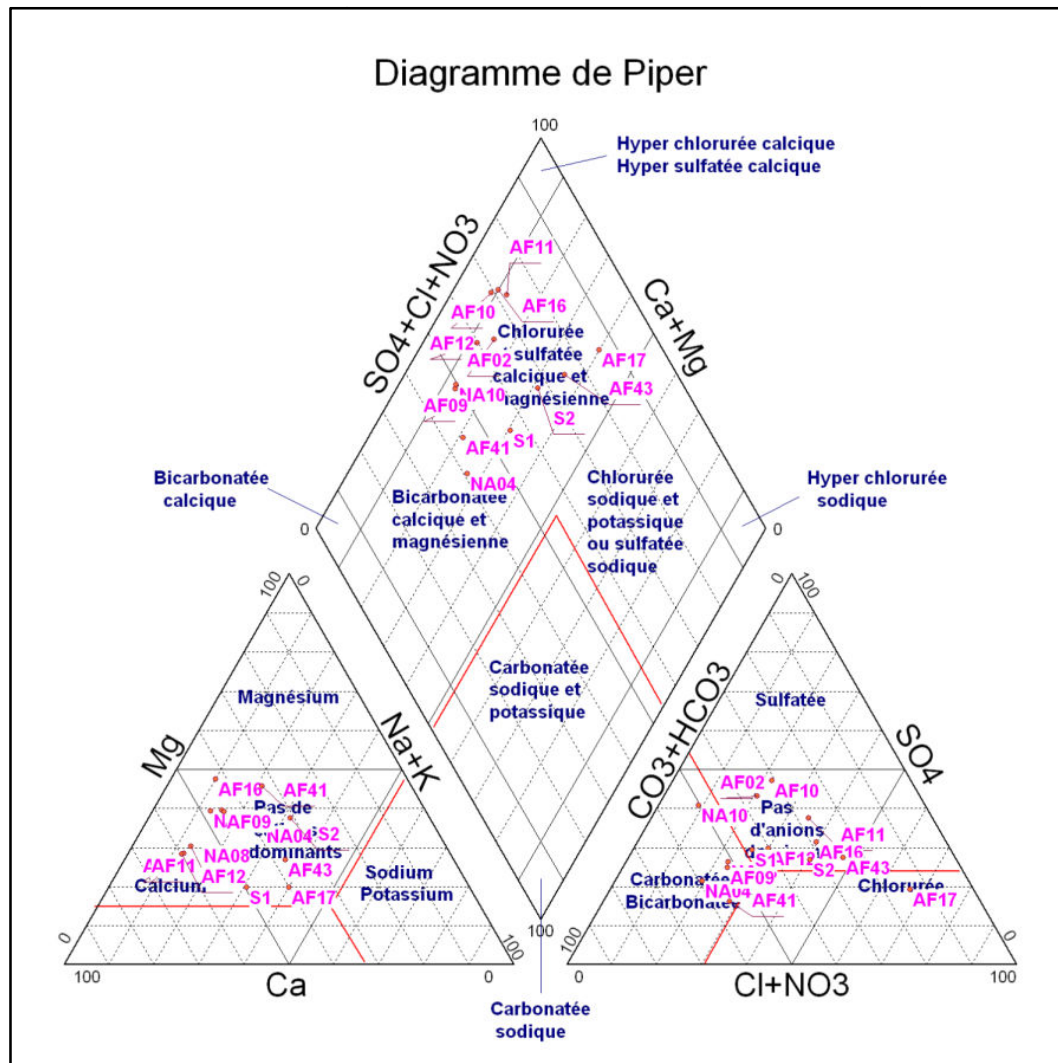


Fig. 67: Diagramme de Piper des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama

b. Distribution spatiale des éléments*i. Carte de distribution des teneurs des résidus secs*

Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous et donne une idée sur la minéralisation globale des eaux.

La carte des résidus secs montre une augmentation du résidu suivant les deux directions de la nappe (écoulement suivant Oued Tirkount, écoulement vers Haoud Ed Derba).

D'une manière générale, trois puits marquent des concentrations en résidu sec nettement plus élevée que les autres puits :

- Dans la partie méridionale entre le puits AF17 et la source S2 où le résidu sec augmente de 900 à 1600 mg/l, cet accroissement est dû à des intrusions du matériel triasique le long de l'accident Ras-Touil-Ain Sefra.
- Dans la partie Nord du synclinal de Nâama, le résidu sec augmente de centre du synclinal vers le NW et prend la même direction d'écoulement souterrain vers Haoud Ed Derbe. (*Confirmation d'existence de deux bassins hydrogéologiques au niveau du synclinal de Nâama*)
- Le troisième puits localisé à Mékhizene Sidi Brahim (AF02). Probablement, que cette augmentation est due à la fonction d'emménagement de cet endroit comme son nom l'indique (Mékhizene).

Autour de la source S1 qui est localisée dans les formations Jurassiques, les valeurs des résidus secs diminuent à cause de la dilution des eaux de la source par l'infiltration rapide des eaux de précipitations. (fig.68)

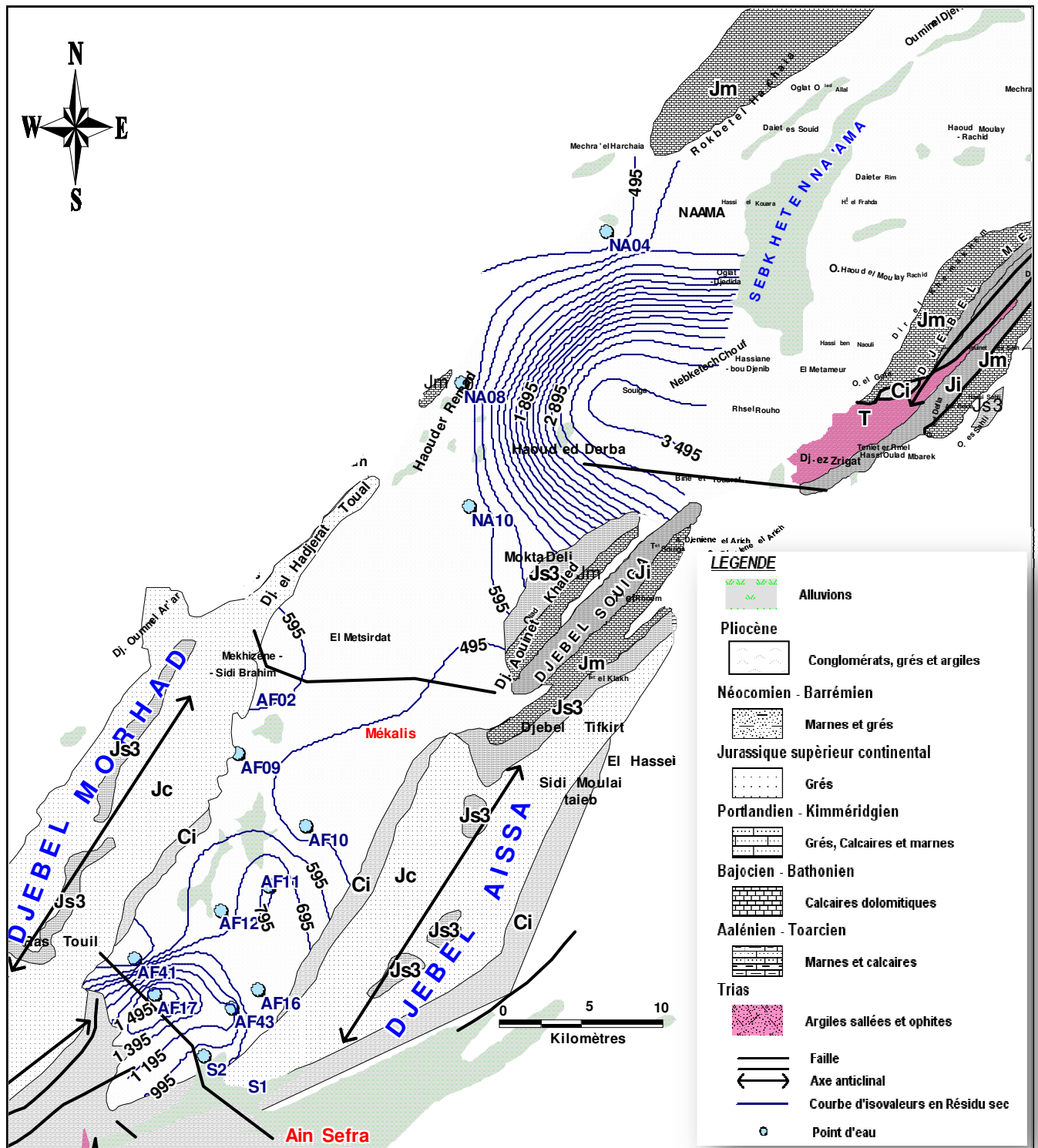


Fig. 68: Carte de distribution des teneurs des résidus secs des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama.

ii. Carte de distribution des teneurs en Sulfates (Fig .69)

La concentration des eaux naturelles en Sulfates est très variable. Ils résultent de : la solubilité des gypses ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) ; l'utilisation des engrais chimiques; et du lessivage des terrains argileux et marneux.

Globalement, les augmentations de concentrations se font vers le NE et vers le SE. La nappe ayant deux directions du centre du synclinal vers le SE (Oued Tirkount) et vers le NE (Haoud Ed Derba), ces augmentations sont logiques car la nappe va se charger peu à peu en éléments durant son trajet. L'augmentation à l'approche d'Oued Tirkount laisse penser que les sulfates ont une origine sans doute agricole.

L'augmentation de la concentration des sulfates au niveau du puits AF17 est due à des injections triasiques le long de l'accident Ras-Touil-Ain Sefra. Au niveau du puits AF11 localisé au centre de la dépression de Tirkount, l'accroissement des teneurs en sulfates à cause du changement de faciès des formations mio-pliocène qui deviennent plus argileuses et plus gypseuses. Une autre anomalie est observée au niveau du Mékhizene sidi Brahim (puits AF02).

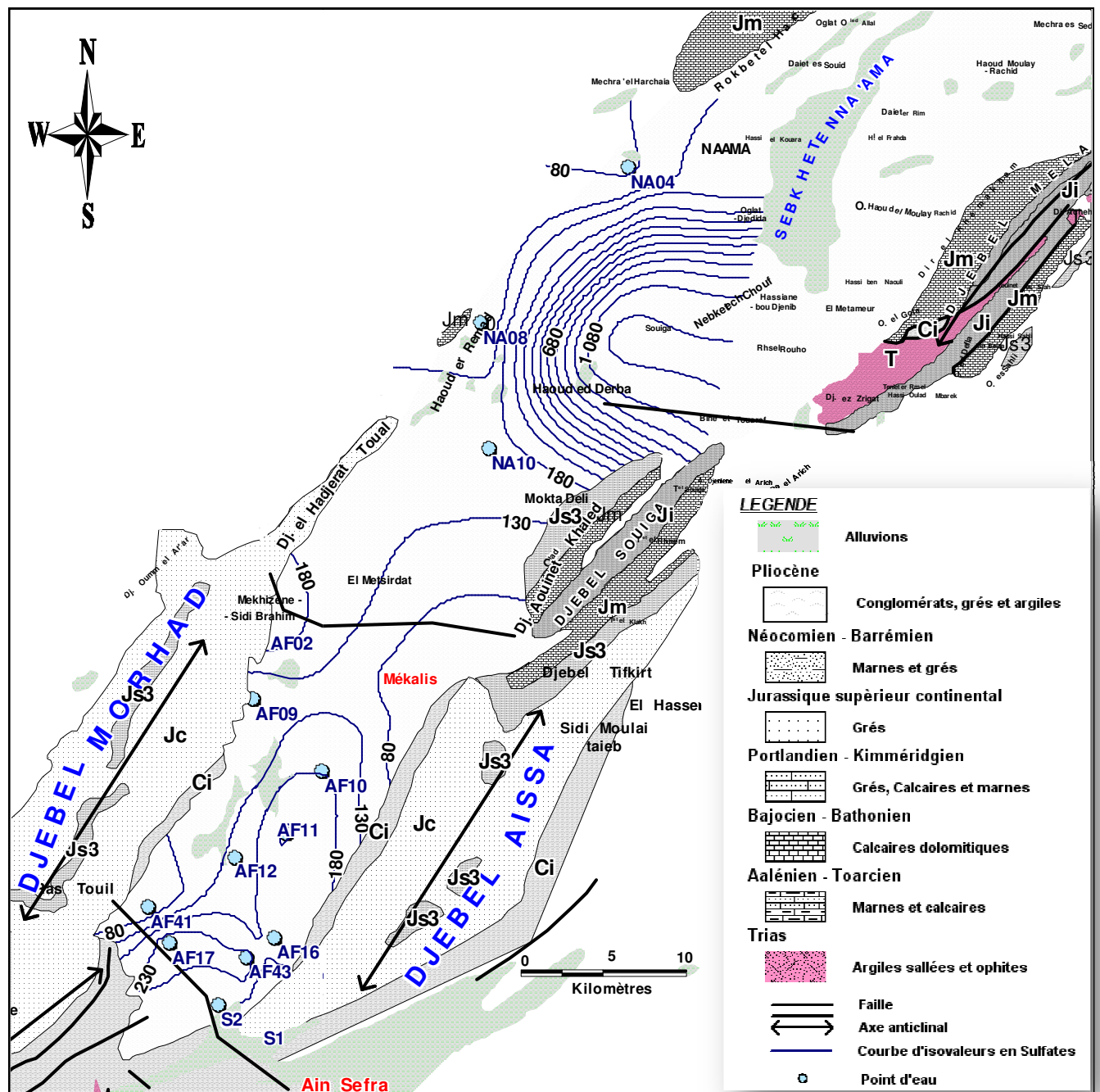


Fig. 69: Carte de distribution des teneurs en sulfates des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama.

iii. Carte de distribution des teneurs en chlorures (Fig.70)

Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles mais à des proportions variables. Ils proviennent essentiellement : de la dissolution des sels naturels par le lessivage des terrains salifères; des rejets des eaux usées d'origine domestique et industrielle. La

concentration maximale admissible des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine selon les normes françaises est 200mg/l. La majorité des points s'inscrivent une gamme de concentration moyenne, seuls le puits AF17 et la source S2 expriment des teneurs supérieures à 200 mg/L.

D'après la carte (Figure 70) nous pouvons entrevoir l'existence d'un gradient de concentration des chlorures. Les teneurs en chlorure croissent régulièrement selon les deux directions générales de l'écoulement de la nappe (les deux écoulements souterrains). Les concentrations les plus fortes sont rencontrées dans la partie NE de la zone d'étude, près de Sebkheth Nâama, et au niveau du puits AF17 et la source S2 à cause des injections triasiques le long de l'accident Ras-Touil-Ain Sefra.

Au niveau du puits AF11, la teneur en chlore dépasse 150mg /l à cause du changement de faciès des formations mio-pliocène.

iv. Carte de distribution des teneurs en calcium (Ca++) (Fig.71)

Le calcium est un élément de la dureté totale. Son origine naturelle provient essentiellement de l'attaque des formations carbonatées par le gaz carbonique.



Dans la zone d'étude, Le calcium provient aussi de la dissolution du Gypse (CaSO₄, 2H₂O). Il varie de 48 mg/l pour le puits AF41 à 216 mg/l pour le puits AF17 près de l'accident Ras-Touil-Ain Sefra.

Les concentrations en calcium ont tendance à augmenter selon les deux directions générales de l'écoulement souterrain de la nappe mio-pliocène. Les concentrations les plus fortes sont observées entre la source S2 et le puits AF17 à cause de l'influence de l'accident Ras-Touil-Ain Sefra et au niveau du puits AF11, Cet accroissement peut s'expliquer par un lessivage des interlits gypseux et par le changement de faciès des formations mio-pliocènes qui deviennent plus argileuses au centre de la dépression de Tirkount.

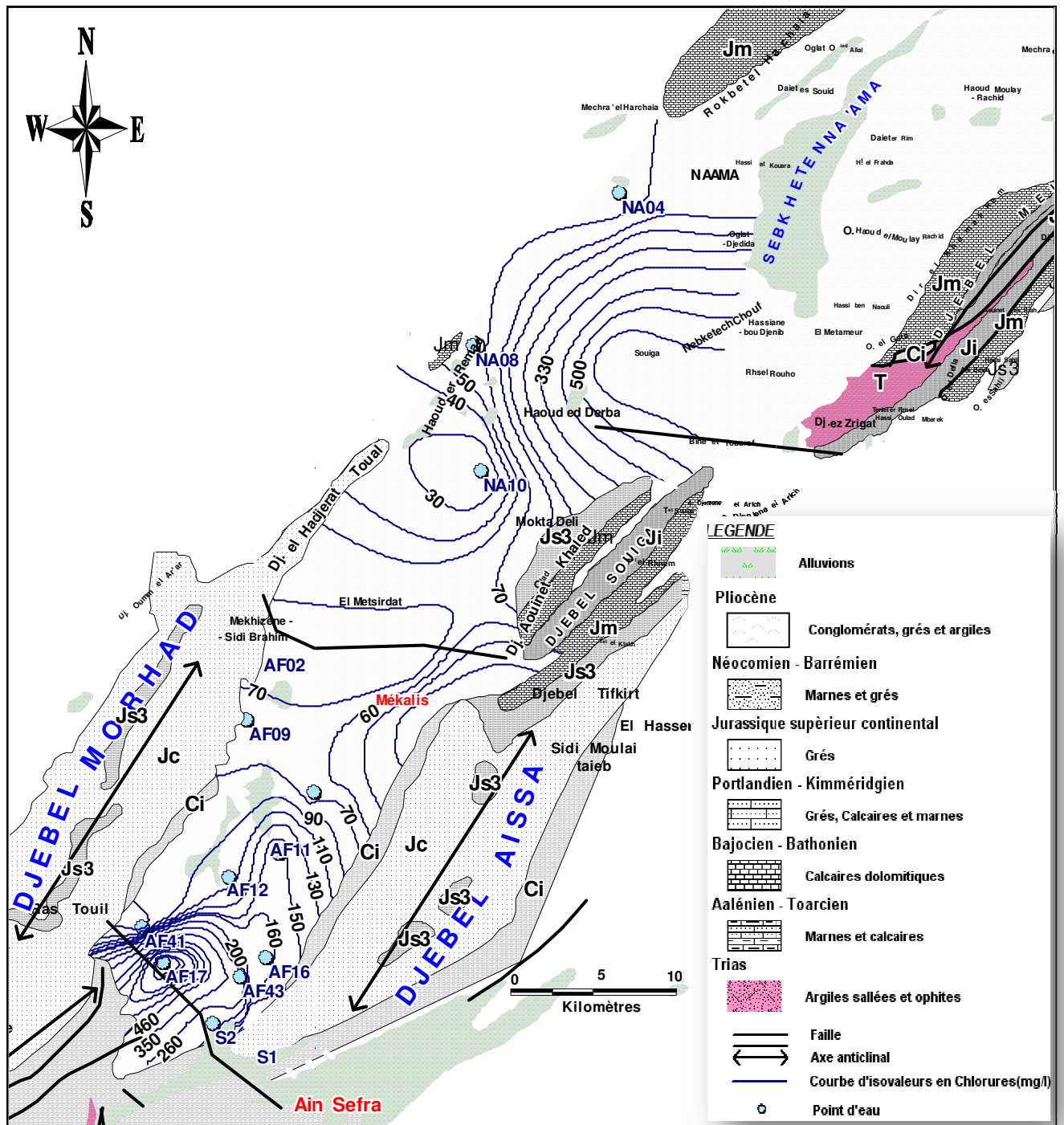


Fig. 70: Carte de distribution des teneurs en Chlorures des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama

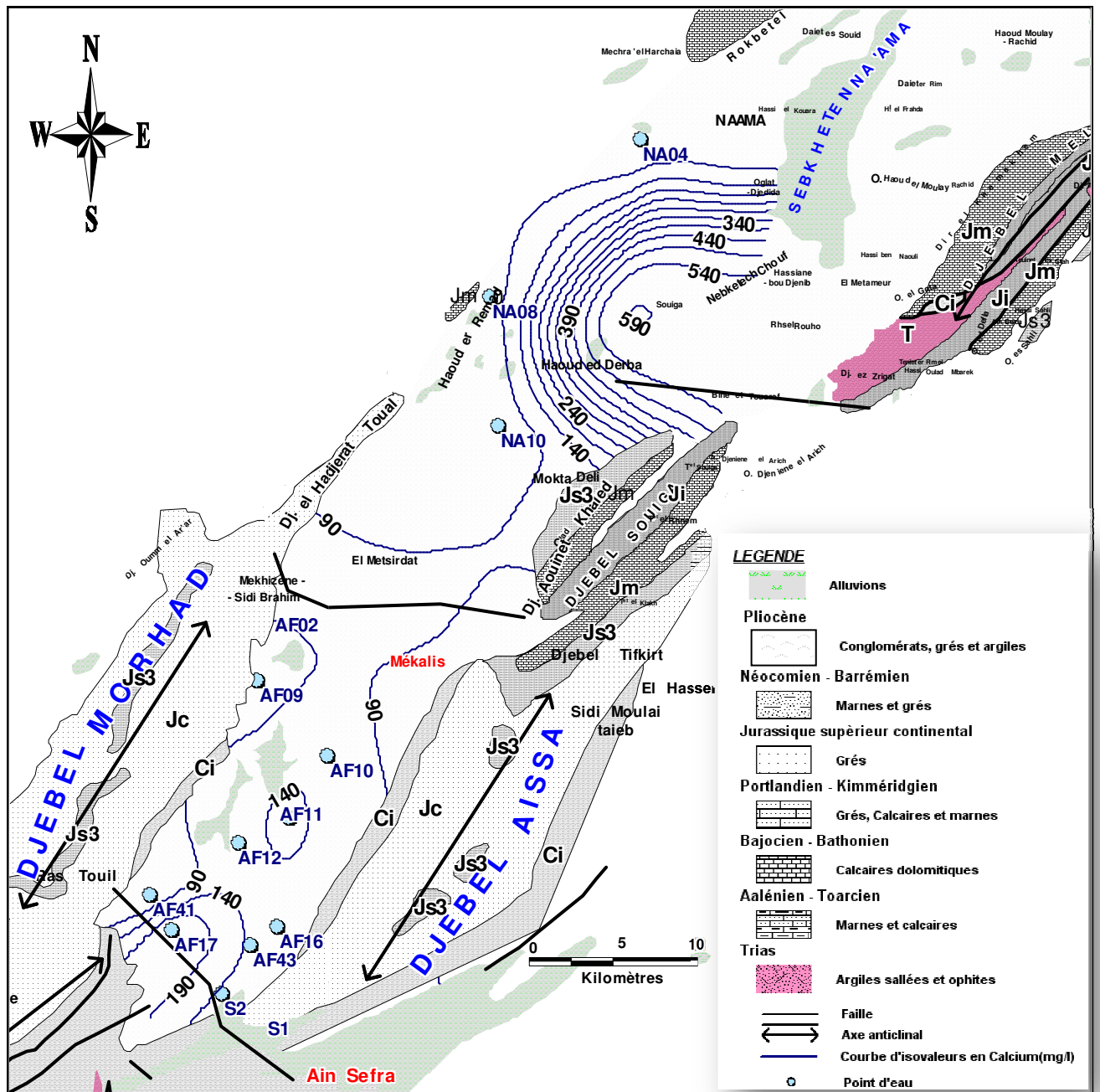


Fig. 71: Carte de distribution des teneurs en calcium (Ca^{++}) des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama

v. Carte de distribution des teneurs en magnésium (Mg^{++}) (Fig.72)

Le magnésium est aussi un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz

carbonique, de la dissolution de $MgSO_4$ dans les terrains gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens.

Les teneurs en magnésium (Mg^{++}) sont comprises entre 6mg/l et 72mg/l. Les valeurs les plus élevées sont localisées au niveau du puits AF16.

La carte des teneurs en magnésium (Mg^{++}) montre un accroissement des teneurs en magnésium, d'amont en aval suivant les deux directions générales de l'écoulement de la nappe; un écoulement représenté par Oued Tirkount et l'autre écoulement souterrain qui se dirige du centre du synclinal vers Haoud Ed Derba au Nord du synclinal.

Une diminution des teneurs en magnésium (Mg^{++}) est observée au tour de la source S1 qui est localisée dans les formations Jurassiques. Cette diminution des valeurs de magnésium (Mg^{++}) est due à la dilution des eaux de la source par l'infiltration rapide des eaux de précipitations à travers les fissures des terrains Jurassiques.

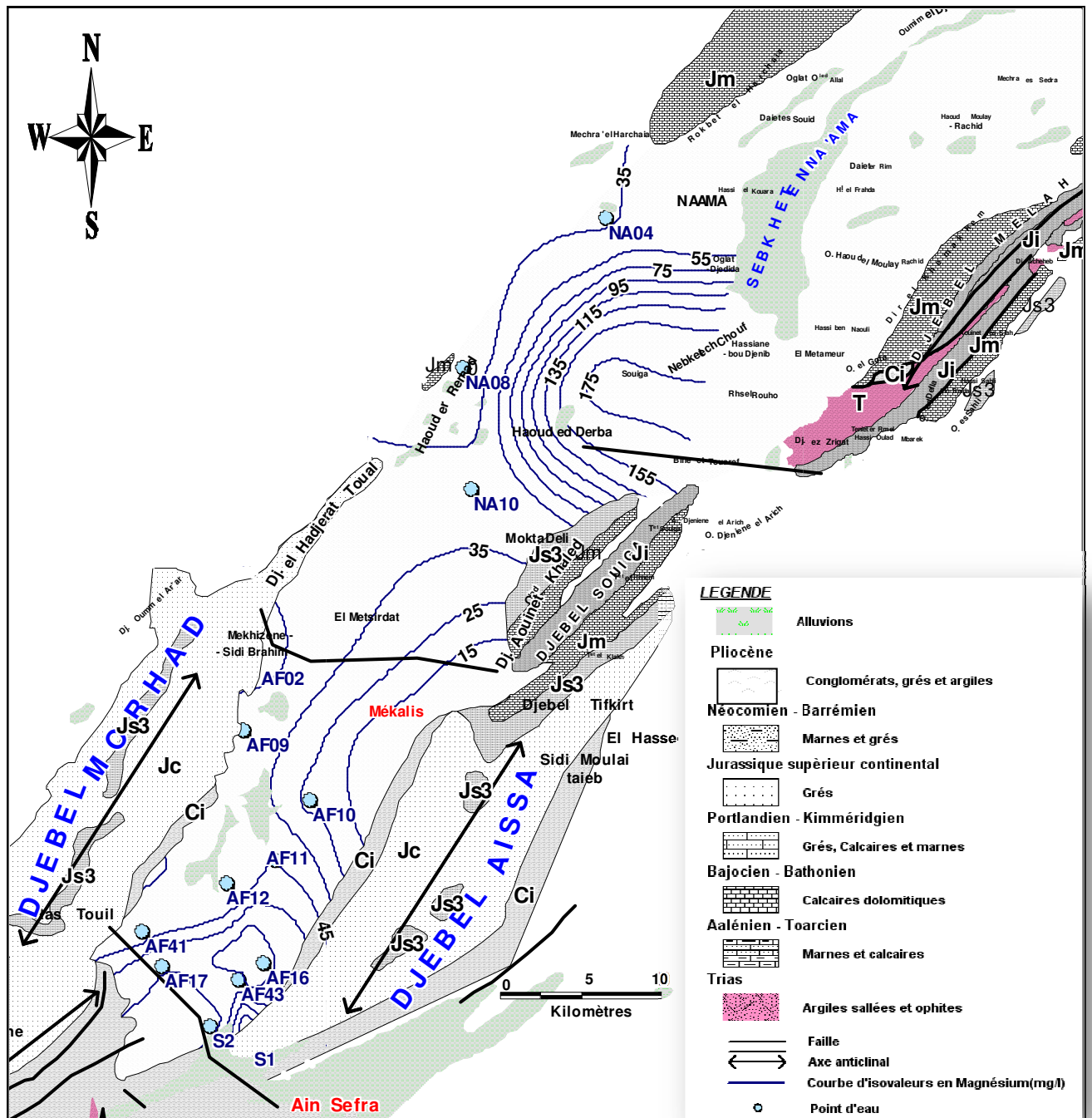


Fig. 72: Carte de distribution des teneurs en magnésium de la nappe mio-pliocène du Synclinal de Nâama.

vi. *Carte de distribution de la minéralisation (Fig.73)*

La minéralisation augmente avec le temps de séjour dans l'aquifère. En ce qui concerne les puits AF11, AF17 et AF02, les valeurs remarquables observées pour les

concentrations en chlorures et sulfates sont également confirmées par la minéralisation. Il est possible de penser que le puits AF11 est influencé par le changement de faciès des formations mio-pliocènes au centre de la dépression de Tirkount, le puits AF17 est contaminé par les intrusions triasiques le long de l'accident Ras Touil-Ain Sefra et le puits de Mékhizene Sidi Brahim(AF02) reste un point de discussion puisqu'il présente trois des quatre paramètres physico-chimiques très particuliers (concentrations et minéralisation élevées).

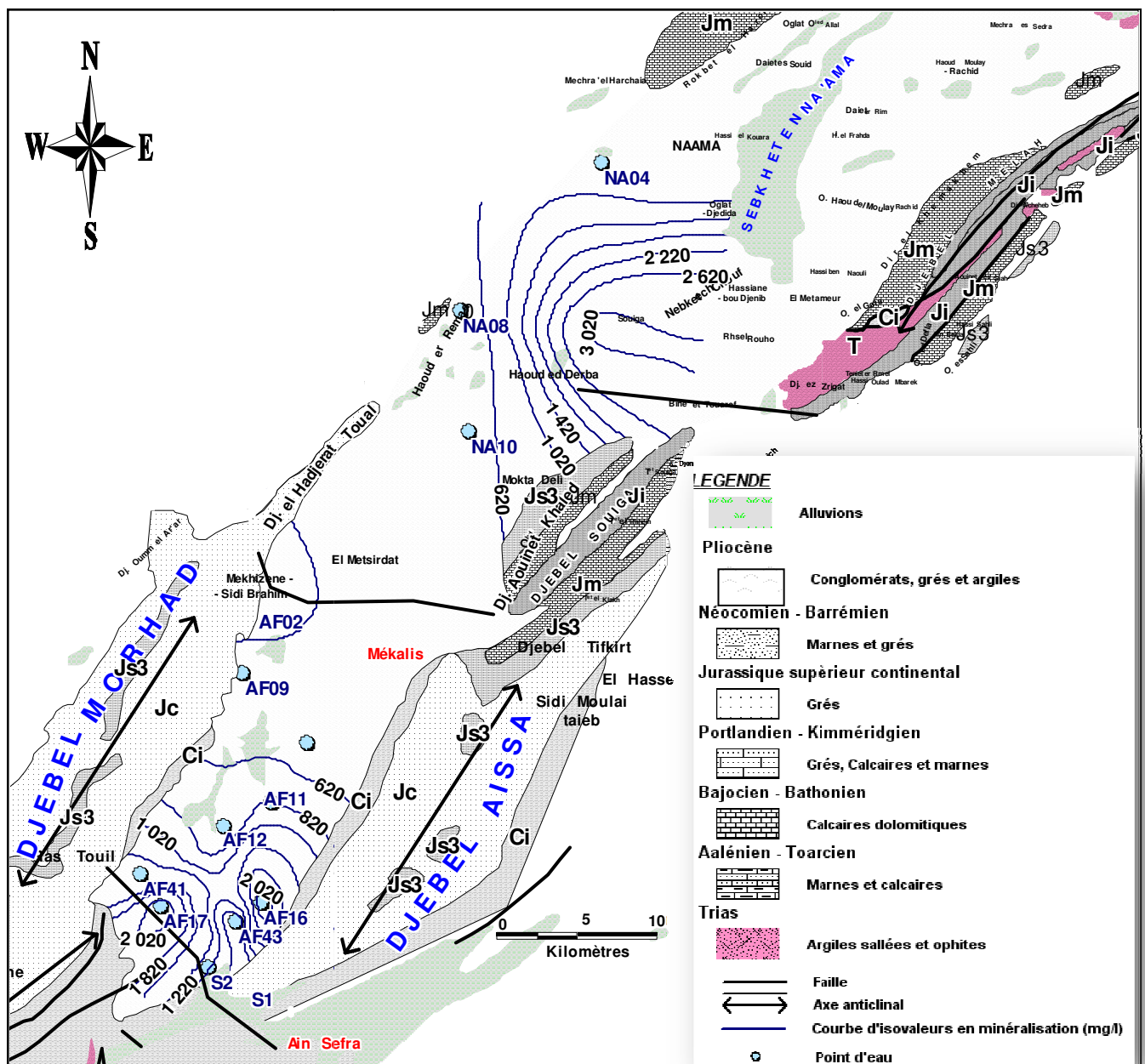


Fig. 73: Carte de distribution de la minéralisation des eaux de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama.

c. Analyse en composantes principales

Dans une première étape, l'ACP a porté sur les données du tableau n°12 expurgées des paramètres redondants suivants : la conductivité avec le TDS, la dureté avec Ca – Mg,– le pH avec les indices de saturations. Prendre en compte tous ces paramètres aurait accordé un poids accru au calcium.

Les résultats de ces traitements appellent les observations suivantes sur les tableaux fournis par le logiciel XLSTAT.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	CV
Condcvt	14	0	14	600,000	2766,000	1190,000	717,656	0,43
Ca++	14	0	14	48,000	216,000	104,364	42,913	0,43
Mg++	14	0	14	23,000	72,000	43,936	16,205	0,48
Na+	14	0	14	15,100	242,100	59,914	63,939	0,61
K+	14	0	14	1,300	11,100	4,864	2,693	0,25
SO4--	14	0	14	53,000	250,000	160,293	63,085	0,44
Cl-	14	0	14	25,000	638,000	150,943	161,183	0,64
HCO3-	14	0	14	144,100	290,000	226,186	42,567	0,24
CO3--	14	0	14	0,000	26,400	7,321	7,982	0,78
Is Dolomie	14	0	14	-1,130	2,020	1,081	0,867	0,28
Is Gypse	14	0	14	-1,900	-0,750	-1,281	0,351	0,54
Is Calcite	14	0	14	0,060	0,980	0,638	0,279	1,71
Is Aragonite	14	0	14	0,030	0,840	0,526	0,263	0,65
Is Anhydrite	14	0	14	-2,120	-0,970	-1,429	0,315	0,63
pCO2	14	0	14	0,001	0,052	0,008	0,014	1,47

Tableau n° 12: Les données Statistiques descriptives de chaque variable

	F1	F2	F3
Valeur propre	7,158	2,121	1,873
Variabilité (%)	47,717	14,140	12,487
% cumulé	47,717	61,857	74,344

Tableau n° 13: Pourcentage de variance exprimée

i. Matrice des corrélations

Les fortes valeurs des coefficients de corrélation correspondent soit aux couples liant des éléments solubles entre eux (Na-Cl, Ca-Cl, ...) soit ceux liant les indices de saturation d'un minéral donné aux ions solubles qui le constituent (Ca - IS anhydrite, SO₄ – IS anhydrite, ..).

Ces corrélations identifient sans peine les liaisons entre les variables engageant la solubilité des minéraux du cortège évaporitique : Na – Cl (0.951) : halite ; SO₄ –IS anhydrite (0.950) anhydrite ; Ca –SO₄ (0.795) anhydrite. . (Tableau n°14)

Les corrélations négatives concernent les couples opposant un élément soluble K, Cl, CO₃, HCO₃ au DpH.

Variables	Condcvt	Ca++	Mg++	Na+	K+	SO4--	Cl-	HCO3-	CO3--	Is Dolomie	Is Gypse	Is Calcite	Is Aragonite	Is Anhydrite	pCO2
Condcvt	1														
Ca++	0,467	1													
Mg++	0,567	0,427	1												
Na+	0,436	0,728	0,549	1											
K+	0,497	0,445	0,492	0,618	1										
SO4--	0,206	0,795	0,551	0,566	0,295	1									
Cl-	0,601	0,858	0,638	0,951	0,612	0,652	1								
HCO3-	-0,396	-0,243	0,029	0,287	0,034	-0,170	0,027	1							
CO3--	0,497	0,360	0,393	0,063	0,412	0,230	0,249	-0,462	1						
Is Dolomie	-0,191	-0,348	-0,278	-0,260	-0,674	-0,442	-0,310	0,294	-0,269	1					
Is Gypse	0,254	0,622	0,178	0,157	0,470	0,543	0,319	-0,579	0,525	-0,579	1				
Is Calcite	-0,488	-0,481	-0,526	-0,529	-0,831	-0,355	-0,600	0,265	-0,626	0,673	-0,563	1			
Is Aragonite	-0,454	-0,409	-0,471	-0,457	-0,703	-0,241	-0,528	0,251	-0,707	0,432	-0,475	0,950	1		
Is Anhydrite	0,189	0,861	0,410	0,499	0,264	0,951	0,617	-0,279	0,360	-0,423	0,683	-0,363	-0,275	1	
pCO2	0,037	0,156	0,268	0,190	0,519	0,368	0,178	-0,034	-0,091	-0,886	0,323	-0,346	-0,048	0,273	1

Tableau n° 14: Matrice de corrélation des paramètres chimiques

ii. Analyse en composantes principales

Les résultats de l'ACP livrent un tableau des valeurs propres ordonnées par valeurs croissantes ($\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_{13}$) de sorte que l'on peut y repérer celles qui portent les processus prédominants dans l'explication de la variabilité du chimisme. Le tableau n°13 donne les valeurs propres qui expriment la variance de chacun des facteurs. Cette variance, une fois rapportée à la variance totale des données, indique le pourcentage de variance exprimé par chacun des facteurs ainsi que leurs pourcentages cumulés. La qualité relative des mesures incite à ne prendre en considération que les facteurs contribuant à plus de 10% de cette variabilité. De ce fait, seuls les 3 premiers facteurs expliquant près de 74% de la variabilité sont retenus. Les parts respectives de variabilités résiduelles (26%), expliquées par les facteurs restants, ne permettent pas de les discerner de l'incertitude des mesures.

➤ Dans l'espace des variables (fig.74)

- Le premier facteur F1, correspondant à la première valeur propre λ_1 , agglomère près de 48% de la variabilité totale. Il identifie un processus majeur dans l'acquisition du chimisme des eaux de la nappe correspondant à une séquence de solubilité des minéraux des roches évaporitiques qui déterminent la minéralisation. F1 oppose les indices de saturation des minéraux sursaturés à ceux en état de sous-saturation selon une différenciation assujettie aux conditions d'écoulement qui déterminent le pouvoir de dissolution de l'eau.
- Le deuxième facteur F2, avec plus de 14% de la variabilité totale semble encore à portée d'identification. Il oppose les carbonates aux bicarbonates. Cet axe correspond à un facteur qui exprime les équilibres carbonatés influencés par le pH.
- Le troisième axe F3 avec près de 13 % de variabilité est plus difficile à cerner

Ces 3 facteurs, dont seuls les 2 premiers sont accessibles, semblent suffisants pour appréhender la relative complexité du système hydrochimique qui apparaît très moyennement structuré.

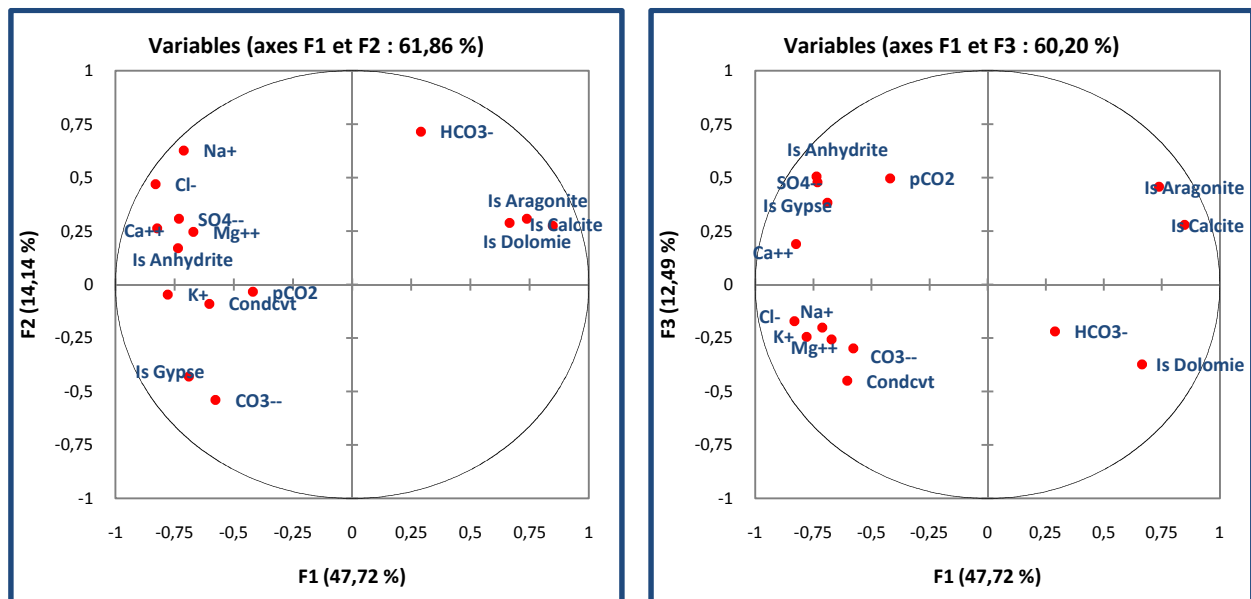


Fig. 74: Projection des variables sur le plan factoriel (1x2) et le plan factoriel (1x3).

➤ *Dans l'espace des individus (fig.75)*

La projection des individus sur le plan factoriel F1 F3 (figure 75), montre selon l'axe F1 une opposition entre les eaux faiblement minéralisées occupant la partie positive de l'axe et les eaux fortement minéralisées occupant sa partie négative. Selon l'axe F2, on note les eaux à fortes teneurs en sulfate et calcium.

Cette représentation permet de distinguer les différents pôles et de visualiser la répartition des puits par rapport à ces pôles. Trois domaines ont pu être mis en évidence :

- **Le domaine 1**, formé par le pôle bicarbonaté, correspond aux puits dont l'eau est la moins chargés en sels.
- **Le domaine 2**, représenté par le pôle chloruré, est le domaine des puits les plus salés de l'aquifère. Ces eaux sont caractérisées par un enrichissement anormal en sodium et magnésium.
- **Le domaine 3**, formé par le pôle sulfaté, est un domaine intermédiaire qui regroupe les eaux caractérisées par un enrichissement en calcium dans un espace restreint sur un bord sur l'axe factoriel 3.

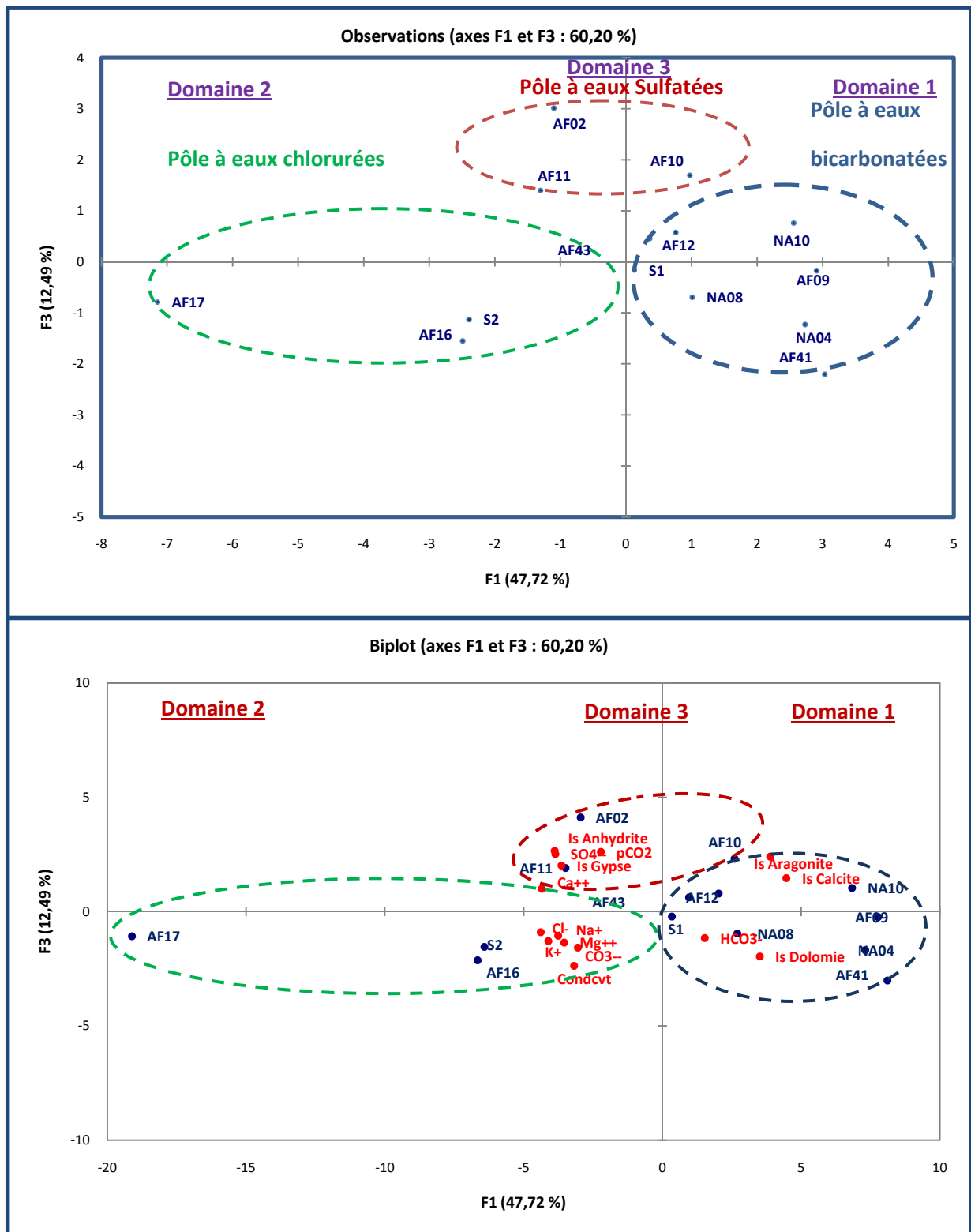


Fig. 75: Projection des variables et des échantillons sur le plan factoriel (1x3)

C. Fonctionnement

Les eaux de la nappe mio-plio-quadernaire présentent des conductivités électriques très contrastées que ne reproduit pas le coefficient de variation (0.43). Cette variabilité ne reflète pas nécessairement une spécificité géologique locale où un gradient vertical de salinité a été observé au niveau de plusieurs puits.

Les composés anioniques principaux sont le Cl^- , le SO_4^{2-} et le HCO_3^- avec une prédominance de HCO_3^- . Le Cl^- est d'ailleurs fortement corrélé avec la conductivité électrique des eaux, donc de la salinité. Les composés cationiques sont les alcalins Na-K et les alcalino-terreux Ca-Mg avec une prédominance des alcalino-terreux puis du sodium.

Tous les éléments chimiques principaux augmentent avec la salinité à l'exception du HCO_3^- qui montre une légère tendance inverse. Les traitements statistiques ont distingués trois pôles chimiques qui se succèdent sur l'échelle croissante de la salinité: bicarbonaté, sulfaté et chloruré. La plupart des eaux placées dans le pôle HCO_3^- sont situées dans la partie NE du synclinal de Nâama. Le pôle chloruré regroupe des eaux très salées, situées dans la partie sud du synclinal, la forte minéralisation des eaux de ce groupe peut s'expliquer par les intrusions triasiques le long de l'accident de Ras-Touil-Ain-Sefra. L'origine des sulfates des eaux placées dans le pôle sulfaté est à imputée à la dissolution du gypse. La totalité des puits sont implantés dans des formations mio-plio-quadernaires.

III. CONCLUSION

L'alimentation des formations mio-pliocènes est assurée à partir des grès crétacés des Djebels Aissa et Morhad. Les eaux de la nappe présente une première anomalie hydrochimique est localisée entre le puits AF10 et AF11. Elle semble associer à l'épaississement locale des formations mio-pliocènes, qui deviennent plus argileuses et plus gypseuses.

Une seconde anomalie est observée dans la zone méridionale où des injections triasiques le long de l'accident Ras-Touil-Ain-sefra, sont observées. Elle est repérée par le faciès chlorurés magnésiens et chlorurés calciques des eaux.

L'étude des différents faciès chimiques des eaux montre que le faciès bicarbonaté calcique, dans la partie septentrionale du synclinal (NA04, NA08, NA10, AF09, AF12, S1), passe à un faciès sulfaté calcique au niveau du Mekhizen Sidi Brahim(AF02) et dans la partie centrale (AF10, AF11). Cette augmentation des teneurs en sulfates et calcium est à imputer aux variations de faciès des formations mio-pliocènes qui deviennent plus gypseuses entre le puits AF10 et le puits AF11. Le faciès chloruré, observé dans la zone méridionale, est le résultat du contact des eaux de la nappe avec les injections triasiques le long de l'accident Ras-Touil-Ain-Sefra.

L'analyse en composantes principales a mis en évidence deux familles d'eau dont la minéralisation est différenciée entre des eaux du système carbonaté et des eaux du système salifère. Dans l'espace des individus, l'ACP montre une minéralisation accrue vers l'aval et localement, dans la partie centrale du synclinal où le lessivage des formations gypseuses a lieu.

Ces aspects hydrochimiques des eaux de la nappe superficielle du synclinal de Nâama sont compatibles avec la lithologie et la structure du synclinal ainsi qu'avec les variations de faciès mises en évidence par l'étude géophysique.

CHAPITRE 2***CARTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA NAPPE MIO-PLIOCENE***

L'avènement et le développement des systèmes d'information géographique ont ouvert de nouvelles perspectives à la cartographie hydrogéologique qui a pu disposer des puissantes composantes de l'environnement SIG dont les applications, les extensions et l'outil de navigation ont grandement impulsé la mise en page et l'édition des cartes.

I. INVENTAIRE DES DONNEES

Les données utiles à la caractérisation hydrogéologique du synclinal de Nâama sont de plusieurs types :

A. Données géographiques

- Carte géologique d'Ain Sefra (1/1000 000).
- Cartes topographiques : Mékalis (1/100 000), Mécheréa (1/200 000), d'Ain Sefra (1/200 000)

B. Données satellitales

- Image satellitale Landsat TM

C. Données météorologiques

- Les chroniques des précipitations (1985-2004)

- Les chroniques des températures (1980-2001) des stations de Mécherea, Ain Sefra et Nâama.

D. Données géologiques (stratigraphie, tectonique)

E. Données hydrogéologiques

- Les coordonnées (x, y, z) ;
- Niveau statique
- Niveau piézométrique
- Caractéristiques physico-chimiques
- La nappe captée.

II. APPLICATION ET RESULTATS

A. Supports de travail

1. Cartes topographiques

Une carte topographique d'Ain Sefra au 1/500.000ème et un ensemble de coupures de six cartes au 1/200.000ème ont été utilisées dans notre étude à savoir :

- Djebel. Guetob el Hamara (**NI-30-XI**), Mécheréa (**NI-30-XII**), Chellala Dahrania (**NI-31-VII**) couvrant la partie nord, Beni Ounif, Ain Sefra (**NI-30-VI**), EL Biod sidi Cheikh couvrant la partie sud du secteur.

Dj. Guetob el Hamara (NI-30-XI)	Mécheréa (NI-30-XII)	Chellala Dahrania (NI-31-VII)
Beni Ounif	Ain Sefra (NI-30-VI)	EL Biod sidi Cheikh

Fig. 76: Coupures cartographiques utilisées

2. Carte géologique

Carte géologique au 1/1000.000 (Galmier. 1973)

3. L'image satellitale (Fig.77)

Image satellitale Landsat du 16 février 2000

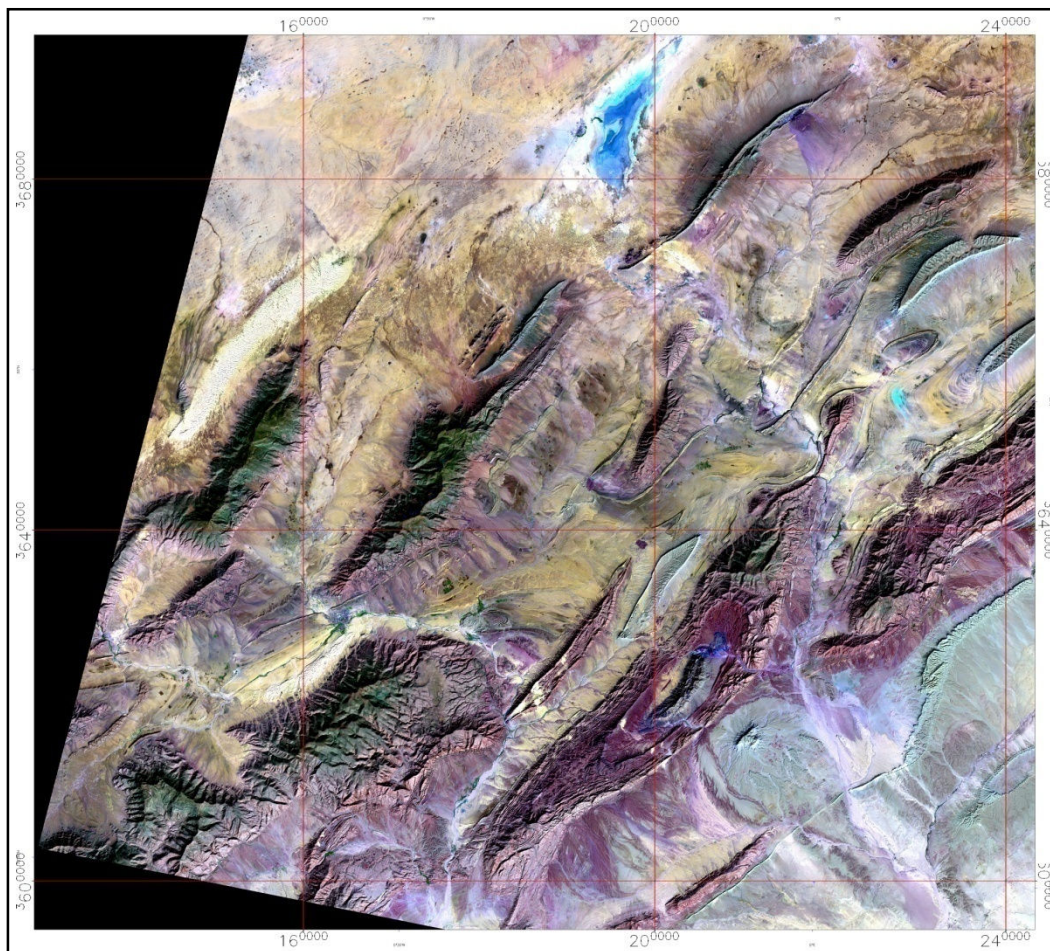


Fig. 77: Trichromie de la région d'Ain Sefra.

B. Méthodologie de travail

La méthodologie adoptée dans ce travail passe par les étapes suivantes :

1. Scannage

L'opération consiste à obtenir une image raster, du fond cartographique original (support papier), qui servira de fond pour les différentes couches d'information géographique produites ultérieurement. (Fig. 78)



Fig. 78: La carte géologique scannée (1/1000.000^{ème})

2. Géoréférencement

Le géoréférencement d'une carte consiste à caler l'image raster en introduisant un nombre de points de référence connus en coordonnées réelles. Cette image servira de fond pour le dessin. La position de ces points sera calculée selon une projection précise (UTM, Lambert, latitude ϕ et longitude λ , etc..). La projection utilisée dans notre travail est Lambert Algérie (VLNS sud)

3. Digitalisation

La digitalisation se fait donc dans un espace défini par le calage initial de l'image raster (d'où l'importance de la précision de cette étape). Ainsi, tous les objets reproduits ont des coordonnées géographiques qui leur sont attribués. Dans un système d'information géographique chaque série d'information est définitivement placée dans l'espace ou elle constitue une couche indépendante.

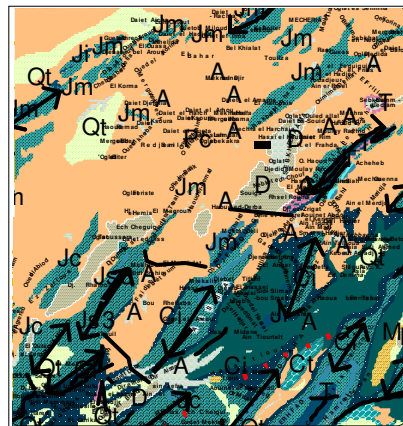


Fig. 79: La carte géologique digitalisée

4. Données altimétriques de la zone d'étude (MNT)

Les données altimétriques de terrain sont représentées par un ensemble de courbes de niveaux, acquis par numérisation à partir d'un fond topographique. Cette technique consiste à enregistrer les coordonnées des courbes de niveau à l'aide d'une tablette à numériser. (Fig.80)

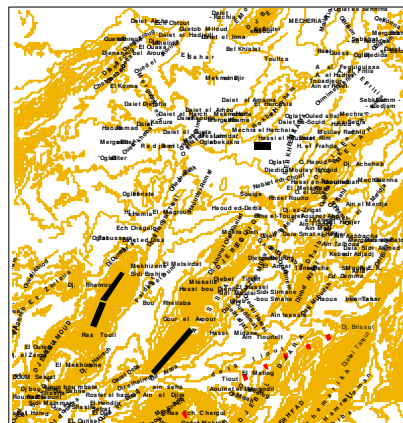


Fig. 80: Carte altimétrique de la région d'étude

En hydrogéologie, les données existantes doivent être complétées par de nouvelles informations à obtenir sur le terrain, Pour cela nous avons effectué:

- Une campagne d'inventaire de tous les points d'eau existants au niveau de notre secteur d'étude en Avril 2006.
- Des mesures de niveau d'eau (NS) dans les ouvrages pour l'établissement de la carte piézométrique.

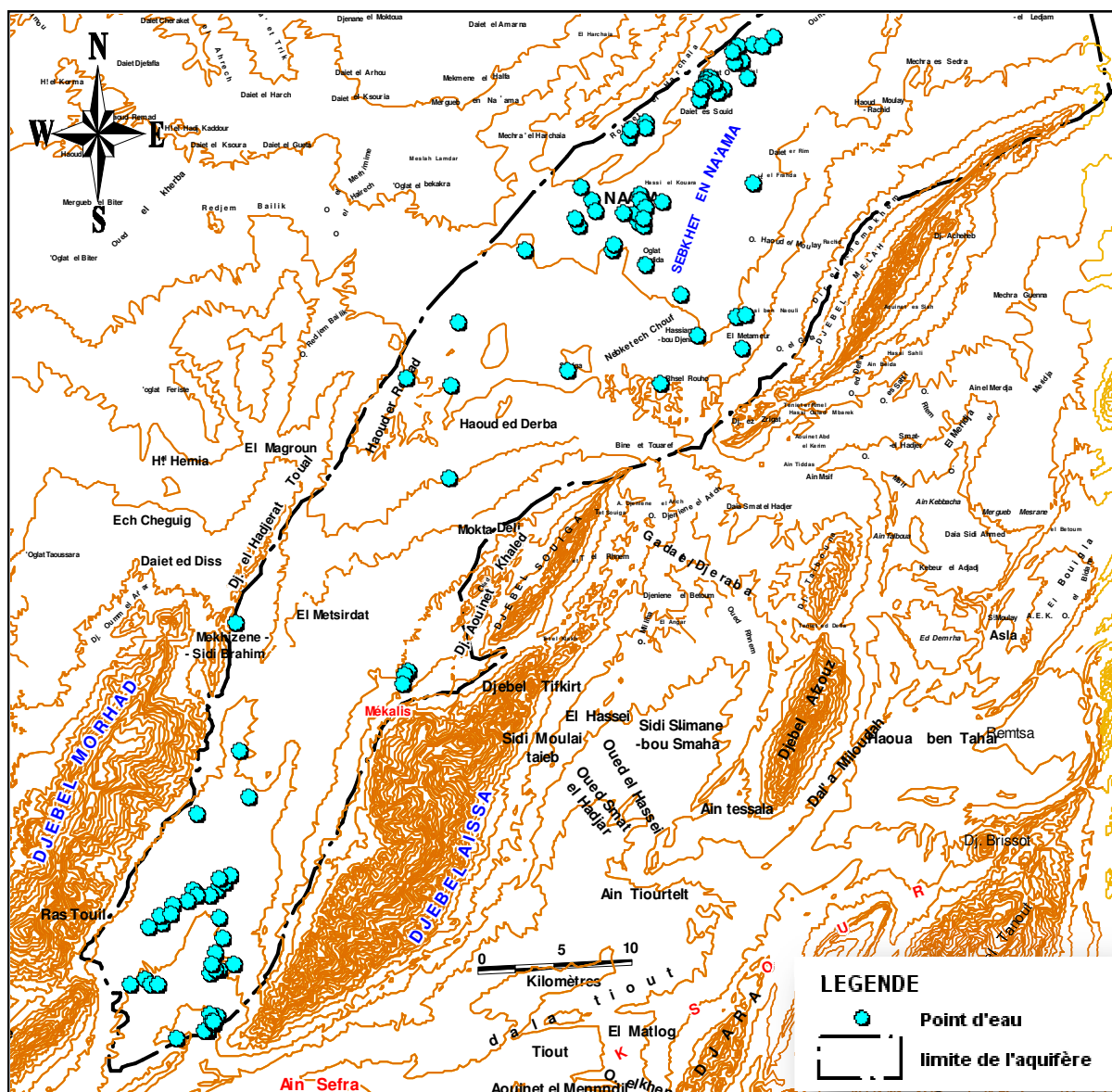


Fig. 81: Carte d'inventaire des points d'eau au niveau du synclinal de Nâama

5. Géométrie de l'aquifère

La coupe hydrogéologique établie à partir des logs litho stratigraphiques des puits (P 3, P4, P6) du forage F2 et les données géophysiques montrent l'existence de trois aquifères interstratifiés, séparés par des lentilles argileuses et représentés par :

- Des grés compacts à porosité d'interstices et de fractures, d'âge jurassique.
- Une série gréseuse attribuée au Barémo-Albo-Aptien à porosité de fractures, d'interstices et de chenaux dans lesquelles des lentilles argileuses.
- Une formation gréso-argileuse mio-pliocène à porosité d'interstices.

6. Piézométrie

Les cartes piézométriques sont le document de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitives et conductrices du réservoir, et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

Afin d'obtenir les courbes hydroisohypses (carte piézométrique), IL faut procéder à l'interpolation des valeurs de charge hydraulique disponibles par Krigeage au Vertical Mapper.

7. L'interprétation de la carte piézométrique de la nappe moi-pliocène du synclinal de Nâama (Avril 2006)

Le tracé des axes de drainage et les lignes de partage des eaux sur la carte de la surface piézométrique montre les différents sens d'écoulement des eaux souterraines dans le synclinal de Nâama (fig.82)

La carte piézométrique élaborée fait ressortir deux grands axes de drainage ; le premier situé au centre du synclinal de direction NE-SW à l'amont et NW-SE en aval qui est représenté par oued Tirkount, l'autre axe de drainage prend la direction SSW-NNE vers Haoued Ed Derba.

Une ligne de partage des eaux se trouve au Nord du Mékalis séparant le bassin hydrogéologique de Tirkount de celui du bassin de Nâama.

Cependant on a envisagé une remontée de la partie centrale qui est située entre deux accidents tectoniques parallèles de même direction (Est-Ouest) à activité conjuguée.

La surface piézométrique montre une alimentation de la nappe mio-pliocène du bassin de Tirkount à partir des formations jurassiques et crétacées du flanc NW de Djebel Aissa, et du flanc NE de Djebel Morhad.

Dans la partie septentrionale du synclinal, on note l'existence d'une dépression au niveau de Haoud Remad due à une faible alimentation des eaux météoriques à cause de la forte évaporation à ce niveau.

Dans la partie médiane de la nappe entre Mékalis et le puits AF10, le gradient hydraulique est assez constant. Dans la partie centrale de la dépression de Tirkount entre le puits AF10 et le puits AF12, le gradient hydraulique diminue cela étant dû à l'augmentation de la section d'écoulement et à la topographie.

Les accidents tectoniques du réservoir se traduisent par des anomalies de la surface piézométrique. C'est le cas de l'accident Ras Touil- Ain Sefra qui a identifié une diminution brusque et anormale du module d'espacement ce qui traduit une diminution de la perméabilité de terrain car la zone de fracture joue le rôle de barrage souterrain naturel par la mise en contact de formations hydrogéologiques de perméabilités différentes et création de perte de charge.

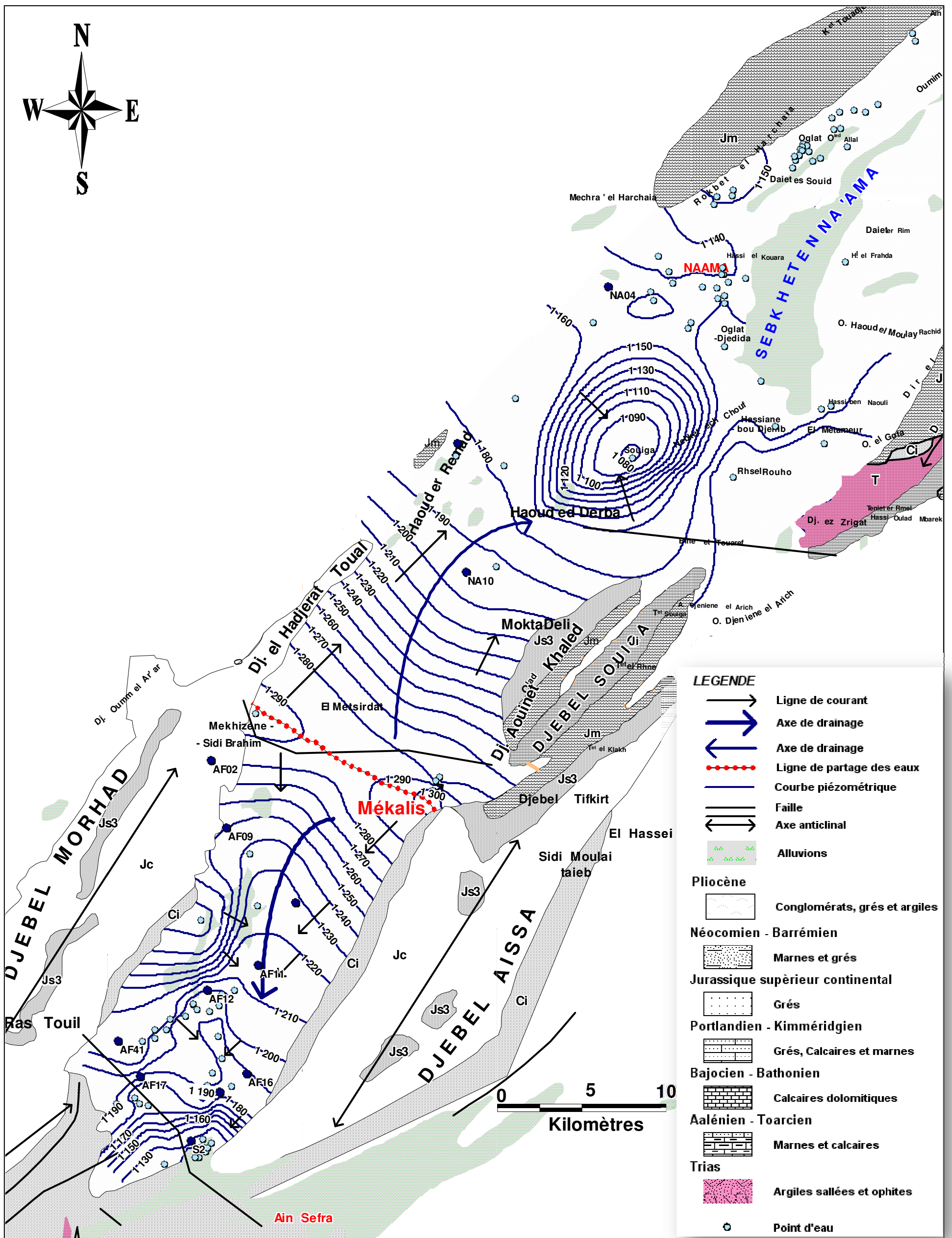


Fig. 82: Carte piézométrique de la nappe Mio-Pliocène du synclinal de Nâama (Avril 2006)

8. *Interprétation de la carte d'écart-type de Krigeage*

L'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) et les logiciels d'analyse spatiale constitue une nouvelle approche pour l'analyse spatiale de l'information et la mise à jour des travaux de cartographie.

Pour juger de la qualité de la carte piézométrique on peut envisager de tester l'aptitude d'un réseau de mesures (densité des points, configuration spatiale) à produire une information en un certains nombre de points compte tenu de l'échantillonnage des valeurs disponibles. L'information ainsi reconstituée devra être assortie d'un indicateur de précision qui permettra d'apprécier le degré de confiance qu'on peut lui accorder.

Le krigeage, méthode d'interpolation, est en mesure de fournir un tel indicateur en associant à chaque estimation l'écart type de l'erreur d'estimation.

La figure 83 présente une carte d'écart-type d'estimation qui est construite à partir de la variance de l'erreur d'interpolation du krigeage. Cette carte permet de localiser les zones qui ont un déficit de qualité. Ce sont les zones dont les valeurs absolues de l'écart-type réduit sont supérieures à 2 pour un niveau de confiance à 95%.

Les valeurs des écarts-type de krigeage obtenues sont comprises entre (-0,04 et 4,55) avec de faibles valeurs aux voisinages immédiats des points d'eau indiquant une bonne précision de la cartographie et des valeurs absolues de l'écart-type supérieur à 2 illustrant les incertitudes liées au plan d'échantillonnage. Les zones qui ont un déficit de qualité sont des zones à fractures qui se localisent en 3 endroits bien distinctes : au niveau de l'accident Ras-Touil- Ain Sefra, au Nord de Mékalis et à Mocta Dli. Ces zones gagneraient à être échantillonnées de façon à y réduire le déficit d'information qui y est relevé.

La figure 84 présente une carte d'écart-type réduit appliquée aux données de la minéralisation qui confirme l'observation portée à l'encontre de la carte de l'écart-réduit du krigeage de la piézométrie. On y relève de fortes valeurs de l'écart-type réduit aux voisinages immédiats des points à forte minéralisation pour les puits (AF17, AF16, S2)

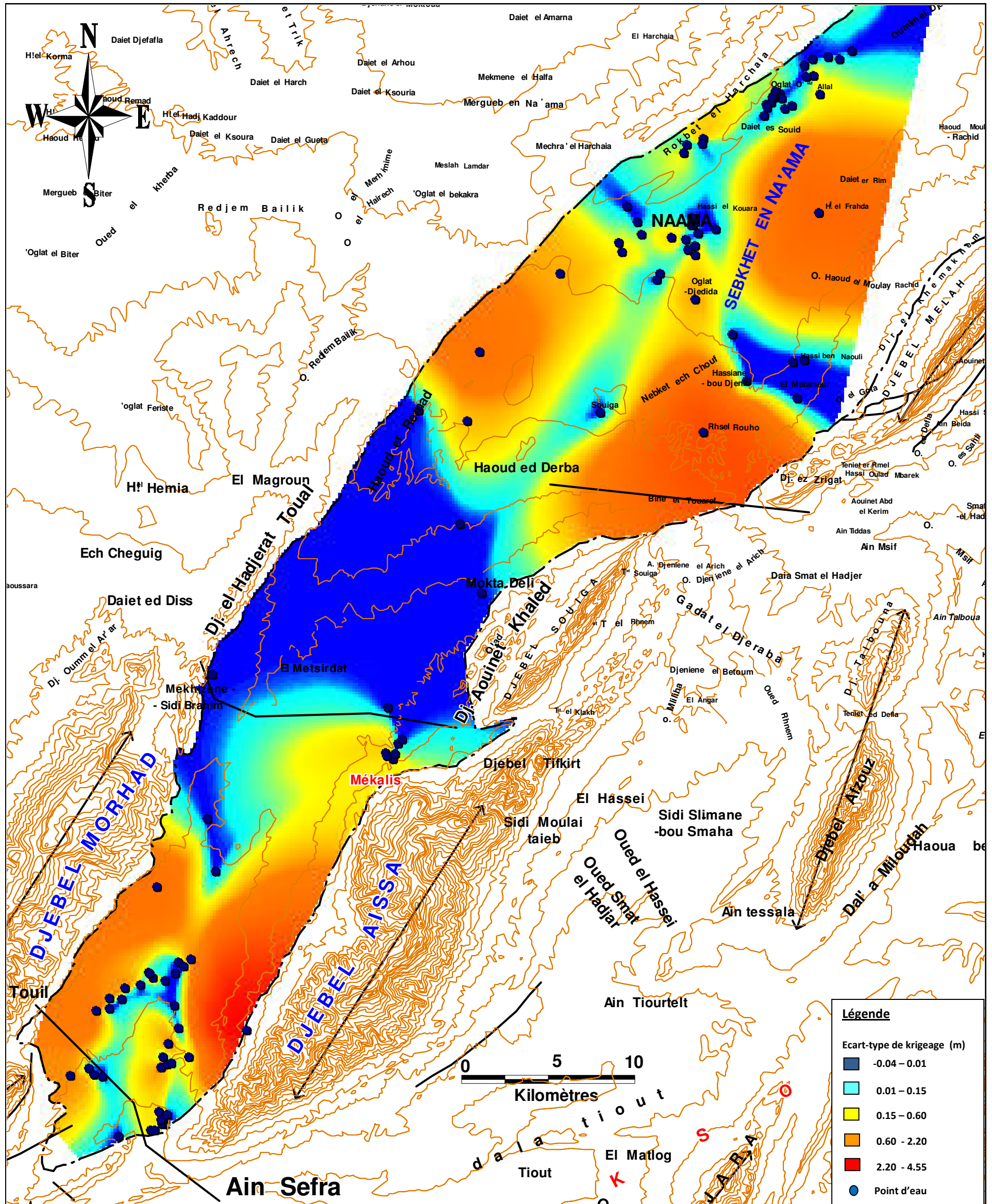


Fig. 83 : Carte d'écart-type réduit de krigeage appliquée à la piézométrie

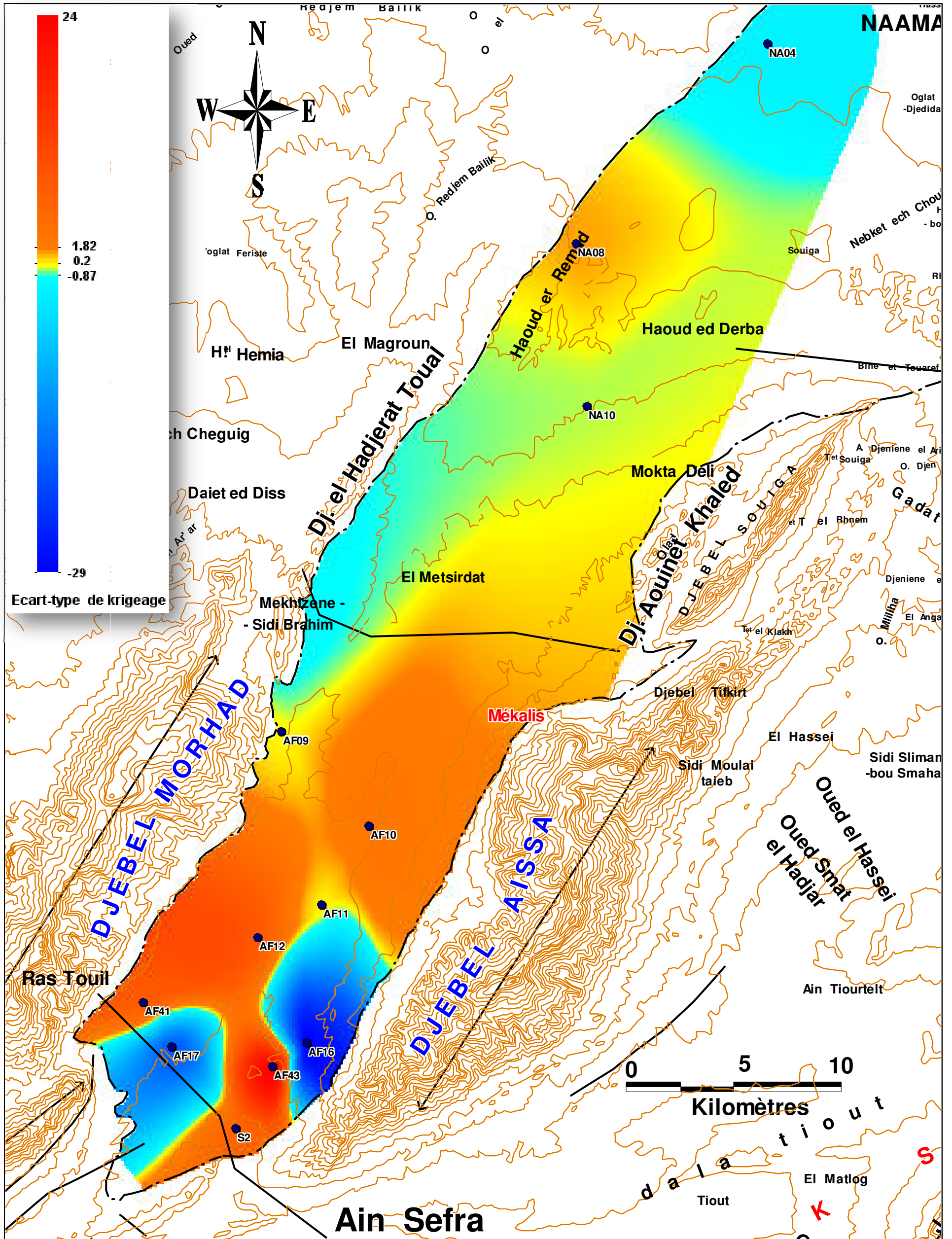


Fig. 84: Carte d'écart-type réduit de krigeage appliquée à la minéralisation

1. Recommandations

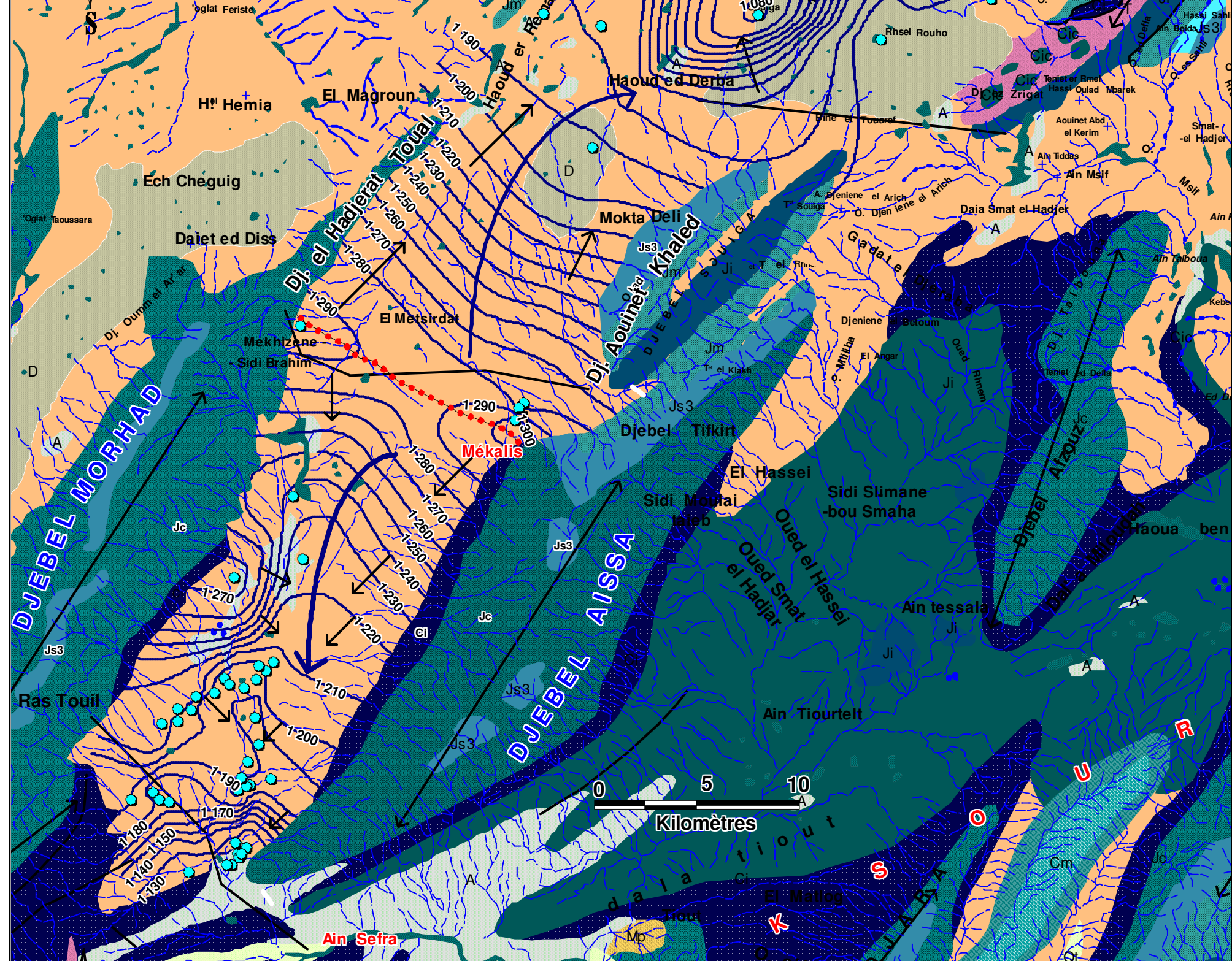
Compte tenu des résultats de la carte de l'écart-type réduit de krigeage, la couverture géographique du réseau de mesures n'est pas satisfaisante. On y observe des lacunes d'observations dans plusieurs zones et la nécessité d'accroître la densité des mesures en certains endroits. L'implantation de nouveaux points de mesures est donc impérative pour améliorer la qualité de la représentation cartographique. Le krigeage oriente cette implantation vers les points qui contribuent à réduire sa variance d'estimation. C'est à priori vers les zones qui présentent des lacunes d'observation (l'accident Ras-Touil-Ain sefra, au Nord de Mokta Dli), surtout au Nord de Mekalis pour préciser la limite hydrogéologique qui sépare les deux bassins hydrogéologiques du synclinal de Nâama.

C. Elaboration de la carte hydrogéologique





Pour élaborer la carte hydrogéologique, l'ensemble de strates d'informations suivant a été requis sous forme de tables :





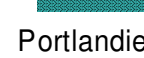

- Table carte géologique : fond et contour géologique
- Table carte piézométrique : isopièzes, axes de drainage, lignes de courant, lignes de partage des eaux souterraines, puits et forages.
- Table morphologie structurale : failles, fracturation, anticlinaux et synclinaux.
- Table hydrographie : oueds, Chotts et Sebka.

Une nouvelle information est ainsi produite qui n'est autre que la carte de synthèse de l'hydrogéologie de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama (fig. 85).



Légende

-  Point d'eau
-  Dunes
-  Aluvions
-  Quaternaire

-  Crétacé supérieur continental
-  Grés
-  Cénomanién
-  Jurassique Supérieur Continental
-  Grés
-  Portlandien - Kimméridgien

III. DISCUSSION DES RESULTATS

A. La configuration des bassins hydrogéologiques liée a la tectonique

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 (Mansour, 2008) à partir des cartes géologiques établies par Galmier (1973):

- Faille du Dj. Aïssa affectant le bassin hydrogéologique de Tirkount- Mékalis (fig.86)
- Faille au Nord du Mékalis affectant le bassin hydrogéologique de Nâama (fig.87)

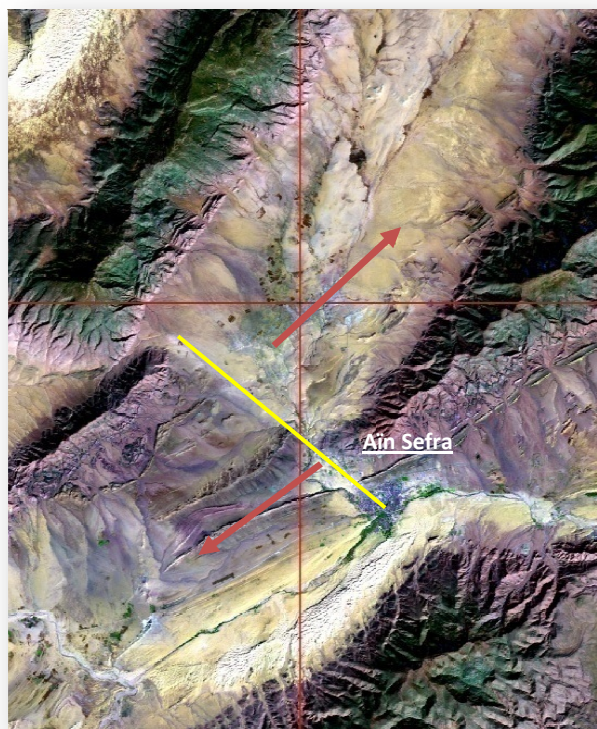


Fig. 86: Faille du Djebel Aïssa affectant le synclinal de Tirkount- Mékalis

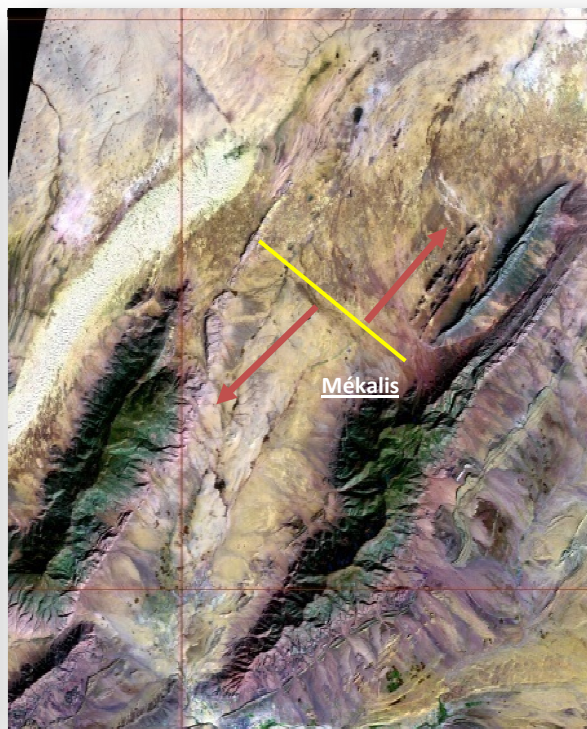
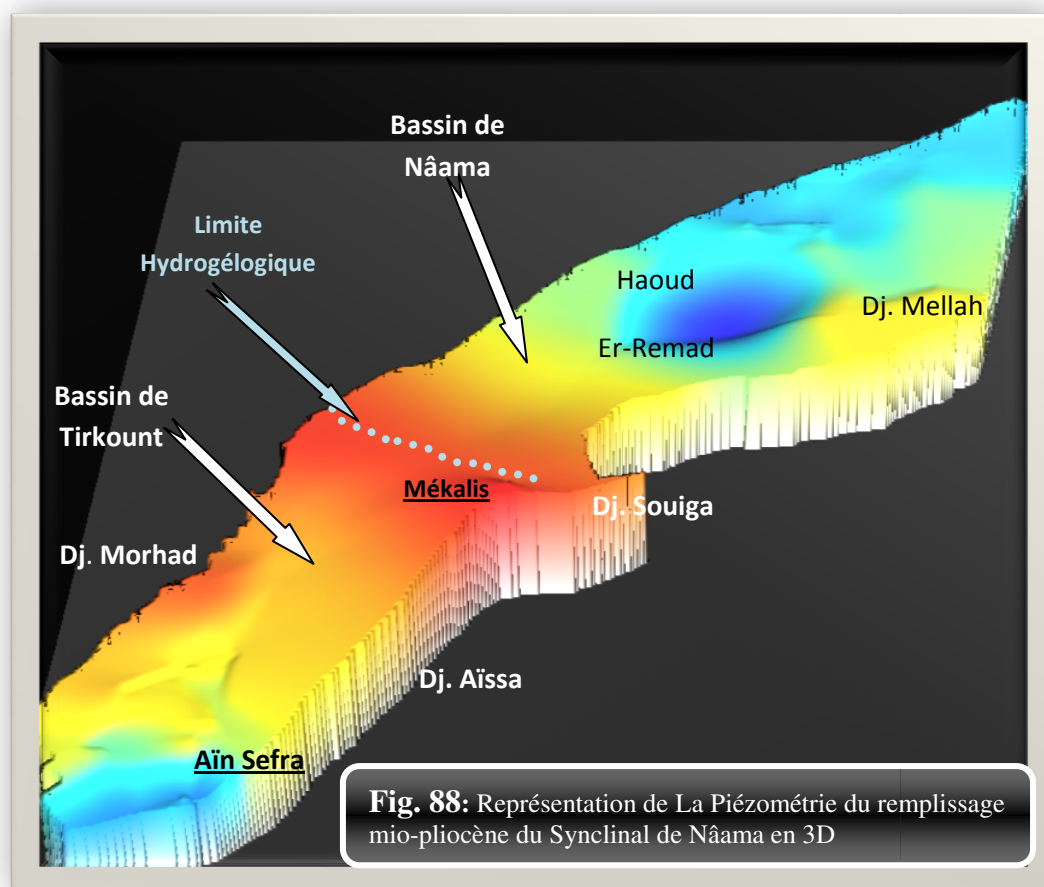


Fig. 87: Faille au Nord du Mékalis affectant le bassin hydrogéologique de Nâama

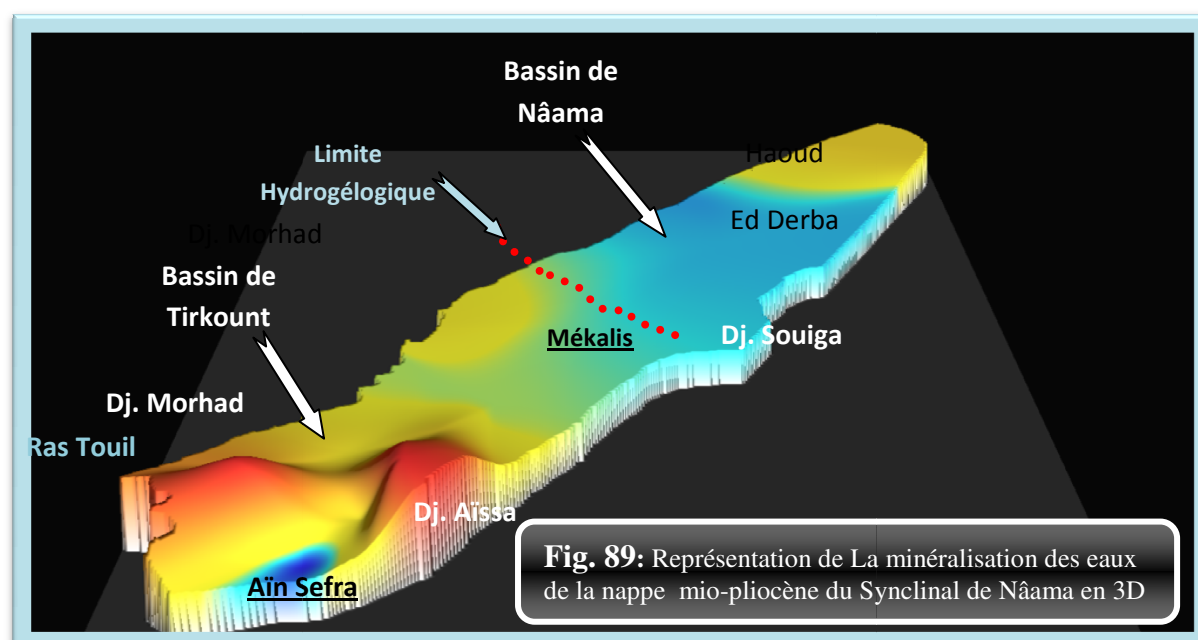
B. La configuration des bassins hydrogéologiques liée à la piézométrie.

.La piézométrie du remplissage mio-pliocène du synclinal de Nâama en 3D (Fig.88) fait ressortir la grande ligne de partage des eaux souterraines auprès de Mékalis qui suggère la présence de deux bassins hydrogéologiques ; le bassin de Nâama au Nord et le bassin de Tirkount au Sud-Ouest. Le reste des lignes de partage des eaux s'apparentent aux crêtes des anticlinaux, ceinturant les cuvettes piézométriques.



C. La configuration des bassins hydrogéologiques liée à l'hydrochimie

La figure 89 montre une augmentation de la minéralisation suivant deux directions d'écoulement des eaux souterraines; un écoulement de direction NE-SW à l'amont et NW-SE en aval qui est représenté par Oued Tirkount, l'autre écoulement prend la direction SSE-NNW vers Haoud Ed Derba., ce qui nous indique l'existence de deux bassins hydrogéologiques au niveau du synclinal de Nâama.



La carte hydrogéologique du synclinal de Nâama (Monts des Ksour) établie par ce travail constitue un point de départ et un support de recherche pour passer à une cartographie hydrogéologique numérique des Monts des Ksour.

Ce travail a aussi permis de construire un SIG de la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama intégrant de nombreuses couches d'informations. Il est encore à compléter sur un certain nombre d'aspects: annotations, hydrochimie, notice explicative,...

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Au terme de ce travail, on voudrait essentiellement faire ressortir l'intérêt de l'établissement de la carte hydrogéologique du synclinal de Nâama qui a pour but principal de reconnaître les limites hydrogéologiques des grands aquifères liées essentiellement au remplissage mio-pliocène.

Le synclinal de Nâama correspond à une dépression parallèle à la direction des plissements atlasiques.

Du point de vue géologique, le synclinal de Nâama est une structure pincée entre l'anticlinal du Djebel Morhad et l'anticlinal du Djebel Aissa. Les replis observés sont ceux d'un pli anticlinal médian suggéré par l'étude géophysique.

Du point de vue hydroclimatologique, les résultats obtenus reflètent assez bien les particularités hydrologiques des zones semi-arides à arides, Les précipitations sont assez faibles de l'ordre de 119.25mm, et la quantification des apports (précipitation) aux nappes est étroitement liée à l'intensité des précipitations donc aux crues de l'oued Breidj et l'oued Tirkount.

L'étude géophysique et les données lithostratigraphiques des puits et du forage F2, nous ont permis de préciser la géométrie et la nature des principaux réservoirs, de déterminer l'épaisseur des différentes formations et de mettre en évidence une seule nappe multicouche représentée par:

- Des grés mio-pliocènes à porosité d'interstices avec une intercalation des lentilles argileuses.
- Un horizon gréseux crétacé, à porosité d'interstices, de fractures et de chenaux dans laquelle s'intercalent des lentilles argileuses.
- Une formation gréseuse jurassique à porosité d'interstices et de fractures intercalée par des lentilles argileuses.

Du point de vue tectonique, il apparaît que la configuration des bassins hydrogéologiques est intimement liée à la présence de failles.

Conclusion générale

La limite structurale et hydrogéologique, représentée par la faille qui se trouve au Nord du Mékalis, est illustrée à travers des sites représentatifs ayant un impact sur les écoulements souterrains. Elle partage le synclinal de Nâama en deux bassins hydrogéologiques : le bassin de Nâama au Nord et le bassin de Mékalis-Tirkount au Sud du synclinal.

L'étude piézométrique de la nappe mio-pliocène confirme l'existence de deux bassins hydrogéologiques au niveau du synclinal de Nâama grâce à la ligne de partage des eaux au Nord du Mékalis qui partage le synclinal en deux bassins hydrogéologiques: Le bassin hydrogéologique du Mékalis – Tirkount au Sud et l'autre bassin de Nâama qui se trouve au Nord de ce synclinal.

L'apparition de deux grands axes de drainage au niveau du synclinal assure cette confirmation; le premier axe de drainage situé au centre du synclinal de direction NE-SW à l'amont et NW-SE en aval qui est représenté par Oued Tirkount, l'autre axe de drainage prend la direction SSW-NNE vers Haoud Ed Derba. Avec un gradient hydraulique moyen au centre de la dépression de Tirkount, un peu plus élevé au niveau oriental et occidental, cet accroissement est dû essentiellement à la diminution de la section d'écoulement, à la topographie et à l'alimentation de la nappe mio-pliocène à partir des grés crétacés des massifs d'Aïssa et Morhad.

L'étude hydrochimique restitue la structure du synclinal de Nâama par la mise en évidence d'une évolution hydrochimique du système qui se fait par un appauvrissement progressif en bicarbonates, et un enrichissement en chlorures, magnésium, calcium et sulfates suivant les deux sens des écoulements souterrains (un écoulement représenté par Oued Tirkount et l'autre de direction SSE-NNW, vers Haoud Ed Derba). Les eaux du synclinal de Nâama appartiennent principalement au faciès bicarbonatés calcique, plus ou moins magnésien.

L'analyse en composantes principales des données chimiques a explicité :

Conclusion générale

L'opposition entre les eaux fortement minéralisées occupant la partie centrale de la dépression de Tirkount et le long de l'accident Ras Touil-Ain Sefra et les eaux faiblement minéralisées.

L'opposition entre les eaux riches en bicarbonates (HCO_3) et les eaux riches en Ca et SO_4^{2-} . Ce dernier élément caractéristique d'une pollution agricole (engrais) est à corrélérer avec les activités agricoles locales et au lessivage des formations gypseuses par les précipitations.

Au terme de la synthèse des résultats des campagnes piézométriques et hydrochimiques au niveau du synclinal de Nâama, des méthodes de traitement performantes (imagerie spatiale, méthodes d'intégration et d'analyse des SIG) ont permis de produire une cartographie thématique représentant les grands traits des écoulements dont est le siège la nappe mio-pliocène du synclinal de Nâama.

Références bibliographiques

AIT OUALI R. (2001).- Le rifting des monts des Ksour. Organisation du bassin, diagenèse des assises carbonatées. Place des ouvertures mésozoïques du Maghreb. Thèse Doct. Univ. Pau.

BASSOULET J. P. (1973).- Contribution à l'étude stratigraphique du Mésozoïque de l'Atlas saharien occidental (Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences naturelles. Université de Paris VI. Tome I. 324 P.

BULGARGEOMIN (1978 à 1985) – Rapports sur les travaux de forages hydrogéologiques des régions de Nâama, Tirkount, Sfissifa, Tiout, Aïn Ouarka).

C.G.G (1973 à 1977). – Etudes géophysique des synclinaux des Monts des Ksour (Aïn Séfra, Nâama, Asla, El Abiodh Sidi cheikh, Béni Ounif). Compagnie générale de géophysique. Rapports internes. DHW de Nâama et de Béchar.

CORNET A.(1952).- L'Atlas saharien sud oranais. XIX Congrès géologique interne,Alger, Monographies régionales, 51 p. 9 fig, 1 pl.

DHW NAAMA (1980 –2000) – Données pompages d'essai de forages (Nâama, Aïn Séfra, Asla, Moghrar, Sfissifa). Direction de l'hydraulique de wilaya de Nâama.

DOUIHASNI (1976). - Etude géologique de Ain Ouarka, Boussemghoun. Analyse structurale (Partie centrale des monts des Ksours, Atlas saharien, Algérie)

DOUIHASNI M. (1976).- Etude géologique de la région d'Ain Ouarka, Boussemghoun (Partie centrale des Monts des Ksour- Analyse structurale). Tome I. Stratigraphie.

DOUIHASNI M. (1976).- Etude géologique de la région d'Ain Ouarka, Boussemghoun (Partie centrale des Monts des Ksour- Analyse structurale). Tome II. Tectonique.

GALMIER D. (1970).- Photogéologie de la région d'Aïn Sefra. Pub. Ser. Carte géol. Bulletin n°42, Alger.

Références bibliographiques

GALMIER D. (1971).- Etude photogéologique de la structure de l'Atlas saharien occidental. Thèse Doctorat d'Etat.

GUARDIA P. (1975).- Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord - occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le rif externe, le tell et l'avant - pays atlasique. Thèse 3ième cycle, Univ. Nice.

KAZI TANI (1986).- Evolution Géodynamique de la bordure Nord Africaine. Le domaine intra plaque Nord Africain. Approche mégaséquentielle. Thèse d'Etat, univ Pau.

MAHBOUBI M. (1995).- Étude géologique et paléontologique des formations continentales paléocènes et éocènes d'Algérie. Thèse doct., univ. Oran-es Senia Mares (1857)

MANSOUR H. (2007). - Hydrogéologie du continental intercalaire et du complexe terminal en domaine aride. Exemple des Monts des ksour (Atlas saharien occidental). Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences de la Terre. Université d'Oran.

MEDDAH A., BERTRAND, H., ELMI, S. (2007).- La province magmatique de l'Atlantique central dans le bassin des Ksour (Atlas saharien, Algérie). Comptes Rendus Geoscience, 339, 24-30.

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.

MEKKAOUI (2000).- Bordure du sillon atlasique et plateforme saharienne. Jurassique inférieur et moyen : Djebel Grouz méridional - Charef fendi (Partie occidentale des monts des Ksours, Atlas saharien), mémoire de magister, Univ. Oran, Algérie, 250 p.

MEKKI M. (1986).- Contribution à l'étude hydrogéologique de la dépression de Tirkount. (Atlas Saharien occidental). Mémoire d'Ingénieur d'état. Université d'Alger.

NOUAR (2003).- Structures de réactivation dans le Djebel Amour Atlas saharien, Algérie). Bull des Sc. géographiques, 11. pp 35-42.

Références bibliographiques

RITTER E. (1902). - Le Djebel Amour et les Monts des Oulad Naïl. Bull.Serv.Carte Geol.Algérie, (2) 3.

SEBANE A. (2007).- Etude quantitative et séquentielle de l'évolution des peuplements micropaléontologiques en Algérie occidentale au cours du Jurassique inférieur et moyen. Th. d'Etat, Univ. d'Oran

Annexes

Station	Code	X	Y	Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Nâama	81404	220.3	1.1	1986								0.0	9.5	7.3	0.0	3.9
Nâama	81404	220.3	1.1	1987	0.0	0.7	12.7	11.2	9.7	6.2				27.1	4.0	7.0
Nâama	81404	220.3	1.1	1988	22.6	21.0	28.9	3.1	14.8	7.5	43.1	40.6	6.1	25.6	1.3	7.5
Nâama	81404	220.3	1.1	1989	12.0	2.2	17.2	9.2	29.5	0.0	1.8	21.2	75.5	6.1	7.0	15.6
Nâama	81404	220.3	1.1	1990	5.8	4.2	3.0	13.9	13.9	34.8	132.5	18.5	27.9	14.1	6.0	14.7
Nâama	81404	220.3	1.1	1991	27.7	77.4	0.6	15.4	1.3	10.4	26.1	19.4	28.7	3.3	19.1	1.0
Nâama	81404	220.3	1.1	1992	5.8	0.0	11.1	1.5	5.0	29.0	45.9	9.6	2.9	5.2	0.5	13.3
Nâama	81404	220.3	1.1	1993	8.6	6.1	54.2	7.5	16.2	10.0	31.0	3.9	3.1	16.8	0.9	7.6
Nâama	81404	220.3	1.1	1994	43.7	46.6	46.9	0.0	1.6	4.2	42.5	26.3	0.0	4.0	2.1	23.9
Nâama	81404	220.3	1.1	1995	15.6	32.4	1.8	9.1	26.7	38.9	76.3	12.2	0.4	50.1	4.7	4.0
Nâama	81404	220.3	1.1	1996	24.0	2.4	0.0	20.0	16.7	0.0	11.6	83.9	11.7	0.0	7.2	29.8
Nâama	81404	220.3	1.1	1997	24.1	20.9	4.0	10.6	11.5	5.2	5.7	5.5	33.3	25.5	0.0	1.2
Nâama	81404	220.3	1.1	1998	6.1			13.0	48.9	17.5	7.5	0.1	0.0	7.4	7.8	11.6
Nâama	81404	220.3	1.1	1999	38.5	6.0	5.7	3.6	3.3	0.0	1.2	3.7	24.3	21.7	3.9	14.7
Nâama	81404	220.3	1.1	2000	16.7	87.5	3.6	8.6	6.1	11.0	0.3	6.3	1.3	1.3	1.5	6.0
Nâama	81404	220.3	1.1	2001	4.4	12.0	2.3	25.0	0.0	6.1	15.5	17.3	20.4	2.0	0.2	21.0
Nâama	81404	220.3	1.1	2002	14.9	18.4	37.8	9.0	10.5	24.9	11.6	12.0	9.0	6.4	11.2	4.5
Nâama	81404	220.3	1.1	2003	6.9	61.6	31.7	16.3	0.2	10.5	4.5	16.2	51.1	6.2	4.8	5.6
Nâama	81404	220.3	1.1	2004	5.1	7.6	35.0	13.5	3.2	12.4	13.3	1.9	8.3	9.0	3.9	2.1

Données pluviométriques de la station de Nâama (1986-2004)

Mise en service en avril 1987

Station	Code	X	Y	Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Mécheria	81401	223.7	30.6	1980	45.8	9.2	101.1	14.8	0.0	14.1	40.1	25.2	2.5	8.1	0.0	15.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1981	3.6	2.5	0.0	0.0	32.8	38.4	13.5	41.6	19.9	4.0	0.0	0.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1982	12.0	35.5	65.6	15.1	0.0	7.0	0.0	0.0	17.0	7.0	4.0	0.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1983	0.0	2.0	0.0	14.0	6.0	5.0	37.3	6.5	16.5	22.0	0.0	14.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1984	0.0	0.0	53.0	4.5	27.3	2.0	15.0	1.2	4.0	0.6	4.5	5.4
Mécheria	81401	223.7	30.6	1985	29.7	13.5	17.8	36.7	35.3	14.8	33.9	20.0	27.3	0.0	0.0	0.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1986	25.4	43.8	47.1	7.9	18.6	30.8	1.0	5.2	8.6	13.0	4.6	0.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1987	43.5	8.0	23.5	14.0	37.2	28.5	5.7	7.0	10.0	9.6	0.0	13.4
Mécheria	81401	223.7	30.6	1988	16.1	21.0	37.9	5.2	17.2	5.0	106.2	40.9	7.5	8.0	2.3	4.1
Mécheria	81401	223.7	30.6	1989	9.3	18.4	18.5	10.1	66.0	0.0	4.2	47.5	64.0	26.3	0.7	5.6
Mécheria	81401	223.7	30.6	1990	25.0	5.7	11.5	27.8	33.8	38.3	178.8	18.0	30.1	22.4	6.7	0.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1991	20.9	74.2	2.8	27.5	4.9	12.0	26.7	50.9	51.6	4.5	13.8	3.7
Mécheria	81401	223.7	30.6	1992	0.5	0.0	20.1	3.1	4.8	46.2	57.0	21.7	26.9	2.4	0.0	0.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1993	9.6	6.9	52.0	4.9	30.5	29.8	51.3	6.8	4.6	0.0	0.8	0.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1994	18.2	16.2	14.1	4.6	2.4	4.8	139.6	23.0	7.3	10.7	0.0	20.7
Mécheria	81401	223.7	30.6	1995	19.4	41.1	5.6	22.3	39.3	56.1	100.6	27.9	0.0	35.9	12.5	2.3
Mécheria	81401	223.7	30.6	1996	24.2	10.6	0.5	27.0	38.4	0.0	6.3	74.3	24.9	0.0	8.7	54.0
Mécheria	81401	223.7	30.6	1997	16.7	31.3	22.3	44.0	19.6	13.1	12.7	30.3	37.2	14.4	2.1	6.9
Mécheria	81401	223.7	30.6	1998	6.9	0.0	7.6	20.2	55.3	55.5	8.6	8.3	0.0	0.0	11.4	15.6
Mécheria	81401	223.7	30.6	1999	12.0	21.0	17.6	3.9	0.0	0.0	0.7	10.7	36.4	0.0	1.1	5.9
Mécheria	81401	223.7	30.6	2000	21.8	149.9	14.9	12.0	29.9	5.9	8.1	17.4	5.6	6.4	2.6	2.6
Mécheria	81401	223.7	30.6	2001	9.7	9.6	26.9	40.0	0.0	5.4	43.5	34.9	73.1	0.0	5.5	23.7
Mécheria	81401	223.7	30.6	2002	10.9	19.6	22.5	43.2	26.2		19.0	14.5	12.4	0.0	1.0	5.5
Mécheria	81401	223.7	30.6	2003	2.5	73.3	38.6	31.0	2.7	16.4	26.4	17.9	67.5	7.6	20.9	6.7
Mécheria	81401	223.7	30.6	2004	5.5	10.5	30.6	21.4	3.6	4.9	23.3	0.0	4.2	11.5	23.0	8.0

Données pluviométriques de la station de Mécheria (1980-2004)

Station	Code	X	Y	Annee	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1980	9.4	4.0	29.2	3.2	0.0	5.9	2.8	18.2	2.0	6.2	0.0	18.5
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1981	0.1	0.2	0.0	0.0	18.5	24.9	33.6	60.7	4.8	4.2	0.0	5.6
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1982	2.7	6.7	46.3	0.7	0.0	8.6	2.3	0.5	24.0	4.0	0.0	0.5
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1983	0.0	10.7	0.5	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	25.8	8.9	0.0	0.2
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1984	0.0	8.2	14.9	0.0	12.6	9.4	18.4	0.0	30.5	0.0	1.6	1.2
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1985	30.5	25.3	6.3	32.5	3.8	5.5	15.5	0.0	7.3	6.3	0.7	3.1
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1986	39.2	53.9	34.7	0.7	0.0	6.0	15.5	1.0	3.8	4.1	1.2	15.9
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1987	5.3	6.4	27.4	11.9	12.1	32.8	8.5	0.0	13.0	18.3	10.0	0.0
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1988	16.8	8.2	11.5	0.0	29.4	6.1	24.3	16.3	22.5	10.2	0.0	7.0
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1989	5.2	19.1	13.5	8.4	22.5	0.0	4.1	68.2	164.5	2.7	7.5	2.6
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1990	10.6	0.7	2.2	13.1	2.4	56.0	164.3	45.4	25.6	38.9	6.4	6.9
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1991	7.3	55.2	0.6	16.1	3.7	4.2	13.1	4.2	32.5	0.5	8.8	4.0
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1992	0.6	0.0	15.8	1.3	7.0	31.4	46.5	7.5	4.8	5.1	1.0	0.4
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1993	10.8	14.6	71.0	4.2	49.2	3.6	65.1	0.0	1.5	3.6	1.0	3.5
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1994	57.8	54.7	12.8	0.0	1.7	4.5	40.6	34.7	0.5	3.1	0.3	5.0
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1995	11.3	39.2	0.2	5.0	21.9	23.5	55.3	7.8	5.2	32.3	12.2	1.6
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1996	4.3	2.7	0.0	25.3	37.0	0.0	4.6	45.7	2.9	0.0	3.4	34.3
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1997	14.6	6.3	3.3	3.2	7.2	7.0	4.0	4.4	13.2	14.3	0.8	0.5
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1998	28.4	7.2	0.2	11.6	64.5	12.0	9.9	9.0	0.0	0.4	5.4	9.9
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	1999	3.4	5.6	6.6	6.2	4.1	0.0	1.0	2.5	8.3	3.4	0.0	2.3
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	2000	22.9	40.1	0.0	1.8	2.8	1.1	0.0	2.1	2.2	0.2	0.3	10.6
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	2001	8.8	17.9	14.0	7.7	0.0	7.5	3.1	27.5	2.3	4.3	1.5	31.4
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	2002	11.0	14.9	38.0	7.7	20.7	11.1	25.3	8.0	15.1	0.8	8.3	3.1
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	2003	14.8	47.1	32.5	4.9	0.5	13.6	25.8	18.8	18.8	25.4	1.8	8.9
Ain Sefra	130356	191.9	-55.4	2004	44.3	3.0	22.7	16.1	6.1	2.0	2.7	0.0	0.6	4.6	0.3	29.9

Données pluviométriques de la station d'Ain Sefra (1980-2004)

Annexes

N°	Point d'eau	Localisation	X	Y	Z	Niveau_st	Niveau_p
1	Sf06	/	175 700,00	259 100,00	1 443,00	27,00	1 416,00
2	Da06	/	178 000,00	262 900,00	1 434,00	2,00	1 432,00
3	Af99	/	179 950,00	241 450,00	1 161,00	32,00	1 129,00
4	Af86	/	180 000,00	242 300,00	1 190,00	2,50	1 187,50
5	Af82	/	180 500,00	240 700,00	1 152,00	2,10	1 149,90
6	Af85	/	180 700,00	242 200,00	1 165,00	2,10	1 162,90
7	P02	/	180 800,00	245 100,00	1 206,00	33,80	1 172,20
8	Af84	/	181 500,00	242 500,00	1 163,00	2,00	1 161,00
9	Af65	/	183 600,00	251 300,00	1 203,00	13,00	1 190,00
10		/	183 770,26	264 868,74	1 810,00	1,50	1 808,50
11	Af83	/	184 000,00	242 000,00	1 160,00	2,00	1 158,00
12	HassiBelefloufa	Tirkount	184 679,24	251 670,50	1 200,00	26,10	1 173,90
13		/	184 860,00	265 854,75	1 750,00	1,00	1 749,00
14	P, 14	Tirkount	184 945,04	251 326,69	1 200,00	22,00	1 178,00
15	forage	Garet Kheil	184 950,00	246 800,00	1 196,53	28,00	1 168,53
16		/	185 067,61	261 928,19	1 314,00	5,50	1 308,50
17	P. 12	Aoch	185 091,90	255 003,04	1 233,00	13,20	1 219,80
18	P.77	/	185 400,00	289 600,00	1 225,00	7,00	1 218,00
19	P.15	Tirkount	185 450,38	251 198,68	1 200,00	28,20	1 171,80
20	P. 10	Aoch	185 852,13	255 154,82	1 210,00	8,20	1 201,80
21	P. 11	Aoch	185 861,06	255 712,89	1 230,00	13,60	1 216,40
22	P.01	Garet Kheil	186 400,00	247 750,00	1 153,44	28,80	1 124,64
23	P. 9	Aoch	186 526,27	255 698,14	1 208,00	7,60	1 200,40
24	P. 8	Aoch/	186 732,60	256 331,34	1 212,00	-	1 212,00
25	P.02	Garet Kheil	186 750,00	247 200,00	1 150,28	32,00	1 118,28
26	P. 07	Aoch	187 643,93	256 496,58	1 200,00	7,80	1 192,20
27	Af61	/	188 100,00	257 200,00	1 206,00	9,10	1 196,90
28	Af60	/	188 150,00	257 150,00	1 206,00	11,00	1 195,00
29	P,08	Tirkount	188 230,53	248 114,14	1 155,13	16,00	1 139,13
30	P.06	Aoch	188 332,52	256 909,99	1 200,00	-	1 200,00
31	P.07	Tirkount	188 474,00	248 114,14	1 150,00	18,00	1 132,00
32	Da05	/	188 600,00	262 150,00	1 275,00	2,50	1 272,50
33	P,06	Tirkount	188 677,00	249 189,66	1 150,34	22,00	1 128,34
34	P.02	Tirkount	188 800,00	248 700,00	1 153,00	26,10	1 126,90
35	P.36	/	188 800,00	244 300,00	1 102,00	14,70	1 087,30
36	P. 13	Aoch	188 805,02	251 758,41	1 210,00	18,40	1 191,60
37	P,03	Tirkount	188 850,00	248 500,00	1 153,39	22,00	1 131,39

Annexes

38	P. 15	Aoch	188 946,05	252 373,69	1 198,00	8,70	1 189,30
39	P,04	Tirkount	188 950,00	248 700,00	1 152,03	-	1 152,03
40	P.05	Aoch	189 078,15	256 770,10	1 200,00	6,50	1 193,50
41	P,01	Tirkount	189 200,00	249 000,00	1 150,62	28,20	1 122,42
42	P. 14	Aoch	189 202,31	251 951,50	1 200,00	12,10	1 187,90
43	Oglat	Oglat	189 231,14	253 135,21	1 200,00	2,00	1 198,00
44	Af91	/	189 400,00	252 000,00	1 199,00	16,70	1 182,30
45	Af67	/	189 500,00	248 600,00	1 179,00	15,00	1 164,00
46	P,05	Tirkount	189 600,00	248 500,00	1 153,90	4,00	1 149,90
47	Af62	/	189 600,00	255 300,00	1 202,00	15,50	1 186,50
48	P.04	Aoch	189 676,93	257 137,58	1 202,00	8,30	1 193,70
49	P.35	/	189 700,00	244 500,00	1 101,00	8,70	1 092,30
50	P. 03	Aoch	189 799,88	257 818,22	1 209,00	10,50	1 198,50
51	Af63	/	189 800,00	254 000,00	1 203,00	16,80	1 186,20
52	P,05	Bou Dema	189 950,00	248 790,00	1 186,29	9,00	1 177,29
53	P.01	Bou Dema	189 950,00	248 350,00	1 195,64	36,60	1 159,04
54	P,02	Bou Dema	189 980,00	248 520,00	1 189,70	28,10	1 161,60
55	Af66	/	190 000,00	248 500,00	1 204,00	15,00	1 189,00
56	P.78	/	190 000,00	277 000,00	1 303,00	6,40	1 296,60
57	P,03	Bou Dema	190 070,00	248 600,00	1 194,31	37,50	1 156,81
58	P.02	Aoch	190 152,38	257 584,21	1 214,00	16,00	1 198,00
59	P,07	Bou Dema	190 300,00	249 070,00	1 203,05	36,60	1 166,45
60	Af64	/	190 420,00	252 320,00	1 201,00	15,60	1 185,40
61	P,04	Bou Dema	190 450,00	248 600,00	1 219,00	9,00	1 210,00
62	Af69	/	190 500,00	246 800,00	1 180,00	10,00	1 170,00
63	P.01	Aoch	190 541,05	258 014,11	1 227,00	18,00	1 209,00
64	P,06	Bou Dema	190 800,00	248 820,00	1 222,38	28,10	1 194,28
65	Af70	/	190 800,00	246 900,00	1 180,00	10,00	1 170,00
66	Af72	/	191 300,00	246 800,00	1 180,00	15,50	1 164,50
67	P.42	/	191 500,00	266 100,00	1 250,00	11,80	1 238,20
68	Af74	/	191 700,00	245 500,00	1 127,00	9,25	1 117,75
69	P.36	/	191 800,00	274 400,00	1 310,00	18,00	1 292,00
70	P.43	/	191 950,00	263 040,00	1 252,00	28,40	1 223,60
71	Af95	/	193 400,00	245 220,00	1 090,00	21,30	1 068,70
72		/	193 762,91	253 871,77	1 304,00	1,50	1 302,50
73	Af96	/	194 800,00	246 300,00	1 111,00	21,00	1 090,00
74	Af68	/	195 400,00	248 100,00	1 154,00	15,50	1 138,50
75	P.55	/	197 800,00	294 300,00	1 224,00	18,20	1 205,80
76	P.56	/	200 300,00	296 400,00	1 200,00	20,50	1 179,50

Annexes

77	P.11	/	201 500,00	250 500,00	1 168,00	23,00	1 145,00
78	P.38	/	201 780,00	269 880,00	1 337,00	2,00	1 335,00
79	P.39	/	201 850,00	269 700,00	1 337,00	2,00	1 335,00
80	P.37	/	201 900,00	272 500,00	1 301,00	16,90	1 284,10
81	P.40	/	202 200,00	269 500,00	1 345,00	1,70	1 343,30
82	P,03	Mékalis	202 313,62	269 808,17	1 332,66	30,60	1 302,06
83	P,02	Mékalis	202 475,99	270 396,65	1 309,95	31,00	1 278,95
84	P,01	Mékalis	202 699,19	270 640,21	1 309,76	32,00	1 277,76
85		H_B_Djenib	203 062,73	268 240,33	1 498,00	1,50	1 496,50
86	P.41	/	203 580,00	268 510,00	1 495,00	1,50	1 493,50
87	P.57	/	203 700,00	289 600,00	1 200,00	18,00	1 182,00
88		A_Aissa	204 768,73	263 541,27	1 628,00	-	1 628,00
89	P.N7	Mékalis	205 028,55	298 853,15	1 153,00	18,00	1 135,00
90	P3	/	205 400,00	256 000,00	1 240,00	1,50	1 238,50
91	P.60	/	206 050,00	283 050,00	1 224,00	33,00	1 191,00
92	P.59	/	206 500,00	289 000,00	1 200,00	20,50	1 179,50
93	P.58	/	207 200,00	293 000,00	1 200,00	21,00	1 179,00
94	P.61	/	207 300,00	279 100,00	1 285,00	50,00	1 235,00
95	P.2	Tirkount	209 250,00	256 800,00	1 148,00	1,50	1 146,50
96		A_mokta Deli	211 057,79	279 539,03	1 306,00	-	1 306,00
97	P.62	Mékalis	211 800,00	279 500,00	1 333,00	1,50	1 331,50
98	P.63	/	211 800,00	297 500,00	1 174,00	15,00	1 159,00
99	P.N6	/	211 944,39	301 500,36	1 150,00	16,00	1 134,00
100	P.79	/	212 550,00	266 370,00	1 191,00	5,00	1 186,00
101	P.64	/	214 150,00	289 500,00	1 182,00	103,00	1 079,00
102	P.80	/	214 850,00	266 350,00	1 156,00	8,00	1 148,00
103	P.66	/	215 200,00	299 300,00	1 166,00	7,00	1 159,00
104	P.65	/	215 400,00	298 800,00	1 171,00	7,80	1 163,20
105	P.N3	/	215 657,96	301 398,90	1 150,00	17,00	1 133,00
106	P.N2	/	216 296,69	300 504,89	1 150,00	17,00	1 133,00
107	P.67	/	216 500,00	299 800,00	1 153,00	6,00	1 147,00
108	P.54	/	217 400,00	297 150,00	1 175,00	18,00	1 157,00
109	P.70	/	217 600,00	297 500,00	1 175,00	17,00	1 158,00
110	P.68	/	218 250,00	299 600,00	1 160,00	5,20	1 154,80
111	P.N4	/	218 931,72	304 460,43	1 150,00	-	1 150,00
112	P.69	/	219 100,00	299 500,00	1 159,00	6,00	1 153,00
113	P.N5	/	219 130,25	304 929,76	1 150,00	-	1 150,00
114	P.44	/	219 200,00	298 900,00	1 165,00	8,10	1 156,90
115	P.72	/	219 400,00	300 300,00	1 153,00	8,50	1 144,50

Annexes

116	P.N1	/	219 445,23	300 741,86	1 150,00	18,00	1 132,00
117	P.71	/	219 500,00	300 300,00	1 153,00	8,90	1 144,10
118	P.45	/	219 600,00	298 600,00	1 169,00	8,00	1 161,00
119	P.75	/	219 600,00	299 100,00	1 164,00	8,00	1 156,00
120		Oglat Djedida	219 606,99	296 057,64	1 175,00	2,00	1 173,00
121	P.74	/	219 800,00	299 850,00	1 156,00	8,00	1 148,00
122	P.H.2	/	220 048,70	304 991,72	1 159,00	8,70	1 150,30
123	P.H.1	/	220 094,09	305 319,71	1 164,00	7,00	1 157,00
124		Rhsel_roho	220 098,41	288 343,66	1 200,00	-	1 200,00
125	P.73	/	220 800,00	300 100,00	1 152,00	8,20	1 143,80
126	P.46	/	221 750,00	294 000,00	1 175,00	5,00	1 170,00
127	P.27	/	222 000,00	272 700,00	1 204,00	14,00	1 190,00
128	P.28	/	222 100,00	269 600,00	1 150,00	93,60	1 056,40
129		Hassi B Djenib	222 613,97	291 330,97	1 175,00	-	1 175,00
130	P.D.S.10	/	223 613,15	306 636,43	1 150,00	8,50	1 141,50
131	P.D.S.8	/	223 734,96	307 295,74	1 151,00	7,00	1 144,00
132	P.D.S.9	/	223 766,13	307 079,20	1 150,00	7,50	1 142,50
133	P.D.S.7	/	224 018,08	307 366,25	1 150,00	6,50	1 143,50
134	P.D.S.4	/	224 058,18	307 707,79	1 150,00	6,20	1 143,80
135	P.D.S.5	/	224 184,38	307 657,93	1 150,00	6,00	1 144,00
136	P.D.S.3	/	224 196,04	307 872,12	1 150,00	0,50	1 149,50
137	P.D.S.1	/	224 227,96	308 063,69	1 150,00	5,00	1 145,00
138	P.D.S.2	/	224 457,82	307 943,77	1 150,00	4,50	1 145,50
139	P.D.S.6	/	224 590,23	307 614,35	1 150,00	5,90	1 144,10
140	P.D.S.11	/	224 794,28	307 023,21	1 150,00	6,00	1 144,00
141	P.D.S.12	/	225 233,19	307 192,61	1 150,00	5,70	1 144,30
142		HassiB Naouli	225 286,83	292 392,26	1 175,00	-	1 175,00
143		O ^d . El Gota	225 503,00	290 318,85	1 199,00	1,50	1 197,50
144	P.47	/	225 900,00	292 520,00	1 182,00	3,10	1 178,90
145	P.D.S.15	/	225 920,87	309 561,02	1 150,00	7,00	1 143,00
146	P.D.S.13	/	226 033,45	308 867,51	1 150,00	6,00	1 144,00
147	P.D.S.16	/	226 390,50	309 900,66	1 150,00	7,00	1 143,00
148	P.D.S.14	/	226 467,67	308 951,27	1 150,00	5,50	1 144,50
149		Hassi Frahda	226 760,86	301 049,58	1 175,00	-	1 175,00
150		Oglat O ^d Alal	226 819,80	307 869,25	1 150,00	2,00	1 148,00
151	P.D.S.17	/	227 255,52	310 003,86	1 150,00	6,50	1 143,50
152	P.D.S.18	/	227 916,04	309 903,38	1 150,00	6,00	1 144,00
153	P.48	/	228 100,00	282 800,00	1 191,00	3,60	1 187,40
154	P.D.S.19	/	228 649,72	310 357,50	1 150,00	8,00	1 142,00

Annexes

155	P,To1	Touadjeur	228 765,64	314 534,12	1 150,00	-	1 150,00
156	P,03	Touadjeur	228 785,91	314 229,73	1 150,00	5,45	1 144,55
157	P.49		229 000,00	282 000,00	1 164,00	8,00	1 156,00
158	P,02	Touadjeur	229 029,46	314 513,84	1 150,00	5,80	1 144,20
159	P,04	Touadjeur	229 171,48	314 047,09	1 150,00	-	1 150,00
160	P,06	Touadjeur	229 516,49	314 290,64	1 150,00	5,00	1 145,00
161	P,05	Touadjeur	229 516,49	314 006,53	1 150,00	5,50	1 144,50
162	P. 11	Touadjeur	230 149,85	315 268,78	1 149,44	4,30	1 145,14
163	S.	Touadjeur	230 368,73	316 056,11	1 142,00	-	1 142,00
164	P. 10	Touadjeur	230 399,22	315 127,67	1 150,00	5,45	1 144,55
165	P.12	Touadjeur	230 663,05	316 893,21	1 105,49	6,70	1 098,79
166	P.08	Touadjeur	230 683,33	314 579,81	1 150,00	-	1 150,00
167	P.09	Touadjeur	230 703,61	315 087,12	1 150,00	-	1 150,00
168	P.13	Touadjeur	230886,25	316791,75	1114,24	6,70	1107,54
169	P.07	Touadjeur	230906,53	314092,71	1150,00	4,00	1146,00
170		Ain Rmel	231512,04	315946,78	1149,00	-	1149,00
171		Aouinet_es	233894,97	292588,82	1641,00	-	1641,00
172		Ain_fritis	236764,40	320083,82	1145,00	-	1145,00
173	P.53	Touadjeur	239800,00	283600,00	1134,00	18,60	1115,40

Campagne piézométrique (Juin, 2006)

Annexes

Lat. N.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1,04	,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5	1,02	,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	,99	1,02
10	1,00	,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	,98	,99
15	,97	,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	,95	,97
20	,95	,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	,93	,94
25	,93	,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	,99	,91	,91
26	,92	,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	,99	,91	,91
27	,92	,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	,99	,90	,90
28	,91	,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	,98	,90	,90
29	,91	,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	,98	,90	,89
30	,90	,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	,98	,89	,88
31	,90	,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	,98	,89	,88
32	,89	,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	,98	,88	,87
33	,88	,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	1,03	,97	,88	,86
34	,88	,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	,97	,87	,86
35	,87	,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	,97	,86	,85
36	,87	,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	,97	,86	,84
37	,86	,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	,97	,85	,83
38	,85	,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	,96	,84	,83
39	,85	,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	,96	,84	,82
40	,84	,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	,96	,83	,81
41	,83	,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	,96	,82	,80
42	,82	,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	,95	,82	,79
43	,81	,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	,95	,81	,77
44	,81	,82	1,02	1,13	1,27	1,29	1,30	1,20	1,04	,95	,80	,76
45	,80	,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	,94	,79	,75
46	,79	,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	,94	,79	,74
47	,77	,80	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,22	1,04	,93	,78	,73
48	,76	,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	,93	,77	,72
49	,75	,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	,93	,76	,71
50	,74	,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	,92	,76	,70
Lat. S.												
5	1,06	,95	1,04	1,00	1,02	,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10	1,08	,97	1,05	,99	1,01	,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15	1,12	,98	1,05	,98	,98	,94	,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20	1,14	1,00	1,05	,97	,96	,91	,95	1,00	1,00	1,08	1,09	1,15
25	1,17	1,01	1,05	,96	,94	,88	,93	,96	1,00	1,10	1,11	1,18
30	1,20	1,03	1,06	,95	,92	,85	,90	,96	1,00	1,12	1,14	1,21
35	1,23	1,04	1,06	,94	,89	,82	,87	,94	1,00	1,13	1,17	1,25
40	1,27	1,06	1,07	,93	,86	,78	,84	,92	1,00	1,15	1,20	1,29
42	1,28	1,07	1,07	,92	,85	,76	,82	,92	1,00	1,16	1,22	1,31
44	1,30	1,08	1,07	,92	,83	,74	,81	,91	,99	1,17	1,23	1,33
46	1,32	1,10	1,07	,91	,82	,72	,79	,90	,99	1,17	1,25	1,35
48	1,34	1,11	1,08	,90	,80	,70	,76	,89	,99	1,18	1,27	1,37
50	1,37	1,12	1,08	,89	,77	,67	,74	,88	,99	1,19	1,29	1,41

Coefficient de correction K de Thornthwaite