

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE DE LA GEOGRAPHIE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

N° d'ordre:

N° de série:

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister

en Géologie

Option : HYDROGEOLOGIE

Ressources en Eau et Environnement

THEME

**HYDROGEOLOGIE DES SYSTEMES AQUIFERES
EN PAYS MONTAGNEUX A CLIMAT SEMI-ARIDE.
CAS DE LA VALLEE D'OUED EL ABIOD (AURES)**

Par

HAMEL Ahmed

Soutenu publiquement le 29 Juin 2009

Devant le Jury

Président : Pr. BOUDOUKHA Abderrahmane

Prof. Université de Batna

Encadreur : Dr. CHABOUR Nabil

M.C. Université de Constantine

Examinatrice: Dr. DJEBBAR Mounira

M.C. Université de Constantine

Examineur: Dr. MEBARKI Azzedine

M.C. Université de Constantine

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail je tiens à remercier ceux qui m'ont aidé à le réaliser, et qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Ma profonde gratitude s'adresse avant tout au Dr. N.CHABOUR mon encadreur, qui a accepté de diriger mon travail et m'a accordé tout son attention et sa patience pour l'accomplir.

Au Pr. A. BOUDOUKHA, de l'université de Batna, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

Au Dr. M.DJEBBAR, et au Dr. A. MEBARKI de l'université de Constantine, qui ont examiné ce travail et ont accepté de faire partie du jury.

Mes vifs remerciements s'adressent au corps des Enseignants pour le soutien qu'ils m'ont apporté lors de la préparation de ce mémoire, et pour les conseils avisés qu'ils ont su me donner tout au long de ma post graduation, notamment le Dr. H. SHOUT; Dr. S. GHEBOULI; Pr. R.MARMI; Dr GRIREM; Dr DIB.

Mes vifs remerciements aux enseignants du département des sciences de la terre de l'université de Constantine.

Mes remerciements vont également au Pr. L.DJABRI de l'université d'Annaba, pour la documentation qu'il m'a fournie.

A mon ami N. BRINIS à qui Je dois beaucoup de reconnaissance et qui m'a toujours inciter à m'inscrire en post-graduation et depuis il n'a cessé de m'aider et me soutenir tout au long de mon travail

Par ailleurs, j'exprime ma gratitude à Monsieur A.SELLAM, directeur de l'hydraulique de Biskra, de m'avoir accordé ma demande pour m'inscrire en post-graduation

Egalement au personnels de l'administration de la DHW Batna, subdivision de Arris, et de T'Kout, ainsi qu'au personnels de l'A.PC de T'Kout et Rhassira de m'avoir aidé sur le terrain.

A mes amis de l'A.N.R.H de Biskra et Ouargla.

Merci à ma famille et à tous mes proches pour leur patience et soutien de tous les jours, particulièrement pour mes chers parents.

A mes chers amis.

A mes collègues et camarades de promotion de post-graduation, qui ont su m'accorder une partie de leur temps précieux lors de la préparation de ce mémoire.

A tous ceux que je n'ai pas pu citer, qu'ils m'accordent toute leur indulgence.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	I
Table des matières	II
Liste des figures	VI
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations	XI
Introduction générale	1
Contexte géographique	3
Relief	5
Couvert végétal	5
Chapitre I : Cadre géologique	06
I. Stratigraphie	07
I.1. Trias	07
I.2. Jurassique	09
I.2.1. Le Lias	10
I.2.2. Le Kimméridgien	10
I.2.3. Le Portlandien et le Berriasien	10
I.3. Le Crétacé	11
I.3.1. Le Valanginien	11
I.3.2. L'Hauterivien	11
I.3.3. Le Barrémien	11
I.3.4. Aptien	12
I.3.5. L'Albien	12
I.3.6. Cénomaniens	13
I.3.7. Turonien	14
I.3.8. Sénonien	14
I.4. Le Paléogène (Nummulitique)	16
I.4.1. Paléogène marin (Eocène inférieur et moyen)	16
I.4.2. Paléogène continental	16
I.5. Le Néogène	19
I.5.1. Le Néogène marin (Miocène inférieur)	19
I.5.2. Le Néogène continental (Miocène sup et Pliocène)	21
I.6. Quaternaire:	21
II. Structurale	23
III. Phases orogéniques	25
IV. Paléogéographie	27
V. Conclusion	28
Chapitre II : Géophysique	30
I. Zone nord (W- de Batna)	30
I.1. Interprétation des coupes géoélectriques	30
I.1.1. Zone d'ichemoul	30
I.1.2. Zone d'Arris	35
I.1.3. Zone de T'Kout	39
I.1.4. Zone de Rhassira	47
I.2. Carte en isorésistivités apparente AB = 3000m	50
I.3. Carte en isobathes du toit de l'Yprésien – lutétien inférieur	51

II. Zone sud (W- de Biskra).....	52
II.1. Zone de Baniane	53
II.2. Zone de M'Chouneche et Droh	57
III. Conclusion	62
Chapitre III : Hydroclimatologie	64
I- Caractéristiques morphométriques et géomorphologiques (S.B ; Oued El Abiod) 67	67
I.1. La superficie	67
I.2. Périmètre.....	67
I.3. L'indice de compacité (Kc)	67
I.4. Le Rectangle équivalent	67
I.5. Etude des paramètres de relief	67
I.6. La courbe hypsométrique	67
I.7. Les altitudes caractéristiques	67
I.8. Pente moyenne de B.V.....	68
I.9. Morphométrie (réseau hydrographique).....	68
II. Hydroclimatologie	69
II.1. Pluviométrie	71
II.1.1. Calcul de la lame d'eau Précipitée sur le sous bassin	73
II.2. Températures.....	76
II.3. Régime climatique	76
II.3.1. Méthode d'Euverte	77
II.3.2. Méthode du Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS_	78
II.4. Indice d'Aridité_	80
II.5. déficit d'écoulement (Evapotranspiration).....	84
II.5.1. Evapotranspiration Potentielle_.....	84
II.5.1.1. Formule de THORNTWAITE_	84
II.5.1.2. Formule simplifiée de SERRA_	85
II.5.1.3. Formule de l' ANRH (PENMAN).....	85
II.5.2. Evapotranspiration Réelle.....	86
II.5.2.1. Formule de TURC	86
II.5.2.2. Méthode du Bilan Hydrique de THORNTWAITE	87
II.6. Bilan Hydrique de THORNTWAITE	91
II.7. Ruissellement	94
II.8. Infiltration	95
III. Hydrologie.....	95
IV. Bilan hydrologique	96
V. Conclusion	98
Chapitre IV : Hydrogéologie	99
I. Méthodologie de recherche appliquée	100
I.1. Phase d'identification_	100
I.2. Phase de démonstration_	100
I.3. Phase d'évaluation_.....	100
II. Identification des différentes unités aquifères.....	101
II.1. Nappe du Jurassique	101
II.2. Aquifère du Crétacé inférieur	101
II.3. Nappe du Turonien.....	102
II.4. Nappe du Maastrichtien.....	102
II.5. Nappe de l'Eocène	104

II.6. Nappe du Miocène.....	104
II.7. Nappe alluvionnaire du Quaternaire.....	104
III. Géométrie des réservoirs (Synclinal de Rhassira).....	106
IV. Hydrodynamique.....	113
IV.1. Piézométrie.....	113
IV.2. Calcul de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement.....	117
V. Infiltration.....	126
Conclusion.....	128

Chapitre V. Hydrogéochimie.....	130
I. Introduction.....	130
II. Caractérisation des eaux des aquifères du bassin d'Oued El Abiod.....	131
II.1. Aquifère Jurassique.....	131
II.2. Aquifères du Crétacé inférieur et moyen.....	131
a/Sources.....	131
b/Forages.....	136
II.3. Aquifères du Turonien.....	139
II.4. Aquifères du Maastrichtien et de l'Eocène inférieur.....	139
III. Campagne hydrochimique de 2008.....	142
III.1. Interprétation des données.....	142
III.1.1. Résidu sec.....	142
III.1.2. Conductivité.....	143
III.1.3. pH.....	144
III.1.4. Température.....	144
III.1.5. Eléments chimiques majeurs.....	145
a/Faciès chimiques.....	145
b/Formule ionique.....	149
c/Domaines de variations des rapports caractéristiques.....	152
d/Etat des minéraux dissous dans l'eau.....	153
III.2. Analyse en composantes principales (A.C.P).....	155
III.3. Mise en évidence des liens existants entre les éléments chimiques....	158
a/Le Couple Ca - SO ₄ ; r = 0.9227.....	158
b/Le Couple Mg - SO ₄ ; r = 0.8770.....	159
c/Le Couple Ca - Mg ; r = 0.8060.....	160
d/Le Couple Na - Cl ; r = 0.6866.....	160
e/Le Couple Ca - HCO ₃ ; r = 0.0471.....	161
f/Le Couple Mg - HCO ₃ ; r = -0.2709.....	180
g/Relation Conductivité - Ca et Relation Conductivité - Mg.....	162
h/Relation Conductivité - Cl.....	163
i/Relation Conductivité - SO ₄	163
III.4. Origine du chimisme.....	164
a/Le graphique SO ₄ /Cl - Ca/Na.....	164
b/Le graphique SO ₄ /Cl - Mg/Ca.....	164
c/Le graphique Mg/Ca - SO ₄ /HCO ₃	165
IV- Qualité chimique des eaux souterraines de la vallée de Rhassira.....	165
IV.a. Normes de potabilité selon le degré hydrométrique.....	165
IV.b. Normes de potabilité selon les concentrations des éléments chimiques majeurs.....	166
V- Pollution.....	167

VI. Périmètres de protection	169
VI.a. Rôle des périmètres de protection	169
VII. Hydrothermalisme	171
VIII. Isotopie	172
IX. Conclusion	192
Conclusion générale	175
Bibliographie	179
Annexe :	i
Résumé	xxix

LISTE DES FIGURES

Fig. 01 : Limites administratives (vallée d'Oued el-Abiod).....	3
Fig. 02 : Situation géographique.....	4
Fig. 03 : Le canyon de Rhoufi (photo).....	4
Fig. 04 : Domaines géologiques	6
Fig. 05 : Extrait de la carte géologique de nord d'Afrique	7
Fig. 06 : Carte géologique de la vallée d'Oued el-Abiod (d'après R. Laffitte, 1939)	8
Fig. 07 : Diapir de sel d'el-Outaya	9
Fig. 08 : Coupe à la région d'ARRIS (Thniet El- Baâli)	12
Fig. 09 : Coupe à la région d'Inoughissen.....	14
Fig. 10 : Coupe à Tighanimine.....	15
Fig. 11 : Coupe à Irzaz Imezouchen.....	15
Fig. 12 : Coupe à Oued Tahammamet (Rhoufi).....	16
Fig. 13 : Coupes descriptives du Sénonien supérieur à travers la vallée d'Oued el-Abiod	17
Fig. 14 : Coupes descriptives du Paléogène à travers la vallée d'Oued el-Abiod du NE au SW... ..	18
Fig. 15 : Coupe au niveau des formations du MIOCENE à la région de Taghit.....	19
Fig. 16 : Coupe Corrélative à travers l'axe du synclinal de Rhassira des formations du Tertiaire (N-E SW).....	20
Fig. 17 : Terrasses de l'Oued ElAbiod près d'Arris.....	21
Fig. 18 : Coupe schématique de la Stratigraphie de la Vallée d'Oued Labiod	22
Fig. 19 : Carte Structurale (ANRH d'après GUIRAUD 1973)	23
Fig. 20 : Coupe géologique à Ras Chicha (aux environs de Chetma)	24
Fig. 21 : Coupes géologiques au niveau du massif de Chelia passant par le synclinal de Rhassira (d'après R. Laffittes, 1939).....	24
Fig. 22 : Extrait de la carte structurale de la vallée d'Oued el-Abiod (H.Habani, 2000)	26
Fig. 23 : Positionnement des profils électriques et des S.E.V (Ichmoul)	31
Fig. 24 : Coupes géoélectriques du site Ichmoul.....	33
Fig. 25 : Coupes géoélectriques du site Ichmoul.....	34
Fig. 26 : Positionnement des profils électriques et des S.E.V (Arris)	35
Fig. 27 : Coupes géoélectriques du site Arris	37
Fig. 28 : Coupes géoélectriques du site Arris	38
Fig. 29 : Positionnement des profils électriques et des S.E.V (T'Kout).....	39
Fig. 30 : Coupes géoélectriques longitudinales (T'Kout).....	41
Fig. 31 : Coupes géoélectriques (T'Kout)	43
Fig. 32 : Coupes géoélectriques transversales (T'Kout).....	45
Fig. 33 : Coupes géoélectriques (T'kout)	46
Fig. 34 : Positionnement des profils électriques et des S.E.V (Rhassira).....	47
Fig. 35 : Coupes géoélectriques (Rhassira).....	49
Fig. 36 : Extrait de la carte d'isorésistivités (Ichmoul).....	50
Fig. 37 : Extrait de la carte d'isorésistivités (synclinal de Rhassira)	51
Fig. 38 : Extrait de la carte d'isobathes (synclinal de Rhassira)	52
Fig. 39 : Positionnement des profils électriques et des S.E.V (Baniane).....	53
Fig. 40 : Coupes géoélectriques (Baniane).....	55
Fig. 41 : Coupes géoélectriques (Baniane).....	56
Fig. 42 : Positionnement des profils et des S.E.V (M'Chouneche - Droh)	58
Fig. 43 : Coupes géoélectriques (M'Chouneche - Droh).....	59
Fig. 44 : Coupes géoélectriques (M'Chouneche - Droh).....	60
Fig. 45 : Coupes géoélectriques (M'Chouneche - Droh).....	61
Fig. 46 : Situation du sous bassin d'Oued el-Abiod	65
Fig. 47 : Bassin de Chott Melghir.....	66
Fig. 48 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant d'Oued el-Abiod	68

Fig. 49 : Carte du réseau hydrographique d'Oued el-Abiod	70
Fig. 50 : Relation entre les précipitations et l'altitude.....	71
Fig. 51 : Précipitations moyennes mensuelles des stations Oued el-Abiod (S.B. 0615).....	72
Fig. 52 : Précipitations saisonnières des stations (Oued el-Abiod)	73
Fig. 53 : Carte pluviométrique du sous bassin d'Oued el-Abiod.....	74
Fig. 54 : Répartition des surfaces en fonction des classes des précipitations.....	75
Fig. 55 : Lambe d'eau moyenne (Isohyètes)	76
Fig. 56 : Diagramme ombrothermique de la station de Médina (zone amont).....	78
Fig. 57 : Diagramme ombrothermique de la station de T'Kout	79
Fig. 58 : Diagramme ombrothermique de la station de M'Chouneche (zone aval).....	79
Fig. 59 : Diagramme de Martonne	80
Fig. 60 : Indice mensuel d'aridité de Martonne (station de Médina).....	81
Fig. 61 : Indice mensuel d'aridité de Martonne (station de M'Chouneche).....	81
Fig. 62 : Climatogramme de PEGUY (station de Médina)	83
Fig. 63 : Climatogramme de PEGUY (station de M'Chouneche).....	83
Fig. 64 : Carte du coefficient correctif régionale (ANRH).....	86
Fig. 65 : Apports mensuels moyens d'Oued El Abiod (1971/94).....	96
Fig. 66 : Comparaison des précipitations et les apports d'Oued el-Abiod.....	97
Fig. 67 : Structure en graben affectant l'aquifère de l'Albien dans la région de Ichemoul - Médina.....	102
Fig. 67 : Carte piézométrique (éocène Maastrichtien) synclinal de Rhassira 2008.....	102
Fig. 68 : Forages captant l'aquifère albien dans la région d'Arris	103
Fig. 69 : Bloc diagramme du synclinal de Rhassira, schématisant l'aquifère des calcaires du Landinien-Lutétien inférieur (A.Hamel, 2009)	106
Fig. 70 : Coupes transversales le long du synclinal de Rhassira (réalisées par la C.GG.....	107
Fig. 71 : Carte géologique de la vallée d'Oued el-Abiod en 3 dimensions.....	108
Fig. 72 : Positionnement des forages de la région de T'Kout	109
Fig. 73 : Forages à la région de Rhassira et Tifelfel.....	109
Fig. 74 : Forages captant l'aquifère du Landinien-Lutétien inférieur dans la région de T'kout..	110
Fig. 75 : Forages à T'Kout	110
Fig. 76 : Coupe corrélative entre forages à la région de Rhassira et Tifelfel	111
Fig. 77 : Forages à la région de Droh	112
Fig. 78 : Carte piézométrique (Landinien-Lutétien inférieur) synclinal de Rhassira 2008	114
Fig. 79 : Carte piézométrique (Maastrichtien) région sud du synclinal de Rhassira 2008.....	115
Fig. 80 : Carte hydrogéologique de la vallée d'Oued el-Abiod (A.Hamel, 2009)	116
Fig. 81 : Pompage d'essai de Bir Boussoudène (Longue durée) dans l'aquifère des calcaires de l'Eocène inférieur (1981)	117
Fig. 82 : Pompage d'essai : Droite de remontée de Bir Boussoudène (1981).....	118
Fig. 83 : Pompage d'essai : Droite de descente de F110 à Droh (2008)	119
Fig. 84 : Pompage d'essai : Droite de descente de F109 à Droh (2008)	120
Fig. 85 : Remontée de F109 à Droh (2008)	121
Fig. 86 : Courbe Caractéristique (Débits/Rabattements). Forage Tazouggart, Baniane (pompage réalisé en mois d'Août 2008).....	122
Fig. 87 : Droite Débit spécifique/Rabattement. - Forage Tazouggart, Baniane (Août 2008) ...	123
Fig. 88 : Essai par paliers. - Forage Tazouggart, Baniane 1er essai en 2006 le 2ème en 2008 ..	123
Fig. 89 : Droite Rabattement log de temps . Forage Tazouggart, Baniane (Août 2008)	124
Fig. 90 : Droite Remontée. Forage Tazouggart, Baniane (2008).....	124
Fig. 91 : Courbe Rabattement / log de temps Piézomètre de Baniane (Août 2008).....	125
Fig. 92 : Droite représentative de la Remontée Piézomètre de Baniane (Août 2008)	126
Fig. 93 : Les eaux des sources (mars 2000), diagramme de Piper	132
Fig. 94 : Sources de l'albien (mars 2000), diagramme de Schoeller.....	133
Fig. 95 : Source de l'albien (mars 2000), diagramme de Schoeller.....	133

Fig. 96 : Sources de l'albien (mars 2000), diagramme de Schoeller	134
Fig. 97 : Source de l'aquifère Turonien (mars 2000) diagramme de Schoeller	134
Fig. 98 : Sources du Maastrichtien (mars 2000) diagramme de Schoeller	135
Fig. 99 : Sources des formations tertiaires (mars 2000).....	136
Fig. 100 : Les eaux des forages (mars 2000) diagramme de Piper	137
Fig. 101 : Carte de disposition des forages albiens de la région d'Arris	138
Fig. 102: les eaux des forages (albien Cénomaniens) Ichmoul, mars 2000	138
Fig. 103 : les eaux des forages albien (d'Arris mars 2000) D. Schoeller	139
Fig. 104 : les eaux des forages Turoniens ; Tighanimine (mars 2000).....	140
Fig. 105 : Carte des forages du synclinal de Rhassira	140
Fig. 106 : les eaux de l'éocène inf. dans la vallée de Rhassira (mars 2000).....	141
Fig. 107 : Matériel en sondes utilisé sur terrain.....	142
Fig. 108 : Mesures des paramètres Physico-chimiques (forage Chennaoura 1).....	143
Fig. 109 : Evolution de la conductivité du N-E au S-W vallée d'Oued el-Abiod.....	143
Fig. 110 : Classes du Δ pH dans le synclinal de Rhassira.....	144
Fig. 111 : Evolution de la température des eaux dans la vallée d'Oued el-Abiod	145
Fig. 112 : Les eaux dans le synclinal de Rhassira (diagramme de Piper)	146
Fig. 113 : Faciès bicarbonaté calcique ou sodique, synclinal de Rhassira.....	147
Fig. 114 : Faciès sulfaté calcique (synclinal de Rhassira 2008).....	147
Fig. 115 : Faciès sulfaté calcique (synclinal de Rhassira 2008).....	148
Fig. 116 : Faciès Chloruré sodique (synclinal de Rhassira 2008).....	148
Fig. 117 : Carte des faciès chimiques des eaux à Oued el-Abiod	151
Fig. 118 : Evolution du rapport rMg/rCa (vallée d'Oued el-Abiod).....	152
Fig. 119 : Evolution du rapport rSO ₄ /rCl (vallée d'Oued el-Abiod).....	152
Fig. 120 : Evolution des indices de saturation et pCO ₂ (vallée d'Oued el-Abiod)	154
Fig. 121 : Evolution des indices de saturation ; gypse et anhydrite (vallée d'Oued el-Abiod) ...	154
Fig. 122 : A.C.P Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F1/F2	156
Fig. 123 : A.C.P Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F1/F3	156
Fig. 124 : A.C.P Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F2/F3	157
Fig. 125 : Couple Ca – SO ₄ (1 ^{ère} variante)	158
Fig. 126 : Couple Ca – SO ₄ (2 ^{ème} variante)	159
Fig. 127 : Couple Mg – SO ₄	159
Fig. 128 : Couple Ca - Mg.....	160
Fig. 129 : Couple Na – Cl.....	160
Fig. 130 : Couple Cl – SO ₄	161
Fig. 131 : Couple Ca – HCO ₃	161
Fig. 132 : Rapport Conductivité - Calcium	162
Fig. 133 : Rapport Conductivité - Magnésium	162
Fig. 134 : Relation Conductivité - Cl	163
Fig. 135 : Relation Conductivité - SO ₄	163
Fig. 136 : Rapport SO ₄ / Cl - Ca / Na	164
Fig. 137 : Rapport SO ₄ / Cl - Mg / Ca	164
Fig. 138 : Rapport Mg / Ca – SO ₄ /HCO ₃	165
Fig. 139 : Illustration schématique d'un aquifère karstique. (BRGM 2005).....	168
Fig. 140 : Oued el-Abiod. Le canyon traverse les couches carbonatées de l'Yprésien –Lut inf.	168
Fig. 141 : Périmètres de protection des aquifères carbonatés de la vallée de Rhassira	170

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Classification des pentes selon le F.A.O	5
Tableau 02 : Phases orogéniques.....	25
Tableau 03 : Répartition des Sondages Electriques.....	30
Tableau 04 : Répartition des tranches d'Altitudes	68
Tableau 05 : Récapitulatif des paramètres morphométriques.....	69
Tableau 06 : Caractéristiques des Stations pluviométriques et P. annuelles.....	69
Tableau 07 : Précipitations moyennes mensuelles des 3 stations pluvio.....	72
Tableau 08 : Répartition des surfaces en fonc des classes de Précipitations.....	75
Tableau 09 : Températures mensuelles des stations de M'chouneche et El Médina	76
Tableau 10 : Détermination du Régime Climatique par la Méthode d'EUVERTE..	77
Tableau 11 : Indice mensuel d'aridité.....	82
Tableau 12 : ETP (par différentes formules des trois Station à Oued el-Abiod ..	86
Tableau 13 : Récapitulatif des paramètres du bilan de Thorntwaite	87
Tableau 14 : Calcul de l'ETP et l'ETR à la station de Médina	88
Tableau 15 : Calcul de l'ETP et l'ETR à la station de T'Kout.....	89
Tableau 16 : Calcul de l'ETP et l'ETR à la station de M'Chouneche.....	90
Tableau 17 : Evaporation réelle = évaporation mensuelle du bac colorado*0.78 ...	91
Tableau 18 : Bilan hydrique de Thorntwaite pour la station de Médina.....	93
Tableau 19 : Bilan hydrique de Thorntwaite pour la station de T'Kout	93
Tableau 20 : Bilan hydrique de Thorntwaite station de M'Chouneche	93
Tableau 21 : Apports moyens mensuels d'Oued El Abiod	95
Tableau 22 : Unités hydrogéologiques de la région d'Oued el-Abiod	105
Tableau 23 : Piézométrie des forages captant l'Eocène	114
Tableau 24 : Piézométrie des forages captant le Maastrichtien.....	115
Tableau 25 : Résultats des essais par paliers	121
Tableau 26 : Faciès chimiques des réservoirs carbonatés vallée de Rhassira	150
Tableau 27 : Valeurs des indices de saturation des minéraux dissous	153
Tableau 28 : Corrélations entre variables et facteurs principaux.....	155
Tableau 29 : Matrice de corrélation entre les paramètres physc - chimiques..	158
Tableau 30 : Dureté des eaux dans la vallée de Rhassira	165
Tableau 31 : Qualité des eaux dans la vallée de Rhassira.....	166
Tableau 32 : Résultats des analyses isotopiques (2009).....	172
Tableau 33 : Station hydrométrique de M'Chouneche (apports en Hm ³)	ii
Tableau 34 : Station pluviométrique de Médina « 061503 » (en mm)	iii
Tableau 35 : Station pluviométrique de T'Kout « 061505 » (en mm).....	iv
Tableau 36 : Station pluviométrique de Tifelfel « 061511 » (en mm)	vi
Tableau 37 : Station pluviométrique de M'Chouneche « 061506 » (en mm).....	vii
Tableau 38 : Station pluviométrique de Foum el Kharza « 061501 » (en mm)..	viii
Tableau 39 : Pompage de Bir Boussoudène	iv
Tableau 40 : Observation de la remontée Bir Boussoudène	xi
Tableau 41 : Essai de pompage « forage de Baniane F78).....	xii
Tableau 42 : Observation de la remontée « forage de Baniane F78 »	xiii
Tableau 43 : Descente « piézomètre Baniane F79 ».....	xiv
Tableau 44 : Remontée « piézomètre Baniane F79 »	xv
Tableau 45 : Inventaire des forages	xvi

Tableau 46 : Inventaire des sources.....	xxi
Tableau 47 : Analyses physico-chimiques (2008).....	xxii
Tableau 48 : Analyses physico-chimiques (2000).....	xxiv
Tableau 49 : Matrice des corrélations des paramètres physico-chimiques.....	xxvi
Tableau 50 : Valeurs propres et vecteurs propres à partir de la matrice des Corrélations.....	xxvii
Tableau 51 : Valeurs des indices de saturations des minéraux dissous	xxviii

LISTE DES ABREVIATIONS

A.C.P	Analyse en composantes principales.
A.E.P	Alimentation en eau potable.
A.N.R.H	Agence nationale des ressources hydriques.
A.P.C	Assemblée populaire communale
B.V	Bassin versant
S.B.V	Sous bassin versant
CE	Conductivité.
C.G.G	Compagnie générale de géophysique.
Ca	Calcium
CE	Conductivité
Cl	Chlore
D.H.W	Direction de l'hydraulique de la wilaya
E.N.A.G.E.O	Entreprise nationale des travaux de géophysique.
E.T.P	Evapotranspiration potentielle.
E.T.R	Evapotranspirations réelle.
Ex	Excédent.
GTZ	Agencede coopération technique allemande pour le développement « Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit »
HCO ₃	Bicarbonates
I	Infiltration.
I.E.B	Indice d'échange de base
Mg	Magnesium
Na	Sodium
NO ₃	Nitrates
I.E.B	Indice d'échange de base.
K	Potassium
P	Précipitations.
R	Ruissellement.
R.F.U	Réserve facilement utilisable
SI	Indice de saturation.
SO ₄	Sulfates
T	Températures.
TDS	Résidu sec

Introduction

GENERAL E

INTRODUCTION GENERALE

La région d'étude est l'une des zones déshéritées et enclavées de l'Algérie. Elle s'étend de la ville de Arris au Nord –Est, appartenant administrativement à la wilaya de Batna jusqu'à la cuvette d'El-Outaya dans la partie Sud-Ouest. Cette dernière, fait partie de la Wilaya de Biskra. Soit une superficie d'environ 1300 km².

La zone d'étude comprend des villes et des villages tels que : Arris, El-Medina, Ichmoul, T'Kout, Ghoufi, Baniane, M'Chouneche, Droh.

Le développement de la population et l'activité agricole de montagne, que connaît la région se traduit par un besoin croissant en eau. Dans le passé les gens utilisaient uniquement les ressources offertes par les sources d'eau. Actuellement, la demande en eau ne peut être satisfaite que par le captage des eaux souterraines par forages. Cette action combinée à la sécheresse, a provoqué le tarissement des sources et un rabattement sensible des aquifères. Les ressources en eau sont, non seulement, soumise à une surexploitation, mais également, à une dégradation de leur qualité par les rejets des eaux usées et une salinisation par le lessivage des formations évaporitiques. Sachant que la pluviométrie varie de 450 mm/an au Nord à 100 mm/an au Sud. Il faut, en plus, tenir compte d'une évolution climatique défavorable.

Cette vaste zone est constituée d'une succession de massifs montagneux, faisant partie des Aurès, appartenant ainsi au domaine de l'Atlas Saharien. Morphologiquement le secteur se présente comme une vallée allongée entre les grands reliefs de Dj Azreg (1937m) et Dj Zellatou (1994m) et le plus grand sommet se situ à Dj Chelia (2326m). Et débouche vers la plaine d'El-Outaya ; c'est ainsi que deux secteurs s'individualisent, l'un au Nord avec une pluviométrie prononcée et l'autre au Sud avec un climat aride. L'Oued El-Abiod est le drain naturel et le collecteur principal de cette vallée, que par son action dans le temps, il a pu creuser un très beau canyon dont, les falaises donnent une vue magnifique sur les Oasis le long duquel sont parsemées.

Le présent mémoire est une contribution pour une approche hydrogéologique de cette région, qui souffre d'un manque accru de l'eau potable et de l'eau à destination agricole surtout dans la partie nord et de trouver des réponses aux questions posées par les exploitants des eaux dans la région. Donc ce travail de recherche s'oriente d'une part, à une meilleure connaissance des systèmes aquifères de la région. Et d'autre part à un essai de caractérisation des différents aquifères existants dans la région. Ce qui nécessite une connaissance approfondie des conditions hydrogéologiques du synclinal, l'estimation des potentialités hydriques. Par ailleurs, nous avons constaté une complexité dans les écoulements souterrains, d'une part, et une diversité dans la qualité chimique des eaux souterraines, d'autre part.

La cette région, comme c'est le cas pour une grande partie des Aurès, participe à l'alimentation des aquifères des Ziban et par là même, la partie septentrionale du Complexe Terminale de l'aquifères saharien. Un déséquilibre dans le bilan des aquifères aurésiens, aura, sans nul doute, une répercussion sur les réserves des aquifères situés plus au sud.

C'est dans cette optique que ce thème a été élaboré. Durant nôtre travail de recherche nous avons suivi le plan de travail ci-dessous:

-Acquisition et dépouillement des données bibliographiques ; ayant un rapport avec les travaux réalisés auparavant dans la région et qui comporte toutes les données géologiques, hydrogéologiques, géophysiques, hydroclimatologiques, hydrologiques, géophysiques...

-Établir un inventaire des points d'eaux, (forages sources) ainsi que les équipements en place (stations hydrométriques, pluviométriques, barrages...)

- Présentation de la zone d'étude, dans son environnement géographique et géologique.

- géométrie des différents réservoirs sous un contexte géophysique.

-étude de l'aspect hydro climatologique

- l'identification des différents aquifères,

-l'étude du mode d'acquisition du chimisme et de l'évolution des éléments chimiques dans l'eau, et l'étude de la vulnérabilité des aquifères à la pollution

-Conclusion générale avec quelques recommandations jugées utiles selon l'état actuel des connaissances et les moyen et possibilités qu'offre le terrain d'étude.

Contexte

GEOGRAPHIQUE

CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

La zone d'étude est située à 60 Km au sud-est du chef lieu de la wilaya de Batna, s'étendant de la Wilaya de Khenchela (nord-est) jusqu'à la wilaya de Biskra (sud-ouest) ; La partie sud est formée par les communes : Chetma, M'Chounech, appartenant administrativement à la Wilaya de Biskra; la partie centrale : Rhassira et T'Kout. La partie septentrionale englobe les communes de Tighanimine, d'Arris, Ichemoul et Inoughissene appartenant administrativement à la Wilaya de Batna.

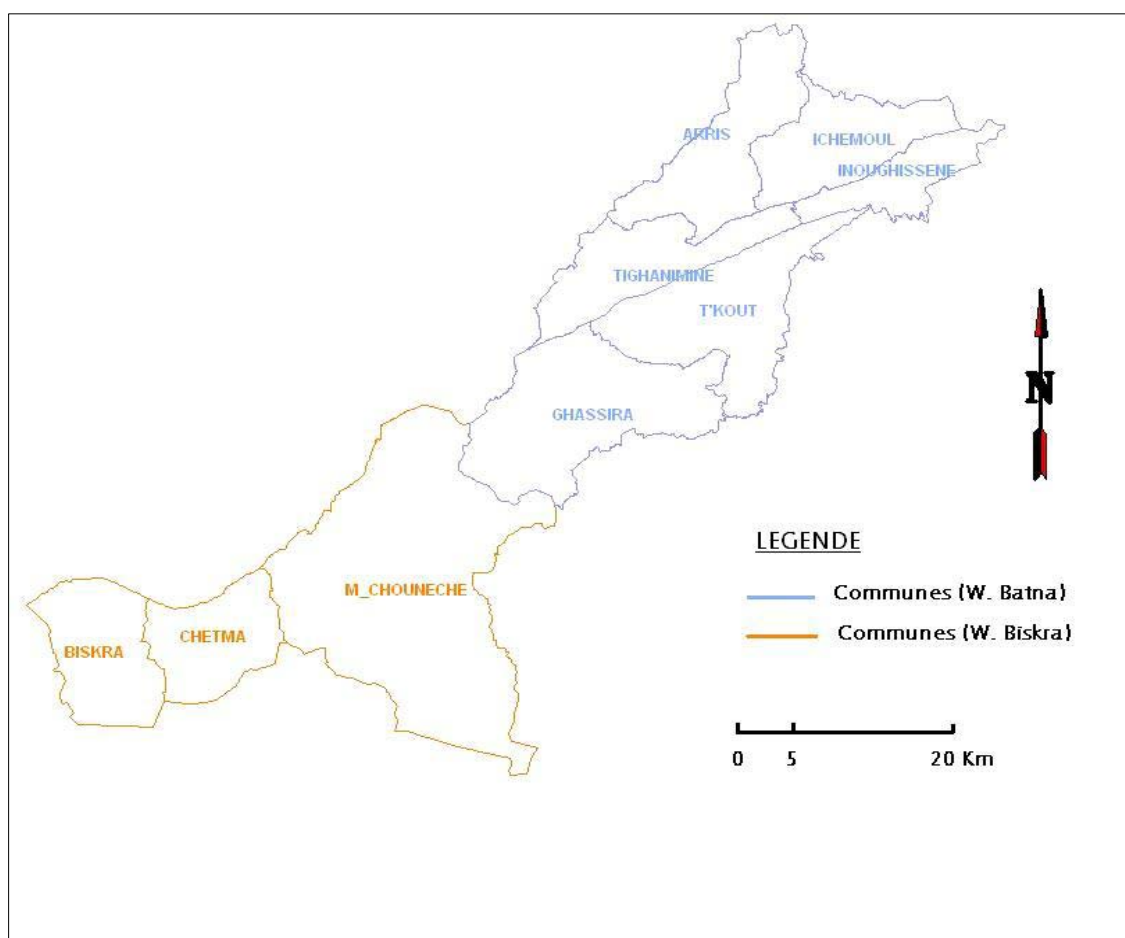


Fig. : 01 Limites administratives, Vallée d' Oued el- Abiod (Source : L'auteur, 2009)

La vallée d'Oued EL-Abiod, appelée synclinal de Rhassira, est située entre les deux wilayas, Batna et Biskra le long de la route nationale N°31. L'Oued el- Abiod qui est le drain naturel et le collecteur de cette vallée, a pu creuser par son action d'érosion dans le temps, un très beau canyon, dont les falaises donnent une vue magnifique sur les petites oasis parsemées le long de ses rives.

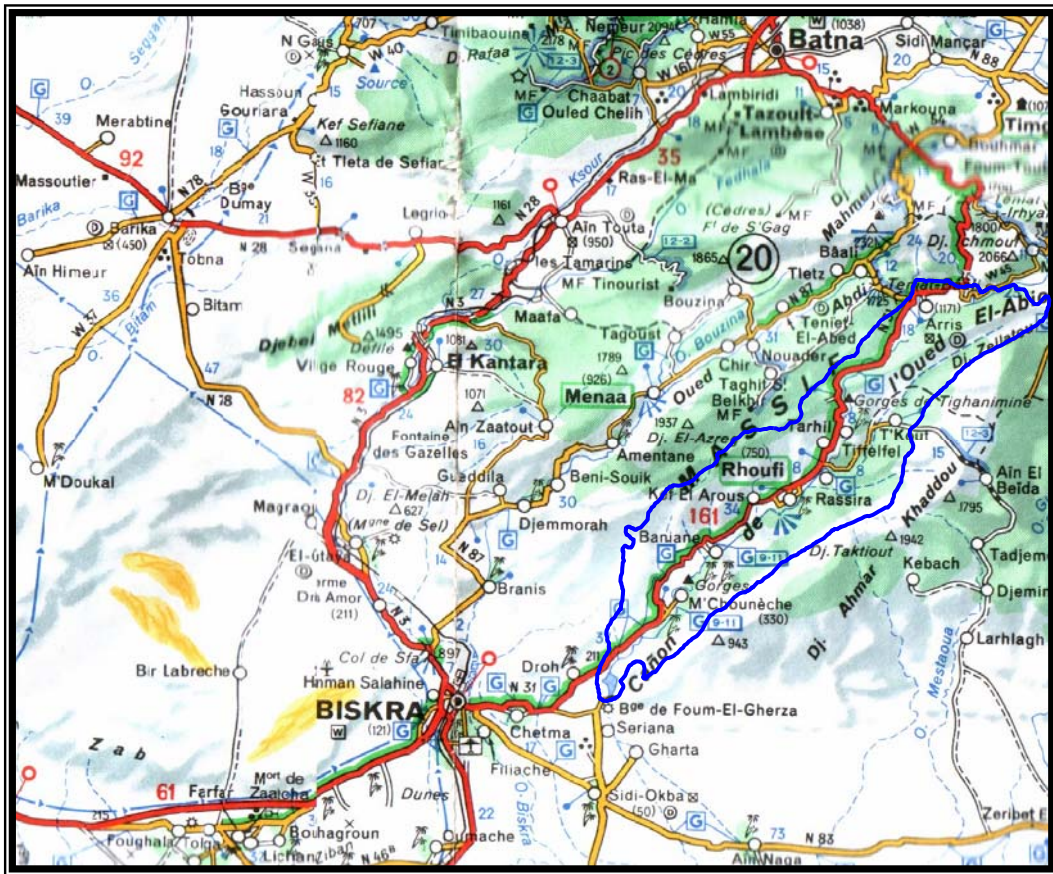


Fig. 02 : Situation Géographique



Fig. 03 : Le canyon de Rhoufi façonné par Oued el Abiod

Relief

La région d'étude est située sur la bordure méridionale du domaine atlasique plissé. Morphologiquement le bassin se présente comme une vallée allongée entre les grands reliefs de DJ Azreg (1937 m) et DJ Zellatou (1994 m) au nord et Dj Ahmar Khaddou au sud. Le sous bassin prend naissance à Dj Chelia (2326 m) et s'achève à la région de Droh, selon un axe orienté NE-SW.

Couvert végétal

Le couvert végétal, est constituée principalement de forêts (cèdre, chêne vert, pin d'alpe et maquis), les vergers et jardins, cultures céréalière, cultures maraîchère de montagne intermittentes.

Ce couvert végétale, vient ajouter son influence à celle de la géologie et la topographie pour accentuer la rapidité du ruissellement des eaux, l'évapotranspiration et la capacité de rétention du bassin, le reste présente des affleurements rocheux, sol très érodé, maigres végétation ou sol nu. Les parcours constitués d'étendus d'Alfa et de prairies, des terres improductives.

L'Arboricultures, spécialement la culture du pommier et l'abricotier est la principale activité de la population de la région pour sa rentabilité économique et les conditions pédologiques et climatiques favorables.

Tableau1 : Classification des pentes selon le F.A.O

Classe des pentes	Superficie Km2	Pourcentage %
0 - 3%	43.9	3.37
3% - 12.5%	522.4	40.18
12.5% - 25%	674.9	51.91
25% - 30%	58.8	4.52

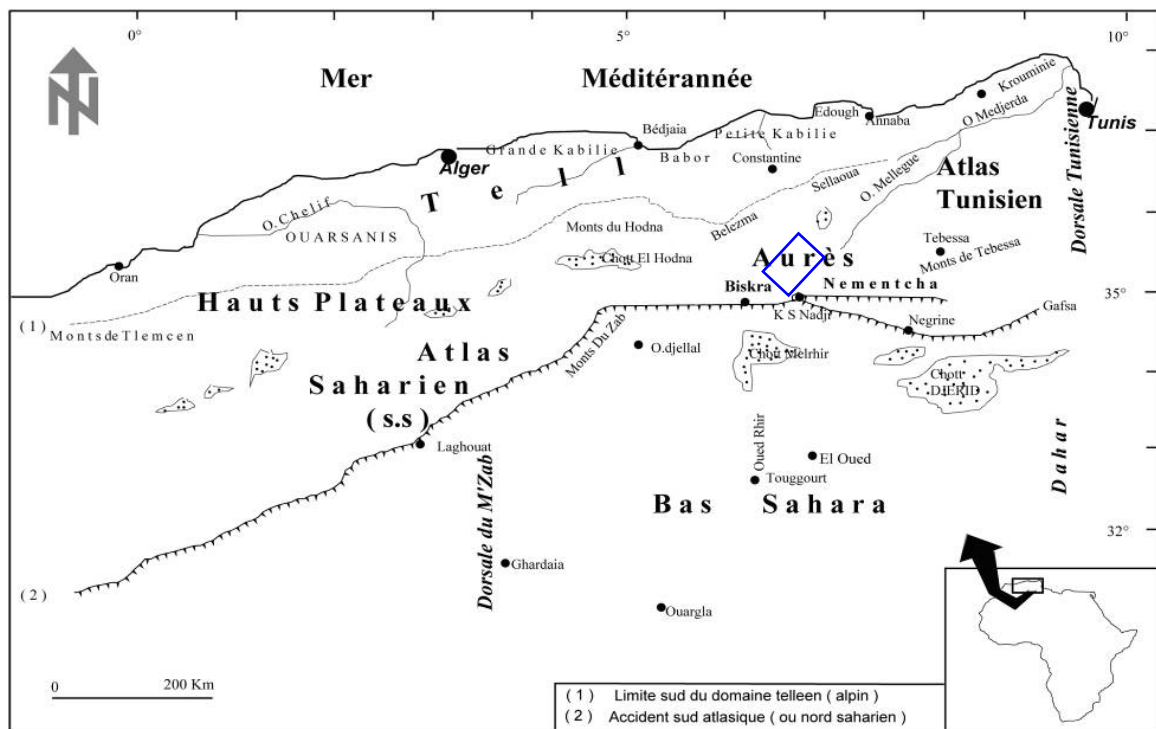
Selon ce tableau On remarque que la majeure partie du B.V est constituée de pentes de la classe 12.5% - 25%, présentant 51.91% de la superficie du Bassin versant, ce qui favorise plutôt le ruissellement des eaux de pluies.

Chapitre 1

CADRE GEOLOGIQUE

CADRE GEOLOGIQUE

Le massif des Aurès constitue l'extrémité orientale de la chaîne Atlasique ; séparant ainsi les hautes plaines constantinoises du Sahara. Comportant les plus hauts sommets dans la partie Est du méridien d'Alger. Le plus haut sommet dans ce massif est située à Dj Chélia et exactement à « Ifren'Keltoume » avec une altitude de 2326 m. Limité au nord par le bassin du Néogène de Timgad le long d'une ligne qui va de Batna à Khenchela. A l'est les monts de Nememcha qui limitent ce massif sans discontinuité évidente sauf, un abaissement sensible des sommets sans dépasser la côte 1800 m. Au sud la plate forme saharienne, cette limite est bien marquée par la flexure sud Atlasique. A l'Ouest les deux bassins Néogène le Hodna et son annexe EL-Outaya. Stratigraphiquement, il est constitué de dépôts détritiques du crétacé inférieur ; des dépôts argilo carbonatés du crétacé supérieur et du jurassique ; les sédiments tertiaires sont à dominante carbonatée, du Paléocène jusqu'à l'Eocène moyen, tandis que le Néogène est essentiellement détritique.




 Zone d'étude.

Fig. 04 : Domaines Géologiques (in.M.Chebbah, 2007, d'après R.Laffitte, 1939)

La région a subi différentes phases orogéniques qui ont fait naître les structures synclinales et anticlinales, la phase Atlasique (Lutétien supérieur) et la phase post Miocène supérieur (fig.19).

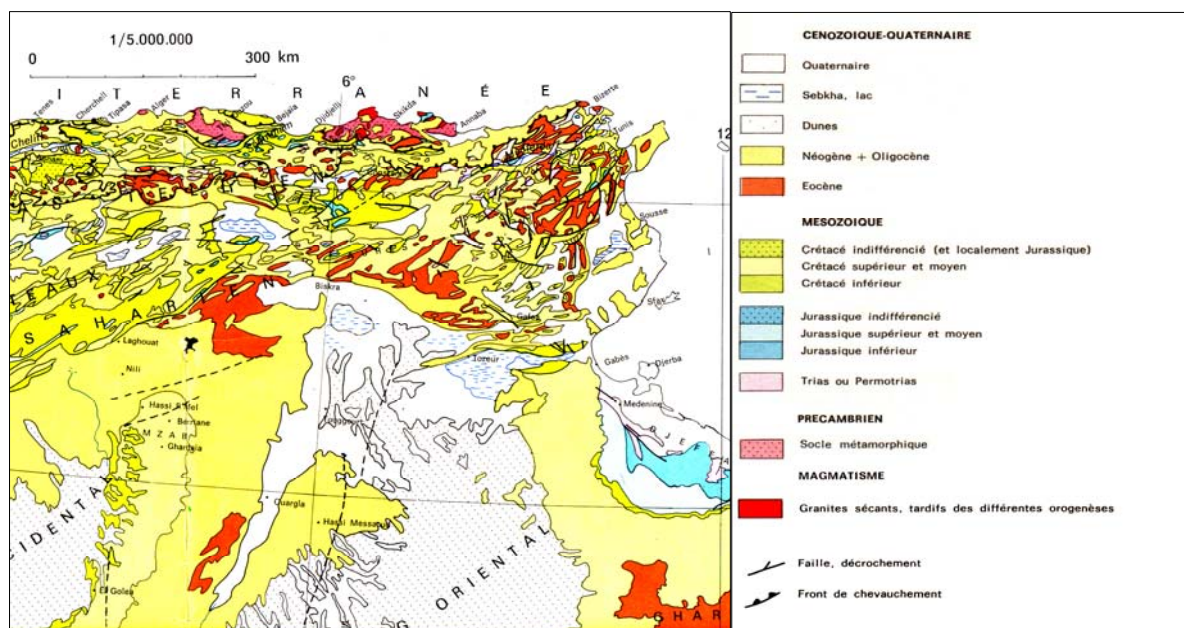


Fig.05: Extrait de la carte Géologique du Nord d'Afrique.(J.Fabre, 1978) CNRS Montpellier

I. STRATIGRAPHIE

La région d'Oued el-Abiod présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Jurassique au Quaternaire faisant 6000 m d'épaisseur environs. Le Cénomaniens à lui seul fait 1000 m et le Sénonien 2000 m. Selon les travaux de R. LAFFITTE (1939). La stratigraphie de la région peut être décrite comme suit :

I.1. Trias

Le Trias constitue les plus anciennes formations identifiées dans la région ; bien que ces formations ne contiennent aucun fossile, ce qui laisse persister toujours un doute sur l'âge de ces formations. Cependant la datation a été attribuée par analogie. La similitude avec les formations triasiques au niveau régionale est frappante. Ces formations se présentent sous forme intrusive, et lors de leur ascension elles ont ramené avec elles des débris de roches d'âge liasique. Le Trias est observé au niveau du pointement de Dj Ichmoul à Médina et à El-Outaya. Il s'agit de diapirs présentant des argiles violacées azoïques, riches en formations évaporitiques. Il se rencontre en position stratigraphique anormale ou éjecté au sein des séries encaissantes à la faveur des cassures. Comportant du sel gemme, des gypses et salifères à cristaux d'aragonite, d'anhydrite, de quartz bipyramidé ou encore d'hématite dus à des transformations secondaires et englobant des amas de roches diverses de l'ensemble de la couverture post-triasique. La description lithologique des deux affleurements est comme suit :

- Dôme de sel d'El-Outaya

Il se manifeste en un grand dôme à El Outaya (Dj. El- Melah), le plus connu au Nord de l'Afrique, où il est associé à des lambeaux dolomitiques liasiques ou à des petits affleurements d'argiles bariolées (fontaines des gazelles, Branis et Djemmorah). Ce diapir est post Miocène. Le sel n'a pas eu le temps de se dissoudre, ce qui n'est pas le cas des autres pointements anté-Miocène où le sel avait disparu depuis longtemps (fig. 07).

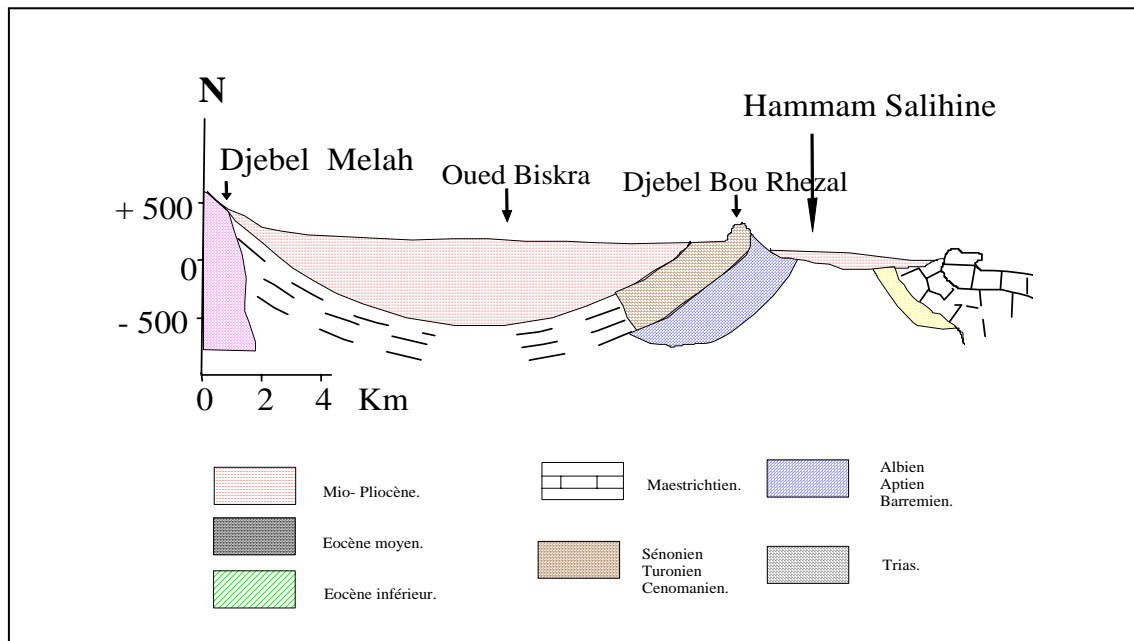


Fig 07: Diapir de Sel d'El-Outaya (in, Brinis.N,2003)
D'après Cartes hydrogéologique ANRH 1980)

- Pointement triasique d' Ichemoul

Affleurant au N-E sous forme de marnes bariolées associées à des gypses fibreux et à des blocs de cargneules. Dans le domaine atlasique comme dans le Hodna, les faciès détritiques qui forment la base du Trias saharien ou encore des hauts plateaux sont absents. Ils sont probablement restés solidaires avec le Paléozoïque lors du détachement de la couverture plastique comme le signalait Guiraud (1973, 1990).

Il s'agit probablement de dépôts qui se sont formés dans des lagunes qui bordaient au sud la mer épicontinentale, très peu profonde séparée par des seuils à dépôts détritiques (Ouest algérien et Tunisie) de la mer libre des zones axiales de la Mésogée.

I .2. JURASSIQUE

Il affleure au cœur de l'anticlinal de DJ Azreg, situé au N-W de la vallée d'Oued el-Abiod, où ont été identifiés les étages tels que : le Kimméridgien, Portlandien et le Berriasien. La série débute par une succession marno-calcaire et devient de plus en plus carbonatée vers le sommet. Ce sont les terrains les plus anciens visibles en position normale. L'ensemble de ces terrains carbonatés est mentionnée sur la carte géologique de LAFFITE, par J7, du fait de la difficulté de les subdiviser à cause de la rareté des fossiles qu'ils contiennent. L'ensemble de

l'unité qui va de la base du Kimméridgien au sommet du Berriasien est désigné sous le terme Jurassique supérieur.

I .2.1. Le Lias

Comme le Trias, le Lias est inconnu en position normale, souvent il est emballé au sein des marnes à gypses du Trias sous forme de lambeaux constitués d'argiles schisteuses (Menâa, centre Aurès), ou de dolomies (El Outaya). Il contient des Ammonites pyriteuses dans un état de conditionnement très mauvais (Phylloceras et Lytoceras), caractérisant le Toarcien.

I .2.2. Le Kimméridgien

Il s'agit des terrains les plus anciens reconnus en position normale dans le massif des Aurès, il affleure au niveau de Dj. el-Azreg. Il est constitué de deux niveaux :

- un niveau carbonaté à la base d'une épaisseur de 250 à 300 m, où on identifie des calcaires marneux, marnes jaunâtres, de calcaires silicifiés multicolores à intercalations de marnes rouges surmontés de calcaires, de marnes et des calcaires bréchoïdes à débris de crinoïdes, d'échinides et de bryozoaires et à cristaux de quartz. Ensuite viennent des conglomérats à intercalations marneuses à débris d'organismes récifaux associés à des bélemnites, des calcaires et des calcaires marneux ou granuleux et se termine par une alternance de calcaires et de marnes.

- Le deuxième niveau se place au sommet de la série, constitué de marnes à intercalations de calcaires marneux à Lamellibranches d'une épaisseur de 400m.

I .2.3. Le Portlandien et le Berriasien

Cet ensemble, d'une épaisseur de 250 à 300 m, se présente sous deux faciès bien distincts formant entre eux un passage latéral progressif avec un faciès calcaro-marneux au NE et un faciès dolomitique au SW du massif aurésien :

- L'ensemble calcaro-marneux, peu fossilifère, est formé de calcaires en bancs siliceux blanchâtres violacés surtout à radiolaires et de marnes à ammonites pyriteuses admettant quelques intercalations de calcaires argileux et de calcaires pisolithiques à brachiopodes, lamellibranches, polypiers et échinodermes au sommet.

- L'ensemble dolomitique est formé de dolomies azoïques à rares passées de calcaires et de marnes à bélemnites et forme en majeure partie le flanc sud de Dj. El Azreg.

Au-delà de l'accident sud atlasique, les dépôts jurassiques ne sont connus qu'au Sud tunisien (Fig. 05). Ils sont formés d'une alternance de dolomies, de calcaires et de marnes avec des gypses à brachiopodes, crinoïdes, échinidés, gastéropodes et lamellibranches attribués au Bathonien - Kimméridgien.

L'ensemble du faciès Portlandien et Berriasien, dont l'épaisseur oscille entre 250 à 300m, est marqué par un passage latéral de faciès, identifié au niveau de Dj. Azreg, du Nord vers le Sud les calcaires et les calcaires récifaux passent à des dolomies.

En résumé : le Jurassique est constitué essentiellement de calcaires intercalés entre les marnes kimméridgiennes et les marnes valanginiennes, ce qui coïncide avec la limite entre les étages Kimméridgien et Portlandien. Et c'est en plein de ces calcaires où se trouve la limite entre le Portlandien et le Valanginien, autrement dit entre le Jurassique et le Crétacé.

I.3. Le CRETACE

Deux séries s'individualisent dans les formations du Crétacé ; une série gréseuse basale du Crétacé inférieur (Valanginien - Albien) d'une puissance de 2000 m environs, comportant parfois des lentilles de marnes ou de calcaires et une série marno-calcaire sommitale du Crétacé supérieur (Cénomaniens – Danien) d'une puissance de 3000 m.

I .3.1. Le Valanginien

Il affleure dans les Aurès uniquement à Dj. el Azreg, sous forme d'une ellipse allongée autour de l'affleurement jurassique ¹, formé d'argiles blanches ou jaunes verdâtres à ammonites pyriteuses ² et à petits cristaux de gypse ³ contenant, par endroits, à leur sommet des bancs de calcaires qui se chargent en grés auxquels se superpose une alternance de marnes, de grés et des quartzites à bélemnites permettant quelques intercalations de calcaires à Ostracées, de lumachelles et des calcaires pisolitiques. Plus à l'ouest, il est représenté par des marnes à huîtres et de lumachelles. Son épaisseur est de 150 à 200 mètres. Il devient lagunaire au sud de l'accident sud Atlasique. Cet étage est caractérisé surtout par des Céphalopodes et Ammonites.

I .3.2. L'Hauterivien

Cet étage est caractérisé par la disparition des fossiles. Deux faciès se distinguent dans l'Hauterivien de l'Aurès :

Un faciès calcaro-gréseux caractérisé par des calcaires pisolithiques à algues au SW et un faciès gréseux dolomitique peu fossilifère au NE.

Il est formé de calcaires coquilliers (mollusques, échinidés), de calcaires pisolithiques (ou oolithiques), de calcaires gréseux et de grés friables à stratifications entrecroisées avec parfois des quartzites et des dolomies au sommet de la série. D'une épaisseur d'environ 450 m, ces différents termes montrent d'importantes variations de faciès (latérales ou verticales) et correspondent à des dépôts peu profonds (côtiers ou néritiques).

I .3.3. Le Barrémien

Il affleure très largement dans les Aurès et il représente une période régressive. Il est constitué de dépôts détritiques essentiellement des grés quartzitiques massifs ; argile rougeâtre ; grés à base bréchoïque ; calcaires ; marnes gréseuses et de dolomies massives, avec par endroits des calcaires marneux ou gréseux. Les grés sont très diversifiés (moyens, grossiers, et graviers), souvent à stratification entrecroisée. Les marnes ou argiles sont multicolores (vertes, rouges, ocre ou brunes). Au SW de l'Aurès, il est à dominance de grés à

¹ Laffite (1939) p : 79.

² Laffite (1939) p 82 : ces ammonites pyriteuses témoignent d'une sédimentation bathyale.

³ Même référence en p 82 : la taille des cristaux de gypse est toujours proportionnelle à la taille des fossiles pyriteux, en plus ces gypses ne se présentent jamais sous forme de bancs, mais diffus dans toute la masse marneuse, ce qui laisse penser que ces cristaux proviennent de l'oxydation de la pyrite qui donne naissance à l'anhydride sulfurique. Et enfin ces fossiles primitivement pyriteux sont transformés en Hématite.

dragées et d'argiles rouges contenant, à leur sommet, des lentilles de gypse. Au NW, on trouve des quartzites à la base et des marnes marines fossilifères au sommet. Vers le N et le NW les quartzites de base s'intercalent avec des calcaires marins à foraminifères ou à Céphalopodes, typiques d'un milieu continental. Son épaisseur diminue du Sud (400 m) au Nord (250 m), et près de la ville de Biskra (Dj. Bou Rhezal), il n'est représenté que par quelques mètres d'argiles rouges à bois fossiles. La base de cet étage est constituée d'alternance de couches marines, lagunaires et continentales (150 m). Le sommet est constitué de couches continentales et subcontinentales (250 à 550 m).

On note les affleurements au niveau de l'anticlinal d'Ichemoul, où le Barrémien est présenté par des quartzites massifs à grains fins (200 m), sans intercalations marneuses. Alors qu'au niveau de Dj.el-Azreg, en plus des quartzites, il y a une présence de petits lits de marnes bariolées qui deviennent de plus en plus nombreuses au sommet (bancs ne dépassant pas les quelques décimètres) et les grès deviennent exclusivement des grès à grains fins, et la stratification entrecroisée devient de plus en plus rare. Le faciès continental devient moins net. A Chélia l'épaisseur atteint les 400 m, où c'est difficile de le séparer de l'Aptien car ce dernier présente un faciès gréseux.

I.3.4. L'Aptien

Constitué de bancs de calcaires d'échelle métrique à décamétrique de couleur grise à gris sombre riche en Orbitolines, Oolites et Polypiers en alternance avec des marnes grises à Ammonites. Puis une réapparition des grès vers le sommet de la série, qui est de l'ordre de 100 à 250 m. Son épaisseur augmente aux environs de Chélia pour atteindre les 400 m. Il se répand dans tous les grands anticlinaux de la région (Dj. Metlili, Dj. el Ezreg, Ahmar Kadou, Bou Rhezal). A la base il est constitué de niveaux marneux à Echinidés, Ostracés, Brachiopodes et rares Ammonites et au sommet par des calcaires à Rudistes et Orbitolines et se termine par un niveau marno-calcaire. Vers le S-E du massif de l'Aurès, le caractère gréseux des faciès s'accroît avec la présence d'une importante alternance de couches gréseuses et de calcaires à la base. Plus au Sud (Dj. Bou Rhezal), seul l'Aptien supérieur est présent avec des calcaires tendres à Orbitolines et qui sont plus clairs que ceux du Nord (Dj. El Azreg). Ces termes forment ce qu'on appelle la « barre aptienne ».

I.3.5. L'Albien

D'une épaisseur variant de 190 à 300 m, constitué de bancs de grès souvent grossiers, ce qui le distingue des grès des étages inférieurs. Il devient plus carbonaté au sommet (Fig. 08).

Ce qui coïncide avec la grande transgression cénomaniennne à l'échelle de tout le bassin. Dans le domaine atlasique (Aurès), Il se présente sous deux faciès bien distincts. Un faciès marno-gréseux basal et Un faciès carbonaté sommital.

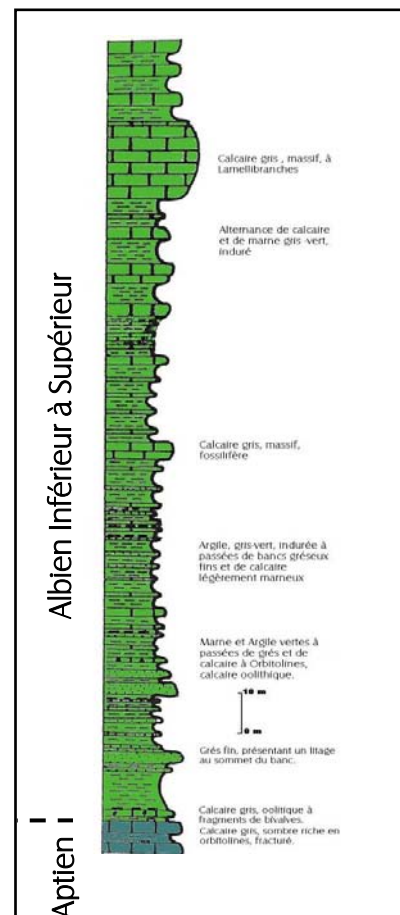


Fig ; 08 : Coupe à la région d'Arris (Thniet el- Baali).
Senouci & all, 2000.

- Dans l'anticlinal de Dj. el Azreg où il est le plus développé, il est subdivisé en trois termes :
- A la base une alternance de grès et de marnes avec de rares intercalations de bancs de calcaires, d'une épaisseur de 200 m, avec une rareté de fossiles. Ces niveaux comportent des moules de Gastéropodes et des Brachiopodes. Le changement latéral de faciès est marqué uniquement par un changement de la granulométrie des grès qui devient de plus en plus fine en allant vers le N-E.
 - Viennent ensuite des assises peu différentes des précédentes et marquées par une tendance à la substitution des grès par les calcaires, l'ensemble est d'une épaisseur de 50 m.
 - Le niveau supérieur est constitué d'une alternance de calcaires lités et de marnes noires d'une épaisseur de 40 m.

L'albien de la région d'Arris (fig. 08), est constitué de dépôts flyschiques peu fossilifères. Qui deviennent de plus en plus carbonatés pour laisser place enfin dans la partie sommitale à des calcaires noires riches en glauconie et en phosphate de chaux, pour se terminer par des marnes et des calcaires peu fossilifères ; l'ensemble fait 300m d'épaisseur environs.

Dans la région d'Ichmoul, l'Albien présente une alternance de grès et de marnes noires avec intercalations de rares bancs de calcaires, puis en s'élevant dans la série les grès deviennent de plus en plus rares, alors que les bancs de calcaires deviennent plus fréquents et plus épais. A la fin de la série viennent des calcaires noirâtres à Huîtres. Les marnes glauconieuses et phosphatées n'existent pas dans cette région.

Dans la région de Chélia, l'épaisseur de l'Albien est réduite à 250 m. le faciès est plus gréseux que carbonaté.

Sur les confins atlasiques, l'Albien présente une évolution progressive, entre un faciès argilo-carbonaté à l'Est et un faciès gréseux à l'Ouest comparables à ceux rencontrés dans le massif de l'Aurès. A l'Est, d'une épaisseur de 160 m, il est formé de calcaires bioclastiques, oolithiques et glauconieux à orbitolines, de grès fins micacés et d'argiles noires. Par contre à l'Ouest, son épaisseur est d'environ 100 m, il est constitué de grès fins sableux à pélitiques entrecoupés d'argiles bariolées et de dolomies.

En résumé, du point de vue paléontologique, les formations albiennes se sont formées dans une mer peu profonde (200 m au maximum) ; pétrographiquement, il s'agit de grès glauconieux à ciment phosphaté, à cristaux de calcite et de quartz secondaire. Le faciès change pour donner des grès enrichis de phosphate de chaux, ou en glauconie⁴.

I .3.6. Cénomaniien

Formant le cœur des anticlinaux, son épaisseur peut atteindre les 1000 m, constitué au sommet par des marno-calcaires riches en faune ; sa base est constituée par des marnes.

Au centre et à l'Est du massif (Dj. El-Ezreg, Ahmar Khaddou), il est formé de marnes noires surmontant les argiles bariolées et grès rouges albiens. Ces marnes sont superposées d'une alternance de marnes et de calcaires marneux à Orbitolines et se termine par des calcaires à Radiolites, Huîtres et Echinidés.

A l'Est de Biskra (flanc sud d'Ahmar Khaddou), le Cénomaniien est représenté par des marnes à Ammonites et des calcaires à Ostracées, Huîtres et Polypiers au sommet. Par contre à l'Ouest (Dj. Bou Rhezal où l'épaisseur est réduite à 150 m), il est formé d'une alternance de

⁴ Laffitte (1939) p : 152,153

marnes et de calcaires à Ostracées et Radiolites et se termine par des marnes à Huîtres contenant, à leur sommet, des bancs gypseux.

I .3.7. Turonien

Le Turonien est l'étage du crétacé qui occupe en affleurement les aires les plus importantes dans les Aurès ; formé par des calcaires à Rudistes, son épaisseur varie de 100 à 300 m.

Dans les zones périphériques (S-W), il est formé de récifs et de calcaires à Rudistes, Polypiers et algues calcaires (100 à 300 m), alors que dans les zones axiales vers le N-E, il est surtout représenté par des marnes et des calcaires à Céphalopodes et Echinidés (600 à 800 m).

Au centre et au N-E du massif (Dj. El Ezreg), il est formé de calcaires compacts à Rudistes et Polypiers qui passent par la suite à des alternances de marnes à Echinidés et de calcaires marneux ou marnes calcaires dans la partie la plus orientale. A Dj. el Azreg, on enregistre un développement plus important des marnes au dépend des calcaires. Au S-E (flanc sud d'Ahmar Khaddou), il est formé de calcaires à Rudistes, Polypiers et algues admettant quelques intercalations de marnes ou de calcaires marneux. Prés de Biskra (Dj. Bou Rhezal), il est formé de calcaires, de calcaires marneux ou dolomitiques, de marnes et de gypse au sommet.

Cet étage évolue donc à partir des faciès calcaireux dans la partie S-W pour devenir plus marneux dans la partie N et N-E.

I .3.8. Sénonien

Le Crétacé supérieur est présent dans tous les affleurements en Aurès, avec une puissance importante qui atteint les 2000 m. Il commence à partir du bas par une alternance des calcaires à Inocérames (ép. 20 à 40m), associés à des marnes, parfois à un banc repère de gypse, marquant le passage entre le Santonien et le Campanien. Ce n'est qu'au sud ouest (Biskra) que ces niveaux deviennent calcaireux avec une diminution de puissance et contenant des fossiles tels que les Rudistes de même faciès que ceux du Turonien. Le Campanien est marneux avec quelques bancs de calcaires crayeux.

L'ensemble se termine avec une épaisse série carbonatée formée par des calcaires massifs d'âge Maastrichtien, très fissurés et souvent productifs d'eau formant un réservoir d'eau important ; atteignant les 200 à 350 m d'épaisseur (Fig.10). Ce qui n'est pas le cas en allant vers la partie Est du massif, où les calcaires ne se rencontrent plus qu'à la partie terminale de l'étage et la partie inférieure constituée de calcaire crayeux.

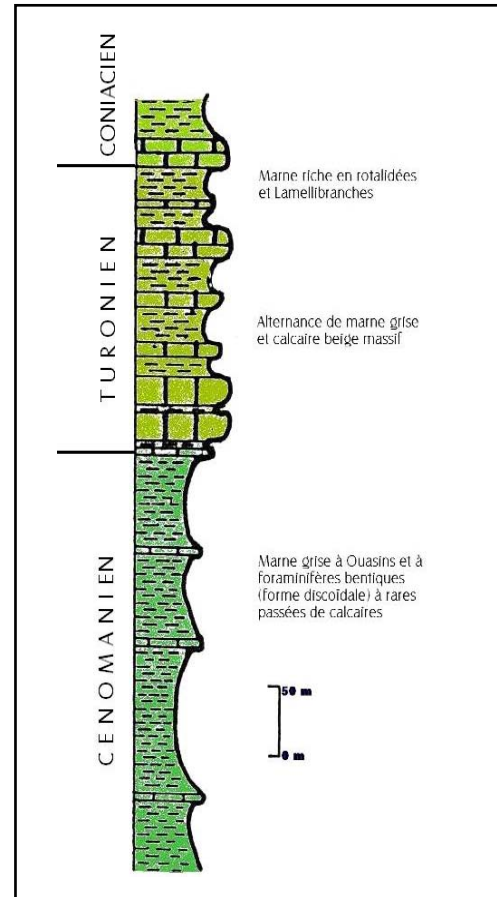


Fig. 09 : Coupe à la région d'Inoughissen (Senouci & all, 2000)

Au centre et dans la partie orientale du massif (Dj. el Azreg, Ahmar Khaddou) il est formé de marnes contenant quelques bancs de calcaires marneux (Coniacien - Santonien), des calcaires à Inocerames, lumachelles et marnes noires à Ostracés campaniennes et s'achève par des calcaires crayeux blanchâtres à Orbitolines et des calcaires massifs à Bryozoaires et Inocérames maastrichtiens.

Au nord de Biskra (Dj. el Melah d'El Outaya), le Sénonien est représenté par des marnes noires et des calcaires crayeux campaniens et par des calcaires massifs à Inocerames et Echinidés maastrichtiens. A l'ouest de Biskra (Dj. Bou Rhezal), il est formé de calcaires massifs ou bréchoïdes (ou encore pseudo-oolithiques) à radiolarites surmontés d'une alternance de marnes et de calcaires argileux jaunes verdâtres d'âge Campanien et des calcaires bioclastiques en bancs souvent dolomitiques à passées de marnes, de calcaires argileux ou de silex maastrichtiens.

Le Danien se présente sous forme de calcaires bréchoïdes. Il est réparti irrégulièrement. Dans l'ouest du massif. Le retrait de la mer donne naissance à des dépôts lagunaires. Cependant à l'Est et au Sud le Danien est bien développé. Il est caractérisé par la présence de couches phosphatées caractérisant l'étage, parfois avec des dépôts lagunaires.

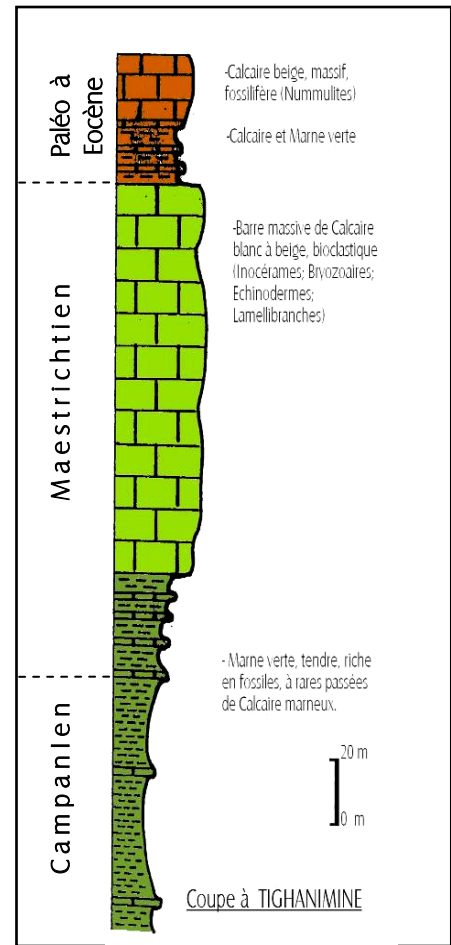


Fig. 10 : Coupe à Tighanimine Senouci & all, 2000

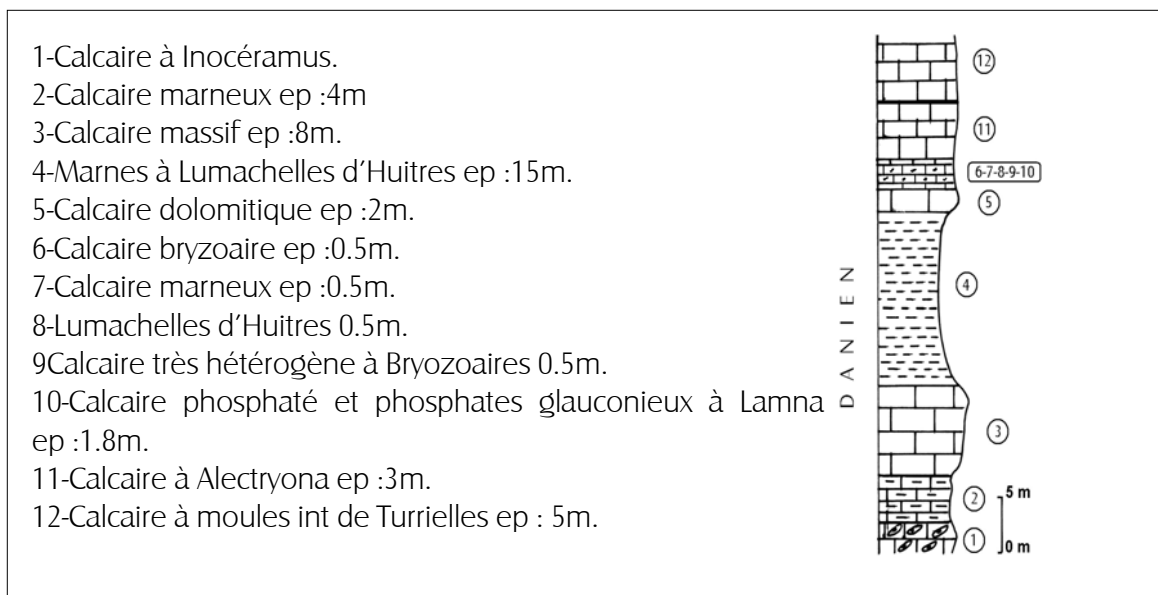


Fig.11 : Coupe à Irzaz Imezouchen (Source : L'auteur, 2009 ; d'après description de Laffitte, 1939)

De cette description, on constate que la région s'individualise nettement au Crétacé supérieur comme au Jurassique en montrant un caractère de zone haute ou parfois peut être comme zone frontale de la plate forme continentale saharienne bien soulignée par des formations récifales ou péri récifales.

I.4. LE PALEOGENE (Nummulitique) :

On le trouve dans tous les synclinaux du versant sud du massif de l'Aurès. Quoiqu'il présente de nombreuses variations de faciès et une nette réduction des épaisseurs du NW au SE, il se compose principalement de deux séries bien distinctes :

- Une série marine à la base (Danien – Lutétien supérieur)
- Une série continentale au sommet (Eocène supérieur - Oligocène).

La limite entre la série marine et la série continentale se place à la partie supérieure du Lutétien, ou à un niveau indéterminé du Bartonien, début de la transgression Miocène.

I.4.1. Paléogène marin (Eocène inférieur et moyen)

Dans les régions axiales (synclinal de Rhassira), le Paléocène est représenté par des calcaires contenant quelques bancs marneux, l'Eocène inférieur par des marnes blanches et des calcaires marneux à silex et nummulites, le Lutétien par des calcaires à silex. Cependant il y a des intercalations de dépôts lagunaires dans certains points, dues à des conditions exceptionnelles (Ces couches succèdent en concordance au Danien marin).

I.4.2. Paléogène continental

Le Paléogène continental (Eocène supérieur et Oligocène) est représenté par des dépôts rouges souvent grossiers et dont l'épaisseur ne dépasse pas 200 m. Témoignant ainsi d'une période de régression. Malgré que ces dépôts continentaux ne contiennent pas de fossiles, leur datation repose sur leur position entre le Lutétien et le Burdigalien, (Oligocène, Aquitaniens, Burdigalien). Le Nummulitique continental se trouve dans l'Aurès dans deux situations différentes :

- 1- dans les synclinaux en concordance sur le Lutétien et supportant en concordance le burdigalien.
- 2- en discordance sur tous les termes des séries plus anciennes allant jusqu'au Trias, suite à des phases d'érosion

Dans le synclinal de Rhassira, les couches du Paléogène continental, surmontent en concordance le Lutétien, sans qu'il y ait eu une interruption évidente de la sédimentation, et supportant en concordance les couches du Miocène marin.

A Rhoufi et exactement à Oued Tahammamet on note de bas en haut la succession lithostratigraphique comme le montre la (Fig. 12).

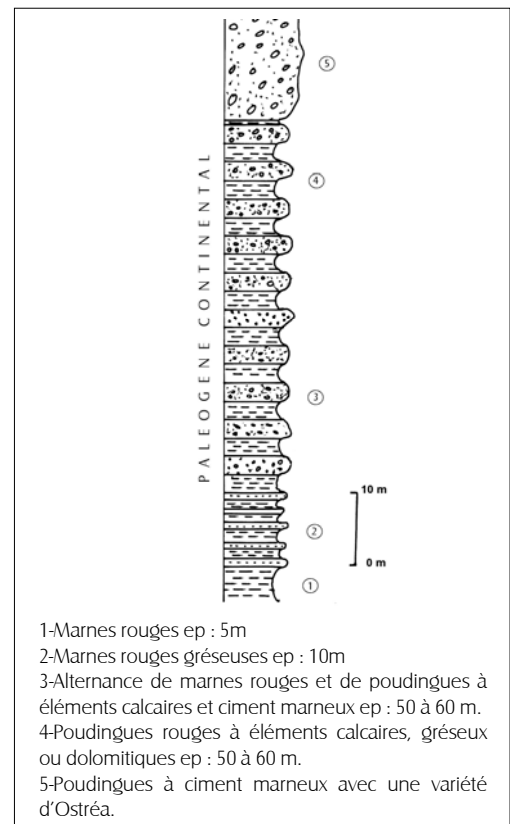


Fig. 12 : Coupe à Oued Tahammamet à Rhoufi. (Source : L'auteur, 2009 ; d'après description de Laffitte, 1939)

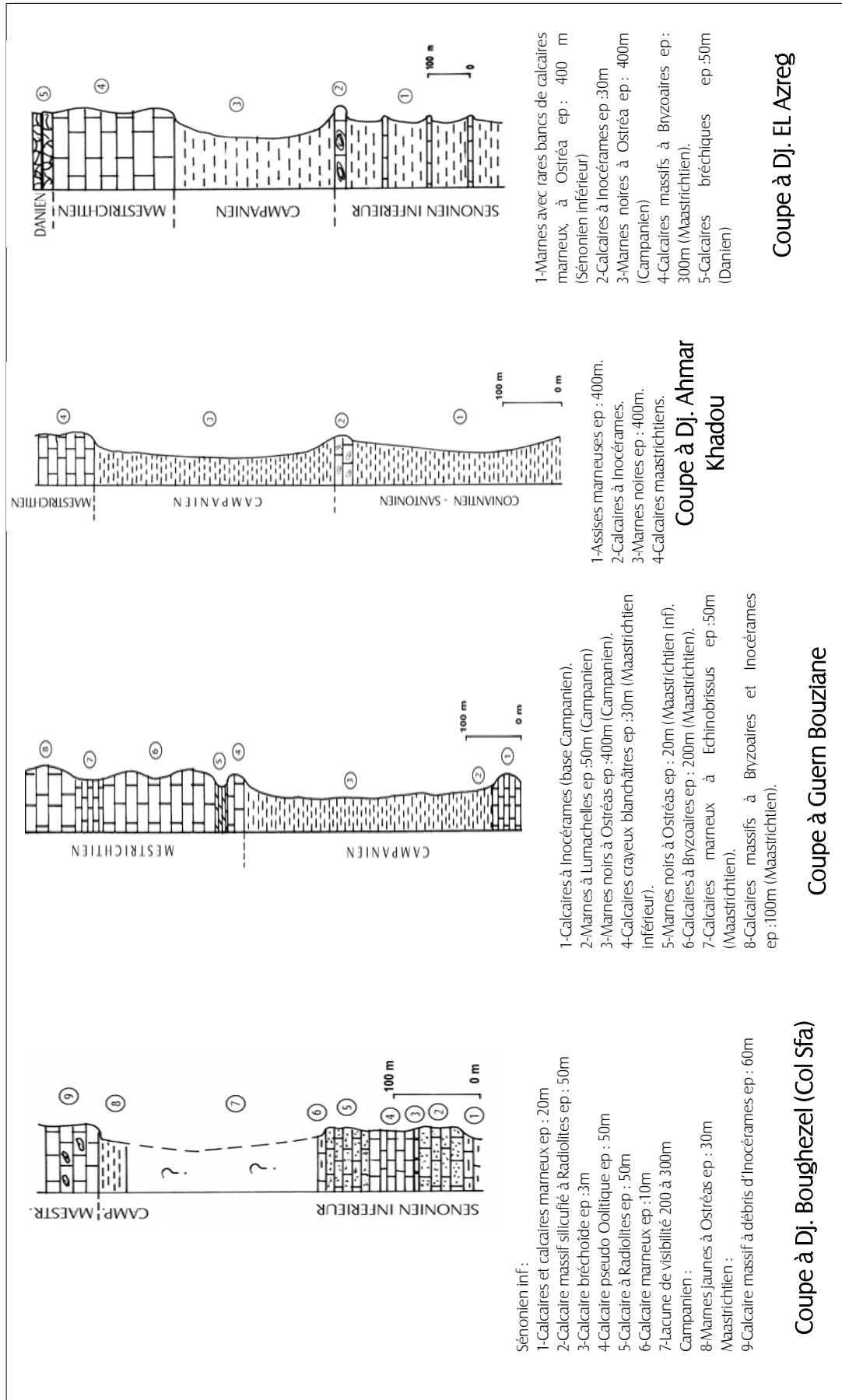


Fig. 13 : Coupes descriptives du Sénonien supérieur à travers la vallée d'Oued el Abiod. (Source : L'auteur, 2009 ; d'après description de Laffitte, 1939)

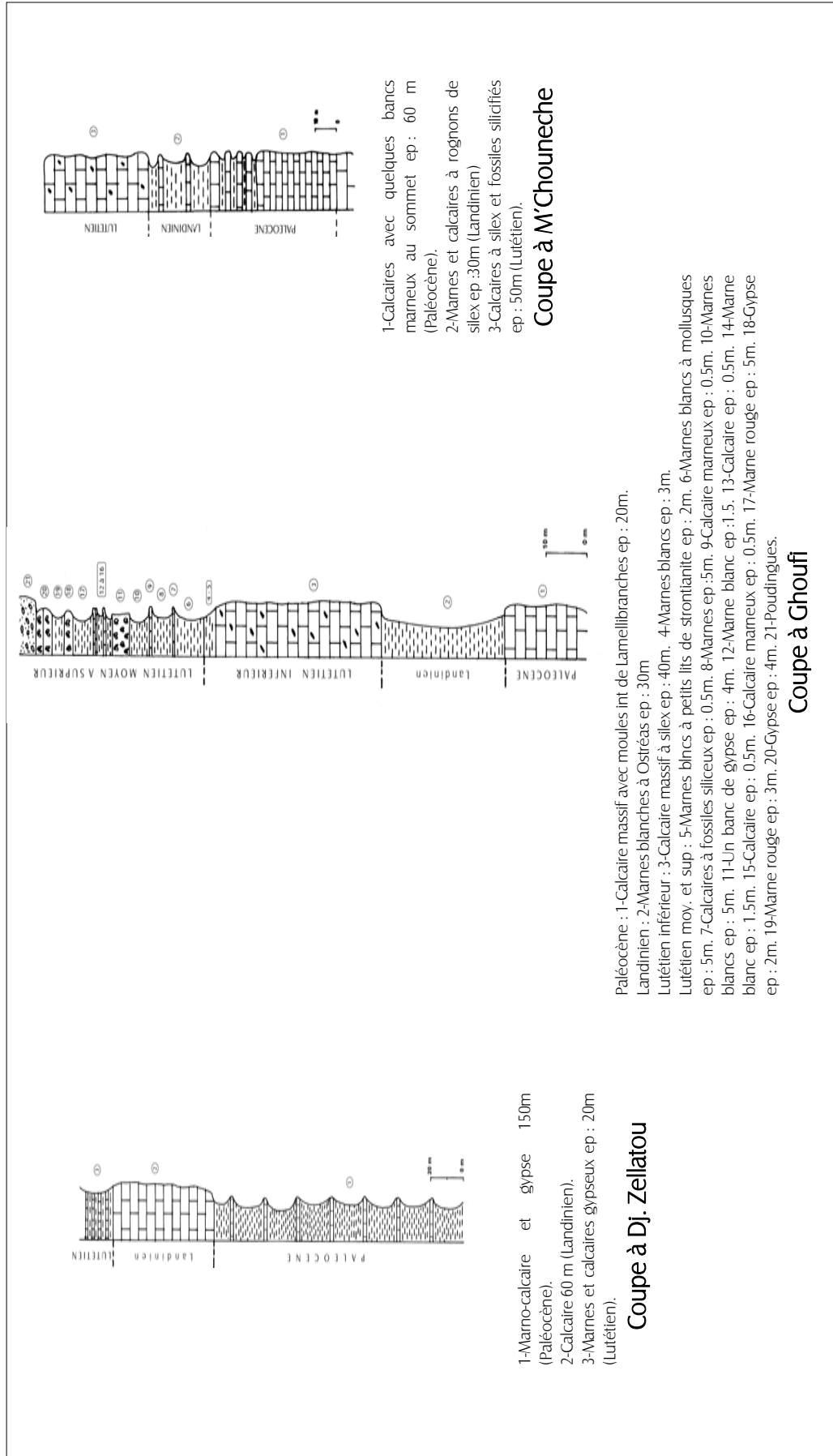


Fig. 14 : Coupes descriptives du Paléogène à travers Oued el Abiod, du NE au SW (Source : L'auteur, 2009 ; d'après description de Laffitte, 1939)

Il y a lieu de signaler que les poudingues à éléments calcaires ont été formés au moment où commençait l'érosion des dépôts du Nummulitique et du Crétacé supérieur ; alors que les poudingues à éléments gréseux et autres se sont formés au moment où le crétacé inférieur commence à être démantelé.

Sur la bordure Ouest du synclinal, les poudingues sont à éléments grossiers et reposent en discordance angulaire sur l'Eocène moyen ou inférieur ; par contre dans un autre point du synclinal (Dj. Krouma) un lambeau de poudingues repose directement sur le Crétacé terminal.

Ces formations peuvent être identifiées par le seul fait qu'elles soient souvent discordantes ou ravinantes sur un substratum tectonisé lors de la phase Atlasique Eocène. De même, il est surmonté par des dépôts quaternaires légèrement discordants ou ravinants dans bien des cas (R.Guiraud, 1973). Par la suite le terme a été étendu à l'ensemble des formations rouges tertiaires de l'atlas saharien et de l'Aurès plus au Nord.

I.5. Le NEOGENE

I.5.1. Le Néogène marin (Miocène inférieur)

Les formations du Miocène marin sont peu épaisses, du fait que le massif des Aurès était peu envahi par la mer et que cette dernière occupait uniquement les vallées et les dépressions. Le Miocène repose en discordance sur les terrains anciens marins. Les seules formations sur lesquelles, il repose en concordance, sont des formations rouges continentales. L'ensemble de la faune qu'il contient indique un âge Burdigalien. La nature essentiellement détritique et sub-lagunaire, montre que le synclinal de Rhassira formait un golf, par lequel, le bassin d'El-Outaya et celui de Timgad restaient en communication pendant cette période. Les principaux affleurements dans la région d'el-Outaya où il est formé de couches de calcaires dans la partie Est et par des mollasses riches en fossiles dans la partie Ouest.

Dans la région de Tahammamet, le Miocène marin est constitué d'une alternance de poudingues à ciment calcaire et de lentilles de marnes.

A Timchtaouine, il est représenté par des sables des grés sableux fossilifères.

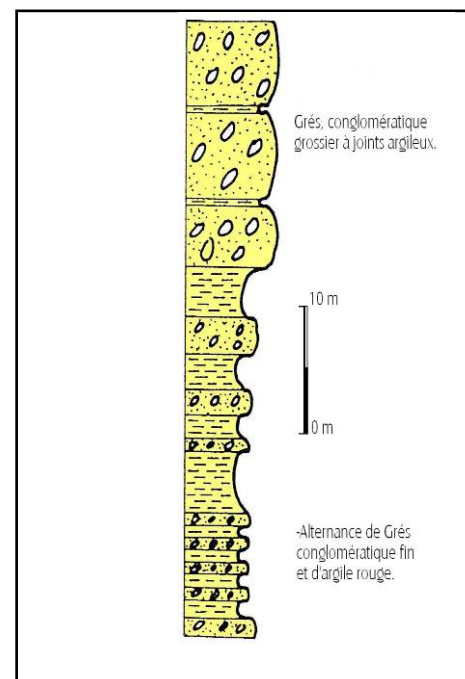


Fig 15 : Coupe au niveau des formations du Miocène
À la région de Taghit
Senouci & all, 2000

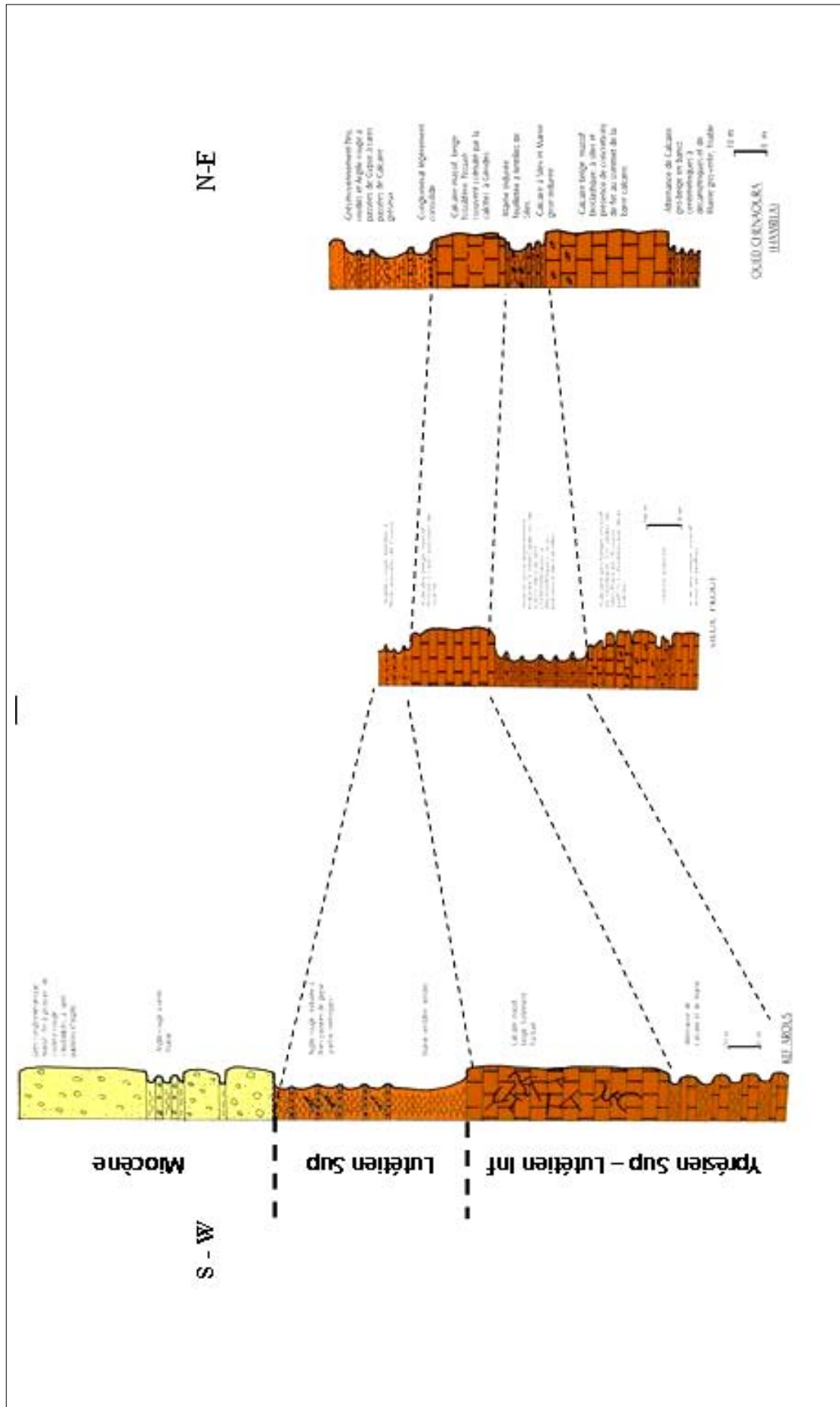


Fig. 16 : Coupe corrélatrice à travers l'axe du synclinal de Rhassira des formations du Tertiaire (N-E SW)

I.5.2. Le Néogène continental (Miocène supérieur et Pliocène)

Au dessus du Miocène marin, viennent des assises continentales. A el-Outaya, l'étage présente des couches rouges d'une épaisseur de 200 à 300 m. Dans les Aurès les séries continentales reposent directement sur les séries marines et sont composées comme suit :

A la base des argiles rouges (**Helvétien – Tortonien**)

Grès ou sables bruns ou rouges (**Pontien**)

Au sommet des poudingues rouges (**Pliocène**)

I.6. QUATERNAIRE:

Au centre du massif, les terrains Quaternaire sont rares et sont représentés par les éboulis aux pieds des montagnes et les terrasses des oueds.

Les éboulis sont répandus au pied des crêtes des calcaires maastrichtiens. Comportant des blocs qui peuvent atteindre des dizaines de mètres. Ces éboulis reposent sur les marnes campaniennes, où existe souvent un niveau de sources le long du contact.

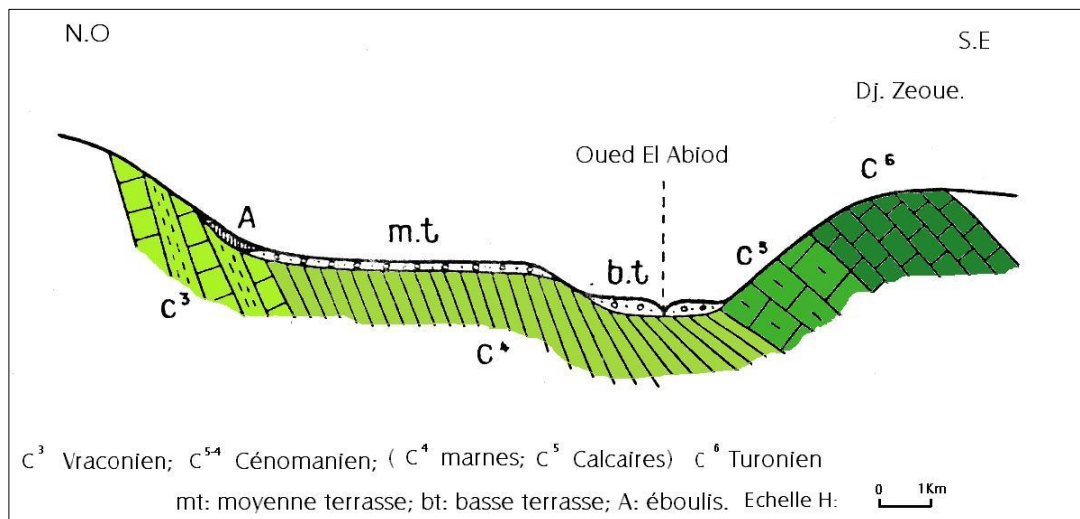
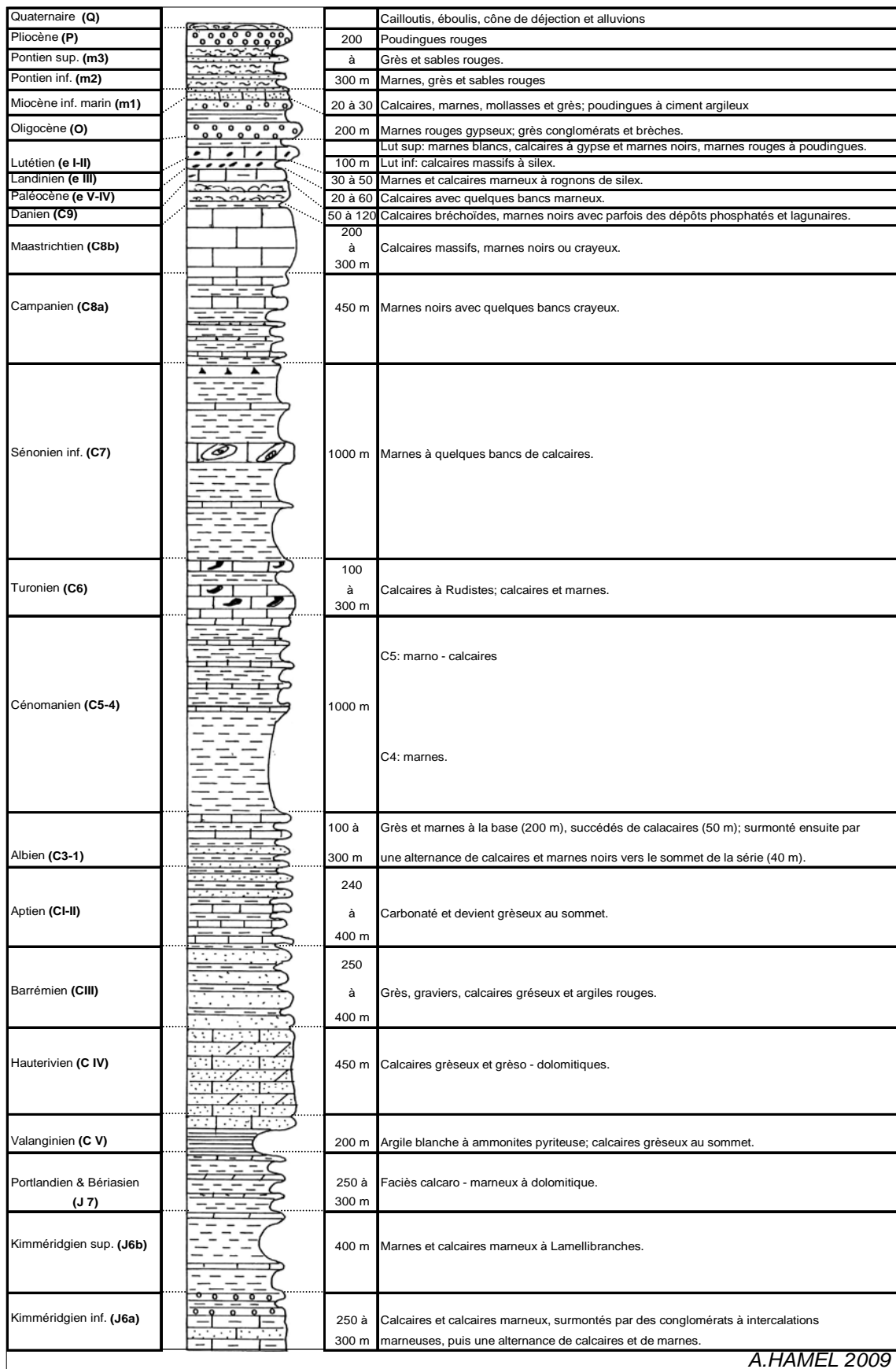


Fig. 17 : Terrasses de l'Oued el Abiod près d'Arris (D'après Laffitte 1939)

Les terrasses ayant une épaisseur faible, n'excédant pas dans la plus part du temps les cinq mètres. Elles marquent les épisodes de creusement des vallées (fig.17).

Ces vallées ont subi un perpétuel creusement depuis le Miocène. Des terrasses situées à des hauteurs de 180 m et plus témoignent des mouvements de surrection que subit le massif des Aurès.

Les travertins se situent au niveau des sources. Aux environs de Chetma les tufs déposés autrefois contenaient des ossements de vertébrés



A.HAMEL 2009

Fig. 18 : Coupe schématique de la Stratigraphie de la Vallée d'Oued el Abiod (Source : L'auteur, 2009 ; d'après description de Laffitte, 1939)

II. TECTONIQUE

Le synclinal de Rhassira est le plus important de l'Aurès. Allongé sur 80 km, selon une orientation N-E S-W. D'une largeur de 15 km et qui se rétrécit au nord pour n'occuper que 2 km environ. Les structures actuelles sont la résultante d'une tectonique polyphasée (Tab.02).

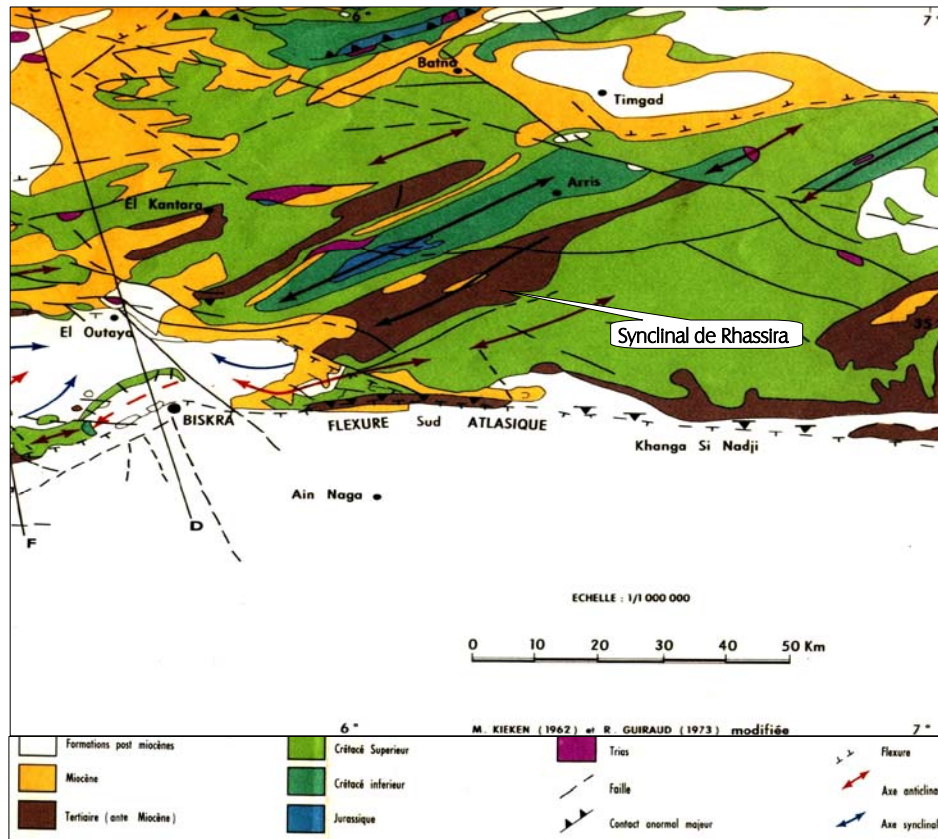


Fig.19 : Carte Structurale (ANRH d'après R.GUIRAUD, 1973)

Dans la région, les plis se distinguent en deux groupes (Fig.19) ; le premier groupe orienté N 60°E issu de la phase atlasique d'âge Eocène ; le deuxième d'une direction E-W issu de la phase Miocène.

Les failles et cassures prennent des directions variables où on distingue quatre familles (voir fig. 22)

- N-S avec un jeu décrochant dextre et parfois senestre.
- NE-SW : décrochements senestres (Ichemoul) et dextre (El Ksar)
- E-W failles normales et des décrochements dextres.
- NW-SE c'est la direction la plus répandue dans la région, c'est des failles transversales et décrochements dextres, et rarement en décrochement senestre.

La région est caractérisée par les pointements triasiques qui accompagnent souvent les points de convergence des accidents tectoniques majeurs. Le premier se situe tout au nord du synclinal à Ichemoul ; le deuxième au nord sur le synclinal de Bouzina et le troisième qui est le plus important se situe au niveau de la dépression d'el-Outaya.

Le centre du synclinal est occupé par les formations nummulitiques : marnes et calcaires marins à la base et les couches rouges du Lutétien et post-Lutétien au sommet. L'ensemble est recouvert par le Miocène marin.

La partie sud-ouest du synclinal est recouverte par les formations plio-quaternaires. L'érosion quaternaire a mis en relief des poudingues et des sables qu'on trouve à Ras Chicha (fig. 20). Ces formations sont affectées par les plissements post-pliocènes. Puis vient en périphérie de ces formations, les sables et argiles du Pontien, qui parfois reposent directement sur les calcaires maastrichtiens.

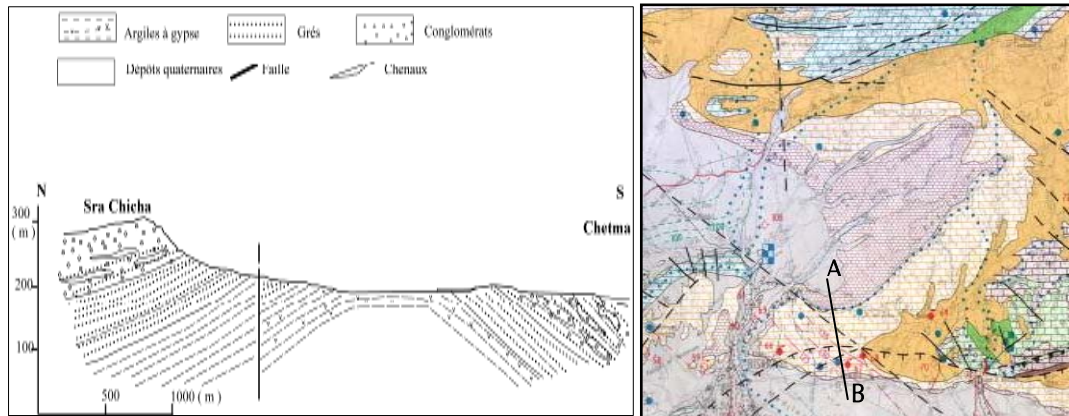


Fig. 20 : Coupe géologique AB à Ras Chicha aux environs de Chetma (in.M.Chebbah, 2007)

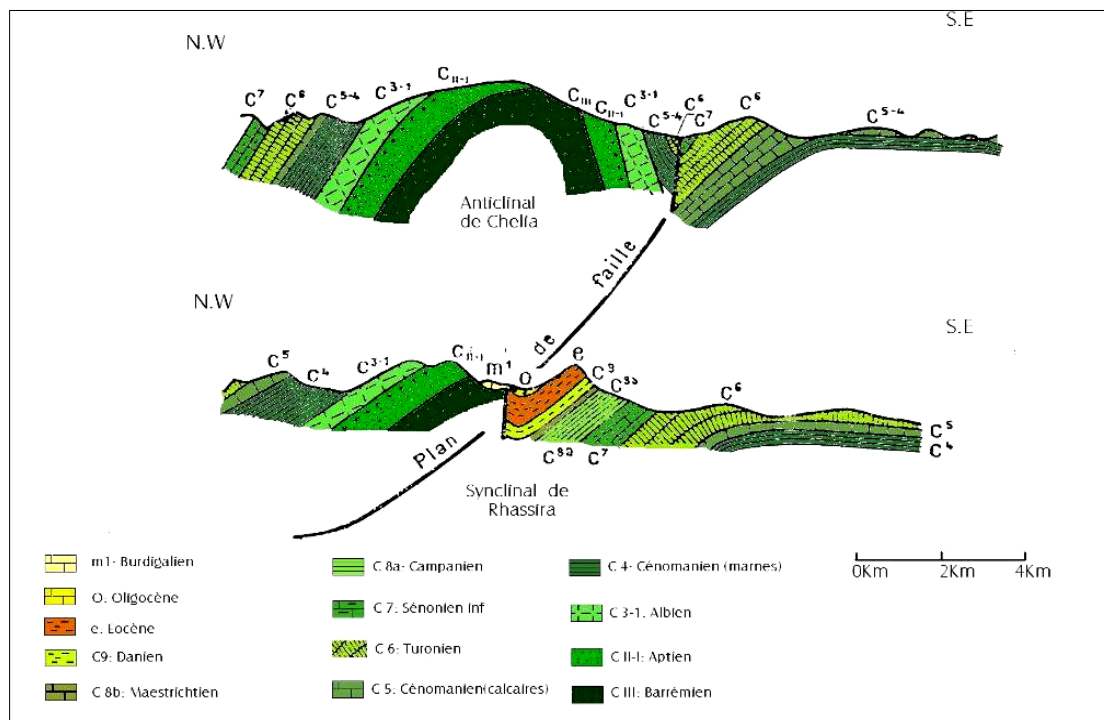


Fig. 21 : Coupes géologiques au niveau du massif de Chelia Passant par le synclinal de Rhassira (d'après R.LAFFITTE, 1939)

Le rétrécissement du synclinal de Rhassira au nord, n'est qu'apparent, car en réalité le synclinal avait subi un soulèvement de son axe de la partie nord et l'érosion a fait le reste, pour donner cette forme. Puis il subit un abaissement dans son extrémité nord, pour butter contre les formations anciennes (Crétacé inférieur) de l'anticlinal de Chélia.

Ce contact anormal est causée par une faille transversale, courbé, de direction N-W S-E ; elle affecte l'anticlinal de Chélia dans un mouvement dextre, où elle passe perpendiculairement à l'axe de ce dernier puis s'incline pour lui devenir parallèle vers l'Est. Cet accident majeur met en contact des formations du Barrémien (anticlinal) et des formations du Tertiaire (du synclinal de Rhassira). D'un rejet de 5000 m environs. (fig.21). L'âge de l'accident, selon R.Laffitte, est anté-Miocène (phase Eocène), car des lambeaux de grès Miocène, reposent sur les deux compartiments, sans être affectés par la faille. La flexure ayant affecté le flanc nord du synclinal a fait que ce dernier se trouve en position plus surélevée par rapport au flanc sud.

Dans la partie sud-ouest, entre Le synclinal de Rhassira et le bassin d'el-Outaya, qui tous deux forment une continuité géologique et structurelle, sont affectés par un accident majeur de direction N-W S-E, en décrochement dextre, ce genre de structures est connu sous l'appellation de « pli embouti ». Le long de cet accident sur des dizaines de kilomètres, se manifestent des sources chaudes telles que Ain Gouskov , Ain Slat, source de Hammam sidi el Hadj ainsi que des diapirs tels que celui d'el- Outaya et de M'Doukel.

III. PHASES OROGENIQUES

Le massif des Aurès avait subi plusieurs phases orogéniques, résumées dans le tableau ci-dessous :

Tab 02 : Phases Orogéniques

Phase	Description
EMSHERIENNE (Turonien)	Début à la fin du Turonien et se poursuit jusqu'au Sénonien ; donnant des plis d'une orientation E-W accompagnées de cassures NW, NE, et ENE. Les mouvements de compression de direction NNW-SSE à NS, (R.Guiraud,1990).
ATLASIQUE (PYRENEENNE) (Eocène moy)	Se produit au Lutétien ; caractérisée par un plissement énergique affectant les formations allant du Jurassique au Lutétien ; les plis coiffés à terminaisons périclinales coniques, orientées NE-SW à ENE-WSW ; avec des failles de grandes ampleurs de direction E-W, NW-SE et WNW-ESE. Accompagnée de Phénomènes de diapirisme. Menâa, el-Outaya. L'érosion attaque les reliefs pour former des conglomérats (Eocène supérieur) qui se déposent dans les synclinaux.
Oligo-Miocène	C'est une phase de distension, créant des grabens. .Mouvements épirogéniques, creusement des vallées. .La mer recouvre toutes les zones de dépression au centre sauf le sud.
Miocène (Burdigalien Langhien)	Elle n'a produit que de faibles déformations. .Retrait de la mer. .Approfondissement des anciennes vallées. .Emersion du massif des Aurès. .Dépôts d'argiles et grès fin (Pontien) dans les dépressions à la périphérie.
Pliocène	C'est la phase la plus importante avec celle atlasique, s'est déroulée à la fin du Pliocène. .Surrection et plissements accompagnés de dépôts de poudingues. .les plissements de direction ENE-WSW, plus cassants.
Quaternaire	Distensive, donnant des grabens et se limite aux rejeux des plis formées au Pliocène.

IV. PALEOGEOGRAPHIE

Les terrains les plus anciens, connus dans la région sont attribués au Kimméridgien. Cependant dans de nombreux points, tel que les axes des anticlinaux, ou au niveau des terminaisons périclinales, et souvent au niveau des accidents tectoniques majeurs, que percent des marnes bariolées accompagnées de gypse et de sel gemme. Ces faciès se rapportent au Trias.

Durant la période jurassique, la mer occupait l'Aurès. Ce qui a donné naissance à la formation de dépôts marneux et calcaires, selon la profondeur de la lame d'eau. Les fossiles sont rares, soit à cause de la dolomitisation, ou à cause de l'érosion sous-marine, ou de l'accumulation de brèches où vivaient les Céphalopodes.

Le Crétacé commence au Berriasien par des calcaires. L'approfondissement de la mer, favorise une sédimentation marneuse, riche en Ammonites pyriteuses, avec d'autres espèces, indiquant une profondeur qui ne dépasse pas les 300 m. Dès le Valanginien moyen commence une sédimentation à lentilles de calcaires où les éléments gréseux sont de plus en plus abondants. A l'Hauterivien règne une sédimentation néritique formée par des calcaires et des grès. Au Barrémien se dépose des grès avec des éléments grossiers. La présence de gypses indique un milieu lagunaire ou subaérien. Les conditions de sédimentation persistent jusqu'au début de l'Aptien, où se déposent des sédiments lagunaires dans la partie sud-ouest et ailleurs des marnes. A la fin de l'étage une sédimentation sub-récifale (calcaires) se généralise. Durant l'Albien, un retour aux conditions lagunaires au sud-ouest, tandis qu'ailleurs, se forme une alternance de marnes et des calcaires et des grès. Au Cénomaniens, la mer s'approfondie, sauf aux environs de Biskra. Dans les zones profondes, se dépose des marnes bleues, puis au sommet une alternance de calcaires et de marnes. Durant le Turonien, une sédimentation récifale s'installe sur toute la périphérie de l'Aurès. Tandis qu'au centre se dépose des calcaires marneux. Le Sénonien inférieur donne une sédimentation marno-calcaire. Ces formations passent à des calcaires récifaux à Biskra. Le Campanien est caractérisé par des marnes à intercalations de calcaires crayeux. Au Maastrichtien, se dépose des calcaires à Bryozoaires et Algues.

Au Danien, se déposent des calcaires difficilement séparables de ceux du Maastrichtien, puis des marnes phosphatées du Paléocène, des marnes blanches et des calcaires marneux, avec une fréquence plus grande de phosphates. Au Landénien, des marnes blanches et calcaires à Huîtres et Nummulites, ce qui témoigne de l'approfondissement de la mer au centre, tandis qu'à la périphérie en émergence donne des couches rouges ou des calcaires lacustres. Le Lutétien est caractérisé par une sédimentation lagunaire (gypses et conglomérats).

La sédimentation marine est interrompue durant le Néogène jusqu'au Burdigalien

V. CONCLUSION

Le massif des Aurès constitue l'extrémité orientale de la chaîne Atlasique. Le plus haut sommet dans ce massif est située à Dj. Chélia et exactement à « Irfen'Keltoume » avec une altitude de 2326 m.

La région a subi différentes phases orogéniques qui ont fait naître les structures synclinales et anticlinales. Les plus importantes sont : la phase Atlasique (Lutétien supérieur) et la phase post Miocène supérieur.

La région d'Oued el-Abiod est l'une des vallées de ce massif, elle présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Jurassique au Quaternaire faisant environs 6000 m d'épaisseur. Le Cénomaniens à lui seul fait 1000 m et le Sénonien 2000m.

Les formations géologiques sont constituées de dépôts détritiques du crétacé inférieur ; des dépôts argilo carbonatés du crétacé supérieur et du jurassique ; les sédiments tertiaires sont à dominante carbonatée du paléocène jusqu'à l'Eocène moyen, tandis que le Néogène est essentiellement détritique. Les variations latérales de faciès sont très fréquentes et concernent tous les étages.

Le Jurassique est constitué essentiellement de calcaires intercalés entre les marnes kimméridgiennes et les marnes valanginiennes. L'ensemble de faciès portlandien et berriasien, dont l'épaisseur oscille entre 250 à 300 m, est caractérisé par des calcaires et des calcaires récifaux qui passent à des dolomies.

Le Crétacé inférieur est caractérisé par une série gréseuse (Valanginien - Albien) d'une puissance de 2000 m environs comportant parfois des lentilles de marnes ou de calcaires. Le Crétacé supérieur est présenté par une série marno-calcaire (Cénomaniens - Daniens) d'une puissance de 3000 m. Le Turonien qui est l'étage qui occupe en affleurement les aires les plus importantes dans les Aurès, est formé par des calcaires à Rudistes. Son épaisseur varie de 100 à 300 m. Le Sénonien commence à partir du bas par une alternance de calcaires à Inocérames, associés à des marnes, parfois à un banc repère de gypse, marquant le passage entre le Santonien et le Campanien. Ce dernier est marneux avec quelques bancs de calcaire crayeux.

L'ensemble se termine avec une épaisse série carbonatée formée par des calcaires massifs d'âge Maastrichtien, très fissurés, atteignant les 200 à 350 m d'épaisseur.

Le Paléogène (Nummulitique) présente de nombreuses variations de faciès et une nette réduction des épaisseurs du NW au SE. Il se compose principalement de deux séries bien distinctes :

- Une série marine à la base (Daniens - Lutétien supérieur) : le Daniens est formé de calcaires phosphatés. Le Paléocène est représenté par des calcaires contenant quelques bancs marneux, l'Eocène inférieur par des marnes blanches et des calcaires marneux à silex et nummulites et le Lutétien par des calcaires à silex.

- Une série continentale au sommet (Eocène supérieur - Oligocène) : est représenté par des dépôts rouges souvent grossiers et dont l'épaisseur ne dépasse pas 200 m. Témoignant ainsi d'une période de régression. Malgré que ces dépôts continentaux ne

contiennent pas de fossiles, leur datation repose sur leur position entre le Lutétien et le Burdigalien.

Les formations du Néogène marin (Miocène inférieur) sont peu épaisses, l'ensemble de la faune qu'elles contiennent indique un âge burdigalien, d'une nature essentiellement détritique et sub-lagunaire (calcaires à Lumachelles).

Au dessus du Miocène marin, viennent des assises continentales affectées au Miocène supérieur et Pliocène (Néogène continental). Cette série est constituée à la base par des argiles rouges (Helvétien – Tortonien), surmontées par des grès et sables rouges (Pontien), au sommet des poudingues rouges (Pliocène).

Les terrains quaternaires sont rares et sont représentés par les éboulis aux pieds des montagnes et par les terrasses des Oueds.

Du point de vue structural, Le synclinal de Rhassira est le plus important de l'Aurès. Dans la région, les plis se distinguent en deux groupes. Le premier groupe orienté E 60° issu de la phase atlasique (Eocène) ; le deuxième d'une direction E-W issu de la phase Miocène.

Les failles et cassures prennent des directions variables où on distingue quatre familles N-S ; NE-SW ; E-W et NW-SE

La région est caractérisée par les pointements triasiques qui accompagnent souvent les points de convergence des accidents tectoniques majeurs. Le premier se situe tout au nord du synclinal à Ichemoul ; le deuxième au nord sur le synclinal de Bouzina et le troisième se situe au niveau de la dépression d'el-Outaya.

La forme originelle du synclinal est le résultat d'une action combinée de la tectonique et de l'érosion. Le synclinal est affecté dans son extrémité nord par une faille majeure transverse d'un rejet de 5000m environs, ce qui a mis en contact les formations du Crétacé inférieur (Barrémien) de l'anticlinal de Chélia et avec les formations du Lutétien du synclinal de Rhassira. L'âge de l'accident, est anté-Miocène (phase Eocène).

Dans la partie sud-ouest, un autre accident majeure, en décrochement dextre, orienté N-W S-E, sépare deux compartiments. A l'est Le synclinal de Rhassira et à l'ouest le bassin d'el-Outaya, sous forme de pli embouti. Le long de cet accident sur des dizaines de Kilomètres, se manifestent des sources chaudes telles que Ain gouskov , Ain Slat, source de Hammam sidi El Hadj, ainsi que des diapirs tels que celui d'el Outaya et de M'Doukel.

Chapitre 2

G E O P H Y S I Q U E

GÉOPHYSIQUE

La géophysique est un moyen indispensable dans toute étude hydrogéologique. Elle permet de déterminer les différentes structures, la géométrie des réservoirs, déceler les accidents tectoniques et définir les zones susceptibles d'être aquifères. Pour un tel objectif, nous allons combiner entre les mesures fournies par les prospections géophysiques et les logs des forages.

L'entreprise nationale de géophysique (E.N.A.G.O) avait réalisé des études de prospection géoélectriques, par la méthode de sondage électrique vertical. La première en 2000, suite à la demande de la direction de l'hydraulique de Batna ; la deuxième en 2002 selon la demande de la DHW de Biskra.

I. ZONE NORD (W- DE BATNA)

La 1^{ère} étude, qui concerne le territoire de la wilaya de Batna, couvrait les communes de : Ichmoul, Arris, T'Kout et Rhassira, pour un total de sondages électrique de 153 points, répartis comme suit (Tab 03):

Tab 03 : Répartition des Sondages Electriques.

Commune	AB = 4000 m	AB = 3000 m	AB = 2000 m	Total
Ichmoul	01	20	05	26
Arris	13	21	05	39
T'Kout ; Rhassira	56	31	01	88
Total	70	72	11	153

I.1. INTERPRETATION DES COUPES GEOELECTRIQUES

I.1.1. Zone D'Ichmoul

L'ensemble des sondages électriques réalisés dans cette zone ont permis d'établir six (6) coupes géoélectriques. Ces coupes ont pu localiser un niveau résistant correspondant aux couches gréseuses carbonatées de l'Albien, surmontées par des couches conductrices correspondant à une série marno-calcaire du Cénomanién. L'ensemble est affecté de failles. Plusieurs profils ont été réalisés (fig.23) et sont interprétés comme suit :

- Coupe transversale (fig.24)

Cette coupe orientée NW-SE passe par sept points de sondages électriques (profil A), sur une distance de 3,2 Km. La coupe met en évidence un niveau résistant (95 à 130 Ω .m), susceptible d'être aquifère et qui correspond aux formations carbonatées gréseuses de l'Albien et des couches conductrices (30 à 45 Ω .m) à très conductrices (5 à 20 Ω .m). Ce qui correspond à une alternance marno-calcaires du Cénomanién.

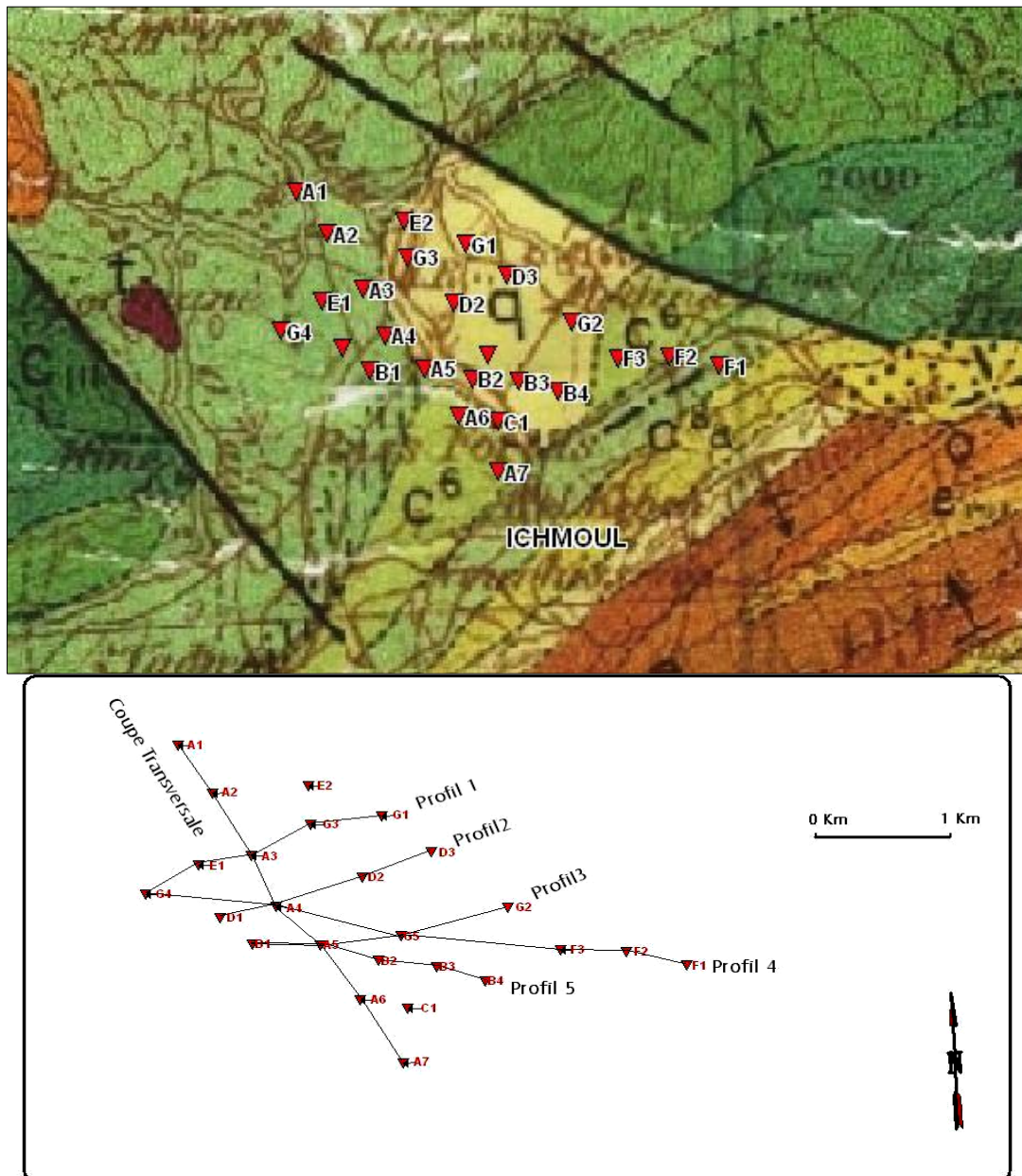


Fig.23 : Positionnement des Sondages Electriques dans la Zone d'Ichmoul
(Source : L'auteur, 2009)

L'ensemble de la structure est affecté de trois failles, dont deux failles dextres (F1 et F3) et une faille senestre (F2). Le jeu de ces failles donne une structure en graben. Les couches subhorizontales au Nord Ouest de la faille F1, ont un pendage vers le Sud Est. Cette tectonique a fait soulever le compartiment plus à gauche, pour que les couches albiennes se situent seulement à une profondeur de 150 m. Ce qui fait de cette zone la plus favorable pour une éventuelle implantation de forages. Alors que sur le reste des compartiments, l'Albien se situe au-delà de 500 m de profondeur.

- Coupe 01 (Fig. 24)

Cette coupe est orientée NE-SW, passant par la faille F1. Celle-ci sépare deux compartiments d'un rejet de 400 m environ. Le compartiment Sud Ouest, présente une couche conductrice (15 à 20 $\Omega.m$), correspondant à une couche de marne attribuée au Cénomaniens. Au dessous de laquelle se superposent deux bancs résistants séparés par une couche conductrice d'argile (10 $\Omega.m$). Le premier banc est caractérisé par des calcaires d'une résistivité qui va de (80 à 115 $\Omega.m$). Le deuxième banc gréseux est plus résistant (175 $\Omega.m$). Ce dernier se trouve enfouis à une profondeur variant de 450 à 800 m sur le compartiment du N-E et ayant une résistivité de (155 à 165 $\Omega.m$). Ce qui correspond au deuxième niveau gréseux du compartiment S-W. Ici les couches pendent vers le sud Est, de 45° environ.

Sur cette coupe le compartiment sud-ouest, présente plus de possibilités aquifères. Car les couches résistantes doivent avoir un potentiel hydrique important.

- Coupe 02 (Fig. 24)

Cette coupe est orientée NE-SW présentant deux compartiments affectés d'une faille senestre, faisant remonter la couche résistante de l'Albien (60 à 100 $\Omega.m$) pour la positionner à une profondeur de 200 à 300 m sous les couches conductrices du Cénomaniens (15 et 45 $\Omega.m$). Alors qu'au niveau du compartiment S-W le toit de la couche albienne (130 à 220 $\Omega.m$) se situe à une profondeur qui va de 500 à 600 m avec un pendage orienté vers le N-E.

- Coupe 03 (Fig. 24)

La coupe orientée ENE-WSW, fait apparaître en surface des terrains conducteurs (10 à 15 $\Omega.m$), appartenant au Cénomaniens, suivis de couches moyennement résistantes (55 à 90 $\Omega.m$), appartenant probablement à l'albien. L'ensemble est affecté de deux failles F3 dextre et F2 senestre. Ce qui fait que le bloc du milieu est affaissé formant un graben, alors que les blocs d'à côté sont surélevés, amenant les formations albienne à des profondeurs de 200 à 300 m. Celles-ci s'enfoncent d'avantage vers le NNE de la coupe. Comme les coupes précédentes les formations de l'Albien sont constituées d'une couche conductrice intercalée entre deux niveaux résistants.

- Coupe 04 (Fig. 25)

Orientée WNW-ESE, faisant apparaître des terrains conducteurs appartenant à la série calcaireux - marneuse du Cénomaniens et en bas deux niveaux résistants séparés par une couche conductrice appartenant à l'Albien. L'ensemble est affecté par plusieurs failles. La faille F1 d'un mouvement dextre et d'un rejet d'environ 450 m. Elle fait remonter les couches albienne et les positionne à une profondeur qui va de 200 à 300 m. Le même cas se présente pour le bloc situé au Sud Est de la faille F2. Par contre le bloc situé entre les deux failles F1 et F2, est affaissé et montre une puissance importante des formations du Cénomaniens (650 à 700 m).

La partie S-E de la coupe, qui présente une succession de couches conductrices et de couches résistantes, peut avoir deux interprétations différentes : la première étant que l'ensemble se présente sous forme de structure synforme, la deuxième qui est la plus plausible, suppose que l'ensemble de couches formant une série monoclinale, est affectée d'une faille normale senestre.

A travers cette coupe les niveaux les plus favorables pour l'implantation de forages d'eau sont les niveaux résistants situés à faible profondeur. Comme c'est le cas au niveau du bloc à l'ouest de la faille F1 ; le bloc situé entre les failles F2 et F4, ainsi que le bloc situé plus au Sud Est de la coupe.

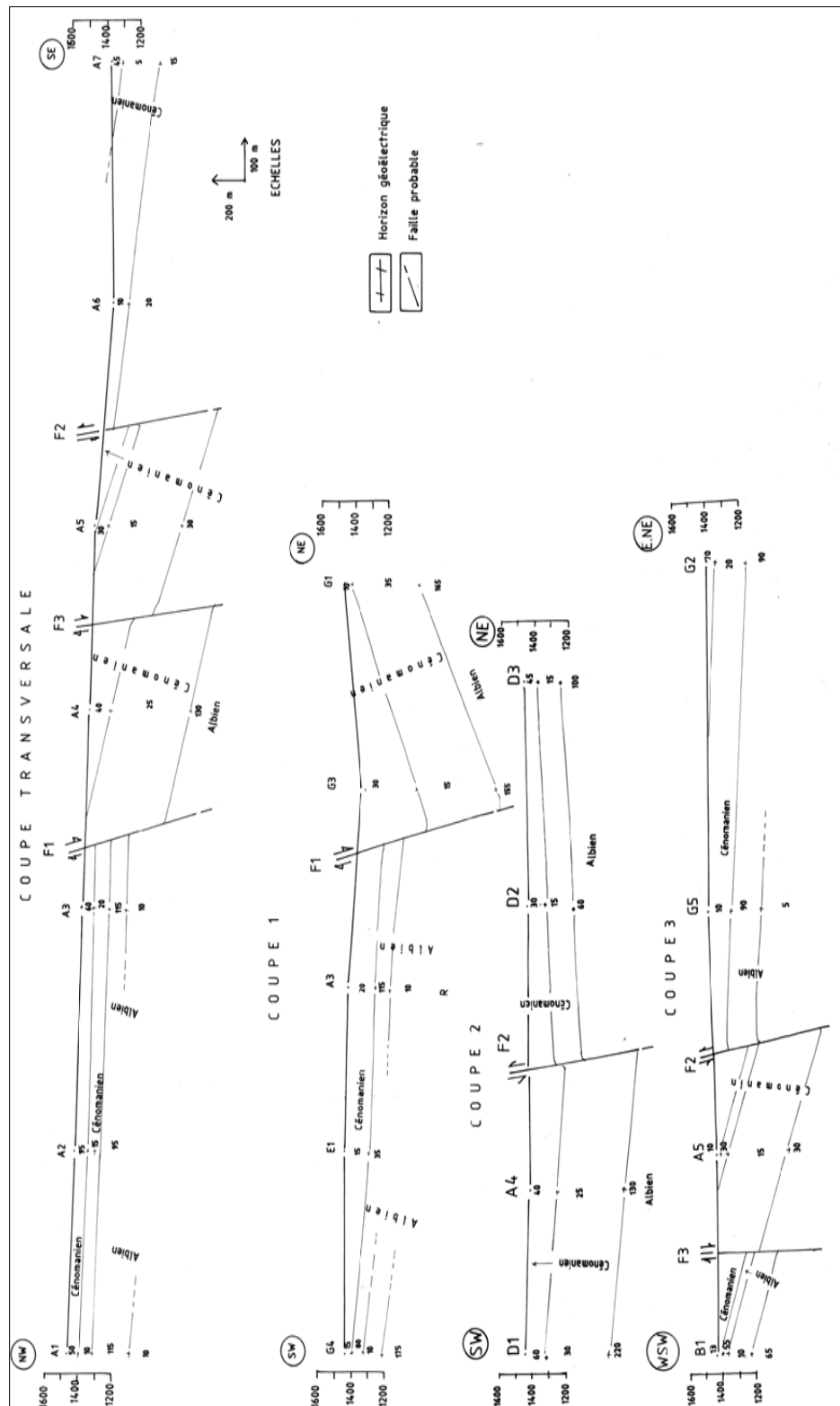


Fig. 24 : Coupes géoélectriques du site Ichmoul

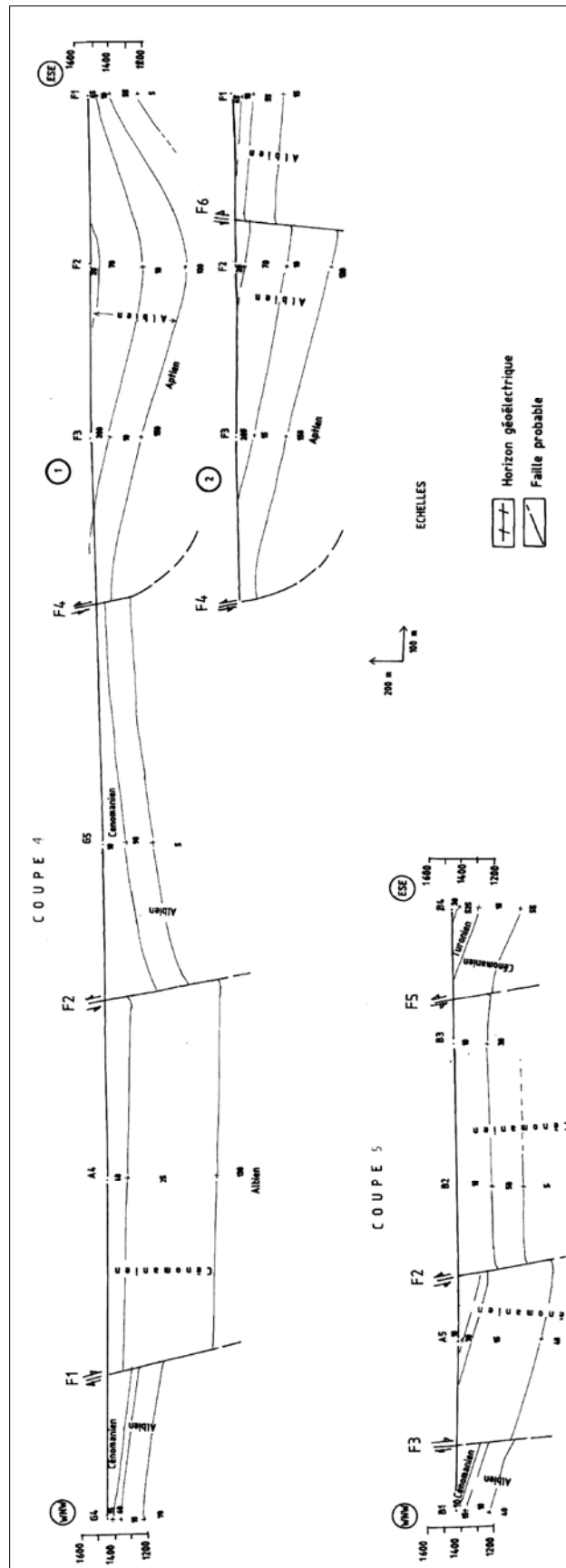


Fig. 25: Coupes géopélectriques du site Ichmoul

- Coupe 05 (Fig. 25)

Orientée WNW-ESE, elle passe par trois failles. Entre la faille F3 et F5, les terrains du Cénomaniens montrent une importante épaisseur, dépassant les 500 m. Sur le bloc surélevé au N-W de la faille F3, un niveau résistant attribué à l'Albien se situe à des profondeurs variant de 200 à 300 m. Le bloc surélevé au S-E de la faille F5, fait apparaître en affleurement un terrain résistant (525 Ω .m), qui doit être de nature carbonatée attribué au Turonien. Ces deux derniers blocs sont les plus favorables à une éventuelle implantation de points de captage d'eaux souterraines.

En conclusion, la zone d'ICHMOUL, est affectée d'une tectonique cassante, donnant naissance à des horsts et des grabens. Les niveaux résistants de l'Albien et du Turonien présentent un intérêt hydrogéologique important.

I.1.2. Zone D'Arris

L'ensemble des sondages électriques (39 points) réalisés dans la région d'Arris ont permis d'établir six (6) coupes géoélectriques (fig.26), qui permettent de localiser un niveau résistant correspondant aux couches gréseuses carbonatées de l'Albien, surmontées par des couches conductrices correspondant à une série marno-calcaire du Cénomaniens. L'ensemble est affecté de failles.

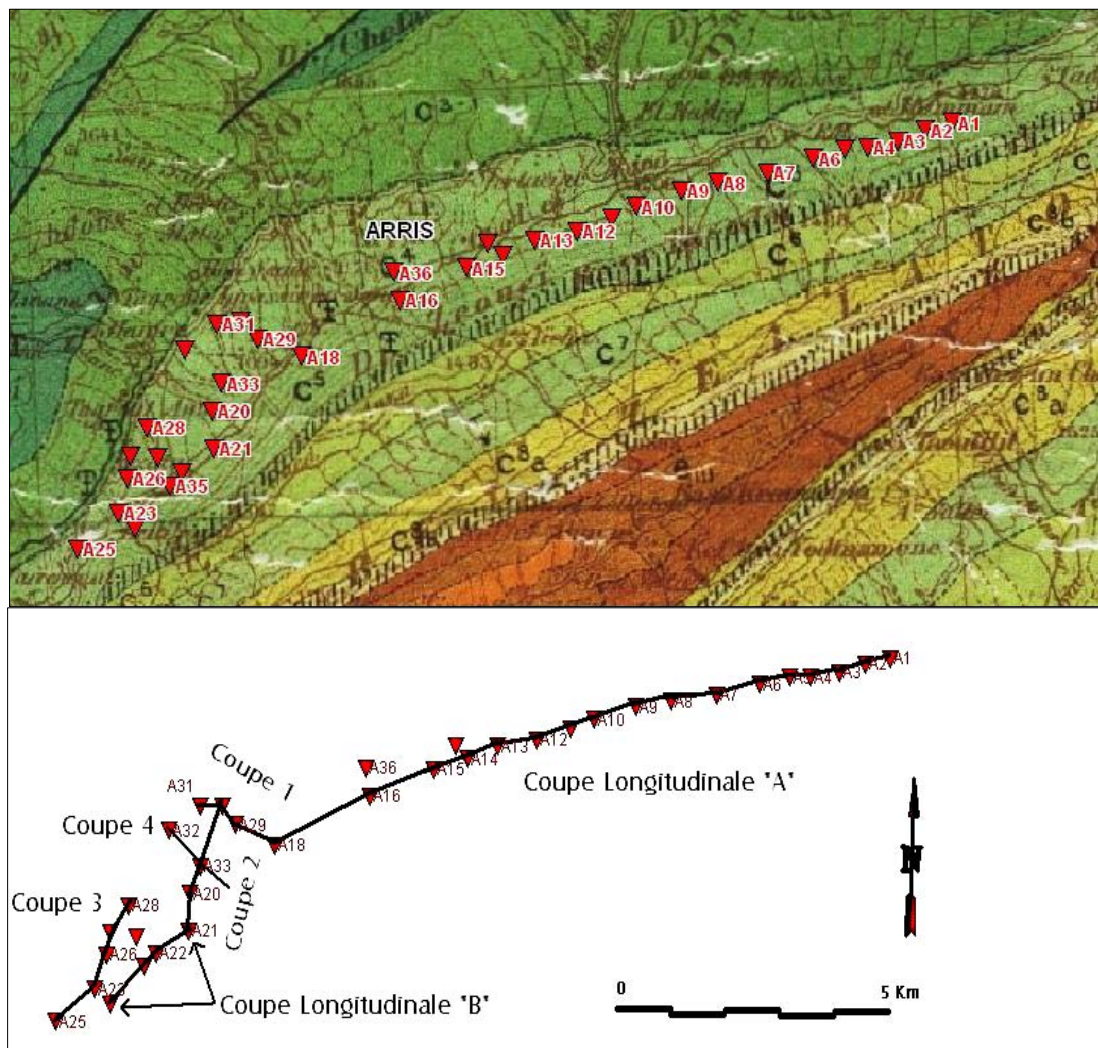


Fig. 26 : Positionnement des Sondages Electriques dans la zone d'Arris.
(Source : L'auteur, 2009)

- Coupe Longitudinale « A » (Fig. 27)

Cette coupe est orientée ENE-WSW et s'étend sur 6 Km. On observe en surface, des alluvions entre les sondages A8 et A18, appartenant à Oued el-Abiod, dont la résistivité varie de 15 à 75 $\Omega.m$; suivie d'une couche conductrice, qui s'étale le long de ce profil, de nature argilo-marneuse, attribuée au Cénomaniens et d'une épaisseur variant de 50 à 450 m; au-dessous de laquelle vient un niveau résistant (50 à 140 $\Omega.m$) attribué à l'Albien. Trois failles affectent la structure dont deux aux autour du sondage A14 donnant naissance à un horst érodé, faisant monter la formation de l'Albien à une profondeur de 150 m. Plus au nord-est, entre les sondages A6 et A13. Ce niveau se situe à une profondeur variant de 80 à 350 m. Sur le reste du profil, l'albien plonge sous les formations du Cénomaniens à plusieurs centaines de mètres. Le forage de Sanef situé au S-W du profil, a servi à l'étalonnage de la coupe.

- Coupe 01 (Fig. 27)

Orientée NW-SE sur une distance de 1,6 Km, cette coupe passe par les sondages A18, A30, A29, A18, et fait apparaître la même succession de terrains que précédemment, avec des couches conductrices (5 à 30 $\Omega.m$) appartenant au Cénomaniens et des couches moyennement résistantes (35 à 115 $\Omega.m$) appartenant à l'Albien. Ce dernier qui se situe à une profondeur de 400 m, se trouve surélevé par le jeu de faille à une côte de 60 à 150m. Cette coupe met en évidence deux failles, l'une au N-W, dextre, et l'autre étant d'un mouvement senestre au sud-est.

- Coupe 02 (Fig. 27)

D'orientation NNE-SSW, elle passe par les sondages A30, A33, A20 et A 21. Elle présente des couches conductrices du Cénomaniens, avec des résistivités de l'ordre de 10 à 35 $\Omega.m$ et d'une puissance atteignant les 500 à 600 m. Ces couches couvrent un niveau résistant de 70 à 185 $\Omega.m$, appartenant à l'Albien.

- Coupe 03 (Fig. 28)

D'orientation NNE-SSW, passant par les sondages A25, A23, A26, A27 et A28, ne faisant paraître que des terrains conducteurs du Cénomaniens jusqu'à la profondeur de 300 m. la structure est en forme ondulée et comporte un terrain très conducteur (10 à 15 $\Omega.m$) argileux intercalé entre deux terrains moyennement conducteurs (30 à 55 $\Omega.m$). Cet espace prospecté ne suscite aucun intérêt hydrogéologique.

- Coupe Longitudinale « B » (Fig. 28)

Orientée NE-SW, sur une distance d'environ 3 Km, la structure de type monoclinale, est affectée d'une faille. Cette coupe montre une couche conductrice (35 à 75 $\Omega.m$), intercalée entre deux couches très conductrices (5 à 10 $\Omega.m$). Un niveau résistant (185 à 195 $\Omega.m$) a pu être décelé au niveau du bloc N-E, à une profondeur de 500 à 700 m. Ce qui n'était pas le cas au niveau du bloc S-W. Le forage SNLB avait servi au paramétrage du profil. Une mince couche d'alluvions apparaît en surface autour de ce forage.

- Coupe 04 (Fig. 28)

D'une orientation NW-SE, elle passe par deux sondages électriques A32 et A33. Le forage SNLB sert pour l'étalonnage de la coupe. La structure est monoclinale, avec un pendage vers le S-E. En surface apparaît une mince couche d'alluvions ; vient ensuite une série de couches conductrices (30 à 35 $\Omega.m$) à très conductrices (5 à 10 $\Omega.m$), attribuées au Cénomaniens. Le substratum résistant (75 à 195 $\Omega.m$), est situé à une profondeur qui va de 150 m au N-W jusqu'à 700 m au S-E au niveau du forage SNLB. Dans la partie S-E le positionnement des couches, décelé la présence d'un accident tectonique en profondeur.

En conclusion, la zone d'Arris présente des structures ondulées et monoclinales, où Les niveaux résistants de l'Albien suscitent un intérêt hydrogéologique.

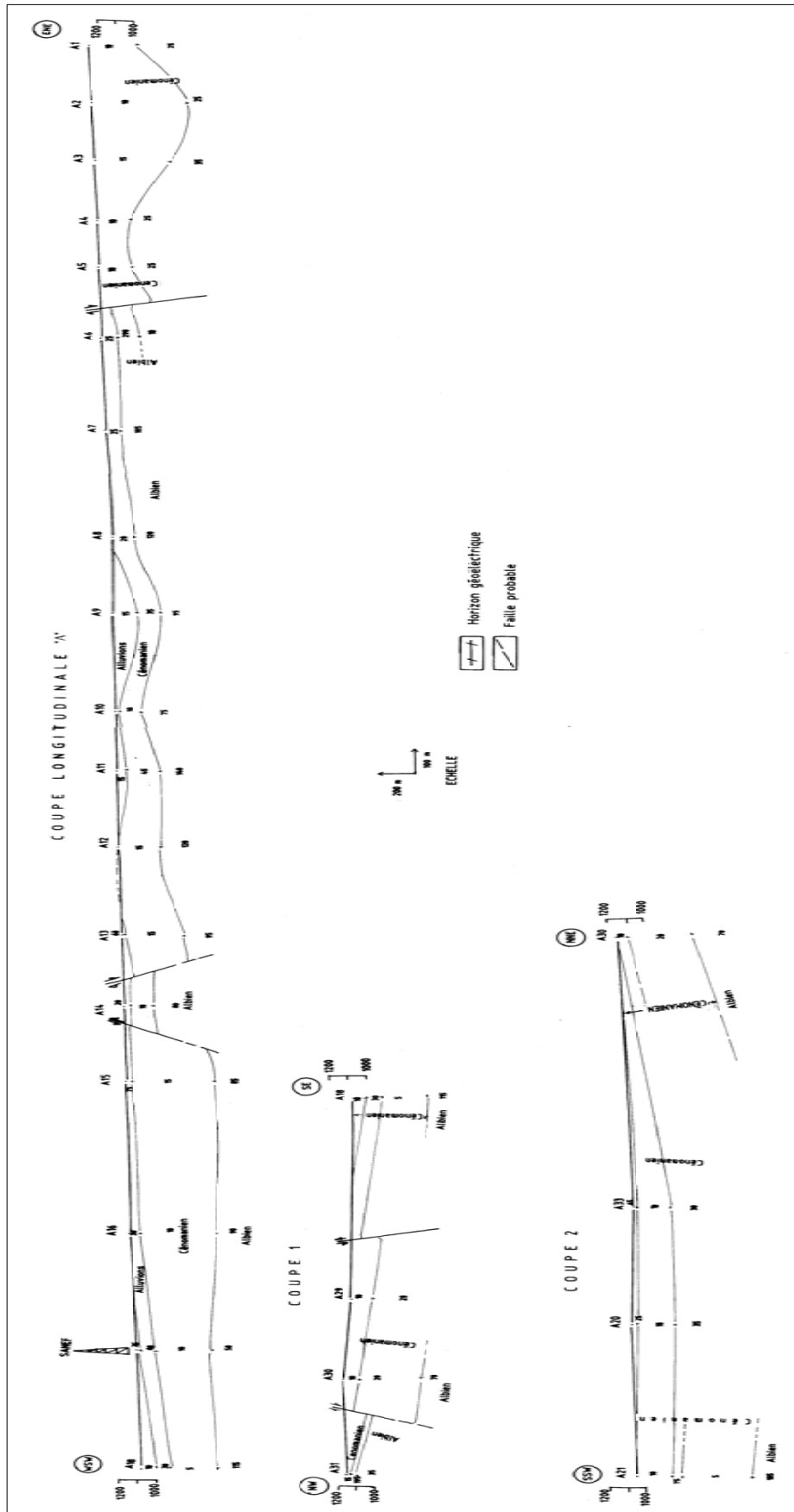


Fig. 27 : Coupes géoélectriques du site d'Arris

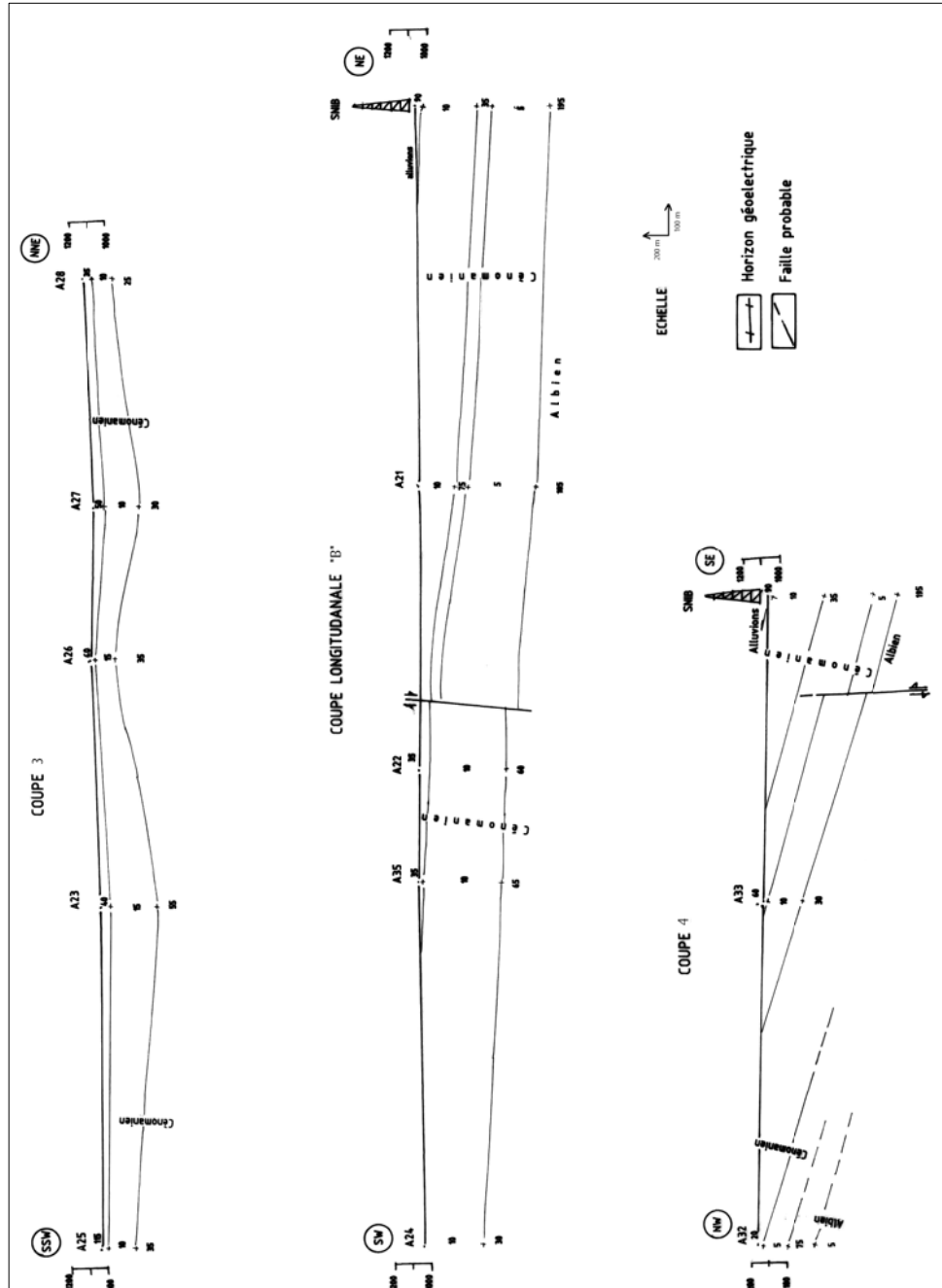


Fig. 28 : Coupes géoelectriques du site d'Arris

I-1-3) Zone de T'Kout

Il s'agit de la zone centrale du synclinal de Rhassira. D'où l'intérêt de réaliser 88 sondages électriques, dont 56 en ligne AB 4000, 31 en ligne AB 3000 et un sondage en ligne AB 2000 au niveau des deux zones de T'Kout et Rhassira. Contrairement aux deux zones précédentes, ici on voulait aller plus en profondeur pour prospector les dépôts épais du Tertiaire, qui couvrent la grande partie du synclinal et qui ne cessent d'augmenter en puissance en allant vers le S-W. Ce nombre de sondages électriques avait permis de tracer 14 coupes géoélectriques (fig.29).

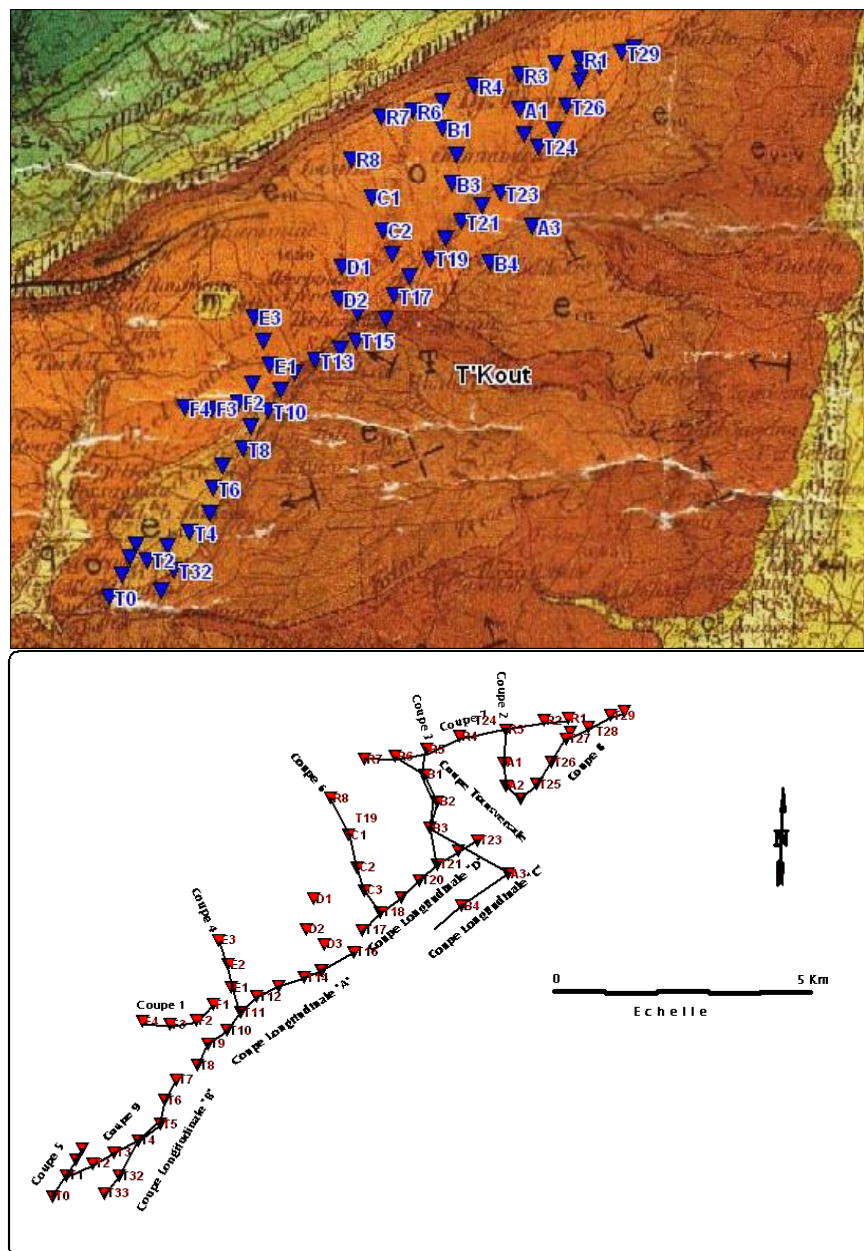


Fig.29 : Positionnement des Sondages Electriques dans la zone de T'Kout.
(Source : L'auteur, 2009)

- Coupe Longitudinale A (Fig. 30)

Cette coupe est orientée NE-SW, sur une distance de plus de 4 Km. Une couche apparaît en surface au niveau des sondages T10 et T12, d'une résistivité qui va de (130 à 280 Ω .m) et qui apparaît comme remplissage d'une épaisseur qui n'excède pas les 100m. Il s'agit de calcaires et conglomérats du Miocène inférieur. Cette couche est suivie d'une couche moyennement résistante (20 à 65 Ω .m), affleurant par fois en surface, et qui représente les marno-calcaires du Lutétien supérieur. Le substratum résistant (85 à 340 Ω .m) est situé à des profondeurs variables, représenté par des calcaires à silex d'âge Yprésien-Lutétien inférieur. Il représente un aquifère potentiel dans la région. Le profil traverse deux failles inverses.

- Coupe Longitudinale B (Fig. 30)

Orientée NNE-SSW et allongée sur 3 Km environs. Elle passe par 5 sondages électriques et montre trois couches subhorizontales. La première en surface, conductrice (30 à 55 Ω .m) de nature marneuse et d'une épaisseur de 50 à 100 m, attribuée au Lutétien supérieur.

Au dessous vient un niveau très résistant (750 à 2000 Ω .m) correspondant aux calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur avec une épaisseur de 100 à 200 m et apparemment stérile. L'ensemble repose sur un niveau moins résistant (85 à 175 Ω .m) correspondant à des calcaires crayeux du Paléocène et pouvant être aquifère.

- Coupe 01 (Fig.31)

Cette coupe orientée E-W, passe par quatre sondages électriques et met en lumière la succession de trois terrains. Un premier terrain affleurant en surface appartenant au Miocène. Il est formé de calcaires et conglomérats avec une résistivité de 150 à 215 Ω .m. Un deuxième niveau qui lui aussi affleure en surface et d'une épaisseur de 200 m et de résistivité variant de 40 à 80 Ω .m. Au dessous duquel vient un niveau résistant et prometteur en matière d'eau souterraine, avec une résistivité de 235 à 395 Ω .m correspondant au calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur. La profondeur du toit varie de 150 à 500 m.

- Coupe Transversale (Fig. 31)

S'étend sur plus de 3 Km, orientée NW-SE, elle passe par 5 sondages électriques. Sur le compartiment surélevé au NW, les sondages R6 et B1 mettent en évidence trois niveaux qui affleurent en surface : le premier d'une résistivité de 45 Ω .m, appartenant au Lutétien supérieur marno-calcaire. Le deuxième niveau est plus résistant (125 Ω .m), formé de calcaires à silex (Yprésien-Lutétien inférieur), ensuite vient un niveau encore plus résistant (415 Ω .m) constitué de calcaires attribués au Paléocène.

Le sondage R6, montre deux autres terrains au dessous du Paléocène. Un terrain conducteur d'une résistivité de 20 Ω .m correspondant à des argiles, appartenant probablement au Danien, surmontant un niveau très résistant (1600 Ω .m), qui doit être un niveau stérile des calcaires du Maastrichtien. L'ensemble de ces cinq niveaux est en pendage. La continuité des couches vers le S-E, est affectée par une faille senestre.

Au sud-est de la faille, le sondage B2, montre la succession de trois terrains (10, 175 et 580 Ω .m), correspondants au Lutétien supérieur ; Yprésien- Lutétien inférieur et le Paléocène. Le T 23 n'a pas pu déceler le Paléocène. Le sondage A3, présente trois niveau successivement 30 ; 90 et 370 Ω .m, ce qui est un peu moins corrélable avec le reste de la coupe.

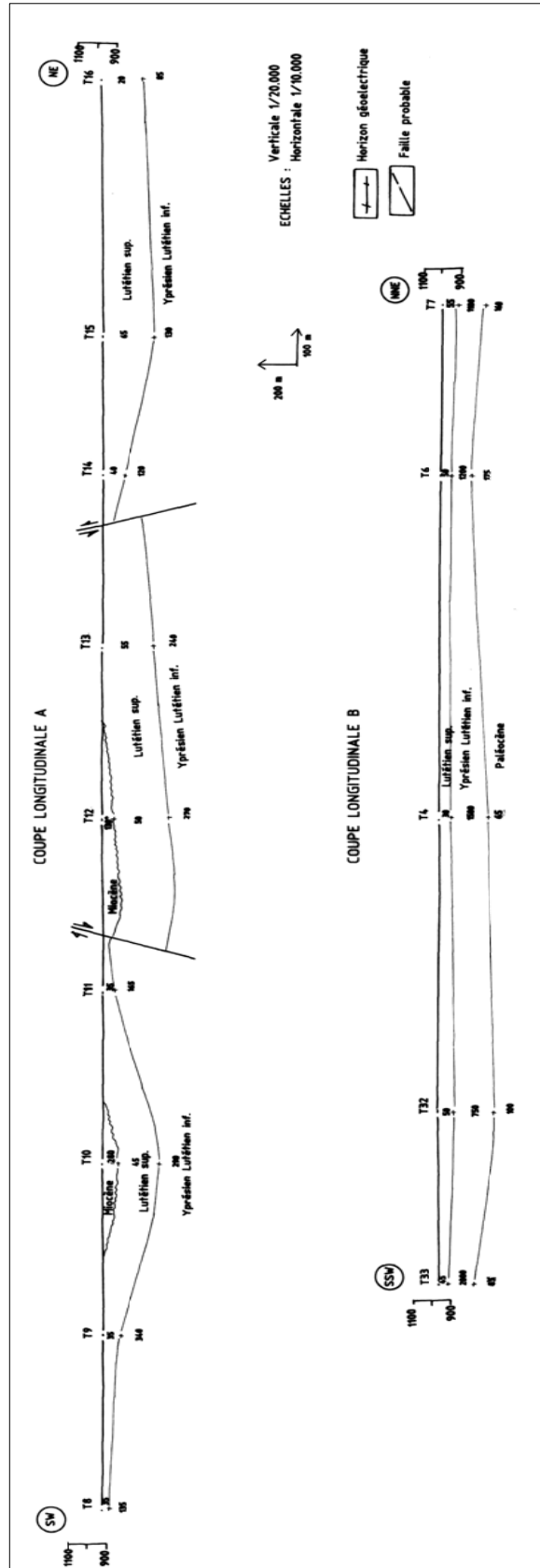


Fig. 30 : Coupes géoelectriques longitudinales du site T'kout.

- Coupe Longitudinale C (Fig. 31)

De direction NE-SW et passant par le forage de Tidebaghine. Elle montre trois niveaux horizontaux, le premier étant conducteur (15 à 30 $\Omega.m$) d'une épaisseur de 60 à 100 m, appartenant au Lutétien supérieur. Suivi d'un deuxième niveau plus résistant (90 à 195 $\Omega.m$), constitué de calcaires de l'Yprésien-Lutétien inférieur, dont l'épaisseur a été évaluée au niveau du sondage A3 à environs 300 m. Le troisième niveau, qui n'a été détecté qu'au niveau du sondage A3, se situe au-delà de 350 m, il est plus résistant (370 $\Omega.m$), et appartient au Paléocène, formé de calcaire crayeux.

- Coupe Longitudinale D (Fig. 31)

S'étendant sur 3 Km et orientée NE-SW. La coupe passe par sept sondages électriques. Le forage de Chenaoura 1, sert de coupe étalon. Un premier niveau affleurant en surface, d'une résistivité faible (20 à 40 $\Omega.m$) qui va de 80 à 280 m, de nature marno - calcaire et appartenant au Lutétien supérieur. Au dessous, un niveau résistant (130 à 265 $\Omega.m$) et prometteur hydrogéologiquement, formé de calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur.

- Coupe 02 (Fig. 32)

Orienté N-S, passant par les sondages électriques (R3, A1, A2, T24). Comme les coupes précédentes, elle montre un niveau conducteur en surface (30 à 40 $\Omega.m$) d'âge Miocène, suivi d'une couche résistante (80 à 120 $\Omega.m$) de l'Yprésien-Lutétien inférieur, puis de 150 m de calcaire crayeux du Paléocène (200 à 250 $\Omega.m$). Le sondage R3 montre un substratum résistant (550 $\Omega.m$) appartenant au Maastrichtien, qui remonte pour affleurer au niveau du flanc nord du synclinal. Sur cette coupe le Lutétien supérieur est complètement érodé, et le Miocène vient se déposer en discordance sur les calcaires de l'Yprésien - Lutétien inférieur.

- Coupe 03 (Fig. 32)

Orientée N-S, passant par cinq sondages électriques (R5, B1, B2, B3 et T21). Elle montre un pendage des couches vers le sud. En surface une couche conductrice de 15 $\Omega.m$, suivi du niveau du Lutétien marno-calcaire (10 à 45 $\Omega.m$), couvrant tout le reste de la coupe en surface. Au dessous vient le niveau des calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur, avec une épaisseur de 200 à 250 m. le substratum est constitué d'un niveau résistant (305 à 580 $\Omega.m$), appartenant aux calcaires crayeux du Paléocène.

Donc le niveau de l'Yprésien est le plus susceptible de contenir de l'eau en quantité.

- Coupe 04 (Fig. 32)

Orientée N-S, le profil passe par quatre sondages électriques (E3, E2, E1 et T11). Il montre les deux niveaux résistants du Miocène (105 à 150 $\Omega.m$) qui ne dépasse pas les 100 m et les calcaires aquifères de l'Yprésien-Lutétien inférieur (95 à 330 $\Omega.m$), intercalés d'un niveau conducteur (15 à 30 $\Omega.m$), de 150 m d'épaisseur, marneux du Lutétien supérieur. Plus au sud du sondage E1. L'ensemble est affecté d'une faille dextre, avec un léger pendage. Les couches remontent vers la surface, avec réduction des épaisseurs due à l'érosion.

- Coupe 05 (Fig. 32)

Orientée NE-SW et passant par les sondages (T35, T34, T1, T0), elle met en relief les mêmes niveaux précédemment cités, ainsi que les calcaires crayeux du Paléocène. L'ensemble est affecté d'une faille senestre. Sur le compartiment N-E les couches pendent vers le N-E. Les calcaires de l'Yprésien-Lutétien inférieur se situent à une profondeur ne dépassant pas les 120 m, avec une épaisseur d'environ 200 m. Au dessous desquels se trouve le Paléocène sous forme de calcaire crayeux. Sur l'autre compartiment les couches pendent vers le S-W.

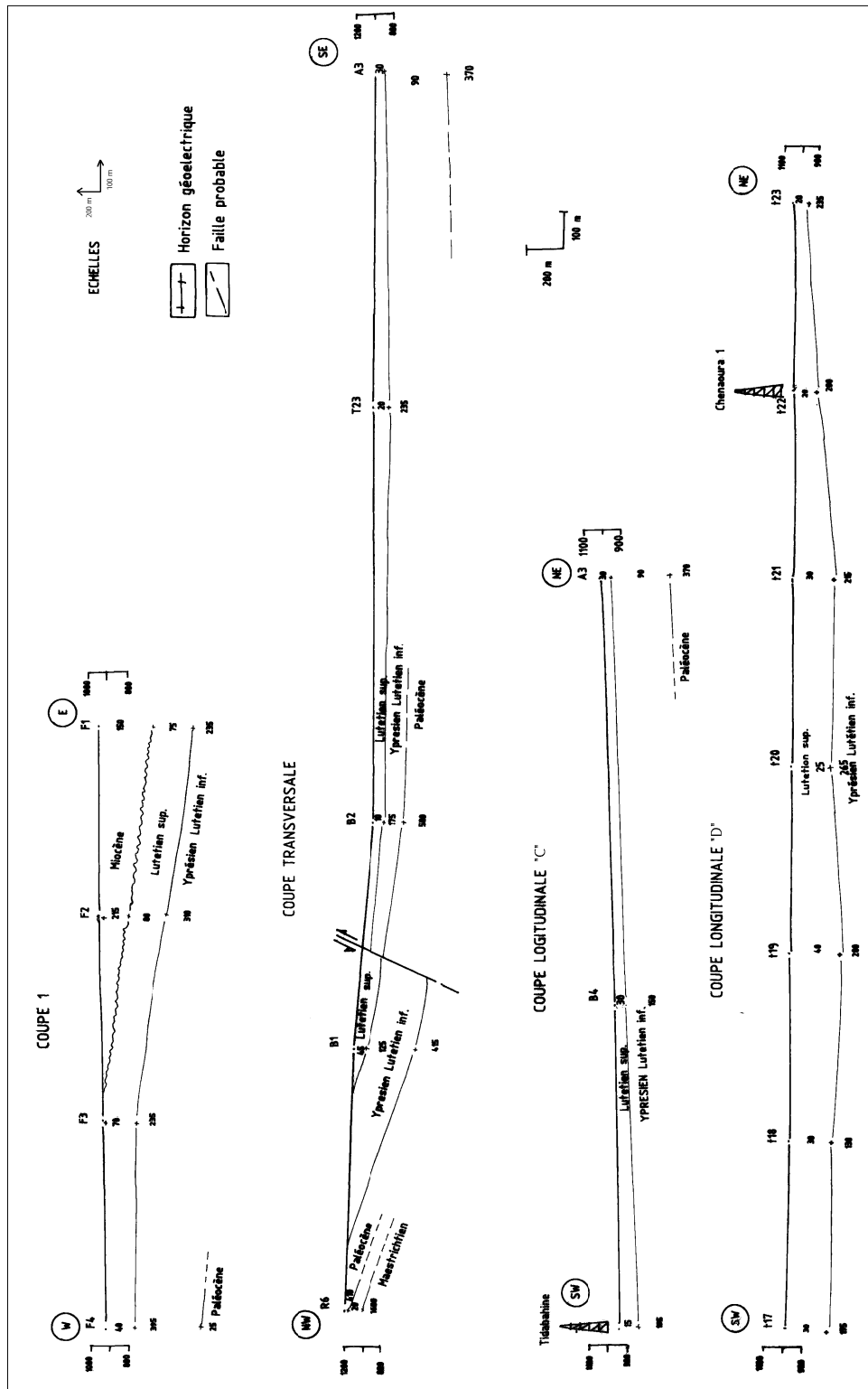


Fig. 31 : Coupes géoelectriques du site T'Kout.

- Coupe 06 (Fig. 32)

Orientée NNW-SSE, elle passe par les sondages électriques : (R8, C1, C2, C3, T18), faisant plus de 2,5 Km. La coupe présente trois couches. Les deux premières sont plus ou moins conductrices (10 à 65 Ω .m). Le substratum est constitué de calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur (90 à 130 Ω .m), dont le toit se situe à des profondeurs allant de 70 à 300 m. Du point de vue hydrogéologique ce dernier niveau est très prometteur.

- Coupe 07 (Fig. 33)

S'étend sur 4 Km, orientée E-W, passant par sept sondages (R1.....R7) ; elle montre une structure en horsts et grabens, due à un jeu de failles dextres et senestres. Les sondages R1 et R2, montrent la superposition de trois niveaux. Un niveau conducteur en surface (30 Ω .m), appartenant au Lutétien supérieur, suivi d'un niveau plus résistant (125 Ω .m), présentant les calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur avec une épaisseur de plus ou moins de 100 m. L'ensemble repose sur les calcaires crayeux du Paléocène d'une résistivité de (400 à 510 Ω .m), suivi d'un niveau conducteur (10 Ω .m).

Sur le compartiment qui suit vers l'ouest, au niveau des sondages R3 et R4, on remarque la succession de terrains comme suit : un premier niveau conducteur (30 à 45 Ω .m), suivi d'un terrain résistant de 400 à 560 Ω .m d'une cinquantaine de mètres. Vient, ensuite un niveau conducteur (15 à 60 Ω .m) d'une épaisseur maximale de 120 m. Et enfin un substratum résistant (550 à 700 Ω .m). En comparaison avec le bloc précédent, le terrain conducteur apparaissant en surface, correspond à ce qui reste de l'érosion de l'Yprésien-Lut sup, et qui correspond vraisemblablement à des marnes. Le tout est suivi du Paléocène qui comporte un niveau résistant surmontant un niveau conducteur. Le substratum est constitué de calcaires du Maastrichtien. Cet étage devient de plus en plus résistant en allant vers l'ouest de la coupe, donc des possibilités aquifères limitées. Le reste de la coupe présente la même succession de terrains.

- Coupe 08 (Fig. 33)

Orientée NE-SW, passant par huit sondages électriques (T24.....T31), la coupe présente une structure tabulaire, qui commence avec un léger pendage dans la zone d'affleurements au N-E. La quasi-totalité de la surface est occupée par les dépôts du Lutétien supérieur d'une épaisseur ne dépassant pas les 60 m et une résistivité de (20 à 50 Ω .m). Quelques points présentent un remplissage par les dépôts miocènes (35 Ω .m) comme c'est le cas au niveau des sondages T24 et T31. Sous les dépôts du Lutétien supérieur, vient le niveau de l'Yprésien-Lutétien inférieur résistant à très résistant (120 à 590 Ω .m) d'une épaisseur d'environ 100 m. Ce niveau est plus prometteur en allant vers le SW de la coupe.

- Coupe 09 (Fig. 33)

Elle passe par cinq points (T1....T5) et elle est orientée NE-SW. Elle présente une alternance de couches conductrices et résistantes, affectées par une faille dont le sens du mouvement et l'attribution des âges des couches reste tributaire de la géologie. Concernant les possibilités aquifères, le bloc SW, paraît très prometteur au niveau du terrain résistant (235 à 295 Ω .m) situé à une profondeur de 50 à 160 m.

En conclusion, la zone de T'Kout présente une structure ondulée à tabulaire affectée de failles qui donnent naissance à des horsts et grabens. On enregistre quatre niveaux résistants dont les calcaires et les conglomérats du Miocène ; les Calcaires à silex de l'Yprésien - Lutétien inférieur ; les calcaires crayeux du Paléocène et les calcaires du Maastrichtien qui suscitent un intérêt hydrogéologique. Les calcaires à silex forment l'aquifère potentiel dans cette région.

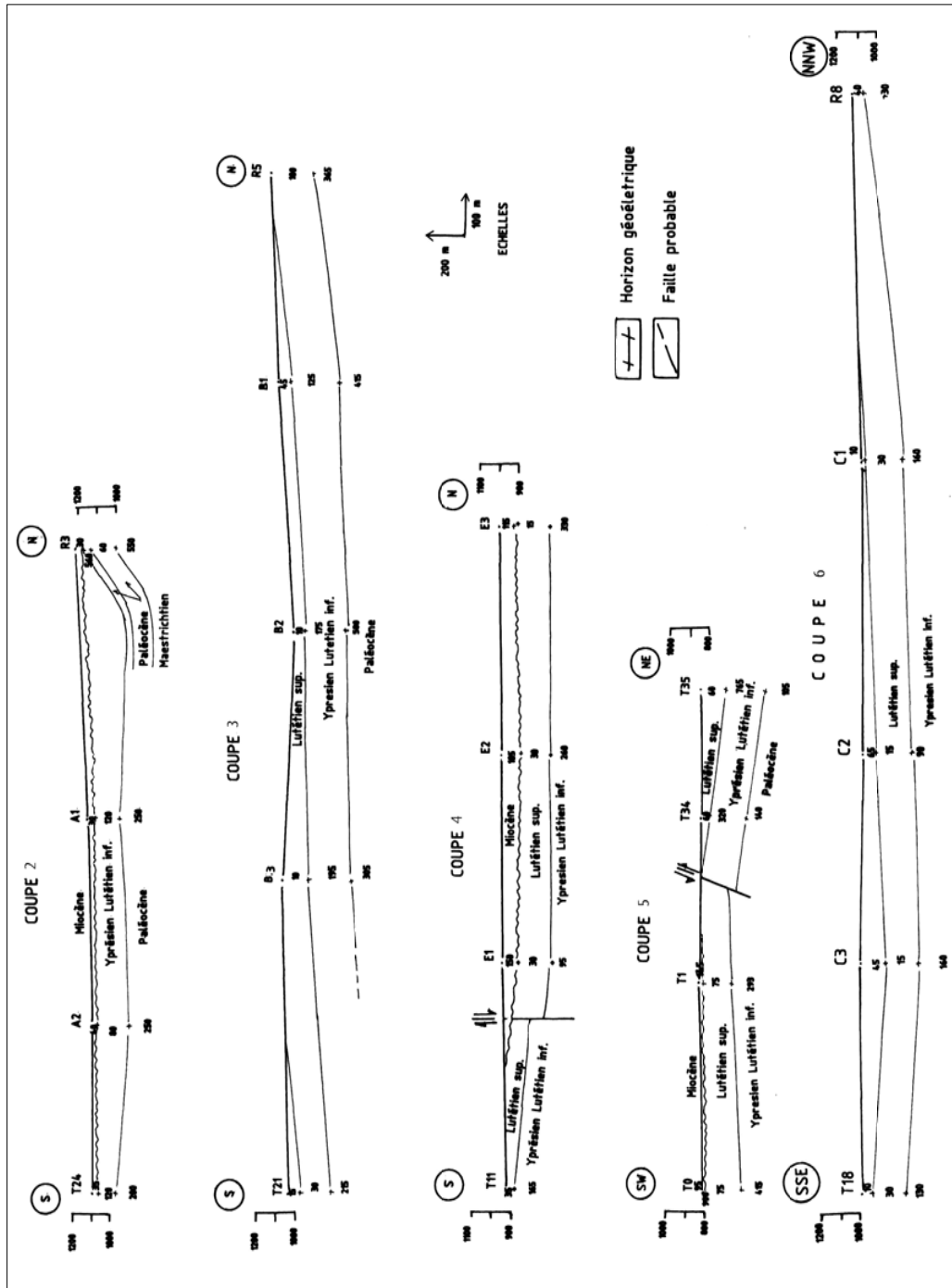


Fig. 32 : Coupes géoélectriques transversales du site T'Kout.

I.1.4. Zone de Rhassira

Dans cette zone les sondages ont été réalisés dans les zones accessibles, selon l'axe routier. Les quatre profils interprétés ci-dessous prennent une direction NE-SW (fig.34).

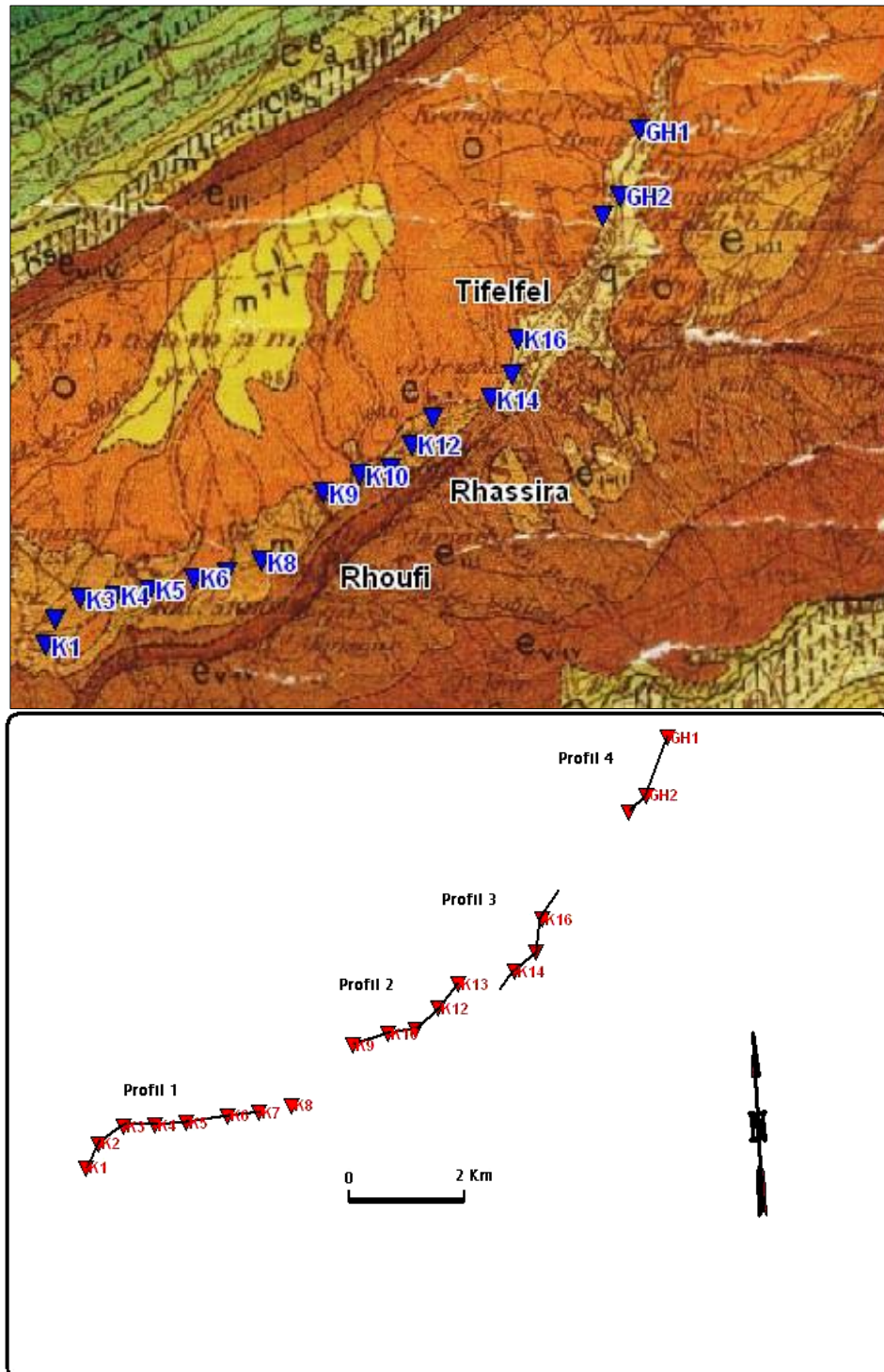


Fig.34 : Positionnement des Sondages Electriques dans la zone de Rhassira.
(Source : L'auteur, 2009)

- Coupe 01 (Fig. 35)

Sur plus de 3 Km, cette coupe s'oriente NE-SW. Passant par sept sondages (K1.....K7). Elle met en lumière la superposition de trois terrains. Le premier terrain correspond aux dépôts du Miocène, d'une épaisseur de 150 m environ. Ce dernier, présente un niveau conducteur (10 à 40 Ω .m) en surface, surmontant un niveau résistant (135 à 400 Ω .m), qui correspond à des calcaires et des conglomérats. Le deuxième terrain est conducteur (35 à 60 Ω .m), il correspond à la série marno-calcaire du Lutétien supérieur avec une épaisseur variable de 120 à 220 m. A la base vient un terrain résistant (155 à 310 Ω .m), correspondant aux calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur. Ce niveau est très prometteur dans cette zone. L'ensemble de la structure, est affecté de failles dextres et senestres, en forme de horsts et grabens.

- Coupe 02 (Fig. 35)

Orientée NE-SW, passant par cinq sondages électriques (K9.....K13), elle présente la même succession de terrains que précédemment. Sur le bloc affaissé du N-E, l'Yprésien - Lutétien inférieur est d'une épaisseur d'environ 180 m. En bas le Paléocène se présente en deux niveaux. Un niveau conducteur (10 Ω .m) d'une épaisseur de 100 m, qui repose sur un niveau résistant (200 Ω .m). Toutes les couches ont un pendage vers le S-W, avec une augmentation de l'épaisseur.

- Coupe 03 (Fig. 35)

S'étend sur environ 2 Km, le profil est orienté NE-SW, reliant les deux forages d'eau, celui de Rhassira 2 et Rhoufi. Elle passe par les sondages électriques K14, K15 et K16. La structure est tabulaire. Le profil montre la succession de quatre terrains. Le premier est conducteur (10 à 45 Ω .m) d'une épaisseur d'environ 30 m au S-W et 70 m au N-E de la coupe. Ce terrain correspond aux dépôts marno-calcaires du Lutétien supérieur. Un deuxième terrain résistant (100 à 245 Ω .m) d'une épaisseur de 200 m et qui correspond aux calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur. Ensuite vient un terrain conducteur (25 à 45 Ω .m) d'une épaisseur de 200 m, rattaché au Paléocène. Le substratum est constitué d'un terrain d'une résistivité de 380 à 410 Ω .m.

- Coupe 04 (Fig. 35)

Orientée N-S, elle passe par le forage AEP de Tifelfel, ainsi que les sondages électriques GH1, GH2 et GH3. La coupe présente une structure tabulaire. Les sondages ont décelé la superposition de six terrains. Un terrain résistant de 200 Ω .m, formant une zone de remplissage au niveau du forage de Tifelfel d'une épaisseur d'environ 50 m, qui est rattaché au Miocène. En surface et sur le reste de la coupe, un terrain moins résistant (60 à 70 Ω .m), d'une épaisseur ne dépassant pas les 50 m. Suivi d'un niveau conducteur 15 à 50 Ω .m d'épaisseur de 60 à 100 m. Ce dernier forme le toit d'un terrain résistant (200 à 260 Ω .m) de 170 m environ, et qui forme un aquifère probable formé de calcaires à silex de l'Yprésien - Lutétien inférieur. Le mur de cet aquifère est formé par un terrain conducteur (15 à 20 Ω .m) d'une épaisseur d'environ 240 m, suivi d'un niveau résistant (255 à 380 Ω .m) formé de calcaires crayeux. Ces deux derniers terrains sont rattachés au Paléocène.

En conclusion, la zone de Rhassira présente une structure presque tabulaire affectée de failles. Trois niveaux résistants dont les calcaires et les conglomérats du Miocène ; les Calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur et les calcaires crayeux du Paléocène. Ces niveaux suscitent un intérêt hydrogéologique. Les calcaires à silex forment l'aquifère potentiel dans cette région.

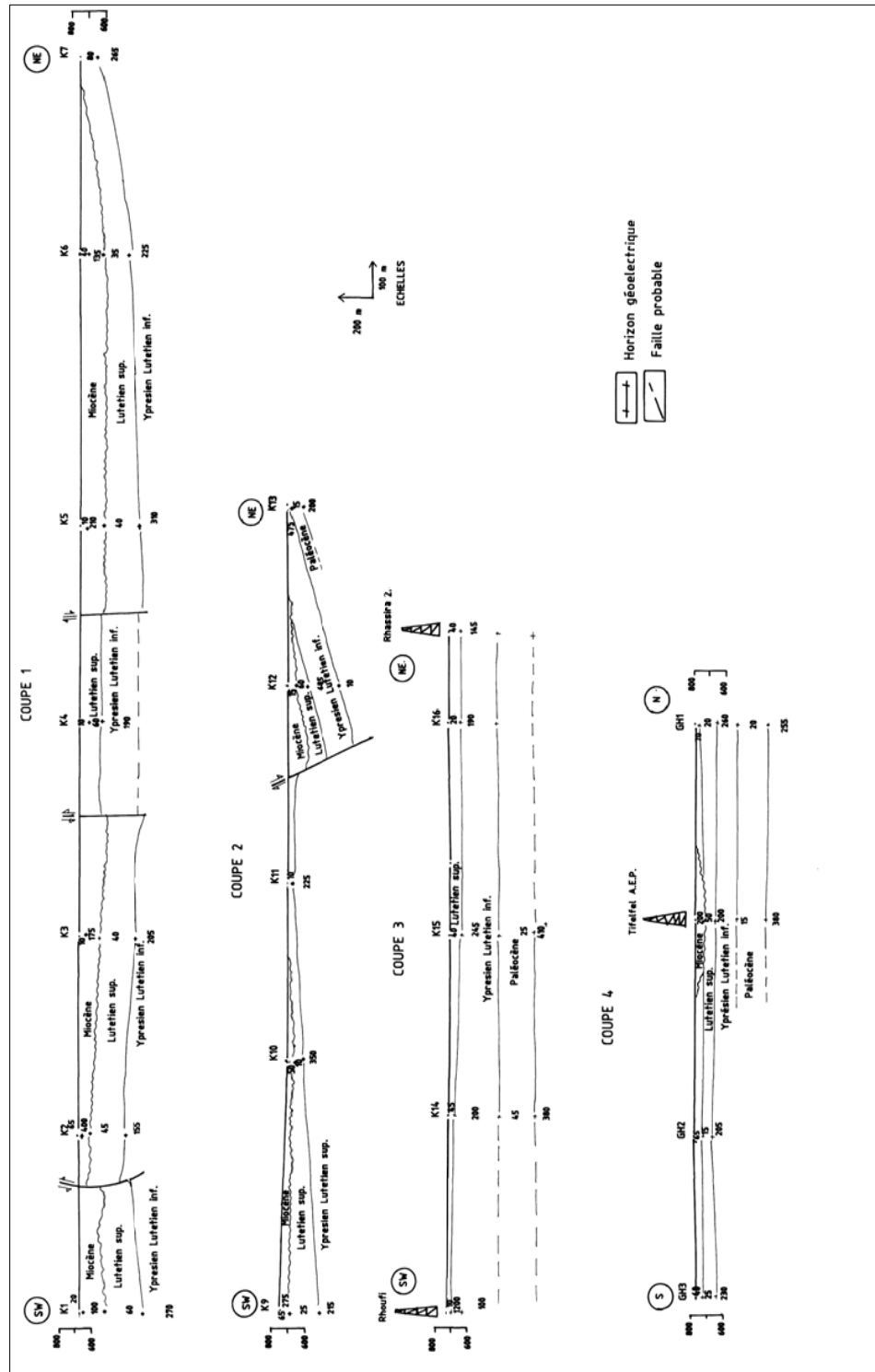


Fig. 35 : Coupes géoelectriques du site de Rhassara.

I-3. CARTE EN ISOBATHES DU TOIT DE L'YPRÉSIEN – LUTÉTIEN INFÉRIEUR

L'Yprésien–Lutétien inférieur forme le principal horizon aquifère dans le synclinal de Rhassira. Les isobathes présentent une structure synclinale et se raccordent étroitement avec la carte des isorésistivités. Elles donnent l'allure d'un synclinal étroit vers le N-E et qui s'élargie vers le S-W, avec un flanc nord-ouest plus redressé que celui du sud-est. Au N-E de Chennaoura, le toit est à seulement 20 m de profondeur. Il s'enfonce de plus en plus pour atteindre les 400 au niveau d'El-ksar, où il y a une faille de direction NW-SE. Au sud de cette dernière et au niveau du bloc affaissé, l'aquifère se situe à 500 m. puis remonte en allant vers Rhassira au S-W.

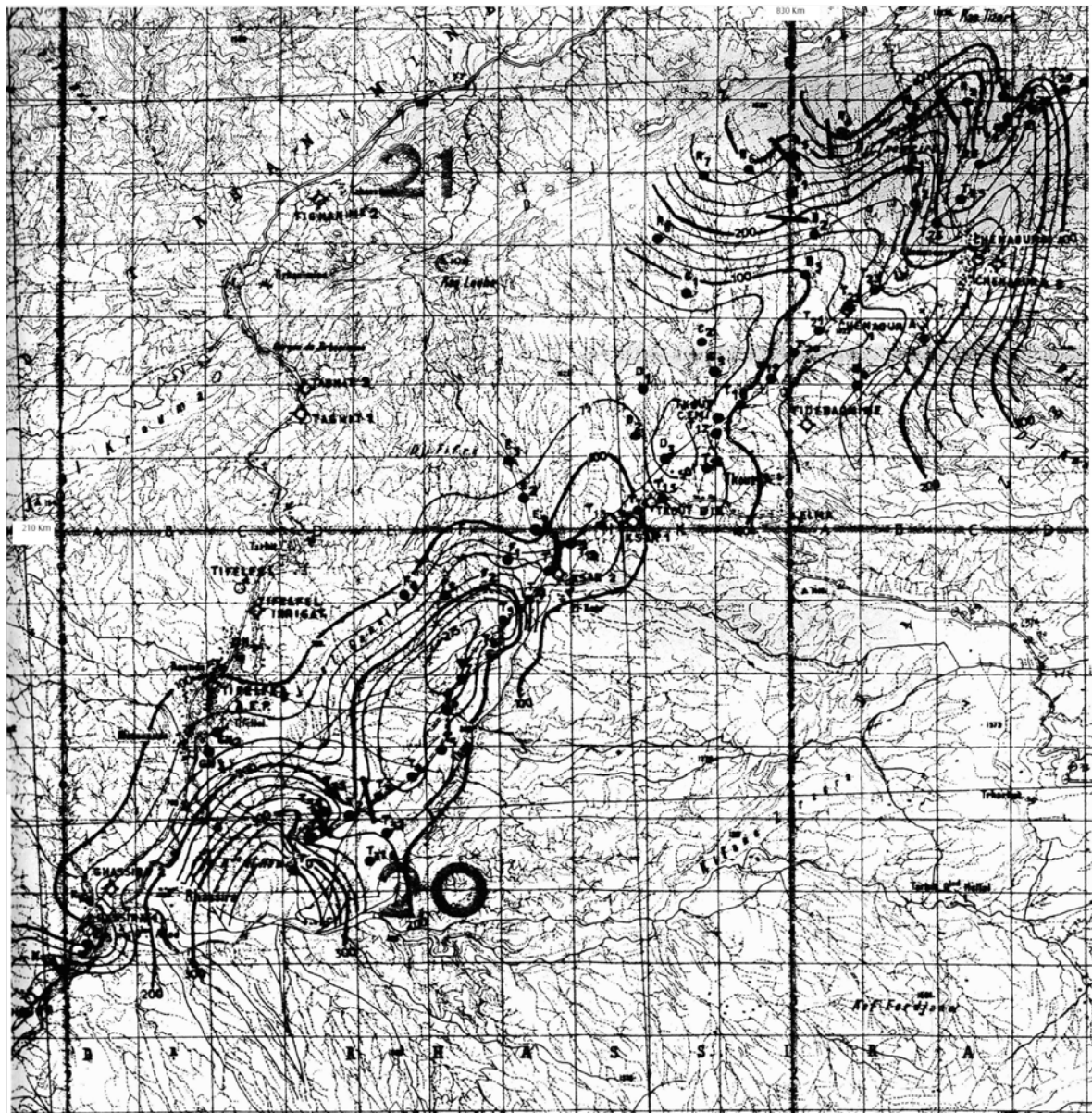


Fig. 37: Extrait de la carte d'isorésistivités du Synclinal de Rhassira (E.N.A.G.E.O 2000).
Echelle (quadrillage Kilométrique)

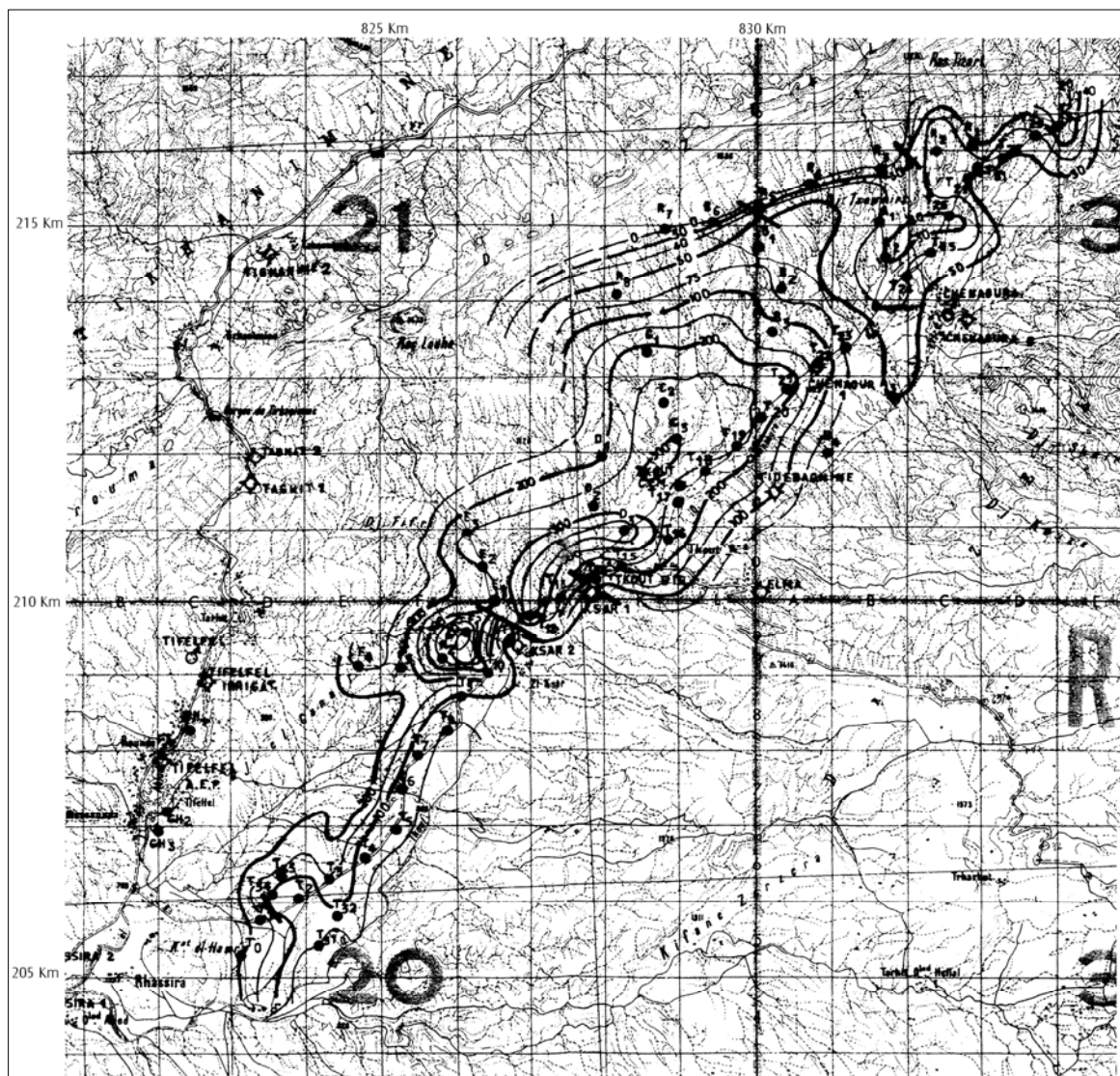


Fig. 38 : Extrait de la carte d'isobathes du toit de l'Yprésien-Lutétien inférieur. Synclinal de Rhassia (E.N.A.G.E.O 2000). Echelle (Cadrage Kilométrique)

II. ZONE SUD (W- DE BISKRA)

La 2^{ème} étude, réalisée en 2002, couvre une partie de quelques communes appartenant à la wilaya de Biskra (Chetma et M'Chouneche), pour un total de sondages électrique de 210 points ; dont 200 en AB = 2000 et 10 en AB = 4000 m. Dans cette étude nous allons interpréter seulement les profils électriques situés dans la zone d'étude. Il s'agit des profils : C, E, H, I, J, K, et M', comportant 62 sondages électrique dans la zone de Baniane. Ainsi que les profils L, M, N, O, P, Q, R, S, T et U, comportant 42 point de sondages électriques, dans la zone de M'Chouneche et Droh. Les profils sont tous orientés NW-SE, et d'une longueur moyenne d'environ 2 Km.

II.1. Zone de Baniane

Les profils établis, sont orientés comme le montre le schéma (Fig.39)

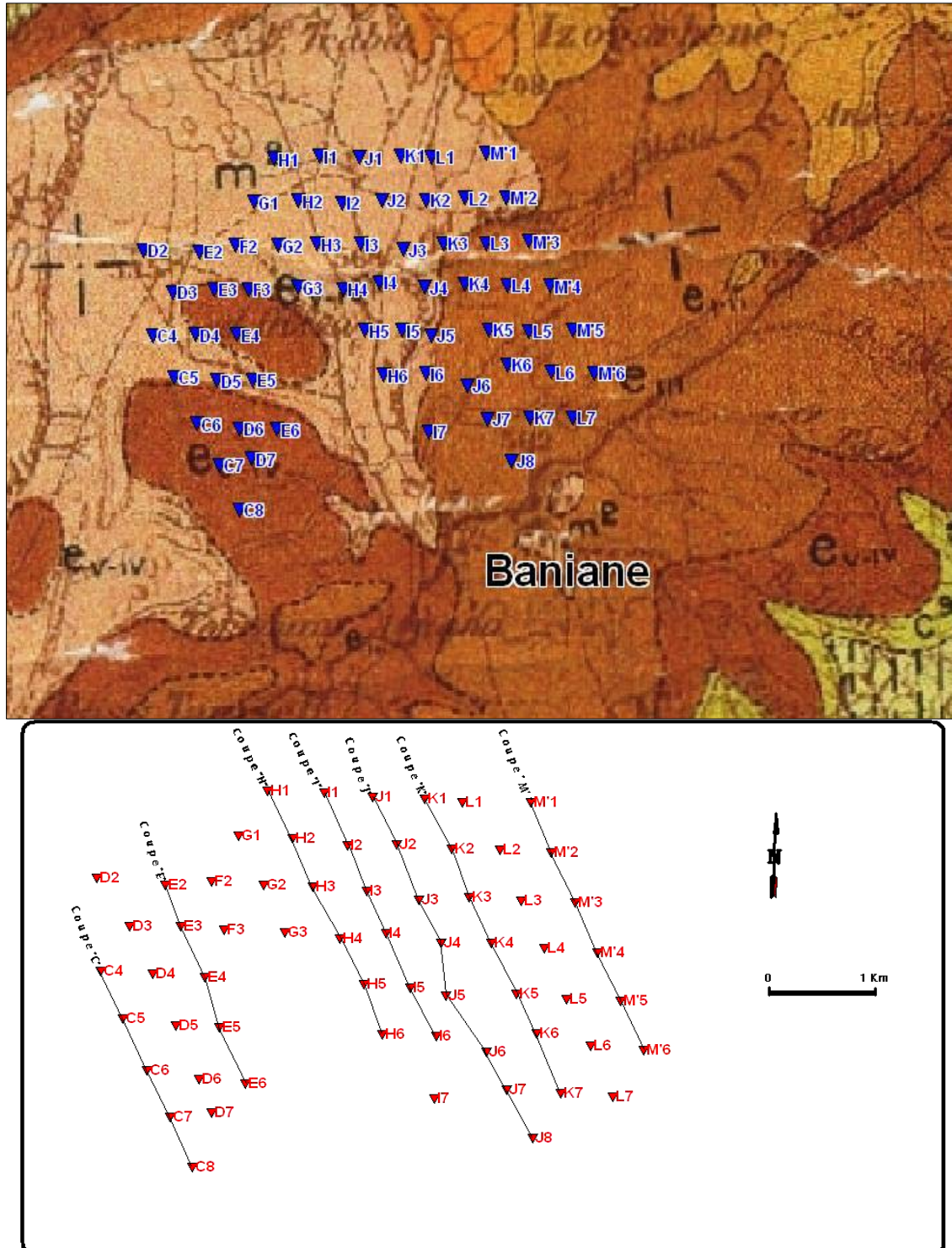


Fig. 39: Positionnement des Sondages Electriques dans la zone de Baniane.
(Source : L'auteur, 2009)

- Coupe C (Fig.40)

Elle Comporte 5 sondages électriques (C4...C8) et une succession de trois terrains. Un terrain moyennement résistant (100 à 255 Ω .m) et d'une épaisseur d'environ 300 à 450m, correspondant aux dépôts calcaireux et marneux du Paléocène et du Danien. Intercalé entre deux terrains résistants. Le premier très hétérogène affleure en surface d'une résistivité de (20 à 770 Ω .m) et d'une épaisseur n'excédant pas les 80m. Ce qui correspond aux calcaires du Paléocène et aux dépôts du Miocène. Le troisième terrain représente le substratum résistant (225 à 440 Ω .m), correspondant au Maastrichtien carbonaté. Ce dernier terrain au niveau du bloc sud de la faille qui paraît intéressant du point de vue hydrogéologique. La faille signalée sur la coupe n'est pas évidente sur le terrain, mais il peut s'agir aussi d'un plongement des couches en profondeur et un remplissage par les dépôts du Miocène.

- Coupe E (Fig.40)

Représente la superposition de trois terrains. Le premier en surface (10 à 30 Ω .m) d'une faible épaisseur, reposant sur un terrain plus résistant (75 à 310 Ω .m) d'une épaisseur atteignant les 340m, il est probablement aquifère et marquant à sa base le toit d'une formation très résistante qui correspond au Maastrichtien carbonaté.

- Coupe H (Fig.40)

Met en évidence l'existence de 4 terrains. En surface un terrain résistant (295 à 600 Ω .m), situé entre les sondages H3 et H4 et ne dépassant pas les 50 m d'épaisseur. Suivi d'un terrain conducteur (30 à 75 Ω .m) atteignant par endroit les 250 m, reposant sur un terrain moyennement résistant (115 à 250 Ω .m). Ce niveau présente une augmentation de résistivité au niveau du sondage H3 (zone stérile). Alors que sur le reste de son étendu, il apparaît aquifère. Les sondages H4 et H5 mettent en évidence l'existence d'un terrain très résistant (calcaires maastrichtiens) dépassant les 700 Ω .m et situés à une profondeur de 450 m. La structure commence par un pendage au N-W et devient tabulaire au S-E.

- Coupes I (Fig.40) et J (Fig.41)

Ces coupes présentent une structure légèrement ondulée avec la succession de 3 terrains : le premier conducteur (10 Ω .m.), affleure sur presque la totalité des coupes et d'une épaisseur de 60 à 100 m. Vient ensuite un terrain moyennement résistant (15 à 160 Ω .m), d'une épaisseur de 100 à 200 m. Ce terrain repose sur un autre plus résistant (130 à 360 Ω .m) sur la coupe I, et (60 à 550 Ω .m) sur la coupe J. Ce qui fait de lui, un niveau probablement aquifère, dont le toit se situe à des profondeurs allant de 50 à 350 m.

- Coupe K (Fig.41)

Met en évidence trois terrains : un terrain conducteur (25 à 50 Ω .m) entre deux autres terrains résistants (160 à 600 Ω .m). Le bloc du milieu présente une discontinuité par rapport aux deux autres. Ce ci est du à l'existence de deux failles inverses. Ce dernier bloc, peut être affaissé comme il peut être surélevé.

- Coupe M' (Fig.41)

Présente la même succession de terrains que précédemment. Un terrain conducteur (20 à 70 Ω .m) d'une épaisseur ne dépassant pas les 110 à 150 m, intercalé entre deux résistants : le premier en surface d'une puissance ne dépassant pas les 90 m, dont la résistivité va de 245 et atteint 1045 Ω .m., Le deuxième (132 à 455 Ω .m) d'une épaisseur de l'ordre de 140 m. la limite inférieure de ce niveau marque le toit d'un quatrième terrain conducteur (70 Ω .m), détecté au niveau du sondage M3, qui peut correspondre aux niveaux marneux du Danien.

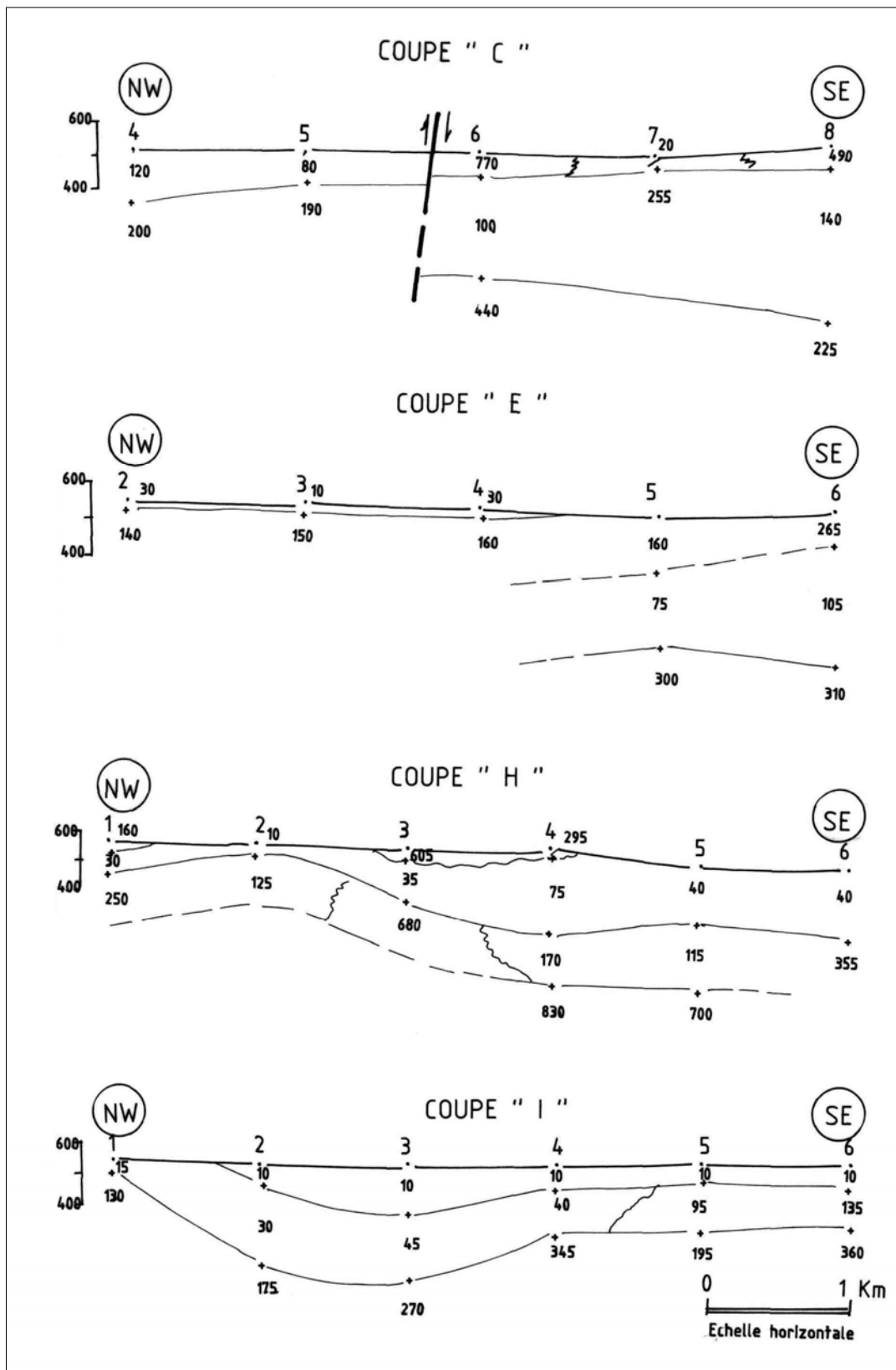


Fig. 40 : Coupes géoélectriques du site de Baniane.

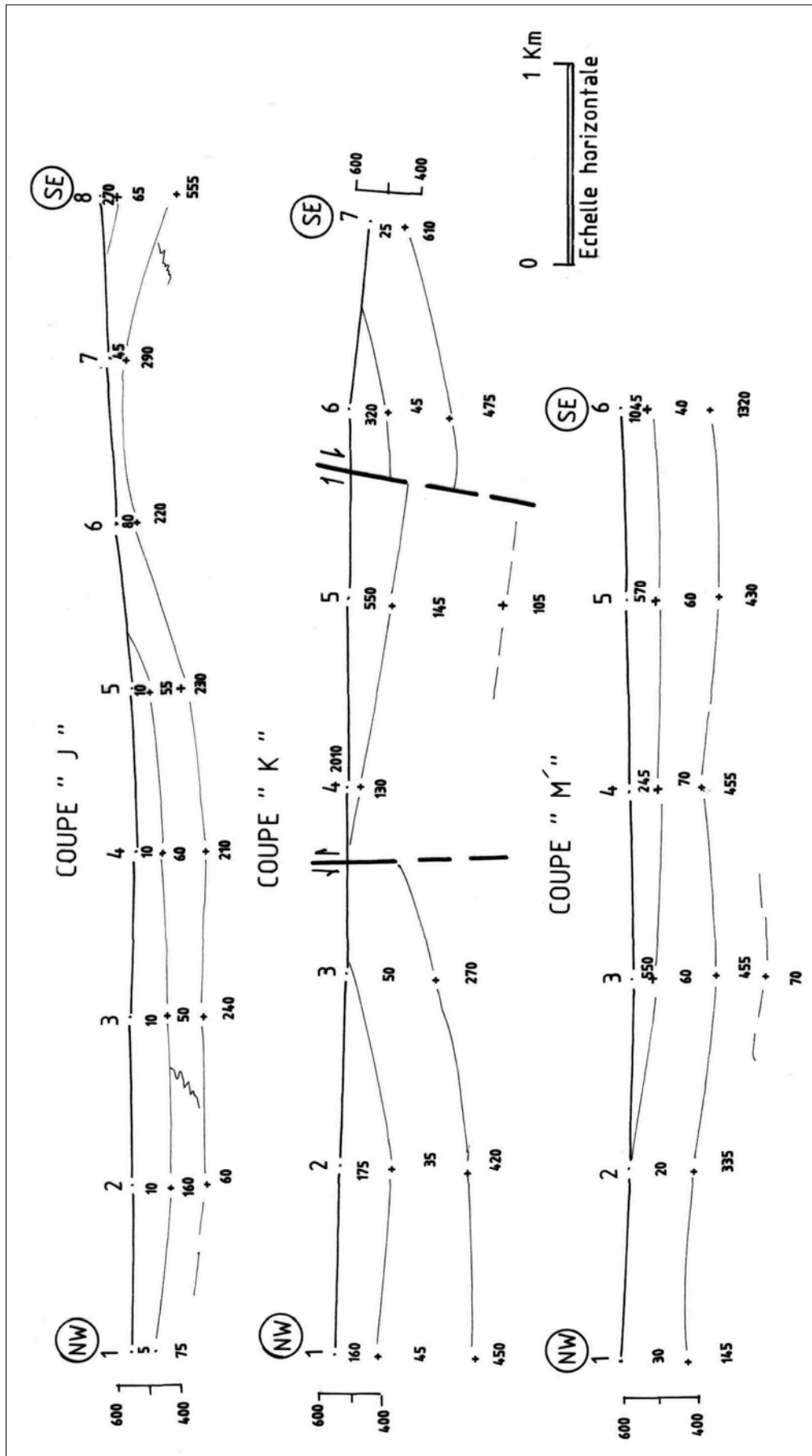


Fig. 41: Coupes géoélectriques du site de Baniane.

En conclusion, la zone de Baniane, est caractérisée par une structure tabulaire légèrement ondulée. Les différentes couches géologiques sont caractérisées par un léger pendage dans la partie N-W. La structure devient moins redressée, presque tabulaire en allant vers le S-E. Grâce aux Logs des forages, nous avons pu identifier les différents niveaux géoélectriques. Le premier niveau résistant correspond aux dépôts des conglomérats et calcaires du Miocène. Le deuxième niveau conducteur correspond aux formations marno-calcaires du Lutétien supérieur, suivi du niveau résistant des calcaires à silex d'âge Landinien-Lutétien inférieur. Le dernier niveau résistant à très résistant correspond aux calcaires du Paléocène et Maastrichtien. Dans cette zone le niveau le plus prometteur est celui des calcaires à silex du Landinien-Lutétien inférieur, suivi des calcaires du Paléocène et Maastrichtien à moindre degré.

II.2. Zone de M'Chouneche et Droh

Le schéma (fig.42) montre la disposition des profils interprétés.

- Coupes L et M (Fig. 43)

S'étendent sur 8 Km et sont orientées NW-SE. Ces coupes montrent la succession de quatre terrains, conducteurs à moyennement résistants. Elles donnent la structure générale. Ces coupes marquent la transition du synclinal de Rhassira au N-W puis, l'anticlinal de Dj Ahmar Khaddou et enfin vers le S-W, la plate forme Saharienne. Malheureusement ces sondages ne donnent pas assez de portée en profondeur. Donc les seules couches détectées sont conductrices à moyennement résistantes 80 à 160 $\Omega.m$, d'une épaisseur d'environ 100 m, correspondant à des calcaires du Landinien-Lutétien inférieur. Ce ci est confirmé par les forages situés en bordure de la flexure. Néanmoins les sondages électriques situés sur le synclinal de Rhassira n'ont pas atteint ce niveau.

- Coupes N, O et P (Fig. 44)

Montrent la succession de trois terrains : un terrain résistant 175 $\Omega.m$, d'une épaisseur de 150 m sur la coupe N atteignant les 350 m sur la coupe P, correspondant à des calcaires du Maastrichtien selon les forages avoisinants. Ce terrain est intercalé entre deux niveaux conducteurs (10 à 30 $\Omega.m$), correspondant à des argiles et des marnes. La profondeur du toit de cet aquifère varie d'une centaine de mètres sur la coupe N et dépassant les 300 m au centre de la coupe « O », alors qu'il se situe à 100 de mètre sous forme tabulaire sur la coupe « P ». Les forages d'irrigation de Droh, ont servi pour le paramétrage des données géophysiques.

- Coupe Q (Fig. 44)

Montre la succession de trois terrains conducteurs.

- Coupe T (Fig. 45)

Montre un terrain conducteur (20 à 30 $\Omega.m$), d'une épaisseur de 150 à 200 m, affleurant en surface et marquant à sa base le toit d'une formation résistante de 11 à 380 $\Omega.m$, qui probablement est aquifère.

- Coupe W (Fig. 45)

Présente la succession de trois terrains. Un terrain moyennement conducteur 100 à 115 $\Omega.m$, d'une épaisseur variant de 50 à 100 m, intercalé entre deux terrains résistants. Le premier en surface d'une résistivité d'environ 500 $\Omega.m$, le troisième terrain ayant une résistivité presque pareille que celle du terrain en surface. L'ensemble est d'une structure antiforme.

- Coupes X (Fig. 45)

Comporte deux terrains, le premier conducteur en surface, de 30 à 60 $\Omega.m$, et d'une épaisseur variant de 200 à 300 m ; marquant ainsi le toit d'une formation résistante de 470 à

740 m qui doit être peu prometteuse et qui correspond probablement à des calcaires moins fissurés.

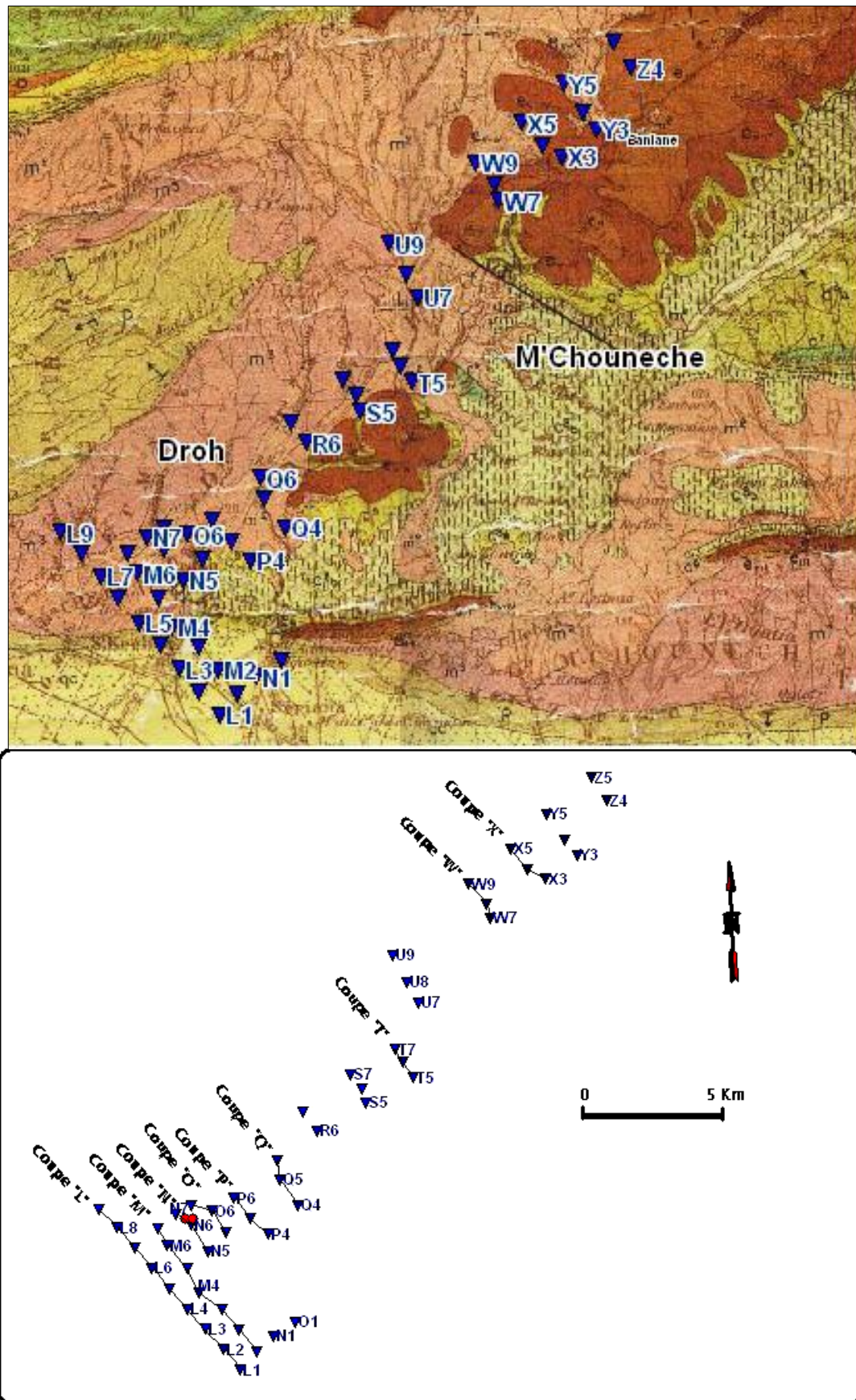


Fig. 42 : Positionnement des Sondages Electriques dans la zone de M'Chouneche - Droh.
(Source : L'auteur, 2009)

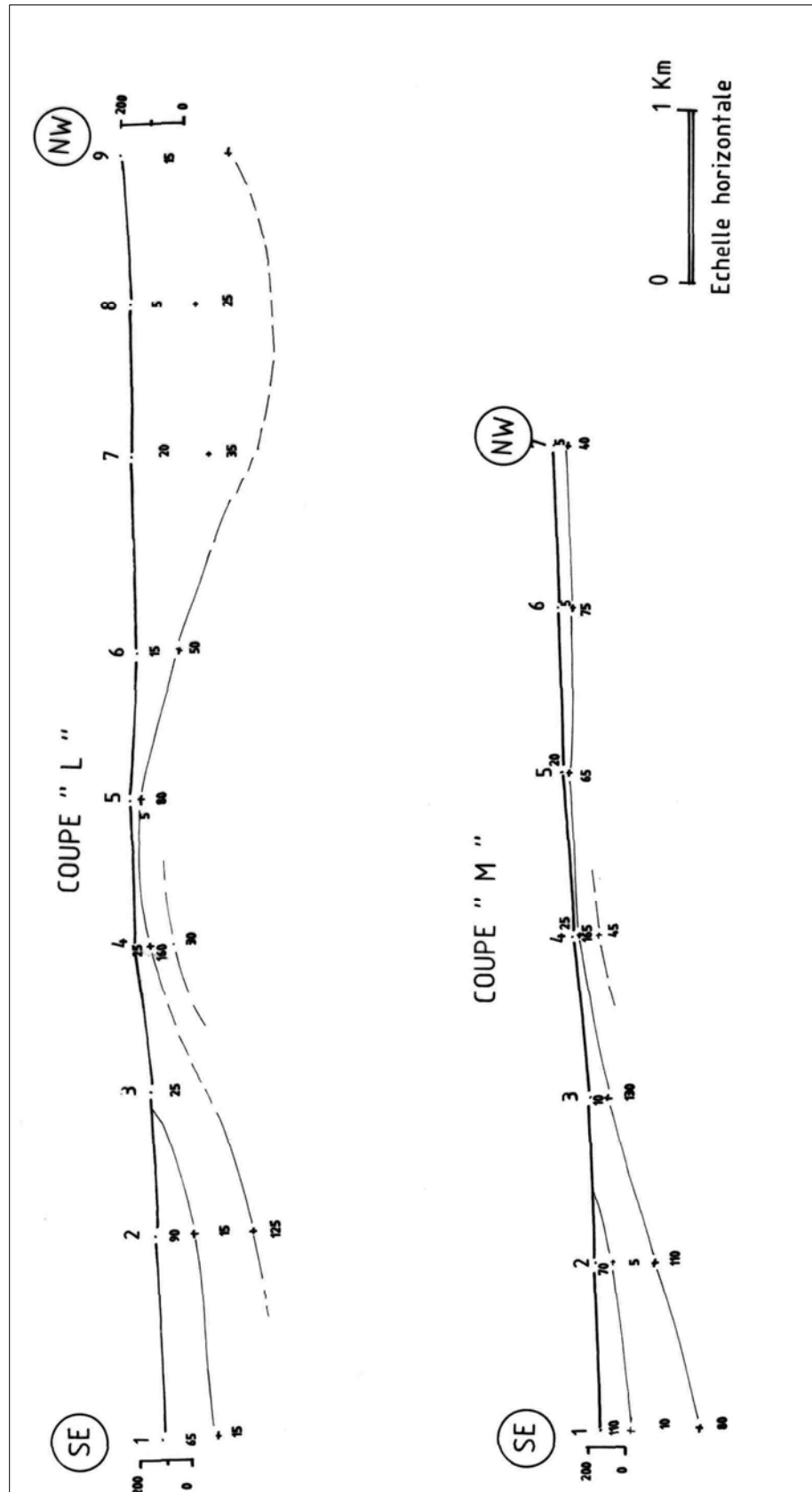


Fig. 43: Coupes géoélectriques des sites de M'Chouneche et Droh.

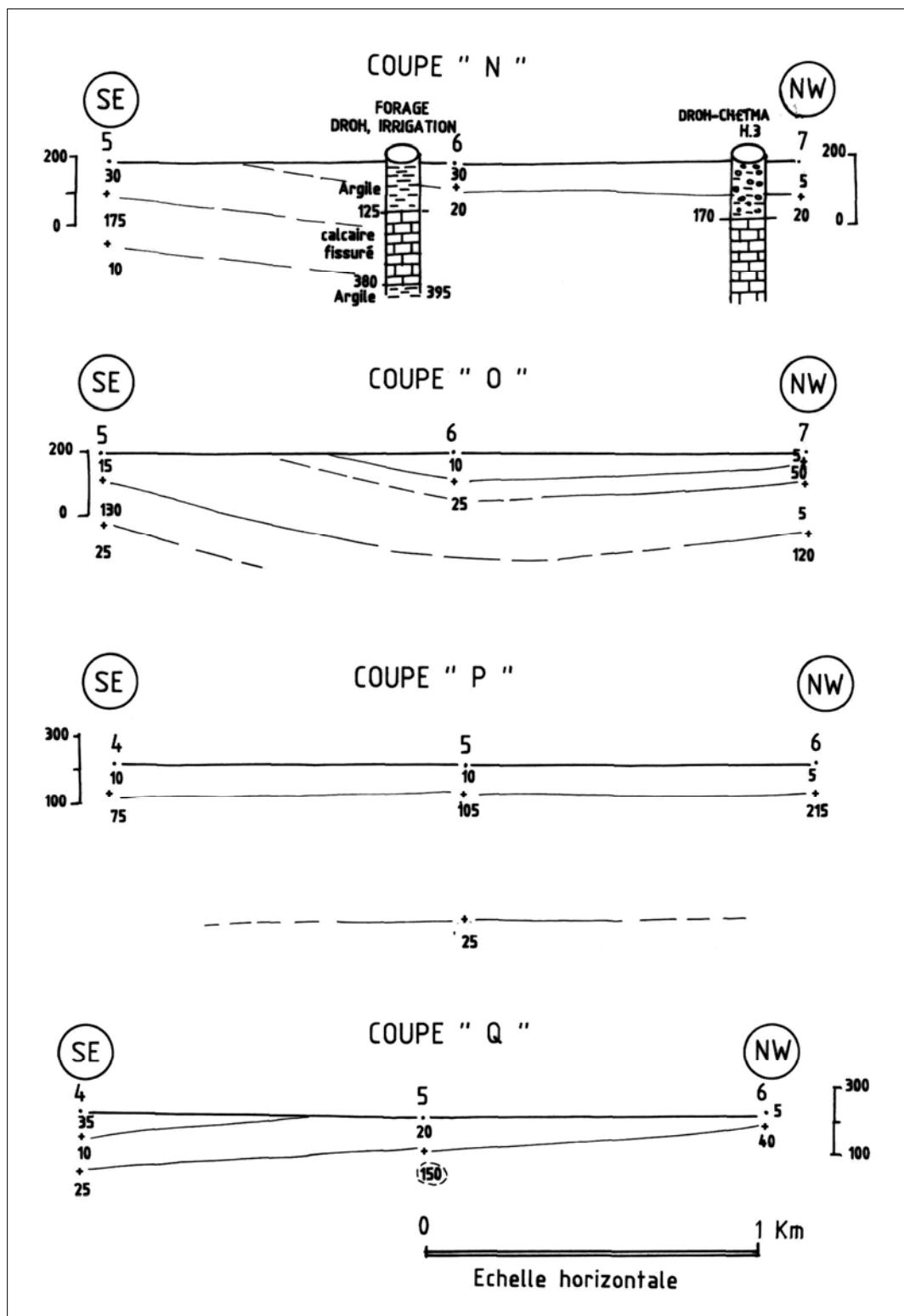


Fig. 44 : Coupes géoélectriques des sites de M'Chouneche et Droh.

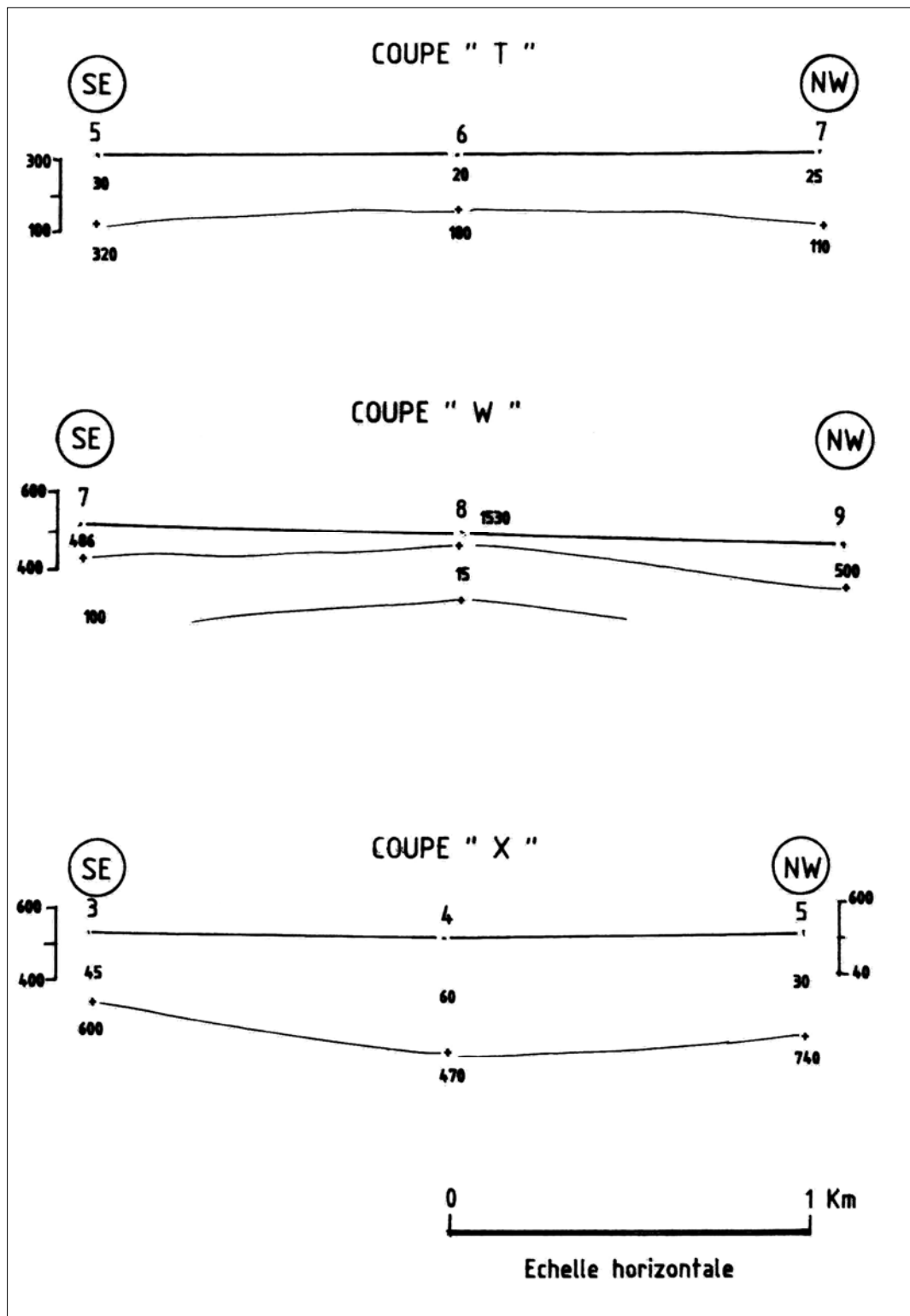


Fig. 45 : Coupes géoélectriques des sites de M'Chouneche et Droh.

III. CONCLUSION

L'ensemble des sondages électriques réalisés à travers le sous bassin d'Oued el Abiod a permis d'établir plusieurs coupes géoélectriques.

Dans la zone d'Ichmoul, ces coupes ont pu localiser un niveau résistant correspondant aux couches gréseuses carbonatées de l'Albien. D'une résistivité variant de 95 à 130 Ω .m pour les bancs carbonatés et 175 à 220 Ω .m pour les bancs gréseux. Ce niveau est surmonté par des couches conductrices correspondant à une série marno-calcaire du Cénomaniens qui atteignant par endroits les 800 m de puissance. La résistivité varie de 5 à 20 Ω .m pour la série marneuse, et de 30 à 45 pour la série marno-calcaire. La structure est monoclinale et pende vers le sud et le sud-est. L'ensemble est affecté d'une tectonique cassante, donnant naissance à des horsts et des grabens. Ce qui a fait que le toit de l'Albien se situe à des profondeurs qui vont jusqu'à 150 m et dépassent parfois les 500 m. Les niveaux résistants de ce dernier étage avec ceux du Turonien, présentent un intérêt hydrogéologique important.

La zone d'Arris présente des structures ondulées et monoclinales où on distingue un niveau plus ou moins résistant (15 à 72 Ω .m), occupant les dépressions et qui correspond aux alluvions d'Oued el Abiod. Suivi de niveaux conducteurs (de 5 à 35 Ω .m), correspondants à la série marno-calcaire du Cénomaniens dont la puissance varie de 50 à 600 m. Au dessous, vient l'Albien, avec deux niveaux résistants (50 à 140 Ω .m et 70 à 195 Ω .m), séparés par une couche conductrice (5 à 10 Ω .m). La tectonique a fait remonter le toit de ce niveau jusqu'à la côte de 150 de la surface, alors que dans d'autres endroit l'Albien s'enfonce à des profondeurs de l'ordre de quelques centaines de mètres (700 m).

Les niveaux résistants des alluvions d'Oued el Abiod et les couches résistantes de l'Albien suscitent l'intérêt hydrogéologique.

Dans la zone de T'Kout et Rhassira, l'objectif était de prospecter en profondeur les dépôts épais du Tertiaire, qui couvrent la grande partie du synclinal et qui ne cessent d'augmenter en puissance en allant vers le S-W. La structure est ondulée à tabulaire et affectée de failles qui donnent naissance à des horsts et grabens

La zone de T'Kout présente quatre niveaux résistants qui suscitent un intérêt hydrogéologique, dont :

- Les calcaires et les conglomérats du Miocène (130 à 280 Ω .m).
- Les Calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inf (85 à 340 Ω .m), ep : de 100 à 250m.
- Les calcaires crayeux du Paléocène (85 à 580 Ω .m) d'une épaisseur de 150m.
- Les calcaires du Maastrichien, ne sont pas très prometteurs dans cette zone, car les résistivités varient de 550 à 1600 Ω .m.

Reste l'aquifère potentiel dans cette région présenté par les calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inf.

Dans la région de Rhassira, les sondages révèlent la succession de plusieurs terrains depuis le Miocène. Ce dernier, d'une épaisseur de 150 m, est constitué de deux niveaux. Le premier en surface d'une résistivité de 10 à 40 Ω .m, surmontant un niveau résistant (135 à 400 Ω .m) constitué de calcaires et conglomérats d'une épaisseur d'environ 50 m.

Une série marno-calcaire d'une épaisseur de 120 à 220 m d'une résistivité de 35 à 60 Ω .m, attribuée au Lutétien supérieur.

Des calcaires à silex, d'une épaisseur atteignant les 180 m, d'une résistivité de 155 à 310 Ω .m, rattaché à l'Yprésien-Lutétien inférieur.

Le Paléocène se présente sous deux niveaux. Le premier niveau est conducteur (10 à 45 Ω .m), d'une épaisseur de 100 à 240 m ; le deuxième niveau est résistant (200 à 380 Ω .m), constitué de calcaires crayeux.

Les niveaux résistants dont les calcaires et les conglomérats du Miocène, les calcaires à silex de l'Yprésien-Lutétien inférieur et les calcaires crayeux du Paléocène, suscitent un intérêt hydrogéologique. Les calcaires à silex forment l'aquifère potentiel dans cette région.

La zone de Baniane, est caractérisée par une structure tabulaire légèrement ondulée. Les différentes couches géologiques sont caractérisées par un léger pendage dans la partie N-W. Ce qui correspond au flanc nord du synclinal. La structure devient moins redressé, presque tabulaire en allant vers le S-E, ce qui caractérise le flanc Sud du synclinal. D'après les coupes géoélectriques on identifie quatre niveaux géoélectriques. Un premier niveau résistant correspond aux dépôts des conglomérats et des calcaires du Miocène, d'une épaisseur de 50 à 80m. Le deuxième niveau conducteur correspond aux formations de marnes, grès et poudingues de l'Oligocène et les marno-calcaires du Lutétien supérieur, d'une épaisseur totale atteignant les 450m. Suivi d'un niveau résistant des calcaires à silex d'âge Landinien- Lutétien inférieur d'une épaisseur de 150 à 200 m, dont le toit se situe de 50 à 350 m. Le dernier niveau résistant à très résistant correspond aux calcaires du Paléocène et Maastrichtien. Reste le niveau le plus prometteur, c'est celui des calcaires à silex du Landinien-Lutétien inférieur, suivi des calcaires du Paléocène et Maastrichtien à moindre degré.

Les régions de M'Chouneche et Droh sont caractérisées par la présence d'un niveau résistant d'une épaisseur de 150 m environs, correspondant aux calcaires du Maastrichtien et dont le toit se situe à une profondeur allant de 100 à 300 m.

Chapitre 3

HYDROCLIMATOLOGIE

Chapitre 3

HYDROCLIMATOLOGIE

La vallée d'Oued el Abiod appelée synclinal de Rhassira, est située sur la bordure méridionale du massif des Aurès et se prolonge jusqu'à la cuvette d'el-Outaya. La vallée subit l'influence du climat méditerranéen au nord et aride dans la partie sud. Ce sous bassin (n°15.02) fait partie du grand bassin de Chott Melghir n° 06 (Fig.46).

L'Oued el Abiod qui est le drain naturel et le collecteur principal de la vallée s'étend sur une longueur de 85 km. Il prend naissance à el Hadjadj, au piémont sud des massifs d'Ichemoul et Chélia. Il coule parallèlement et parfois perpendiculairement aux axes des plis, en traversant les affleurements géologiques, mettant en reliefs les accidents transversaux qui affectent ces plis.

L'objectif visé dans ce chapitre est l'établissement du bilan hydrique et l'estimation de l'infiltration. Et ce à partir de paramètres mesurés tels que la température, les précipitations et des paramètres calculés par différentes formules empiriques, tels que l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle et le ruissellement. Six stations pluviométriques existent le long d'Oued el Abiod. S'ajoute à cela quelques stations limitrophes telles que les stations de Biskra, Menaâ et Thniet El Abed comme le montre le tableau n° 06.

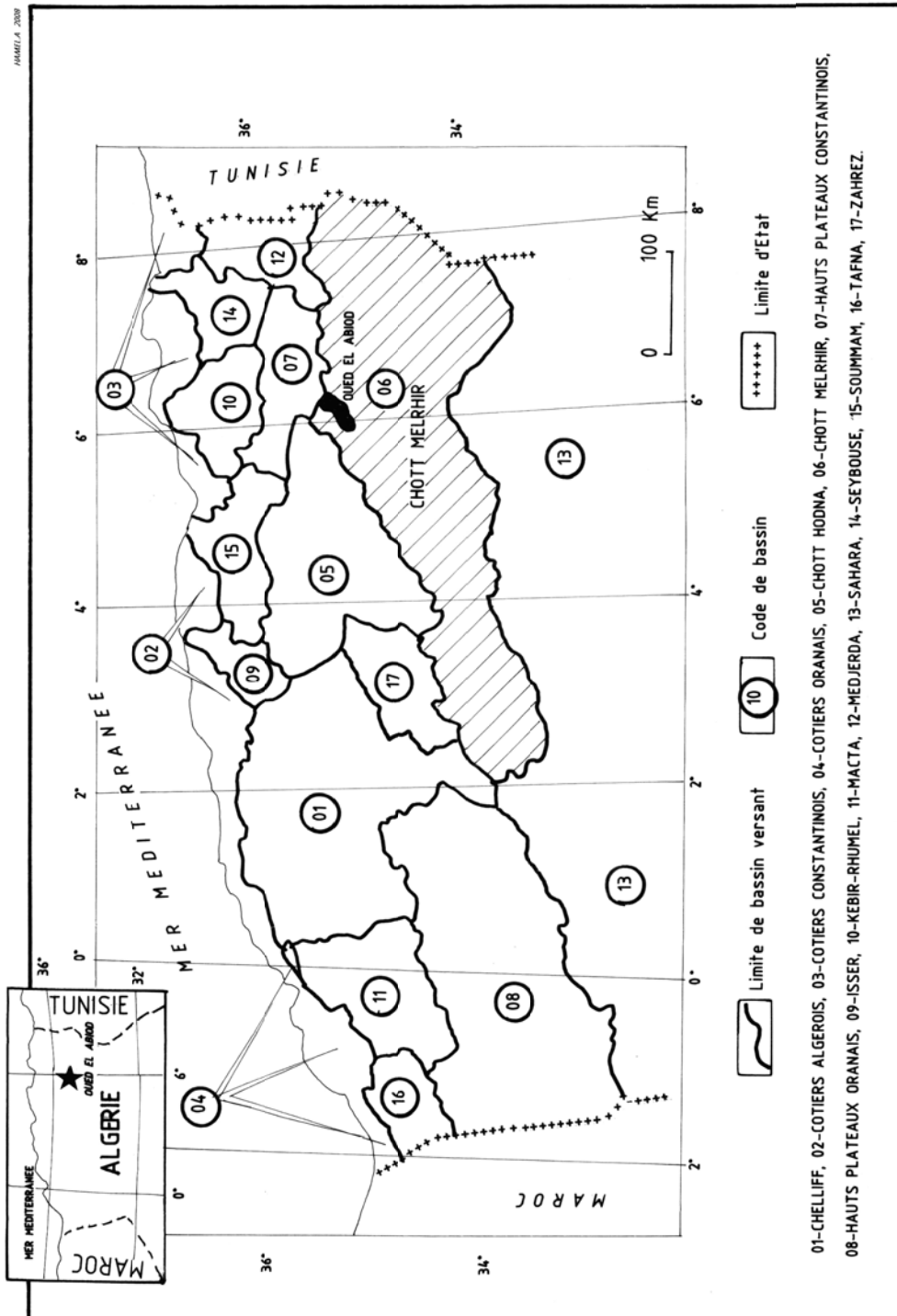


Fig. 46 : Situation du sous bassin versant d'Oued El Abiod (06. 15) (Source : L'auteur, 2009)

I. Caractéristiques morphométriques et géomorphologiques du sous bassin versant

I.1. La superficie: $A = 1300 \text{ km}^2$.

I.2. Périmètre : $P = 211 \text{ km}$.

I.3. L'indice de compacité (Kc) : l'indice de compacité de (Gravilus, 1914) "Kc" est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre ayant la même surface :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \Rightarrow Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \Rightarrow Kc = 0.28 \frac{211}{\sqrt{1300}} \Rightarrow Kc = 1.638 \approx 1.64$$

A : surface du B.V (km²)

P : périmètre du B.V (km)

Selon la valeur de Kc, on peut caractériser la forme du bassin versant comme suit :

$Kc \leq 1$: bassin en forme circulaire

$Kc = 1.12$: bassin de forme carrée.

$Kc > 1.12$ bassin versant de forme allongée.

Le bassin d'Oued el Abiod, dont la valeur de $Kc = 1.64$, présente donc une forme allongée avec une faible densité de drainage.

I.4. Le Rectangle équivalent

Il s'agit d'une représentation géométrique, ayant une forme de rectangle qui a le même périmètre et la même surface que ceux du bassin versant.

Périmètre $P = 2(L + l)$

Surface : $A = L \cdot l$

Le même coefficient de compacité : $Kc = 1.64$

Donc :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1.12)^2}{Kc}} \right] \Rightarrow L = 77.8 \text{ Km} \Rightarrow l = \frac{A}{L} \Rightarrow l = 16.7 \text{ Km}$$

I.5. Etude des paramètres de relief

Les paramètres Hydrométéorologiques tels que (précipitations, températures,...), dépendent en partie du relief. La morphologie du bassin versant influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief s'identifie au moyen d'indices et des caractéristiques suivantes :

I.6. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique schématise l'allure de la pente du bassin, cette courbe repose sur la répartition de la surface du bassin versant en fonction des altitudes (fig.48).

I.7. Les altitudes caractéristiques

a. L'altitude médiane : elle correspond à l'altitude liée au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin. Sur la courbe hypsométrique. $H_{50\%} = 1170 \text{ m}$

b. L'altitude maximale : $H(\text{max}) = 2328 \text{ m}$

c. L'altitude minimale : $H(\text{min}) = 150 \text{ m}$

d. L'altitude moyenne : $H(\text{Moy}) = 1081.25 \text{ m}$

Cette dernière se détermine avec la formule suivante : $H_{\text{moy}} = \frac{\sum aidi}{A} = 1081,25$

A: superficie de B.V (km²)

di : altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m)

ai : aire comprise entre deux courbes de niveau (km²).

Tableau 04: Répartition des tranches d'Altitudes.

Tranche d'altitude (m)	Surface (ai) km2	Surface cumulée ai	Surface %	Surface cumulée %
< 2000	0.19	0.19	0.013544	0.013544
2000 – 1800	29.6	29.79	2.110081	2.123625
1800 – 1600	168	197.79	11.97613	14.09976
1600 – 1400	253	450.79	18.03549	32.13524
1400 – 1200	248	698.79	17.67905	49.8143
1200 – 1000	201	899.79	14.32859	64.14289
1000 – 800	134.5	1034.29	9.588035	73.73092
800 – 600	118	1152.29	8.411808	82.14273
600 – 400	92	1244.29	6.558359	88.70109
400 – 200	4.8	1249.09	0.342175	89.04326
> 200	153.7	1402.79	10.95674	100

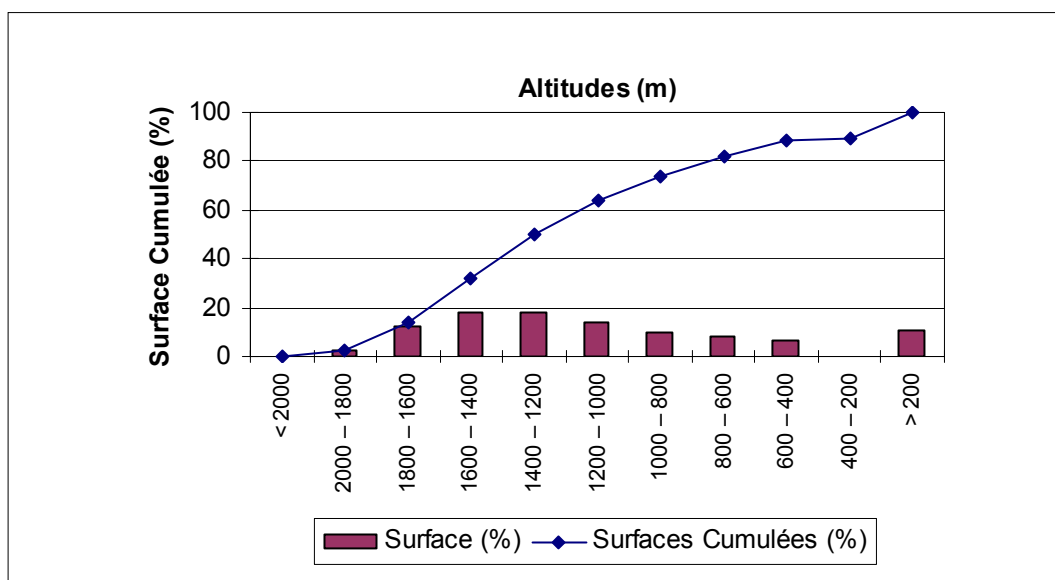


Fig. 48 : Courbe hypsométrique du sous bassin versant d'Oued el Abiod (Source: L'auteur, 2009)

I.8. Pente moyenne du bassin versant (B.V.)

La pente moyenne du B.V. est calculée à partir de l'équation suivante :

$$I = \frac{H_{moy} - H_{min}}{\sqrt{A}} \Rightarrow I = 22.74\%$$

I.9. Morphométrie (réseau hydrographique)

Le développement du réseau hydrographique renseigne sur le mode de drainage du bassin versant et son aptitude au ruissellement. Il est représenté par son profil en long et sont tracé en plan.

Tableau 05 : Récapitulatif des paramètres morphométriques

Type de paramètre	Unité	Symbole	Valeur
Superficie	Km ²	S ou A	1300
Périmètre	Km	P	211
L'altitude max	M	H	2328
Largeur du rectangle équivalent	Km		16.7
Longueur de R équivalent	Km		77.8
L'indice de pente moyenne	%		22.74
L'indice de pente globale	m/Km	H50	1.075
L'indice de compacité	Km/Km ²	Ic	1.64
Longueur de Talweg principale	Km		85

I. HYDROCLIMATOLOGIE

Il existe à l'intérieur du sous bassin versant, six stations pluviométriques : Médina, Arris, T'Kout, M'Chouneche et Tifelfel. Ainsi qu'une autre station qui se trouve en aval, au niveau du barrage de Foug El Kharza, (tab. 06).

Tableau 06: Caractéristiques des stations pluviométriques et précipitations annuelles.

Station pluviométrique	Code	Coordonnées géographiques			Pluies moyennes inters annuels	Période d'observation
		LONG	LAT	Z		
Médina	06 15 03	6° 31' 02" E	35° 19' 46" N	1451	417.34	1969 – 2004 (35 ans)
Arris	06 15 04	6° 21' 11" E	35° 15' 59" N	1100	274.90	
T'Kout	06 15 05	6° 18' 22" E	35° 08' 42" N	980	260.35	1969 – 2007 (38 ans)
M'Chouneche	06 15 06	6° 0' 25" E	34° 56' 49" N	330	121.24	1925 - 1951 (26 ans) 1973 - 1979 (06 ans)
Tefelfel	06 15 11	6° 13' 57" E	35° 06' 53" N	740	153.07	1974 – 2003 (29 ans)
Biskra	06 14 16	5° 43' 48" E	34° 51' 40" N	120	117.20	1974 – 2007 (33 ans)
Bouzina	06 13 02	6° 06' 36" E	35° 16' 32" N	1350	287.36	1971 – 2002 (31 ans)
Thniet el abed	06 13 03	6° 11' 37" E	35° 15' 11" N	1320	265.36	1971 – 2004 (33 ans)
Menaâ	06 13 04	6° 00' 33" E	35° 10' 19" N	983	260.43	1968 – 2007 (39 ans)
Djemmourah	06 13 05	5° 50' 34" E	35° 04' 07" N	545	117.99	1969 – 2007 (38 ans)
EL - Outaya	06 12 05	5° 36' 15" E	35° 01' 41" N	275		
Foug el gherza	06 16 01	5° 55' 33" E	34° 51' 12" N	100	106.12	1970–2007 (37 ans)
Tadjemout	06 16 04	6° 24' 35" E	34° 59' 44" N	930	166.08	1969–1996 (27 ans)
Bouhamama	06 18 03	6° 44' 01" E	35° 17' 20" N	1050	/	1967 – 2001 (34 ans)
Foug Toub	07 04 06	6° 32' 57" E	35° 24' 22" N	1220	/	/
Ain Tine	07 04 05	6° 26' 25" E	35° 22' 41" N	1640	/	/
Chelia	07 06 06	6° 39' 00" E	35° 22' 12" N	1650	/	/

Sur la périphérie du sous bassin, existent six stations. Au N-W, dont Bouzina, Thniet el-Abed, Menaâ et Djemmourah qui font partie du bassin d'Oued Abdi. Celle d'el-Outaya située à l'Ouest du bassin et faisant partie du sous bassin de Oued el Hai. La station de Biskra est située au S-W, au niveau de l'aéroport. Au N-E, il y a (03) trois stations dont : Chélia, Ain Tine et Foug Toub. Les stations de Bouhamama et Tadjemout se trouvent dans la zone S-E (fig. 49).

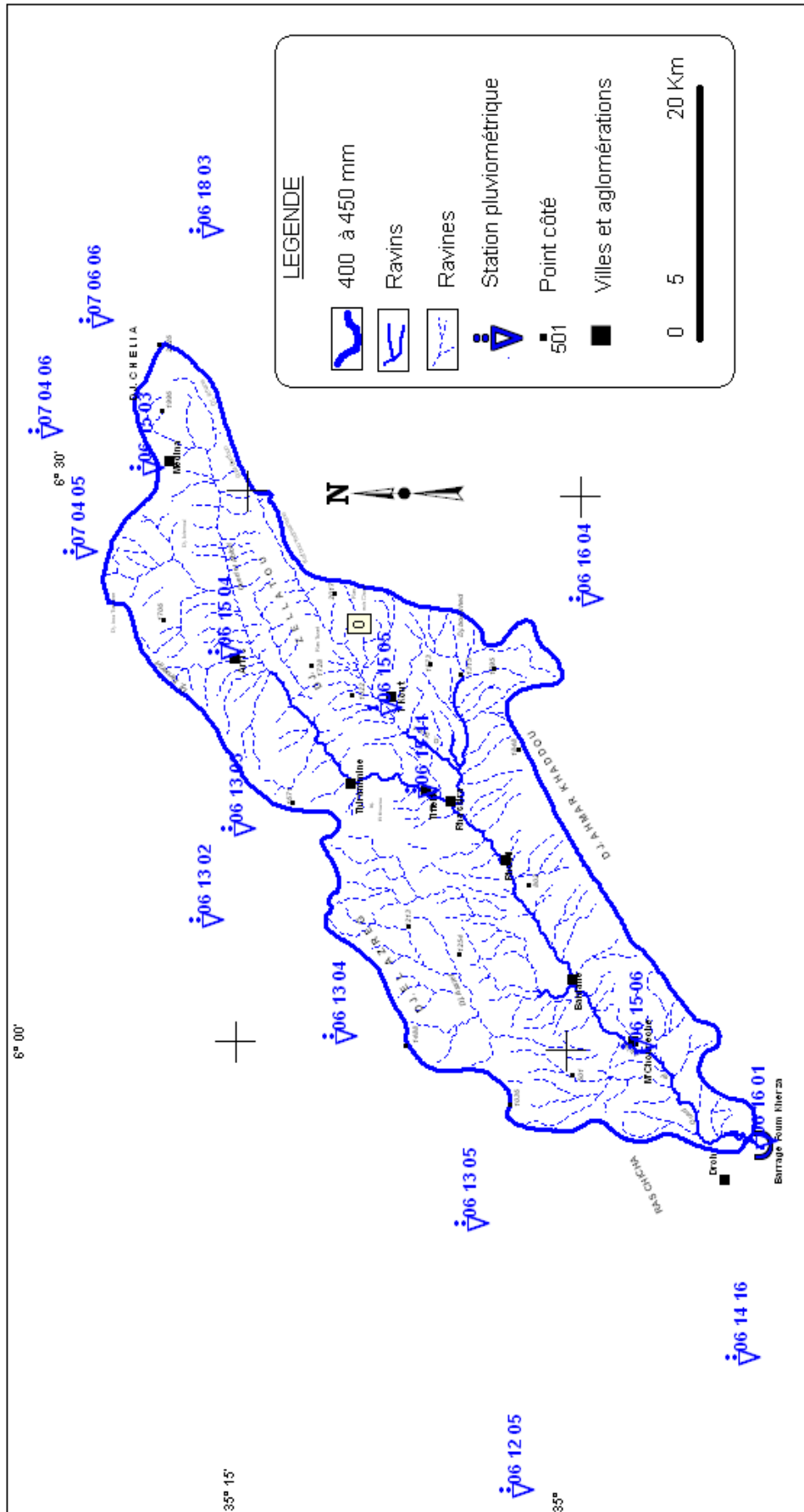


Fig. 49 : Carte du réseau hydrographique et des stations pluviométriques du sous bassin versant d'Oued el Abiod. (Source : L'auteur, 2009)

II.1. Pluviométrie

Malgré que l'ensemble de données de ces stations présente des lacunes, nous avons pris en considération les séries de données les plus complètes, possible. Nous avons apporté des corrections sur les lacunes.

La zone d'études est soumise à deux types de climat. Au nord (Arris et Ichmoul), règne un climat de type méditerranéen, avec des précipitations de l'ordre de 450 mm. Les périodes d'enneigement durent en moyenne 25 jours par an. Sur la partie médiane (T'Kout et Rhassira), règne un climat subsaharien (200 à 300 mm de précipitations). La partie sud (M'Chounech et Droh), est soumise à un climat aride, avec des précipitations ne dépassant pas les 200 mm. Le diagramme de la fig. 50 illustre la relation entre les précipitations et l'altitude et montre une décroissance des précipitations du nord-est vers le sud-ouest. Les zones les plus arrosées sont celles situées en altitudes, dans la partie nord-est du sous bassin.

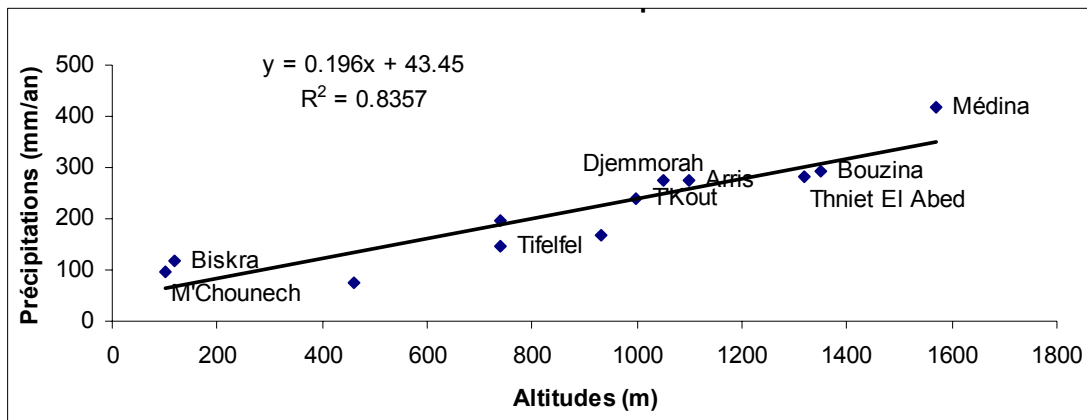


Fig. 50 : Relation entre les précipitations et l'altitude. (Source : L'auteur, 2009)

Le tableau 07, présente les précipitations moyennes des stations situées à l'intérieur du sous bassin versant.

Le diagramme (Fig. 52), montre que les saisons les plus arrosées, sont le printemps (mars, avril et mai) et l'automne (septembre, octobre et novembre) et enfin les deux tiers de la saison de l'hiver (janvier décembre).

Tableau.07 - Précipitations moyennes mensuelles des trois stations pluviométriques

Station Pluvio	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jul.	Aout	Annuelle
MEDINA (1969-2004)	48.05	38.43	42.14	37.75	36.11	29.14	40.16	39.21	39.80	25.46	8.50	32.58	417.34
	128.62 mm			103 mm			119 mm			66.54 mm			
T'KOUT (1969-2007)	31.23	26.04	26.38	21.86	20.55	19.23	23.59	23.16	25.73	18.07	7.26	17.26	260.35
	83.65 mm			61.64 mm			72.48 mm			42.59 mm			
TEFELFEL (1974-2003)	17.73	16.34	15.02	11.51	11.15	15.84	13.33	16.26	12.46	6.97	1.9	14.56	153.07
	49.09 mm			38.5 mm			42.03 mm			23.43 mm			
M'CHOUNECHE 1925 - 1951 1973 - 1979	9.21	13.37	12.96	14.36	11.40	10.30	18.74	13.39	9.52	4.22	1.26	2.51	121.24
	35.54 mm			36.06 mm			41.65 mm			7.99 mm			
FOUM el-GHERZA (1970-2007)	10.35	9.50	15.99	8.18	11.65	9.64	13.17	11.46	7.36	4.58	0.54	3.71	106.12
	35.84 mm			29.47 mm			31.99 mm			8.83 mm			

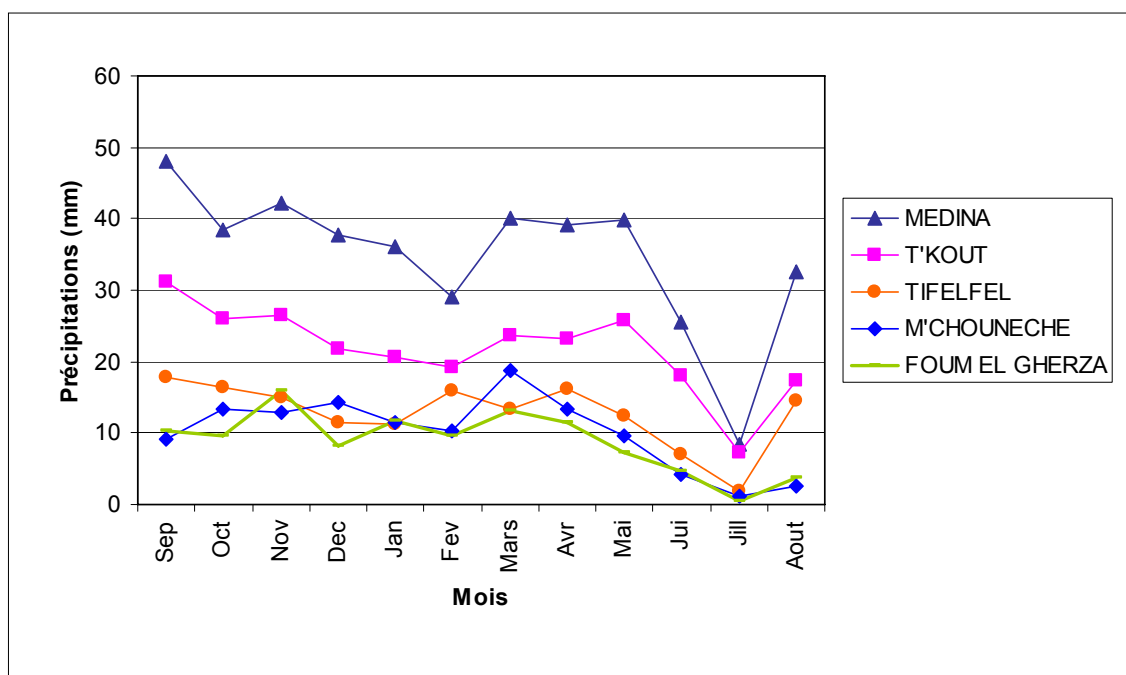


Fig. 51 : Précipitations moyennes mensuelles des stations d'Oued el Abiod (sous bassin 06 15) (Source : L'auteur, 2009)

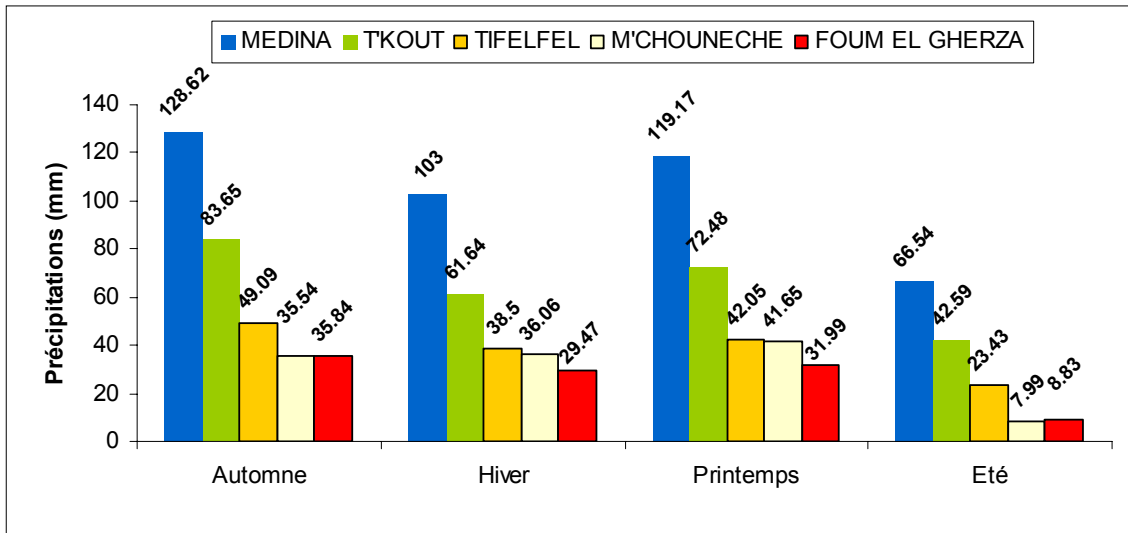


Fig. 52 : Précipitations saisonnières des stations d'Oued EL Abiod (Source : L'auteur, 2009)

II.1.1. Calcul de la lame d'eau Précipitée sur le sous bassin

La lame d'eau qui représente la moyenne de la hauteur des pluies tombées sur tout le sous bassin versant, est égale au quotient des précipitations en millimètres par la superficie en mètres carrés. Nous avons utilisé pour le calcul, différentes méthodes.

- Moyenne Arithmétique

C'est la méthode la plus simple, et qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des hauteurs des pluies, enregistrées sur l'ensemble des stations du sous bassin. Nous avons utilisé les cinq stations qui se trouvent à l'intérieur du sous bassin.

$$\bar{P} = \sum \frac{P_i}{n}$$

P_i: étant la pluviométrie moyenne de chaque station

N : nombre de stations utilisées.

$$\bar{P} = 211.63 \approx 212 \text{ mm/an}$$

Si on généralise le calcul pour les six stations qui entourent le bassin, soit au total 11 stations nous aurons la valeur $\bar{P} = 209.33 \text{ mm/an}$

- Méthode des Isohyètes

Nous avons procédé au calcul par planimétrie avec un logiciel SIG (Map Info), des superficies de chaque portion du sous bassin, comprise entre deux courbes isohyètes (fig. 53). Ce qui a donné les résultats suivants (tab.08):

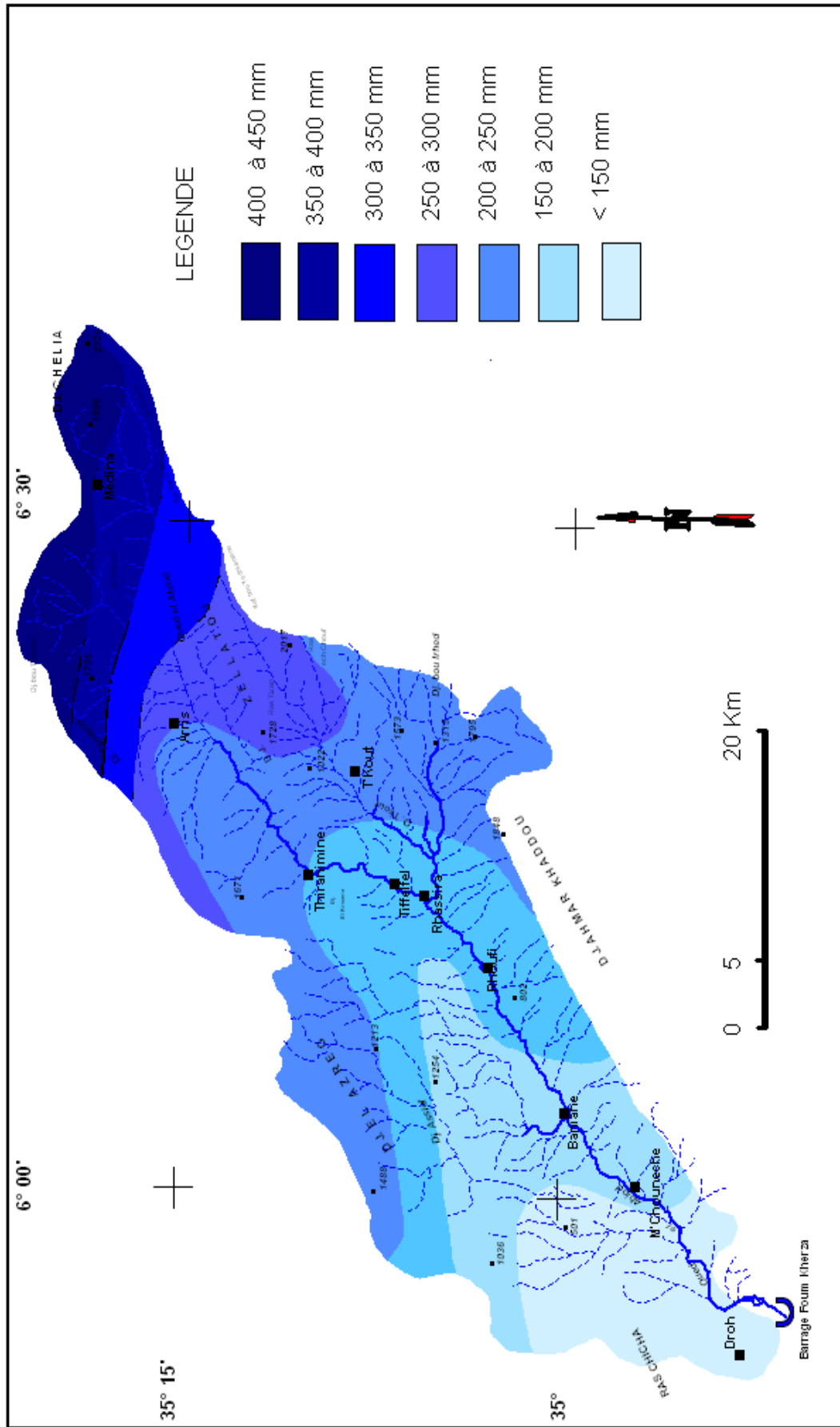


Fig. 53 : Carte pluviométrique du sous bassin d'Oued el-Abiod (06 15) (Source : L'auteur, 2009)
 (D'après la carte pluviométrique de l'Algérie du nord au 1/500 000 A.N.R.H., 1993.

Tableau.08 – Répartition des surfaces en fonction des classes des précipitations.
(Méthode des isohyètes)

Isohyètes (mm)	P moyennes (mm)	Surfaces (Km ²)	Précipitations (x 10 ³ m ³)
100 - 150	125	174.5	21812.5
150 - 200	175	219.6	38430
200 - 250	225	258	58050
250 - 300	275	374.9	103097.5
300 - 350	325	127	41275
350 - 400	375	75	28125
400 - 450	425	88.5	37612.5
>450	450	85	38250
Totaux		1402.5	366652.5

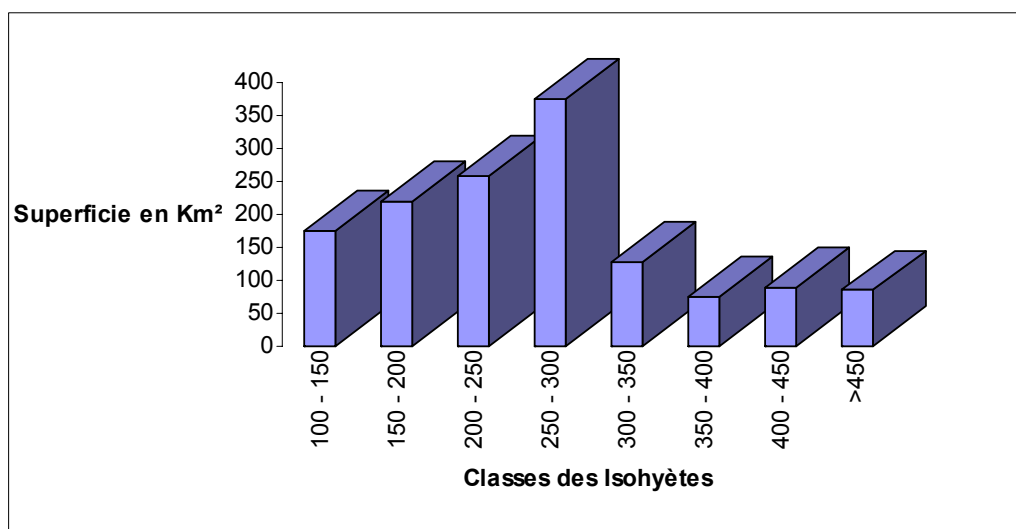


Fig. 54: Répartition des surfaces en fonction des classes des Précipitations
(Source : L'auteur, 2009)

Donc la lame d'eau tombée sur le bassin est : $\frac{366652.5}{1402.5} = 261.4$ mm.

L'écart entre les deux valeurs est d'environ 50 mm. Si on prend la deuxième valeur qui doit être la plus précise, on aura un volume d'environ 366,63 Hm³/an d'eau qui tombe sur le bassin.

Pour résumer, la saison pluvieuse s'étend du début de l'automne au printemps. Les précipitations sont abondantes en automne et en printemps, ainsi que durant le mois de décembre. Les pluies orageuses sont assez fréquentes en mois de juin et août, mais moins abondantes. La variabilité mensuelle des précipitations est forte alors que celle annuelle est faible.

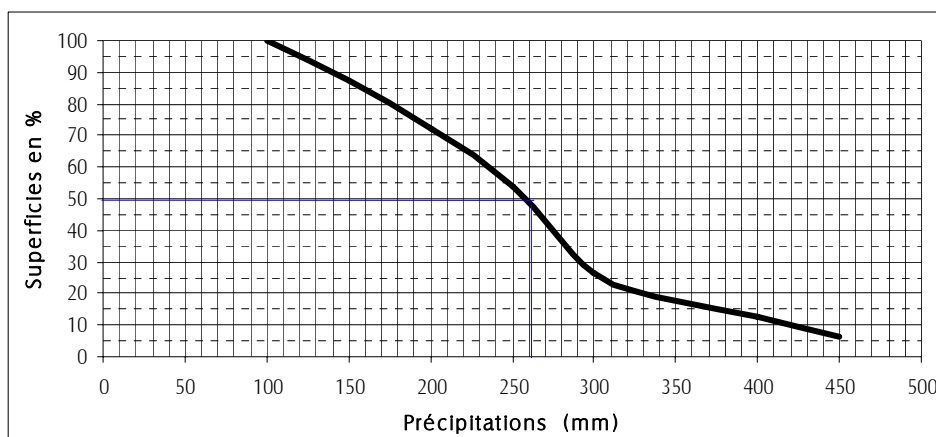


Fig. 55 : Lamé d'eau moyenne (Isohyètes) (Source : L'auteur, 2009)

II.2. Températures

La température est un paramètre incontournable dans l'estimation du bilan, car c'est elle qui permet le calcul du déficit d'écoulement autrement dit l'évapotranspiration.

Tab 09: Températures mensuelles des stations de M'chouneche et de Médina

Station	Medina	M'chouneche
mois	1971-1991	1971 - 1991
S	20,25	28,50
O	15,00	22,30
N	9,90	16,20
D	5,75	11,90
J	5,35	11,60
F	6,55	13,70
M	8,80	15,70
A	13,15	19,80
M	15,80	24,60
J	22,30	29,20
J	24,60	33,50
A	23,65	32,80

Source : Direction des Services Agricoles.

II.3. Régime climatique

Afin de déterminer le régime climatique de la région nous avons utilisé plusieurs méthodes, selon les données disponibles.

II.3.1. Méthode d'Euverte

Le rapport P/T permet de définir le régime climatique

$P/T < 1$: Régime très sec.

$1 < P/T < 2$: Régime sec

$2 < P/T < 3$ Régime sub- humide

$P/T > 3$ Régime humide

Dans notre cas pour les températures, nous ne disposons que des données des stations de Médina et M'Chouneche. On a attribué à la station de T'Kout, la moyenne entre les deux stations, vu qu'elle est située à mi-distance entre les deux.

Tab 10 : Détermination du régime climatique par la méthode d'Euverte

Mois		Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jn	Jlil	Aout
Station		Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jn	Jlil	Aout
Medina	P (mm)	48.05	38.43	42.14	37.75	36.11	29.14	40.16	39.21	39.80	25.46	8.5	32.58
	T °C	20.25	15	9.90	5.75	5.35	6.55	8.80	13.15	15.80	22.30	24.60	23.65
	P/T	2.37	2.56	4.26	6.57	6.75	4.45	4.56	2.98	2.52	1.14	0.35	1.38
T'Kout	P (mm)	31.2	26	26.4	21.9	20.5	19.2	23.6	23.2	25.7	18.1	7.3	17.3
	T °C	24.4	18.7	13.1	8.8	8.5	10.1	12.3	16.5	20.2	25.8	29.1	28.2
	P/T	1.28	1.39	2.02	2.49	2.41	1.90	1.92	1.41	1.27	1.15	0.25	0.61
M'Couneche	P (mm)	9.21	13.37	12.96	14.36	11.40	10.30	18.74	13.39	9.52	4.22	1.26	2.51
	T °C	28.5	22.30	16.20	11.90	11.60	13.70	15.70	19.80	24.60	29.20	33.50	32.80
	P/T	0.32	0.60	0.80	1.21	0.98	0.75	1.19	0.68	0.39	0.14	0.04	0.08

Le tableau n° 10 donne une classification du climat pour chaque station.

Dans la partie amont du sous bassin (station de Médina), règne un régime à climat sub-humide durant la période septembre–octobre et la période Avril–Mai. Entre les deux périodes la région connaît un régime humide s'étalant du mois de novembre à mars. Un régime sec s'établit durant les mois de juin et août. Le régime climatique devient très sec au mois de juillet.

Dans la région médiane (station de T'kout), un régime sec règne entre les mois de septembre au mois de Juin, intercalé d'une période subhumide du mois de novembre au mois de janvier. Les mois de juillet et août connaissent un régime très sec.

Par contre, la région aval connaît un régime sec, durant les mois de décembre et mars alors que le reste de l'année est très sec.

II.3.2. Méthode du diagramme ombrothermique de Gausson et Bagnouls

Avec cette méthode on détermine les périodes sèches et les périodes humides. Pour ces deux chercheurs Gausson et Bagnouls, le climat est sec lorsque les précipitations moyennes exprimées en (mm), sont inférieures ou égales au double des températures enregistrées durant la même période ($P \text{ mm} \leq 2T \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Sur les diagrammes (56 ; 57 et 58), on remarque que la région amont du sous bassin d'Oued el-Abiod (station de Médina), est caractérisée par une période sèche durant les mois de septembre jusqu'au mois de mai. Durant la période allant du mois de juin à fin Août règne un climat sec.

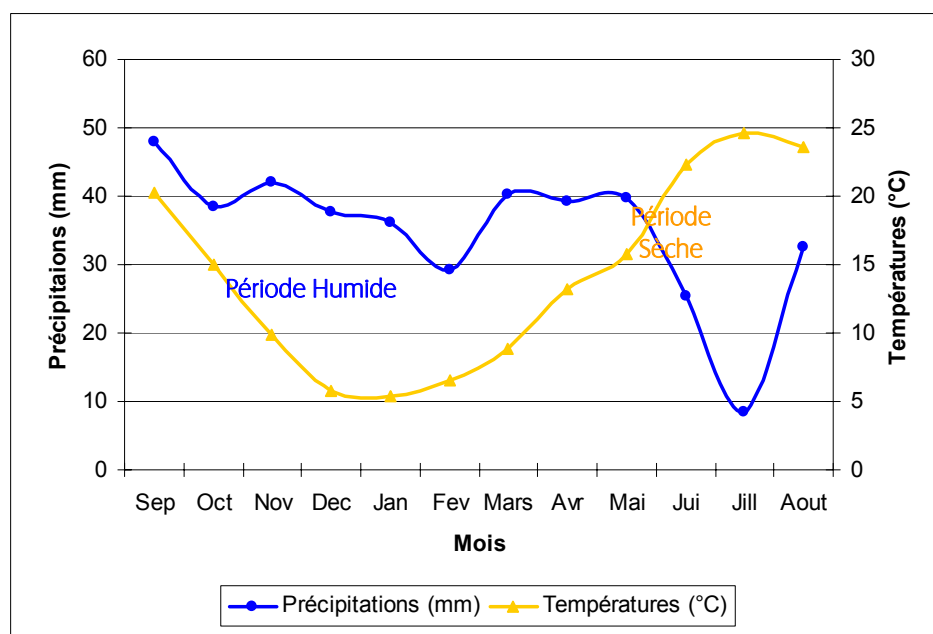


Fig. 56 : Diagramme ombrothermique de la station de Médina (zone amont)
(Source : L'auteur, 2009)

Le climat dans la région centrale (station de T'Kout) est caractérisé par une période sèche durant les mois de juin à septembre et une période humide de septembre à juin. Par contre, dans la partie avale du sous bassin (station de M'Chouneche), règne un climat sec durant toute l'année.

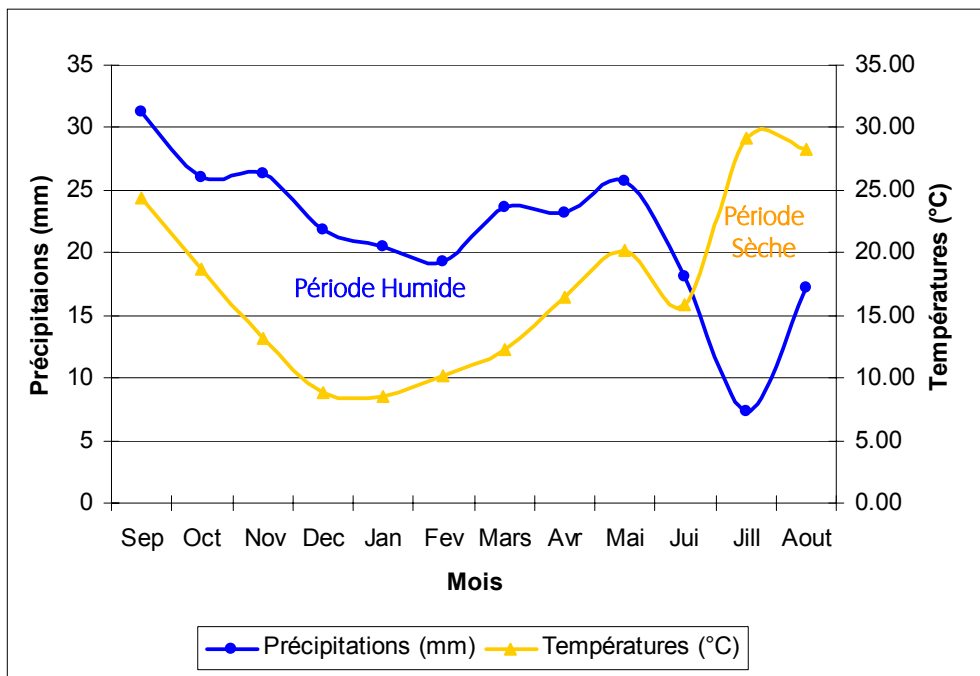


Fig. 57 : Diagramme ombrothermique de la station de T'Kout (Source : L'auteur, 2009)

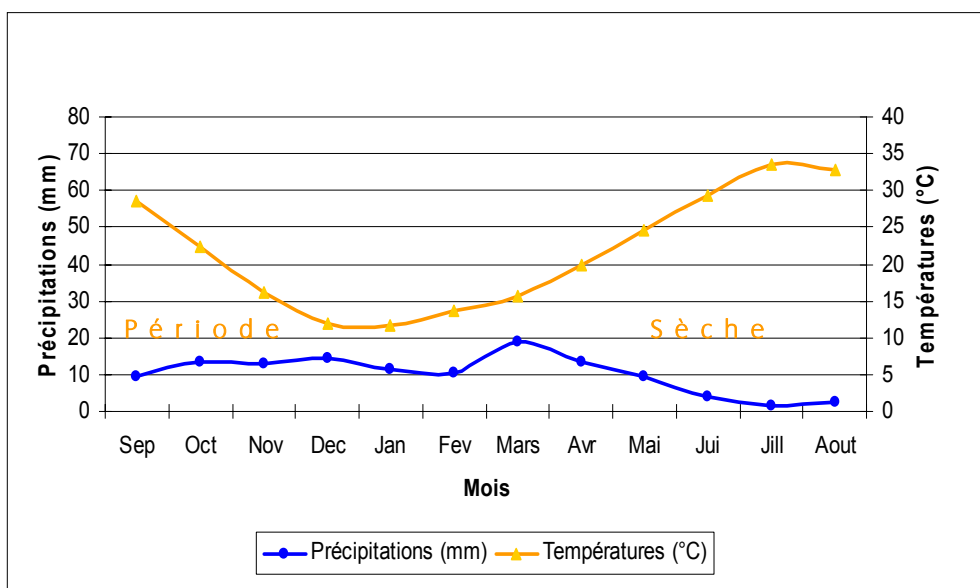


Fig. 58 : Diagramme ombrothermique de la station de M'Chouneche (zone avale) (Source : L'auteur, 2009)

II.4. Indice d'Aridité

L'aridité d'une région, peut être exprimée par différents indices, fondés principalement sur les valeurs moyennes des précipitations et températures. Les plus connus sont ceux de E. De Martonne (1926) ; E.Emberger(1932) ;C.W.Thornthwaite (1948) ; J.DUBIEF (1950) ; R. Capot-REY (1951) ; H. Gausсен ; F. Bagnouls (1952) et P. Birot (1953).

- Indice d'aridité de Martonne

Il est défini par la formule suivante : $A = \frac{P}{T + 10}$

Où P : précipitations annuelles moyennes (mm)

T : Températures annuelles moyennes (°C)

Les types de climat se classent comme suit :

- 30 > A > 20 : climat tempéré.
- 20 > A > 10 : climat semi aride.
- 10 > A > 7.5 : climat steppique.
- 7.5 > A > 5 : climat désertique.
- A < 5 : climat hyperaride.

Pour les trois stations, et durant la période (1971/ 91), nous obtenons les valeurs :

$A = 17.2$ pour la station de Médina. Ce qui correspond à un climat semi aride.

$A = 9.59$ pour la station de T'kout. Ce qui correspond à un climat steppique.

$A = 3.83$, pour la station de M'chouneche correspondant à un climat hyperaride.

Ce qui est illustré sur le diagramme (fig.59)

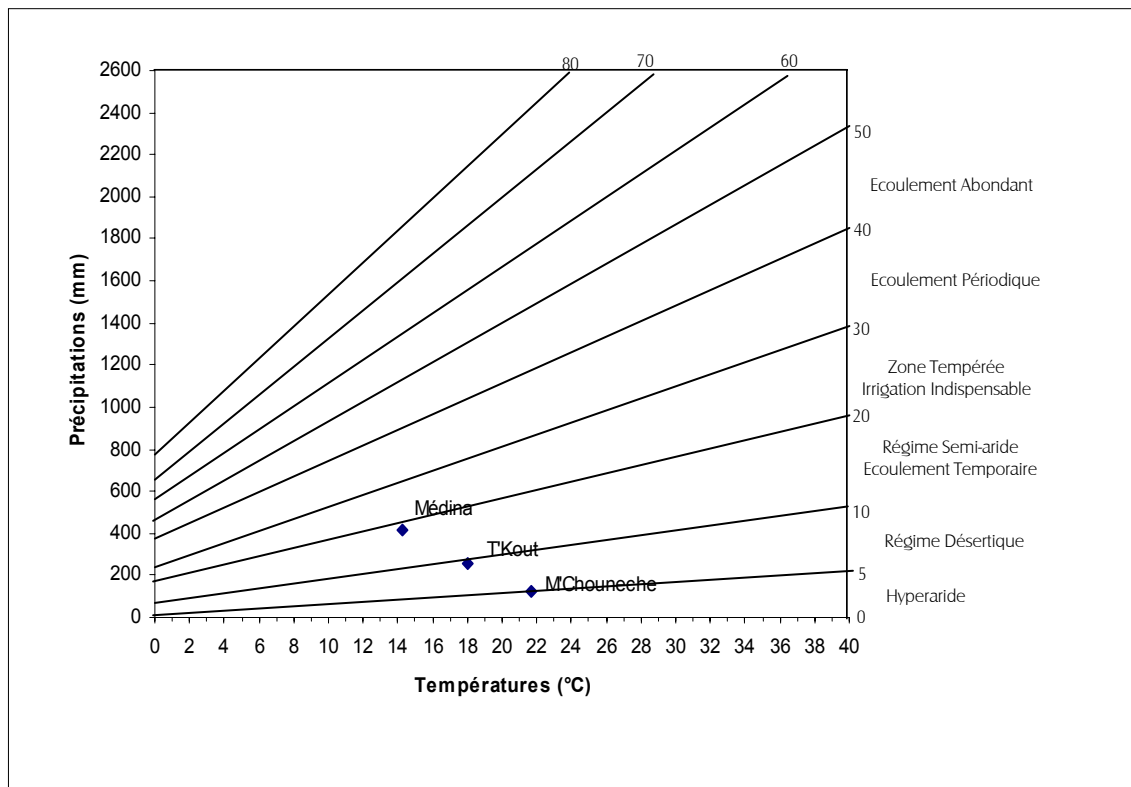


Fig. 59 : Diagramme de Martonne (Source : L'auteur, 2009)

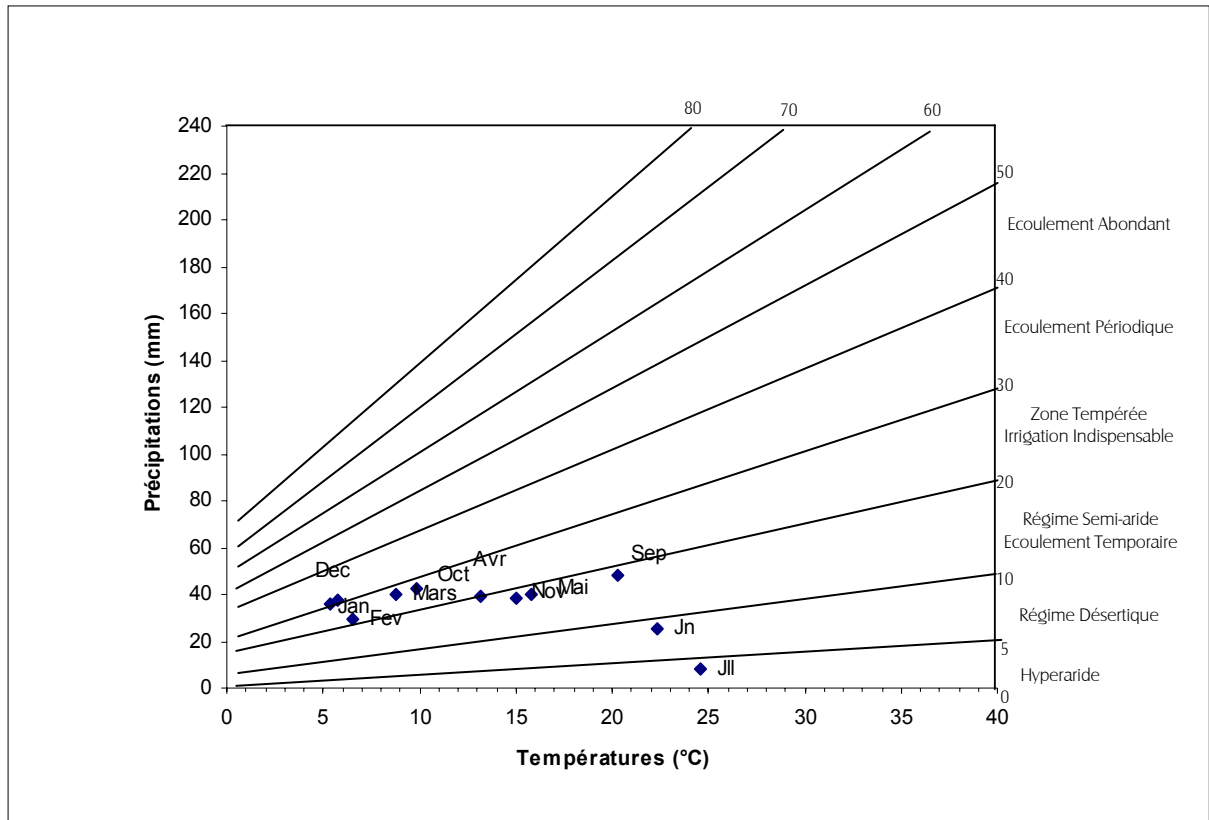


Fig. 60: Indice mensuel d'Aridité de MARTONNE (Médina) (Source : L'auteur, 2009)

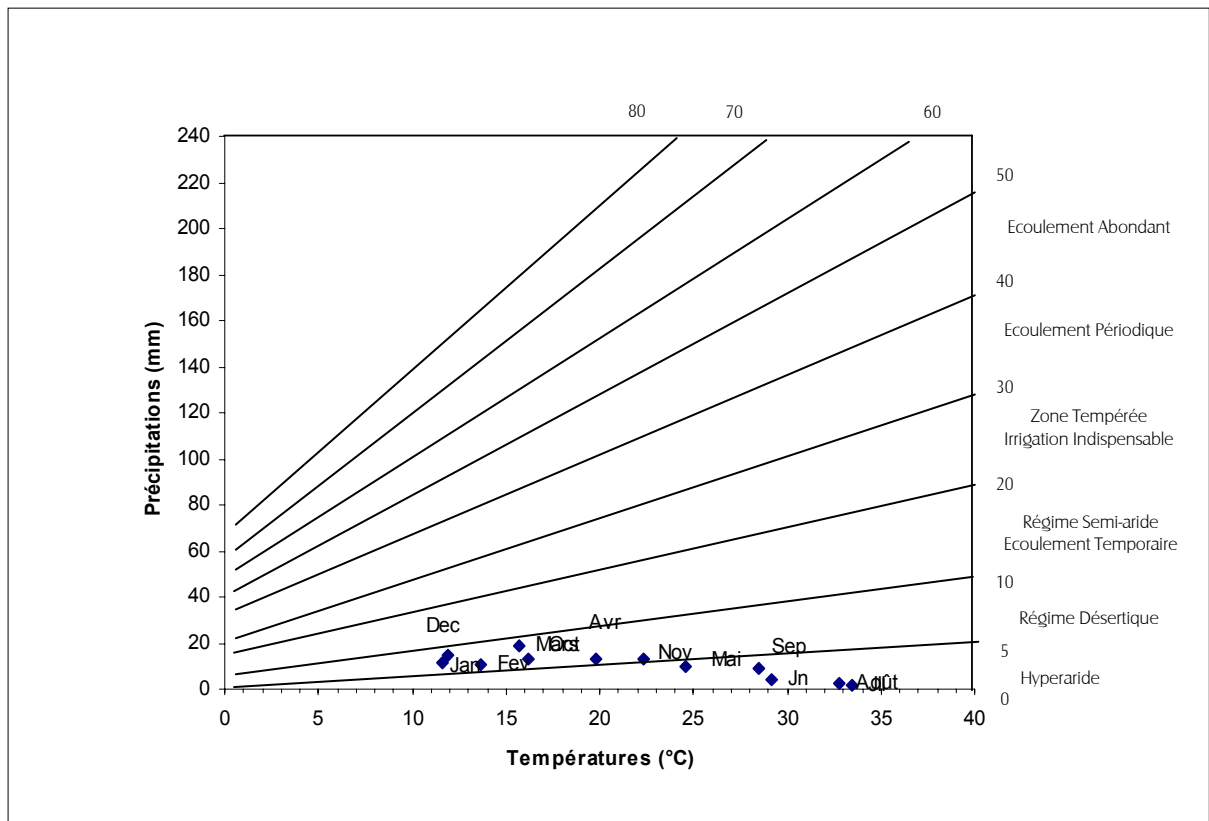


Fig. 61: Indice mensuel d'Aridité de MARTONNE (M'Chouneche) (Source : L'auteur, 2009)

L'indice d'aridité peut être calculé par mois où $a = 12 p / (t+10)$. Le tableau 11, donne les valeurs de l'indice d'aridité mensuel pour les trois stations, Médina, T'Kout et M'Chouneche.

Tab 11 : Indice mensuel d'aridité.

Station\ Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jill.	Août
Médina	19.1	18.5	25.4	28.8	28.2	21.1	25.6	20.3	18.5	9.46	2.95	11.6
T'Kout	10.9	10.9	13.7	14.0	13.3	11.5	12.7	10.5	10.2	8.4	2.2	5.4
M'Chouneche	2.87	4.97	5.94	7.87	6.33	5.22	8.75	5.39	3.3	1.29	0.35	0.7

Pour la station de Médina, la période allant de novembre à avril est caractérisée par un climat tempéré. Le climat est semi-aride durant les mois de septembre, mai et août. Durant le mois de juin il est steppique. Le mois de Juillet est caractérisé par un climat hyperaride (fig.60).

Pour la station de T'Kout, le mois de Juillet présente un climat hyperaride, vient ensuite le mois d'août avec un climat désertique, le mois de Juin est caractérisé par un régime steppique, le reste de l'année règne un climat semi-aride.

Pour la station de M'Chouneche la période allant du mois de mai au mois d'octobre, connaît un climat hyperaride. Et un climat désertique durant les mois de novembre, janvier, février et avril. Aux mois de décembre et mars règne un climat steppique (fig.61).

- Climatogramme de Peguy

Sur ce diagramme on reporte les températures et les précipitations mensuelles respectivement en abscisses et en ordonnées, de chaque mois pour chaque station à part. On réunit alors les douze points présentant les mois, par une ligne brisée. Le diagramme est subdivisé en secteurs, voir mois froids et humides, mois tempérés et mois arides. Ainsi on aura caractérisé le climat de chaque mois. (fig. 62, 63)

On constate pour la station de Médina (fig. 62), que seuls les mois de juin, juillet et août sont groupés sous le secteur des mois arides. Le reste des mois de l'année, sous le secteur des mois tempérés.

Pour la station de M'Chouneche, tous les mois de l'année sont arides (fig. 63).

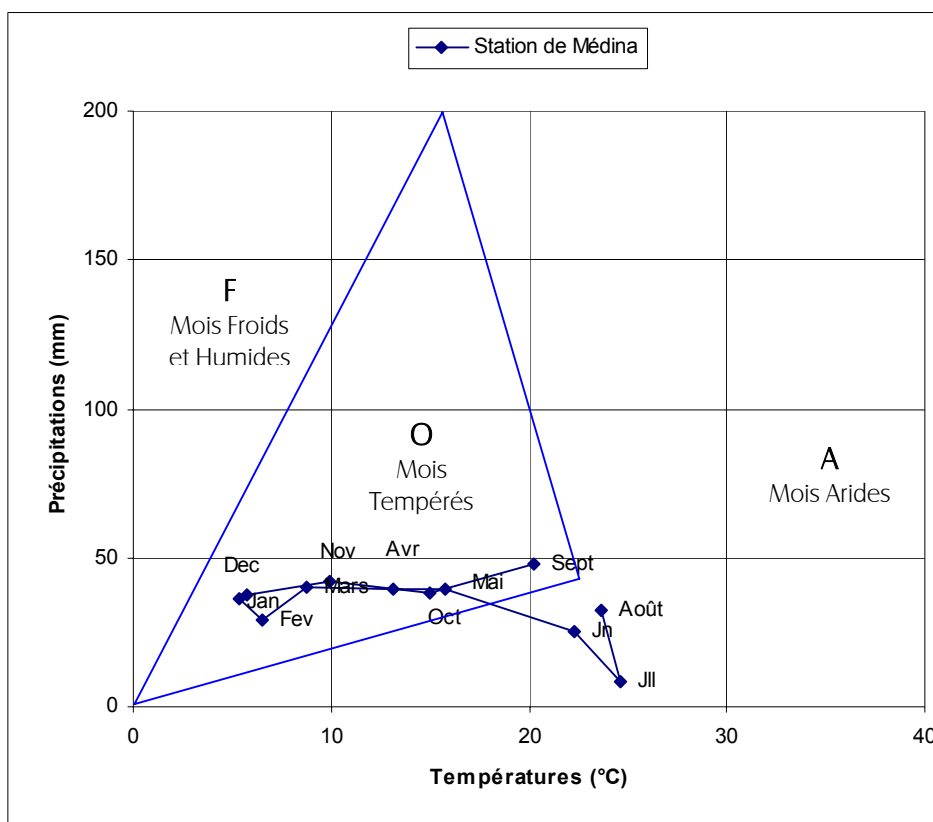


Fig. 62: Climatogramme de PEGUY (Station de Médina) (Source : L'auteur, 2009)

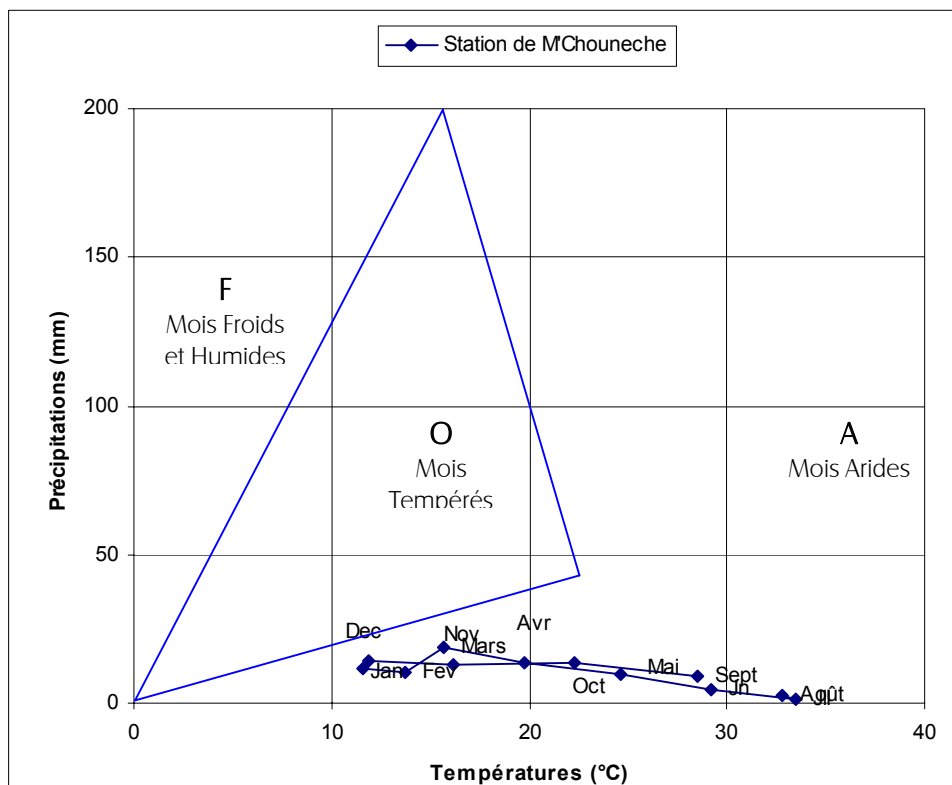


Fig. 63 : Climatogramme de PEGUY (Station de M'Chouneche) (Source : L'auteur, 2009)

II.5. Déficit d'écoulement (Evapotranspiration)

On regroupe sous le terme de déficit d'écoulement, la quantité d'eau des précipitations, qui échappe à l'écoulement, soit par évapotranspiration ou par infiltration profonde dans les nappes souterraines. Le calcul du bilan hydrique sur plusieurs cycle hydrologiques, néglige le terme « infiltration » du fait que cette dernière est reprise dans le cycle de l'eau, soit par évapotranspiration ou par l'écoulement. Et de ce fait le déficit d'écoulement sera égal à l'évapotranspiration réelle.

L'évapotranspiration à son tour regroupe tous les phénomènes physiques et biologiques, qui restituent l'humidité du sol à l'atmosphère. C'est un phénomène physico-biologique complexe, composé d'une évaporation physique (à partir des plans d'eau et du sol) et une évaporation biologique (transpiration), qui dépend du type de cultures et leurs étendues.

L'évapotranspiration dépend non seulement de la température, mais aussi des conditions météorologiques et de la disponibilité en eau des réserves du sous sol. On distingue évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle.

Différentes formules ont été établies, pour l'évaluation du déficit de l'écoulement dans différentes régions et différents bassins versants.

II.5.1. Evapotranspiration Potentielle

C'est la quantité d'eau maximum évaporée à partir d'un sol saturé. Elle constitue un facteur primordial dans l'évaluation du bilan hydrique. Nous utilisons les formules de Thornthwaite et Serra pour le calcul de l'ETP.

II.5.1.1. Formule de Thornthwaite

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

ETP: évapotranspiration potentielle mensuelle en (mm)

T: température moyenne mensuelle en (°C)

I: indice thermique obtenu par la formule : $I = \sum i$ avec $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$

a: indice dépendant de la température, et calculé par la formule :

$$a = 0.49239 + 1.792 \times 10^{-2} \times I - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 6.75 \times 10^{-7} \times I^3$$

Les valeurs de E_p , calculées pour chaque mois sont corrigées à l'aide d'un facteur de correction *K*, qui tient compte du nombre de jours du mois et le nombre de jours d'ensoleillement.

Les résultats des calculs de l'ETP mensuelles pour les trois stations, Médina, T'Kout et M'Chouneche, sont répertoriés sur les tableaux (tab.14 ; 15 et 16). La valeur annuelle de l'ETP pour la station de Médina est égale à environs 695 mm/an. En introduisant le facteur *K*, qui change de valeurs selon le mois allant de 0.85 à 1.21, la valeur de l'ETP corrigée devient 771 mm/an. Pour la station de T'Kout, $ETP = 873.26$ et l'ETP corrigé = 973.20. Enfin à la station de M'Chouneche, on trouve la valeur de l'ETP et l'ETP corrigée respectivement : 1215 et 1366 mm/an.

II.5.1.2. Formule simplifiée de Serra

$$ETP(mm) = 16 \times \left(\frac{10 \times T}{I} \right)^\alpha$$

T : température moyenne mensuelle (°C)

$$I = \sum i \Rightarrow i = (0.09 \times T)^{1.5}$$

$$\alpha = \frac{1.6}{100} I + 0.5$$

Cette formule donne les valeurs de l'ETP pour les trois stations :

Médina 715.3 mm/an ; T'Kout 859.7 et M'Chouneche 1018.1

II.5.1.3. Formule de l' ANRH (PENMAN)

Cette formule est calée sur le modèle de PENMAN et écrite sous forme simplifiée pour l'adapter à la formule de BLANEY et CRIDDLE.

$$ETP(A.N.R.H) = K_r \times K_m \times (H - 187) \times (0.032t + 0.077)$$

K_r : Coefficient correctif régional lu sur la carte iso-lignes variant entre 0.85 et 1.25 (fig. 64)

K_m : Coefficient correctif mensuel compris entre 0.90 et 1.22 (tab.14,15 et 16).

$H = ai_y + b$: est calculé sur tab 14,15 et 16, où il représente la latitude en coordonnées Lambert. H, en fait donne le nombre d'heures par mois d'ensoleillement.

Les valeurs de l'ETP selon cette formule, figurent sur les Tableaux 13 ; 14 et 15. Nous obtenons des valeurs annuelles de l'ETP pour Médina : 1477.23 mm/an, pour T'Kout : 1863.9 mm/an et M'Chouneche : 2091.36 mm/an.

Le Tableau 12, récapitule les valeurs de l'ETP données par différentes formules. Nous remarquons que les valeurs de l'ETP pour les formules de Thorntwaite et Serra sont assez proches, alors que la valeur par la formule de (A.N.R.H) représente le double.

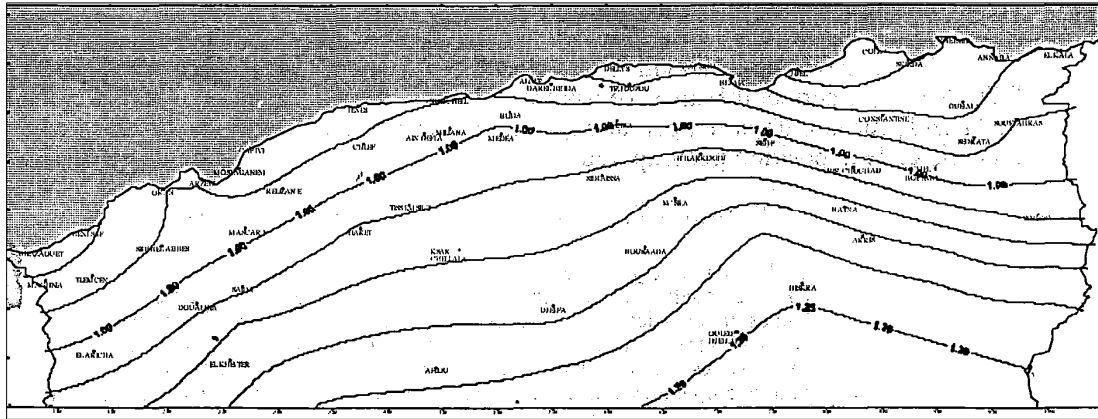


Fig. 64: Carte du Coefficient correctif régionale (A.N.R.H)

Tab 12 : ETP (par différentes formules des trois Stations à Oued El Abiod

Formule / Station	Médina	T'kout	M'Chouneche
Formule Thorntwaite	771	973	1366
Formule Serra	715	860	1018
Formule ANRH (Penman)	1477	1864	2182

II.5.2) Evapotranspiration Réelle

Le calcul de l'évapotranspiration réelle se fait de différentes méthodes et formules :

II.5.2.1. Formule de TURC

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle en (mm)

$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$ où T est la température moyenne annuelle (°C).

Les résultats des trois stations sont reportés aux tableaux 13, 14 et 15. L'ETR est égal à 385.63 mm/an pour la station de Médina; à 260.36 mm/an pour T'kout et 121.24 mm/an pour M'Chouneche.

II.5.2.2. Méthode du Bilan Hydrique de THORNTWAITE

Les résultats du calcul du bilan hydrique pour les trois stations figurent aux tableaux 18,19 et 20. En récapitulant, les valeurs annuelles (tab.13), nous remarquons que les valeurs de l'ETR, calculée par la méthode du bilan de Thornthwaite, ou à l'aide de la formule de Turc, sont très voisines. L'ETR pour la station de Médina, représente 84 à 92% des précipitations ; alors qu'elle est égale à ces dernières pour les stations de T'Kout et M'Chouneche.

Tab 13 : Récapitulatif des paramètres du bilan de Thornthwaite.

	Médina	T'Kout	M'Chouneche
Précipitations (mm/an)	417.33	260.36	121.24
Température (°C)	14.26	17.98	21.65
ETR Thornthwaite (mm/an)	351.52	260.36	121.24
ETR THORNTWAITE (%) des précipitations	84.23 %	100 %	100 %
ETR TURC (mm/an)	385.63	260.36	121.24
ETR TURC (%) des précipitations	92.4 %	101.9 %	104.9 %
Ecoulement (mm)	65.81	0	0
Ecoulement en (%) des précipitations	15.8 %	0 %	0 %

Tab. 14 : Calcul de l'E.T.P et l'E.T.R à la station de Médina.

Station de Medina														X= 846.88	Y= 232.42	Z= 1451 m
Mois		Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jn	Jll	Aout	ANNUEL		
P(mm)		48.05	38.43	42.14	37.75	36.11	29.14	40.16	39.21	39.8	25.46	8.5	32.58	417.33		
T C°		20.25	15.00	9.90	5.75	5.35	6.55	8.80	13.15	15.80	22.30	24.60	23.65	14.26		
i		8.31	5.28	2.81	1.24	1.11	1.51	2.35	4.32	5.71	9.62	11.16	10.51	63.93		
$I = \sum i$	63.93	$I^2 = 4086.5$					$I^3 = 261233$						\			
a	1.50													\		
ETP (mm) Thorntwaite		90.12	57.47	30.83	13.65	12.25	16.59	25.84	47.18	62.13	104.14	120.65	113.74	694.59		
K		1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16			
ETP (mm) Thorntwaite corrigé		92.83	55.75	26.51	11.60	10.66	14.11	26.61	51.42	75.17	126.01	148.40	131.93	771.01		
i serra		8.20	5.23	2.80	1.24	1.11	1.51	2.35	4.29	5.65	9.48	10.98	10.35	63.20		
á		1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51		
ETP (mm) L. SERRA		92.97	59.07	31.53	13.87	12.44	16.89	26.39	48.42	63.90	107.56	124.75	117.55	715.33		
ai		0.0031	0.0081	0.0185	0.0246	0.0218	0.0110	0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144			
bi		370	351	311	308	315	307	371	389	429	429	436	414			
km		0.98	0.90	0.90	0.86	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1.00	0.97	0.97			
H=aiy+bi		370.72	349.12	306.70	302.28	309.93	304.44	370.72	391.28	433.67	434.76	441.35	417.35			
ETP(ANRH) Penman		150.11	93.46	48.79	29.76	33.69	47.22	84.10	136.82	168.57	225.26	245.19	214.25	1477.23		
L (TURC)	801.39															
ETR (mm) TURC														385.63		

Tab. 15 : Calcul de l'E.T.P et l'E.T.R à la station de T'Kout.

Station de T'Kout														
X= 829.35 Y= 210.7 Z= 998 m														
Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jn	JII	Aout	ANNUEL	
P(mm)	31.23	26.04	26.38	21.86	20.55	19.23	23.59	23.16	25.73	18.07	7.26	17.26	260.36	
T C°	24.4	18.7	13.1	8.8	8.5	10.1	12.3	16.5	20.2	25.8	29.1	28.2	17.98	
i	11.02	7.37	4.30	2.35	2.23	2.90	3.91	6.10	8.28	11.99	14.39	13.72	88.57	
I=∑i	88.57	I° = 7843.8					I° 694685						\	
a	1.94													\
ETP(mm) Thorntwaite	114.70	68.39	34.24	15.80	14.77	20.65	30.29	53.62	79.45	127.84	161.53	151.96	873.26	
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16		
ETP (mm) Thorntwaite corrigé	118.14	66.34	29.45	13.43	12.85	17.56	31.20	58.45	96.14	154.68	198.69	176.28	973.20	
i serra	10.85	7.28	4.27	2.35	2.23	2.89	3.88	6.03	8.17	11.79	14.13	13.48	87.35	
á	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	
ETP(mm) L. SERRA	112.38	67.83	34.53	16.23	15.19	21.08	30.63	53.49	78.53	124.93	156.99	147.90	859.72	
ai	0.0031	-0.0081	0.0185	0.0246	0.0218	0.0110	0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144		
bi	370	351	311	308	315	307	371	389	429	429	436	414		
km	0.98	0.90	0.90	0.86	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1.00	0.97	0.97		
H=aiy+bi	370.65	349.29	307.10	302.82	310.41	304.68	370.75	391.06	433.23	434.23	440.85	417.03		
Kr	1.2													
ETP(ANRH) Penman	185.26	118.38	64.36	42.86	49.62	68.95	115.18	173.34	218.03	267.77	297.90	262.24	1863.90	
L (TURC)	1039.76													
ETR (mm) TURC														260.36

Tab. 16 : Calcul de l'E.T.P et l'E.T.R à la station de M'Chouneche.

Station de M'Chouneche															
X= 801.97 Y= 188.33 Z= 330 m															
Mois		Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jn	Jll	Aout	ANNUEL	
P(mm)		9.21	13.37	12.96	14.36	11.4	10.3	18.74	13.39	9.52	4.22	1.26	2.51	121.24	
T C°		28.5	22.3	16.2	11.9	11.6	13.7	15.7	19.8	24.6	29.2	33.5	32.8	21.65	
i		13.94	9.62	5.93	3.72	3.58	4.60	5.65	8.03	11.16	14.47	17.81	17.25	115.76	
$I = \sum i$	115.76				$I^2 = 13400$			$I^3 = 2E+06$						\	
a	2.58														
ETP (mm) Thorntwaite		163.65	86.89	38.09	17.18	16.09	24.71	35.13	63.93	111.94	174.23	248.36	235.19	1215.39	
K		1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16		
ETP (mm) Thorntwaite corrigé		168.56	84.28	32.76	14.61	14.00	21.01	36.18	69.69	135.45	210.81	305.48	272.81	1365.63	
i Serra		13.69	9.48	5.87	3.69	3.56	4.56	5.60	7.93	10.98	14.20	17.45	16.91	113.92	
á		2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	
ETP(mm) L. SERRA		134.63	76.15	36.25	17.71	16.69	24.56	33.70	57.77	95.65	142.43	195.97	186.59	1018.09	
ai		0.0031	-0.0081	-0.0185	0.0246	0.0218	0.0110	0.0012	0.0098	0.0201	0.0248	0.0230	0.0144		
bi		370	351	311	308	315	307	371	389	429	429	436	414		
km		0.98	0.90	0.90	0.86	0.96	1.22	1.11	1.17	1.02	1.00	0.97	0.97		
H=aiy+bi		370.58	349.47	307.52	303.37	310.89	304.93	370.77	390.85	432.79	433.67	440.33	416.71		
Kr	1.2														
ETP(ANRH) Penman		213.52	138.73	77.50	54.98	63.97	88.98	141.83	203.37	259.99	299.38	338.81	301.24	2182.29	
L (TURC)	1348.64														
ETR (mm) TURC															121.24

Nous remarquons, de ce fait (tab. 14;15;16), un grand écart (parfois le double) entre les valeurs de l'ETP calculée par la méthode de l'A.N.R.H et celles calculées par les autres méthodes. Cependant, nous ne pouvons faire de comparaison qu'entre la valeur de l'ETP à M'Chouneche et la valeur de l'évaporation au niveau du barrage de Foum El Kherza, où elle est mesurée par le bac Colorado. Le tableau N° 17 donne les valeurs sur une période de 17 ans. On remarque que la valeur de l'évaporation moyenne qui est fonction du pouvoir évaporant de l'atmosphère, est très proche de la valeur calculée par la formule de l'ANRH.

Tab 17 : Evaporation mensuelle du bac Colorado*0.78

MOIS	Min	Max	Moyenne
Sept.	164.03	312.31	259.27
Oct.	118.80	210.99	162.24
Nov.	88.69	151.48	116.30
Déc.	52.42	189.46	97.11
Jan.	67.39	190.40	90.40
Fév.	63.57	131.20	104.36
Mars	93.05	207.40	155.69
Avr.	122.46	306.77	200.23
Mai	165.91	363.40	259.51
Jun.	198.35	518.47	336.34
Jult.	245.93	453.10	366.52
Août	238.68	427.44	335.63
Total	1619.28	3462.42	2483.60

(Durée d'observation : 17 ans)

II.6. Bilan Hydrique de THORNTWAITE

La méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (RFU), qui peut être reprise par l'évapotranspiration. Cette quantité stockée dans le sol dépend du sol et sous sol ainsi que le climat. Variant de 0 à 200 mm ; elle est d'une moyenne de 100 mm. Pour le cas de notre étude nous optons pour une moyenne de 30 mm, sur l'ensemble du sous bassin. On admet que la satisfaction du pouvoir évaporant de l'atmosphère a la priorité sur l'écoulement (ETP = ETR). Par ailleurs l'alimentation de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement. D'où :

$$\text{Si } P > \text{ETP} \Rightarrow \text{ETR} = \text{ETP}$$

L'excédent (P - ETP), est affecté en premier lieu à la RFU. Une fois la RFU est complète, il sera affecté à l'écoulement Q.

Si $P < \text{ETP}$ \Rightarrow toute la pluie sera évaporée et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR, soit :

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

$$\text{RFU} = 0 \text{ ou } \text{RFU} + P - \text{ETP}$$

Si $RFU = 0$, la quantité ($Da = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, qui est la quantité d'eau qu'il faut apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

Pour commencer à établir le bilan, on doit tenir en compte du raisonnement suivant :

Si la RFU doit être pleine un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle on a pu la remplir, c'est-à-dire à la fin du dernier mois où $P > ETP$.

Si la RFU doit être vide un jour, ce sera à la fin de la période durant laquelle, on a pu la vider, c'est-à-dire à la fin du dernier mois où $P < ETP$.

Pour la station de Médina, partie amont du sous bassin, (tab. N° 18), Le déficit agricole a atteint la valeur de 420 mm/an, représentant ainsi 100 % des précipitations et s'étale du mois de mai jusqu'au mois d'octobre. De ce fait la réserve du sol (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de novembre pour atteindre son maximum durant la période allant du mois de décembre au mois de mars, et à partir du mois d'avril, elle commence à se vider, pour être totalement vidée, durant les mois de mai à octobre. L'écoulement (WS), se limite à la période de décembre à mars.

A la station de T'Kout, le déficit agricole a atteint la valeur de 713 mm/an (tab. N°19), représentant ainsi 273.8 % des précipitations, et dure du mois d'avril au mois de novembre. La réserve du sol (RFU), commence à se reconstituer à partir du mois de décembre au mois de mars et reste vide le reste de l'année. L'écoulement (WS), est nul durant toute l'année. Pour cette station et pour qu'il y ait un écoulement, il faut que les précipitations annuelles dépassent le seuil de 270 mm/an. Ce bilan représente une période de 38 ans. Or durant cette période, il y a eu 14 années pluvieuses, durant lesquelles le bilan était excédentaire, où s'est produit des écoulements.

En revanche, la station de M'chouneche, présente un bilan déficitaire (tab.N° 20). Avec un déficit agricole qui affiche une valeur de 1244mm/an. Ce qui représente plus de 10 fois la valeur des précipitations. Ce déficit s'étale durant toute l'année. Les réserves du sol (RFU), sont totalement à sec, l'écoulement est nul durant toute l'année.

En faisant comparaison entre les stations de Médina, T'Kout et M'Chouneche, il y a lieu de remarquer que le bilan hydrologique est déficitaire sur la partie sud-ouest du sous bassin (cette zone représente les deux tiers de la surface du B.V) alors qu'il est excédentaire dans la partie nord-est. Ces chiffres nous ont permis de caractériser le climat dans la région et de faire une comparaison entre les parties, amont, médiane et avale du sous bassin. On remarque, ainsi, que la partie amont est celle qui contribue efficacement à alimenter l'écoulement de surface ainsi que l'infiltration.

II.7. Ruissellement

Il s'agit ici de l'écoulement de surface provenant de l'excédent du bilan hydrique. Et non pas de celui provenant des sources, forages ou drainage des nappes phréatique.

- Méthode de Thorntwaite : Le bilan hydrique (Thorntwaite), donne une valeur approximative du ruissellement. En admettant que cette valeur représente la moitié de l'excédent, donc nous avons pour la station de Médina, $R = 65.81/2 = 32.9$ soit 33 mm/an. Pour les stations de T'Kout et M'Chouneche, il n'y a pas d'excédent, donc pas de ruissellement, $R = 0$

- Méthode de Tixeront-Berkaloff: Cette formule est utilisée pour le calcul du ruissellement surtout en pays arides et se définit comme suit :

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

R : ruissellement en (m)

P : précipitations annuelles en (m)

E : évapotranspiration potentielle annuelle moyenne en (m)

On obtient pour les trois stations :

Médina $R = 41$ mm/an ; T'Kout 6 mm/an et M'Chouneche $R = 0.3$ mm (valeur presque nulle).

En prenant une moyenne entre les deux méthodes, celle du bilan de Torntwaite et celle de Tixeront-Berkaloff, le ruissellement à la station de Médina est de **37 mm/an**. Ce qui représente 8.87 % des précipitations. A T'Kout il est de 3 mm/an, Alors qu'à M'Chouneche le ruissellement est nul.

- Formule de FERZI, 1979 (en Tunisie)

D'après les observations des huit bassins tunisiens, FERZI (1979)¹ avait établi une formule empirique valable en climat aride. La formule relie la lame d'eau ruisselée à la pluviométrie moyenne et la pente moyenne du bassin :

$$\overline{Lr} = 0.017 \times \overline{P} \times \sqrt{IG}$$

\overline{Lr} : lame ruisselée moyenne annuelle en mm.

\overline{P} : Pluie moyenne annuelle en mm.

\sqrt{IG} : Pente moyenne du bassin en m/Km

Dans notre cas nous avons alors $\overline{Lr} = 17$ mm/an sur l'ensemble du bassin.

¹ Cité par M. OULD BABA SY (Thèse de doctorat 2005), en pg : 104.

II.8. Infiltration

Plusieurs auteurs ont donné des valeurs du coefficient d'infiltration sur différents massifs carbonatés. Néanmoins ces valeurs présentent une grande disparité. Ce ci est dû à plusieurs paramètres, voir les conditions climatiques, ruissellement, végétation, relief....

Ce paramètre est calculé ici à partir du bilan hydrique. Cependant la valeur donnée reste à titre indicatif, car d'une part, jusqu'à ce jour aucune étude n'a entrepris des mesures de terrain pour donner des valeurs d'infiltration plus substantielles. D'autres part le bassin est constitué d'un empilement de réservoirs souterrains, et chaque réservoir a ses conditions d'affleurement particulières (aire d'affleurement, morphologie, degré de fissuration...). De ce fait on ne saura jamais la part d'infiltration qui va vers chaque réservoir, sans faire des mesures in-situ, comme les méthodes directes (alimentation de forages, débits des sources en fonction de la pluviométrie et le suivi des variations de la piézométrie...). Une partie sera développée pour ce paramètre dans les chapitres qui suivent.

III. HYDROLOGIE

L'Oued el-Abiod est le plus important cours d'eau du massif des Aurès. Durant la période 1950 à 1960, il s'est écoulé un volume d'eau de 210.5 Hm³. Il est équipé d'un barrage depuis 1950, (barrage de Foug el-Gharza) d'une capacité de 47 Hm³ et qui Fournit l'eau d'irrigation, principalement, à la palmeraie de Sidi Okba. Des jaugeages sont effectués à la station hydrométrique de M'Chouneche, installée en amont du barrage à environ 25 Km. Sa mise en service a été faite en 1971 par les services de la D.E.M.R.H. La station contrôle une superficie dépassant les 1050 Km². Le débit annuel moyen (1971/94) est de 18 Hm³ (fig.65). Ce qui donne un débit de 0.57 m³/s. La lame d'eau écoulée est de 13 mm. On remarque une certaine irrégularité, qui est due aux variations interannuelles des précipitations. (Voir tableau de la station hydrométrique de M'Chouneche en annexe)

Tab 21 : Apports moyens mensuels d'Oued el Abiod

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jill	Aout
apports moy (H m ³)	0.993	0.363	0.335	0.272	0.425	0.359	0.458	0.493	0.358	0.277	0.083	0.150
Ecart Type	1.468	0.368	0.406	0.304	1.079	0.348	0.546	0.694	0.498	0.346	0.153	0.225
Coéff. de Variance	2.02	1.4	0.94	1.18	1.47	1.05	1.1	1.49	1.28	1.43	1.78	1.04

L'apport annuel moyen est de l'ordre de 18 H m³/an, ce qui correspond à lame d'eau de 13 mm/an. Donc un coefficient d'écoulement $C = \frac{13}{261.44} = 0.05 = 5\%$.

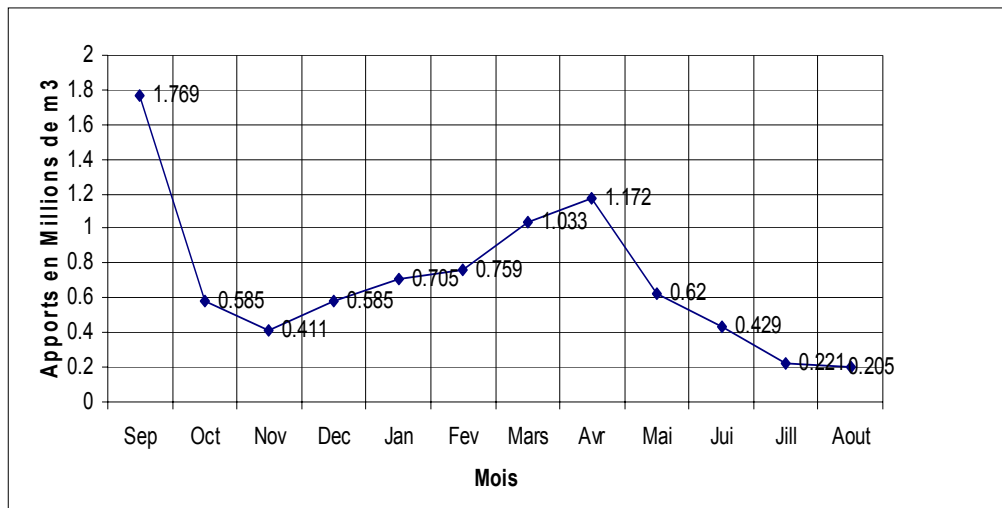


Fig. 65 : Apports mensuels moyens d'Oued El Abiod (1971/1994)
(Source : L'auteur, 2009)

D'après la figure 66, qui représente la pluviométrie au niveau de trois stations du bassin et en comparaison avec les apports d'Oued el Abiod, nous remarquons la concordance entre les précipitations et l'écoulement dans la partie amont (Station de Médina). Ce qui confirme nos conclusions précédentes, à ce que la grande partie de l'écoulement provient principalement de la partie nord.

IV. BILAN HYDROLOGIQUE

Le bilan d'eau, sur une longue période d'observation, exprime la balance entre les apports et les pertes. Il est régi par l'équation ci-dessous, où le paramètre le plus important qui reste à déterminer est l'infiltration, le reste des paramètres étant connus.

$$P = R + E + I$$

P : étant les précipitations annuelles en (mm) ;

R : le ruissellement de surface en (mm) ;

E : l'évapotranspiration réelle en (mm) ;

I : l'infiltration en (mm) ;

Pour le cas du sous bassin d'Oued el Abiod, la moyenne des précipitations déterminée plus haut, est égal à 261,44 mm/an ; le ruissellement moyen annuel est égal à 8,492 Hm³/an, ce qui correspond à une lame d'eau de 6mm/an. Pour l'évapotranspiration réelle nous avons pris la moyenne des trois stations évoquées précédemment voir Médina, T'Kout et M'Chouneche. Ce qui donne une valeur de 244,44 mm/an. L'équation serait comme suit :

$$261,44 = 6 + 244,44 + I, \text{ donc}$$

I = 11 mm/an pour l'ensemble du S.B.V. Ce qui correspond à un volume d'eau de 15.4 Hm³/an.

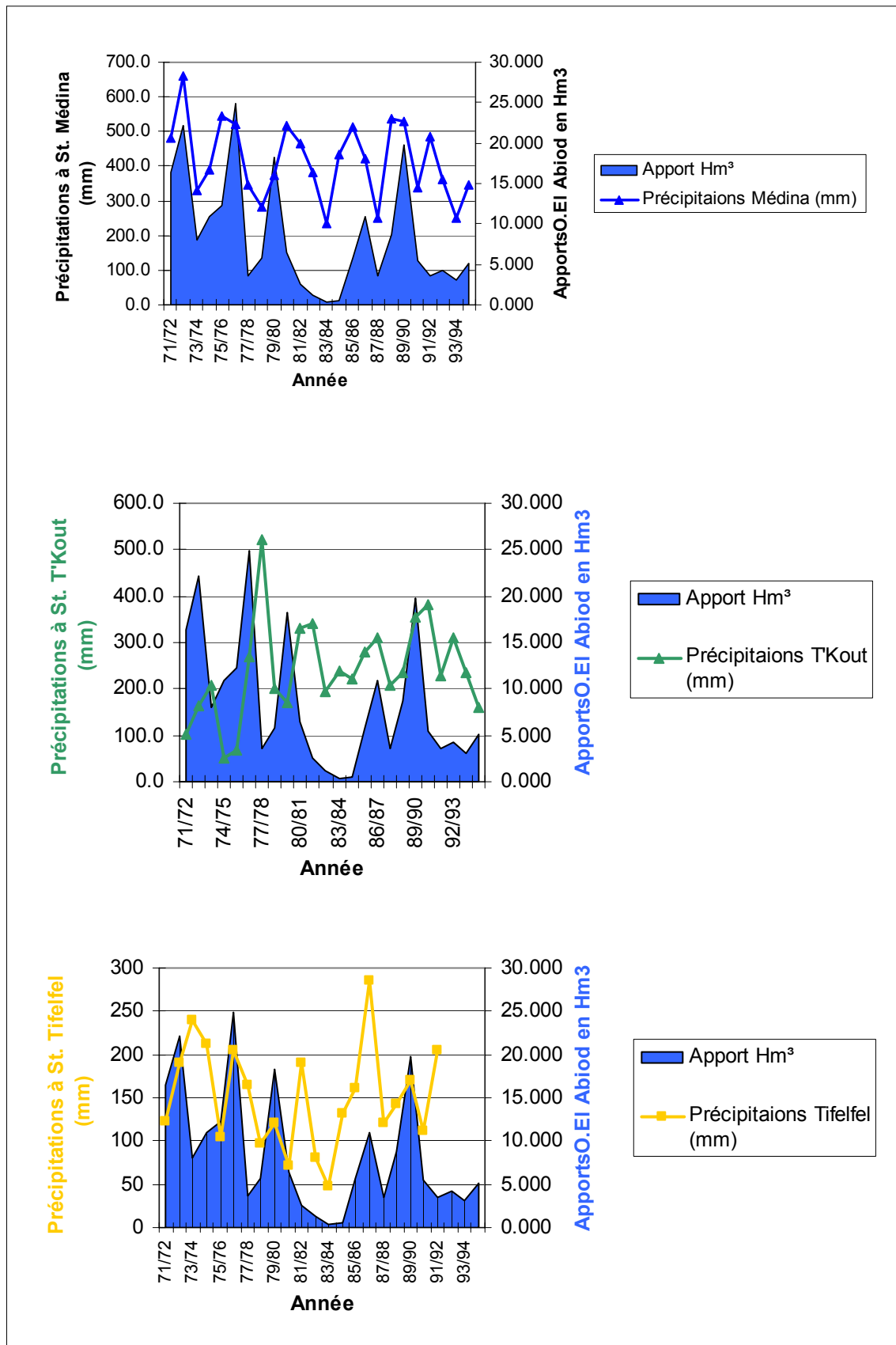


Fig. 66 : Comparaison des précipitations des stations et apports d'Oued el Abiod (Source : L'auteur, 2009)

V- CONCLUSION

La vallée d'Oued el-Abiod fait partie du grand bassin de Chott Melghir d'une superficie de 1300 Km². L'altitude moyenne est de 1170m. Son relief accentué favorise le ruissellement. Le sous bassin est équipé de six stations pluviométriques et une station hydrométrique, située en amont du barrage de Foug El Kherza. L'Oued el-Abiod forme le drain et le collecteur naturel de la vallée, et c'est le plus important dans le massif des Aurès. La faible densité du réseau hydrographique s'explique par le fait que les terrains sont assez perméables, formés principalement de roches carbonatées fissurées et souvent karstifiées.

La zone subit l'influence du climat méditerranéen (semi aride) au nord, avec des précipitations de l'ordre de 450 mm/an, et des périodes d'enneigement d'environ 25 jours par an. Sur la partie médiane, on observe un climat steppique de 200 à 300 mm de précipitations. Au sud un climat hyperaride, avec des précipitations ne dépassant pas les 200 mm. Les saisons les plus arrosées, sont le printemps (mars, avril et mai) et l'Automne (septembre, octobre et novembre) et enfin les deux tiers de la saison de l'hiver (janvier décembre). Les pluies orageuses sont assez fréquentes au mois de juin et août, mais moins abondantes. La variabilité mensuelle des précipitations est forte alors que celle annuelle est faible.

L'évapotranspiration pour la zone nord représente 84 à 92% des précipitations ; alors qu'elle est égale ou dépasse légèrement ces dernières pour les stations de T'Kout et M'Chouneche. Ce qui fait que le bilan hydrologique est déficitaire dans cette zone qui représente les deux tiers de la surface du sous bassin. Alors qu'il est excédentaire dans la partie nord-est. C'est cette dernière partie du bassin, qui participe efficacement dans l'écoulement de surface ainsi que l'infiltration. Le ruissellement est d'environ 17 mm/ an sur l'ensemble du bassin. L'infiltration est estimée à environ 11 mm/an, selon le bilan d'eau, ce qui représente un volume d'eau de 15.4 Hm³/an. Ce dernier chiffre est à prendre avec beaucoup de précautions et il reste à titre indicatif. Car le bassin est constitué d'un empilement de réservoirs souterrains et chaque réservoir a ses conditions d'affleurement particulières (aire d'affleurement, morphologie, degré de fissuration...), de ce fait on aura de la peine à déterminer la part d'infiltration qui va vers chaque réservoir.

Chapitre 4

HYDROGEOLOGIE

HYDROGEOLOGIE

Cette approche hydrogéologique a pour objectif la caractérisation des différents aquifères et la mise en valeur des potentialités hydriques. L'analyse des données hydrochimiques servira à définir la qualité des eaux souterraines et à identifier le processus de minéralisation.

Les aquifères rencontrés dans la zone d'étude sont constitués en majeure partie de roches carbonatées. Le choix de la méthodologie appropriée pour les étudier s'impose. Ce ci en faisant une classification du milieu fissuré et karstifié. La vision hydrogéologique du karst diffère de celle géomorphologique et spéléologique. Pour la première, elle a un objectif qui s'intéresse uniquement à l'aspect extérieur (exo-karst) et à l'étude des formes de surface. Quand à la spéléologie, elle s'occupe de la description des seuls vides accessibles à l'être humain. En revanche, l'objectif de l'étude hydrogéologique du karst est basé sur la détermination des caractéristiques et les propriétés de l'aquifère. Ce qui nécessite l'acquisition d'une quantité importante de données de qualité et souvent spéciales. Ce qui n'est pas compatible avec une approche appliquée soumise à des contraintes particulières tel que le coût et le temps de réalisation de telles études. Deux approches hydrogéologiques se distinguent (B.Marsaud, 1997):

- Approche structurelle
- Approche fonctionnelle

C'est ainsi qu'on peut distinguer trois types de familles de systèmes karstiques :

Type **I** : non fonctionnel à faible ou fort potentiel avec une structure peu karstique. C'est un système peu évolué où n'existe ni organisation des vides ni des écoulements. La structure et le fonctionnement sont analogues au milieu fissuré. Dans ce type, les méthodes d'études classiques sont utilisables autant que modèle descriptif et équivalent dans la mesure de leur validité en milieu fissuré.

Type **II** : fonctionnel, à fort potentiel avec une structure karstique, les vides et les écoulements sont organisés. Les méthodes classiques d'étude sont inutilisables, ni à titre descriptif ni à titre de modèle équivalent.

Type **III** : non fonctionnel, à faible potentiel hydraulique et structure karstique. Il est caractérisé par un fonctionnement à une échelle globale par les limites du système et à une échelle locale dépendant de la structure. Les lois de l'hydraulique souterraine classique, sont inutilisables, à titre de modèle descriptif et utilisable à titre de modèle équivalent.

Reste à mentionner que la caractéristique majeure qui différencie ces trois systèmes, est l'exutoire. Le type II est caractérisé par un exutoire unique situé en surface, par contre les deux autres types (I et III) ne possèdent pas un seul exutoire.

Dans ce contexte, notre étude commence par une identification du type de système aquifère afin de déterminer la démarche.

I. Méthodologie de recherche appliquée

- Identification du système karstique en utilisant une approche fonctionnelle :

- 1- Aquifère carbonaté fissuré karstique.
- 2- Système karstique au sens strict.
- 3- Système karstique contrôlé aux limites.

Pour une éventuelle démarche de recherche appliquée dans de tels milieux karstiques B. Marsaud (1997), propose la méthodologie suivante :

Tout d'abord on commence par identifier le système karstique en utilisant une approche fonctionnelle, car c'est la plus retenue pour tous les types de karsts.

I.1. Phase d'identification

- Bilan hydrologique : lorsque le bilan n'est pas vérifié ça implique que : l'impluvium a une superficie différente de celle supposée ou qu'il y a des paramètres faux ou qu'il est de type fluctuant ou que le bilan varie selon l'état du système karstique.

- Analyse des débits classés.

- Analyse des courbes de récession : permet d'appréhender le fonctionnement de la zone d'infiltration et évaluer l'importance des réserves.

- Analyse corrélatoire et spectrale : donne plus de détail sur le fonctionnement du système.

- Analyse du fonctionnement en terme de transfère de masse :

a. Les traçages quantitatifs.

b. L'hydrogéochimie : temps de séjour des eaux et organisation du karst noyé.

Pour les systèmes ne possédant pas d'exutoire individualisé en surface (formation située en profondeur sous une couverture) comme c'est le cas de la zone d'étude, l'approche fonctionnelle ne présente pas d'éléments de réponse.

I.2. Phase de démonstration

Dans cette phase on étudie le comportement de la zone noyée sous l'influence d'une sollicitation artificielle telle que les essais de pompage effectués sur des exutoires, regards naturels ou des forages, dans le but d'une évaluation des ressources exploitables.

Dans notre cas, il s'agit d'un aquifère, carbonaté et fissuré. Le modèle structural est apte pour représenter le milieu. De ce fait, on suit la méthodologie classique du milieu fissuré

I.3. Phase d'évaluation

Cette phase abouti à la détermination du mode d'exploitation de l'aquifère et sa vulnérabilité en prenant en considération toutes les contraintes locales telles que le mode d'exploitation de l'aquifère et l'environnement industriel et agricole et l'évolution de la demande en eau dans le temps.

II. IDENTIFICATION DES DIFFERENTES UNITES AQUIFERES

Il ressort de l'étude géologique que La région d'Oued el-Abiod présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Jurassique au Quaternaire, comportant ainsi plusieurs aquifères, empilés les uns sur les autres. Une tectonique typique à l'atlas saharien, ayant fait naître des plis coffrés et larges de dizaines de kilomètres, souvent avec des flancs asymétriques et redressés. La région d'étude présente des aquifères potentiels, où on identifie de bas en haut (tab. 22).

II.1. Nappe du Jurassique

Présentée par un niveau carbonaté d'âge Kimméridgien inférieur, d'une épaisseur de 250 à 300 m. Ce niveau affleure dans la partie nord-ouest du sous bassin au niveau de Dj. el Azreg sur une superficie de 70 Km². la partie sud-est de l'affleurement fait partie du sous bassin versant d'Oued el-Abiod. Cet aquifère est mal connu dans la région, car il n'a jamais été exploité, vu son éloignement des centres urbains et son inaccessibilité d'une part, d'autre part, il se plonge en profondeur, au niveau de la vallée de Arris et Ichemeoul et encore plus au niveau de la vallée de Rhassira.

Ces calcaires dont la karstification est peu développée, donnent naissance à des sources de faibles débits. Ils se situent à une altitude d'environ 2000 m, ce qui fait qu'ils reçoivent une pluviométrie conséquente.

II.2. Aquifère du Crétacé inférieur

C'est un aquifère multicouches d'une extension considérable. Il dépasse largement les limites du sous bassin. Sa puissance totale est d'environ 1000 à 1500 m. il est constitué des calcaires gréseux et gréseux dolomitique de l'Hauterivien (450 m), surmonté par le Barrémien (250 à 400 m). Ce dernier est constitué de grès, graviers, calcaires gréseux et Argile rouge. L'ensemble est suivi de l'Aptien (250 à 400 m d'épaisseur) carbonaté à la base et gréseux au sommet. Enfin vient au sommet l'Albien avec une puissance qui va de 190 à 300m, constitué de grès et marnes et calcaires. Le substratum de cet aquifère multicouches est présenté par les marnes blanches du Valanginien, alors que les marnes du Cénomaniens constituent son toit.

Dans la partie N-E du sous bassin, les forages des zones d'Arris et d'Ichmoul, exploitent les calcaires de l'Albien, qui remontent à la surface à travers les affleurements. Ces calcaires se situent à des profondeurs allant de 150 à 800 m. L'Albien, présente des potentialités faibles du point de vue débit et qualité des eaux. L'aquifère est affecté d'un ensemble de failles, donnant naissance à des horsts et des grabens. Dans cette zone la nappe est captive au centre de la plaine sous les puissants dépôts marno-calcaires du Cénomaniens et libre en bordure de la cuvette. L'anticlinal dans cette zone se trouve pris en étau entre deux accidents tectoniques orientés N-W S-E. Ainsi il est séparé du reste de l'anticlinal de Chélia. De ce fait l'extension de l'aquifère dans cette zone est limitée. Ce qui se répercute sur le volume des réserves. Les forages de Médina1 et Ichemoul 2, le démontrent. Au début de la réalisation de ces forages, respectivement en 1980 et 1992, ils ont donné des débits importants de l'ordre de 60 l/s et au bout de quelques années d'exploitation, ils se sont trouvés asséchés. Les failles qui présentent des limites étanches, empêchent l'alimentation du réservoir, alors qu'à l'extérieur de la cuvette plusieurs sources jalonnent cette limite (fig.67).

La région d'Arris, représente une étroite vallée creusée dans les marnes du Cénomaniens, entre deux reliefs. Au N-W Dj el Azreg et au S-E Dj Zellatou. Commencant depuis le point de départ de Oued el-Abiod à Chélia jusqu'aux gorges de Tighanimine, soit une distance d'environ 35 Km. De nombreux accidents transversaux affectent cette vallée ;

où le toit de l'Albien se situe à des profondeurs qui vont de 80 à 700 m. L'aquifère est libre sur la rive droite de l'oued, autour des affleurements et captif à partir du centre de la vallée vers le sud. La crête sud de la vallée est constituée de roches carbonatées du Turonien.

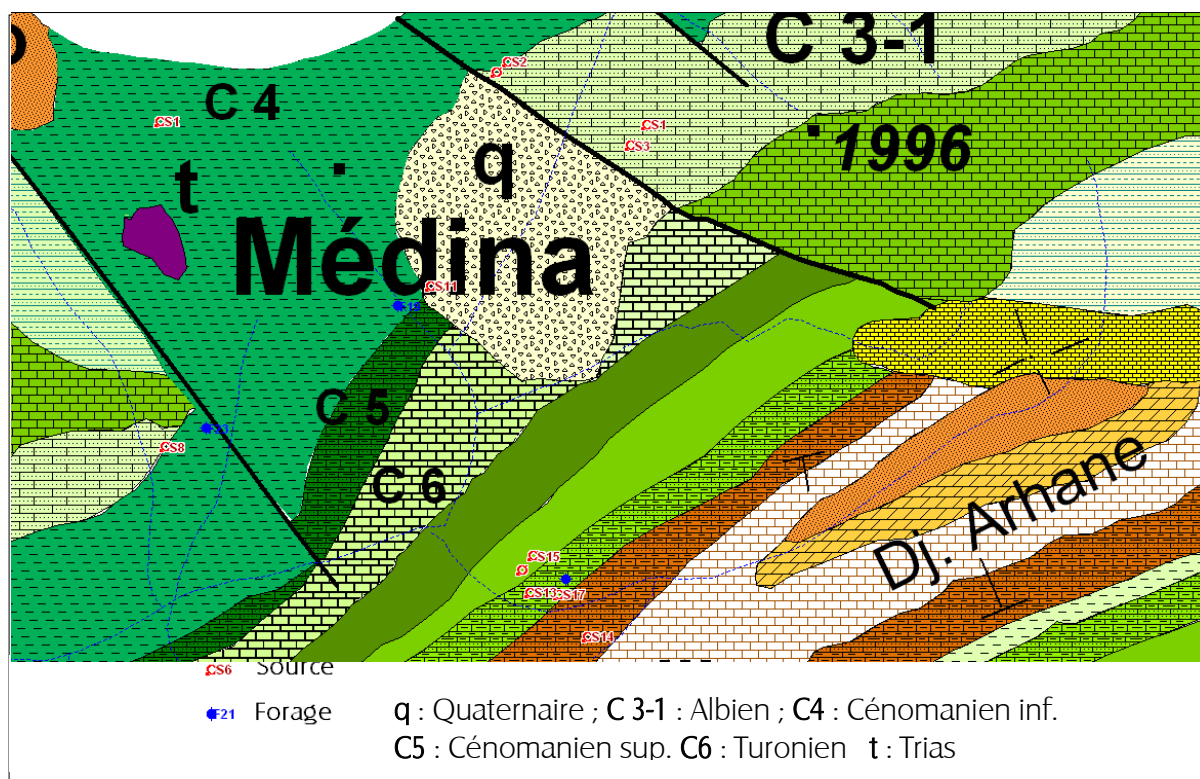


Fig. 67 : Structure en graben affectant l'aquifère de l'Albien dans la région de Ichmoul - Médina. (Source : L'auteur, 2009)

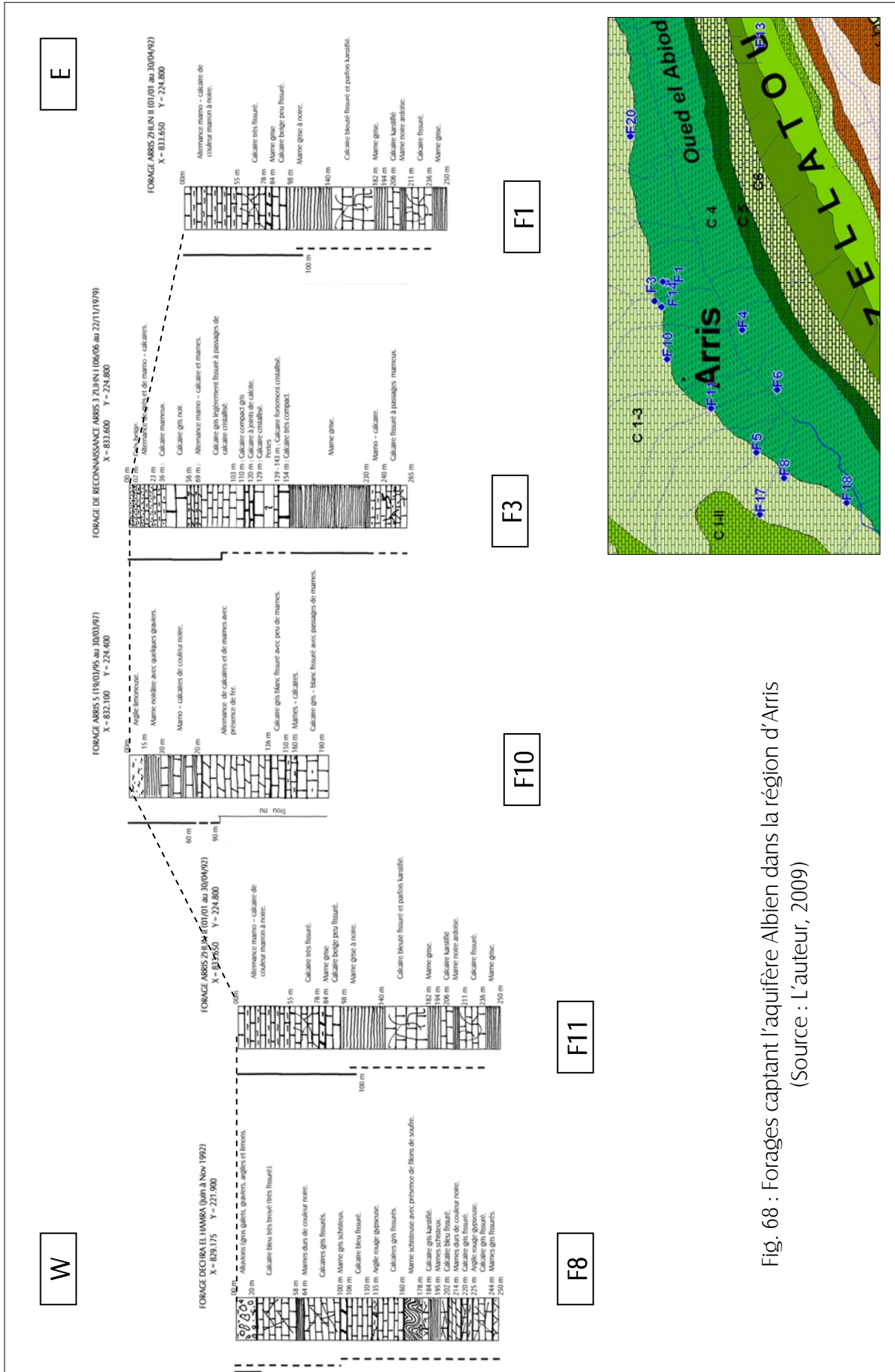
II.3. Nappe du Turonien

Elle est constituée, d'environ, 300 m de calcaires et de niveaux marneux. C'est le niveau qui a la plus grande aire d'affleurement dans la région des Aurès. Son toit est constitué par les marnes du Sénonien inférieur et le substratum par les marnes du Cénomaniens.

Au sud d'Ichemoul le Turonien affleure en surface. Il est exploité à travers les forages F21 et F22, sur une profondeur de 200 m, avec des débits allant de 10 à 20 l/s. Alors qu'à la région d'Arris, ces couches se trouvent perchées en hauteur, sur les crêtes de Dj Zellatou. Ce qui rend leur exploitation difficile.

II.4. Nappe du Maastrichtien

Elle est formée d'une série carbonatée d'une épaisseur de 200 à 350 m. il s'agit de calcaires massifs, fissurés, parfois karstifiés, souvent productifs d'une eau de bonne qualité. Cette formation se termine par des bancs de calcaires bréchoïdes (Danien), d'une cinquantaine de mètres, formant une continuité avec l'aquifère maastrichtien. Il est rarement exploitée dans la partie nord du synclinal, vu son plongement en profondeur ; comme le prouve le forage de Rhassira ayant atteint la profondeur de 750 m. En revanche au sud-ouest, au niveau du flanc sud du synclinal (Droh), il est exploitée par plusieurs forages à des profondeurs de 400 m.



II.5. Nappe de l'Eocène

Elle est constituée de calcaires à silex, d'âge Yprésien-Lutétien inférieur. C'est l'aquifère le plus exploité dans la région. Par endroits, les forages sont jaillissants et donnent des débits qui peuvent atteindre les 90 l/s. Cet aquifère est séparé des calcaires du Maastrichtien et du Paléocène par une formation de marnes et calcaires marneux à rognons de silex, d'âge Landinien, faisant environs une trentaine de mètres. Dans la partie nord Orientale, à Dj. Zellatou, le Paléocène et le Lutétien deviennent plus marneux, alors que le Landinien devient calcareux. Selon les sondages électriques, l'aquifère atteint une épaisseur maximum de 340 m (F4) à El Ksar, et un minimum au nord du synclinal à la région de Chennaoura de 80 m. La profondeur du toit varie de 20 m à 500 m dans la région de T'Kout. Dans la région centrale du synclinal (Rhoufi et Rhassira) sa profondeur varie de 30 à 220 m et son épaisseur de 150 à 220m. Plus au Sud à la région de Kef Arous, l'aquifère se trouve enfoui sous les dépôts de l'Oligo - Miocène à une profondeur de 300 m.

II.6. Nappe du Miocène

Le Miocène inférieur est formé de dépôts marins détritiques et grossiers (poudingues, sables et grès). Le Miocène supérieur est séparé du miocène inférieur par des dépôts argileux, sur lesquels viennent des dépôts de sables et grès brunâtres. L'ensemble se termine par des poudingues rouges, d'âge Pliocène. Les dépôts du Lutétien supérieur forment le substratum de l'aquifère miocène. Il affleure dans toute la partie sud du synclinal. D'une épaisseur très variable du fait qu'il s'agit de dépôts transgressifs. Il fait une vingtaine de mètre au nord du synclinal, 220 m à El Ksar. Au sud, aux régions de Rhoufi et Kef Larous son épaisseur est d'environs 100 m.

Ces couches forment un aquifère multicouches en nappe libre, souvent en continuité avec les alluvions du Quaternaire. Exploité surtout à Tifelfel et à Tkout par les agriculteurs à travers des puits.

II.7. Nappe alluvionnaire du Quaternaire

Elle est constituée par les terrasses d'alluvions des oueds, principalement Oued el-Abiod, d'une épaisseur moyenne d'environs 5 mètres. Elle est exploitée dans la région d'Arris principalement, où elle atteint une puissance de 20 m. Le forage SLNB, donne un débit de 25 l/s. Comme il existe quelques puits aux régions de T'Kout et Tifelfel où les dépôts alluvionnaires atteignent leur maximum d'extension latérale. Les eaux souterraines dépendent des précipitations et par endroits sont affectées par la pollution dues aux rejets des eaux urbaines.

Compte tenu des disponibilités en temps et en moyens et l'importance des données à récolter, il est pratiquement impossible d'aborder en détail l'étude de ces différentes unités aquifères de la région, et par conséquent la suite de ce chapitre sera limitée essentiellement à la nappe de l'Eocène et du Maastrichtien dont les limites se situent à l'intérieur du sous bassin versant. Les nappes les plus exploitées dans la vallée d'Oued el-Abiod, sont l'Eocène et le Maastrichtien, qui feront l'objet d'étude dans ce chapitre. Pour le reste des nappes, nous traiterons le côté qualité des eaux dans le chapitre hydrochimie.

Tab. 22 : Unités hydrogéologiques de la région d'Oued el-Abiod.

Unités stratigraphiques	Unités lithologiques	Epaisseur moyenne	Unités hydrogéologiques
Quaternaire	Alluvions, cailloutis, éboulis...	5m	Nappe phréatique
Pliocène	Poudingues	200 à 300 m	
Miocène supérieur	Grès, sables, marnes		
Miocène inférieur	Calcaires, poudingues	20 à 30 m	
Oligocène	Marnes, grès, conglomérats, gypses.	200 m	imperméable
Lutétien supérieur	Marnes, gypses, poudingues	100 m	
Lutétien inférieur	Calcaires massifs		Nappe des calcaires de l'Eocène et Paléocène
Landinien	Calcaire marneux et marnes	30 à 50 m	
Paléocène	Calcaires et marnes	20 à 60 m	
Danien	Marnes	50 à 120 m	Semi perméable
Maastrichtien	Calcaires massifs	200 à 300 m	Nappe du maastrichtien
Campanien	Marnes	450 m	imperméable
Sénonien inférieur	Marnes	1000 m	
Turonien	Calcaires	100 à 300 m	Nappe du Turronien
Cénomaniens	Marno-calcaires	1000 m	imperméable
Albien	Calcaires gréseux et marnes	190 à 300 m	Nappe des grès et calcaires du Crétacé inférieur
Aptien	Calcaires et grès	250 à 400 m	
Barrémien	Grès	250 à 400 m	
Hauterivien	Calcaires gréseux et dolomies	450 m	
Valanginien	Argiles	200 m	Imperméable
Portlandien et Bériassien	Calcaire, dolomie et marnes	250 à 300 m	
Kimméridgien sup.	Marnes	400 m	
Kimméridgien inf.	Calcaires, conglomérats	250 à 300 m	Nappe du Jurassique

III. Géométrie des réservoirs (Synclinal de Rhassira)

Le synclinal de Rhassira est le plus important de l'Aurès. Il est allongé sur 80 Km, selon une direction NE -SW. Avec une largeur de 15 Km qui se rétrécit en allant vers le Nord pour atteindre 1.5 à 2 Km (fig.69). Ce qui se traduit par un léger soulèvement de l'axe du synclinal dans la partie Nord et un abaissement de son extrémité nord. L'érosion lui a donné par la suite sa morphologie actuelle (fig.71). L'extrémité Nord du synclinal est marquée par une faille transversale, qui met en contact les formations de l'Eocène et du Maastrichtien avec les formations du Crétacé inférieur (Albien, Aptien et Barrémien). Le flanc nord du synclinal est plus redressé et surélevé par rapport au flanc sud. Le centre du synclinal présente une structure tabulaire, donnant vers le flanc sud, qui a un pendage faible.

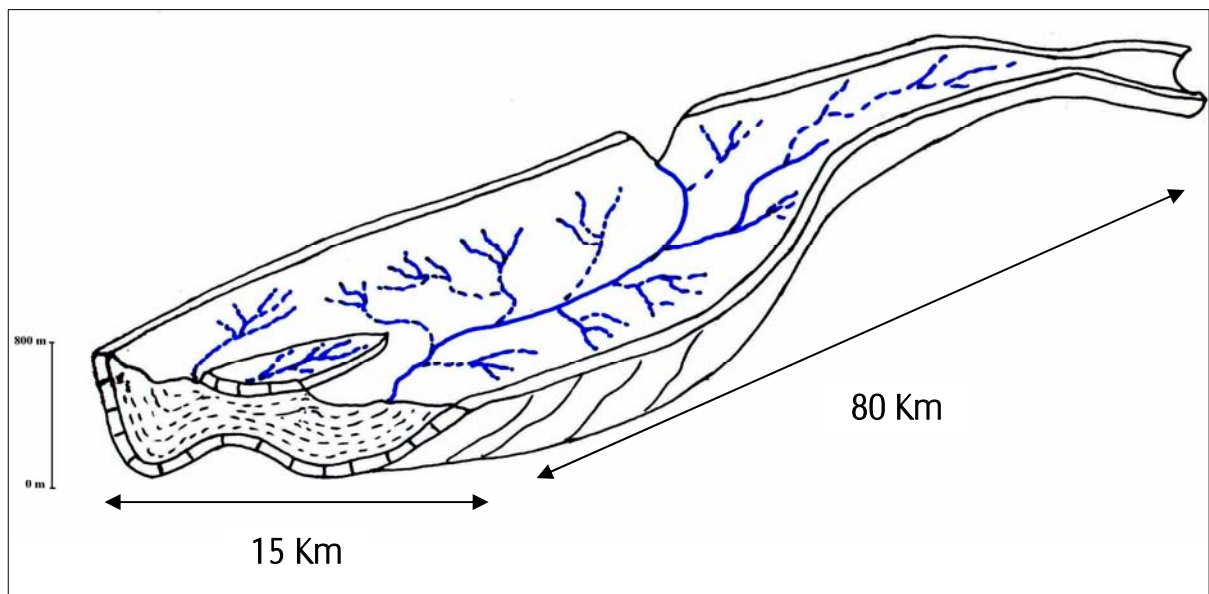


Fig.69 : Bloc diagramme du synclinal de Rhassira ; schématisant l'aquifère des calcaires du Landinien-Lutétien inférieur (Source : L'auteur, 2009)

Dans la partie sud, le synclinal est marqué par une faille transversale à la région de M'Chouneche, affectant le flanc Sud, d'un rejet important de plusieurs dizaines de mètres. Au nord de cet accident les couches du Paléocène affleurent en surface sur presque toute la largeur du synclinal marquant la limite sud de l'aquifère des calcaires du Landénien-Yprésien. C'est l'explication de la discontinuité hydraulique de l'aquifère entre la partie nord et la partie sud. Au nord les forages sont, en majorité, jaillissants, alors qu'en aval les forages sont exploités par pompage. Les coupes géoélectriques (fig. 70) donnent l'évolution de l'allure du synclinal le long de son axe du nord-est vers le sud-ouest.

La cuvette d'el-Outaya à l'ouest, est séparée du synclinal de Rhassira, par un accident tectonique majeur, de direction NW-SE, sur plusieurs dizaines de kilomètres. Le long de cet accident émergent plusieurs sources chaudes, telles que Ain Gousskov, Ain Slat et Hammam Sidi el-Hadj ; ainsi que deux diapirs, celui d'el-Outaya et de Mdoukal.

L'aquifère du Maastrichtien, dans la zone de Droh, au sud de M'Chouneche est exploité avec des débits qui vont de 25 à 60 l/s.

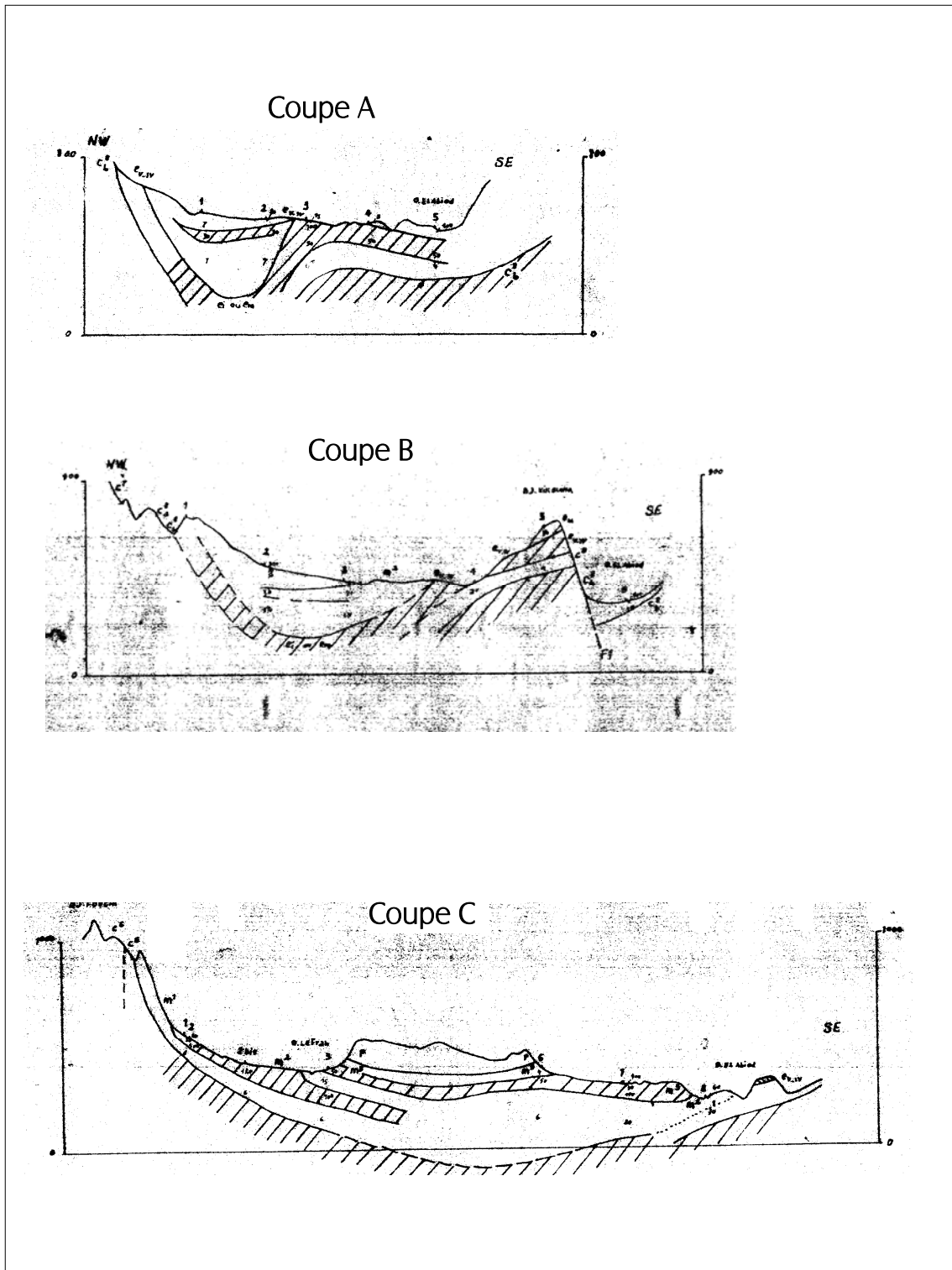
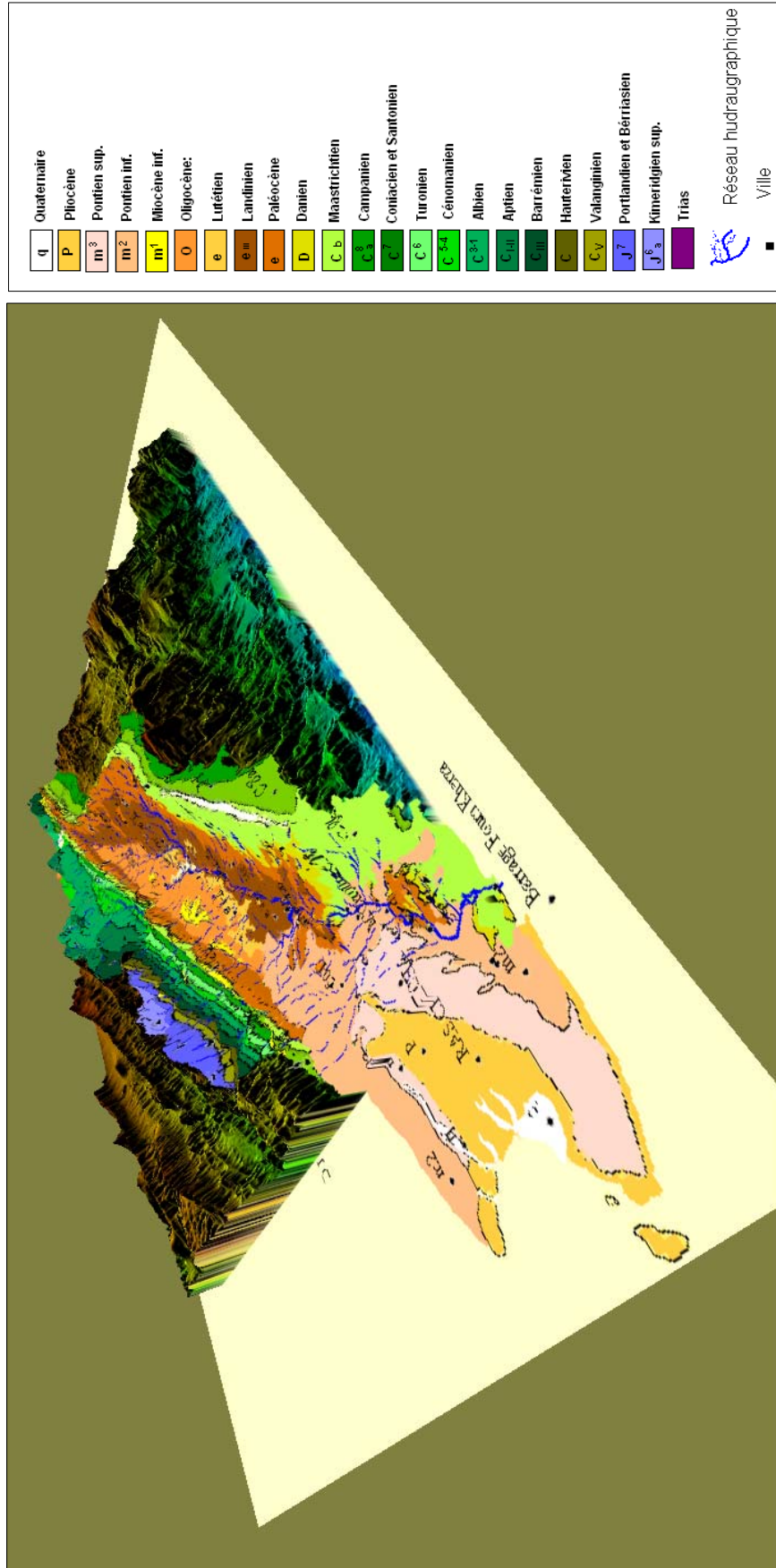


Fig.70 : Coupes trnsversales le long du synclinal de Rassira (réalisées par la C.G.G).
 A : au nord du synclinal. B : passant par la faille de M'Chouneche.
 C : au sud du synclinal passant par Ras Chicha.



Vue orientée du sud-ouest vers le nord-est de la vallée.

Fig. 71 : Carte géologique de la vallée d'Oued El Abiod en trois dimensions (3D). (Source : L'auteur, 2009)

Dans la région de T'Kout les forages situés sur le flanc sud du synclinal ne dépassent pas les 200 m, et captent une partie du Lutétien inférieur. Car la plus grande partie des calcaires du Lutétien inférieur est érodée et c'est pour cette raison qu'ils donnent des débits faibles. C'est le cas à titre d'exemple, des forages F31, F32, F33 (fig.74). Par ailleurs, les forages F29 et F30 situés sur la faille de T'Kout, ont atteint la profondeur de 400 m. Le F29 (Ain El Bir) capte les conglomérats du Lutétien supérieur sans jamais atteindre les calcaires du Landinien. Le F30 (Elma), capte les calcaires du Paléocène (Fig.75).

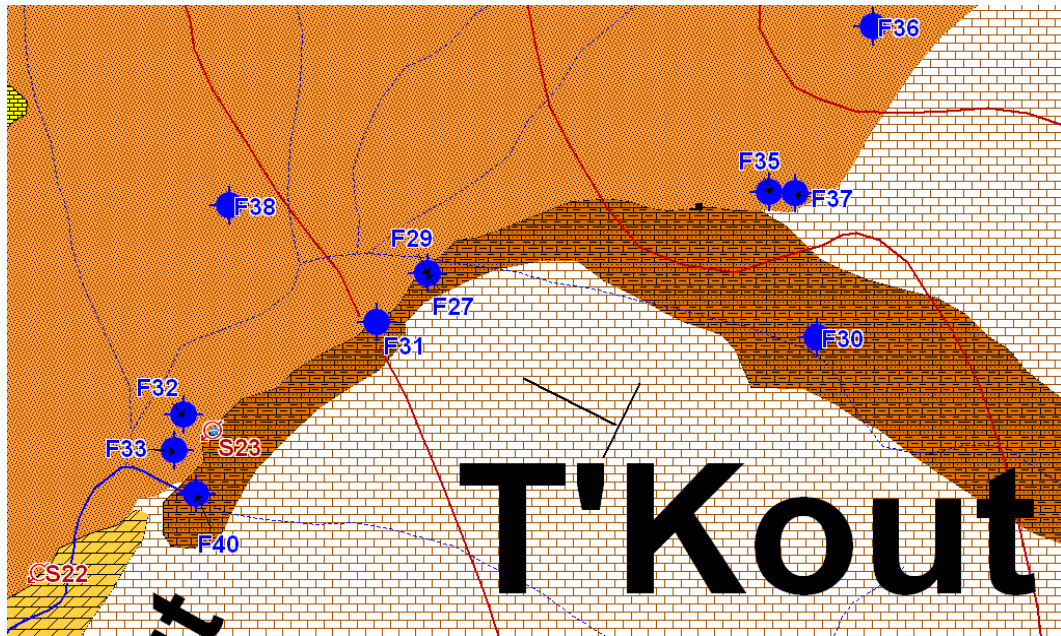


Fig. 72 : Positionnement des forages de la région de T'Kout. (Source : L'auteur, 2009)

Dans la région de Tifelfel, les calcaires de l'Eocène inférieur se trouvent à des profondeurs de 100 à 150 m, alors qu'à Rhassira ils se situent à des profondeurs qui peuvent atteindre les 500 m. Les forages F45, F51, F42 et F46 se positionnent dans une direction nord-sud (fig.73) et schématisent la coupe de la (fig.76).

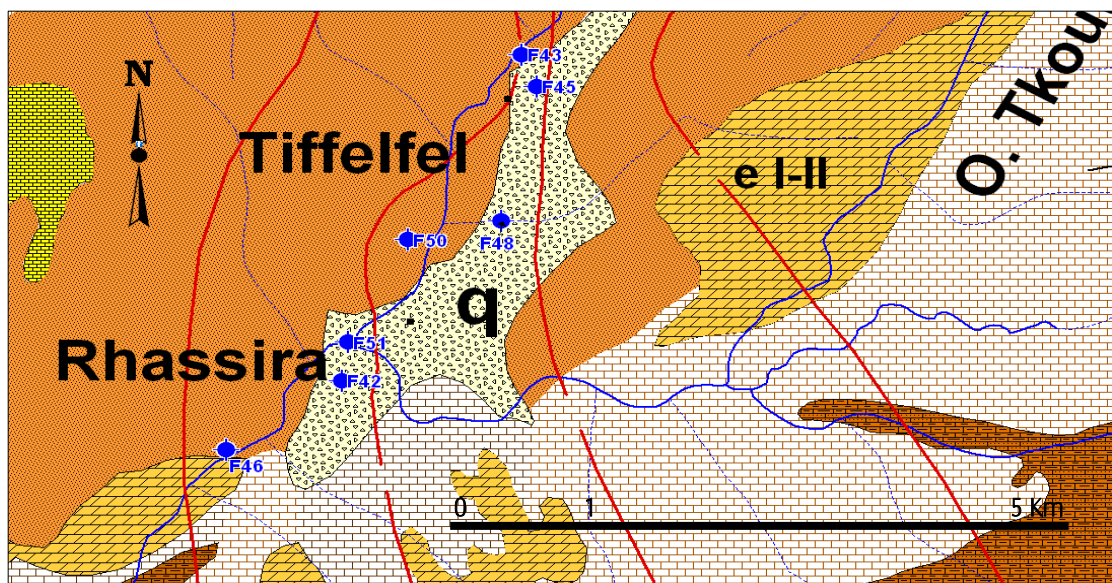


Fig. 73 : Forages à la région de Rhassira et Tifelfel. (Source : L'auteur, 2009)

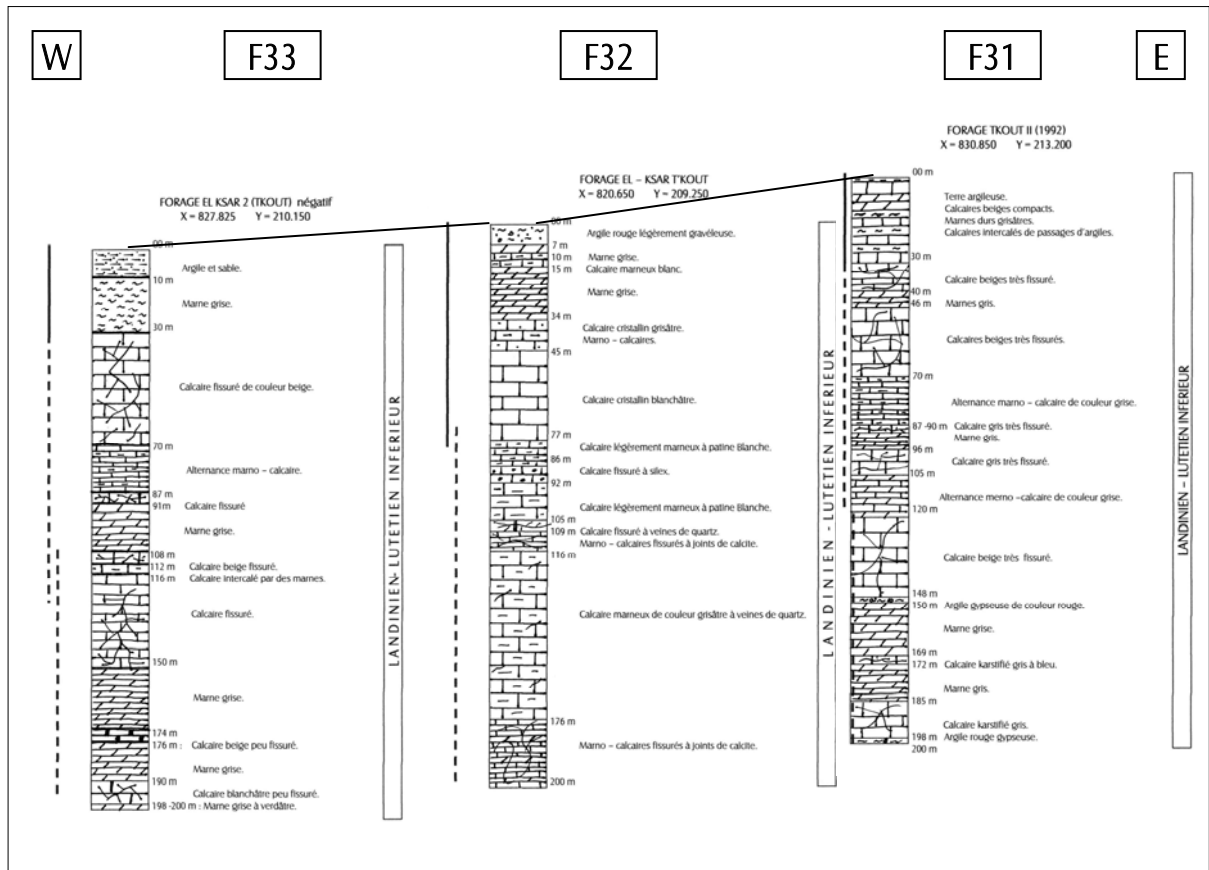


Fig. 74 : Forage captant l'aquifère du Landinien-Lutétien inférieur dans la région de T'Kout. (Source : L'auteur. 2009)

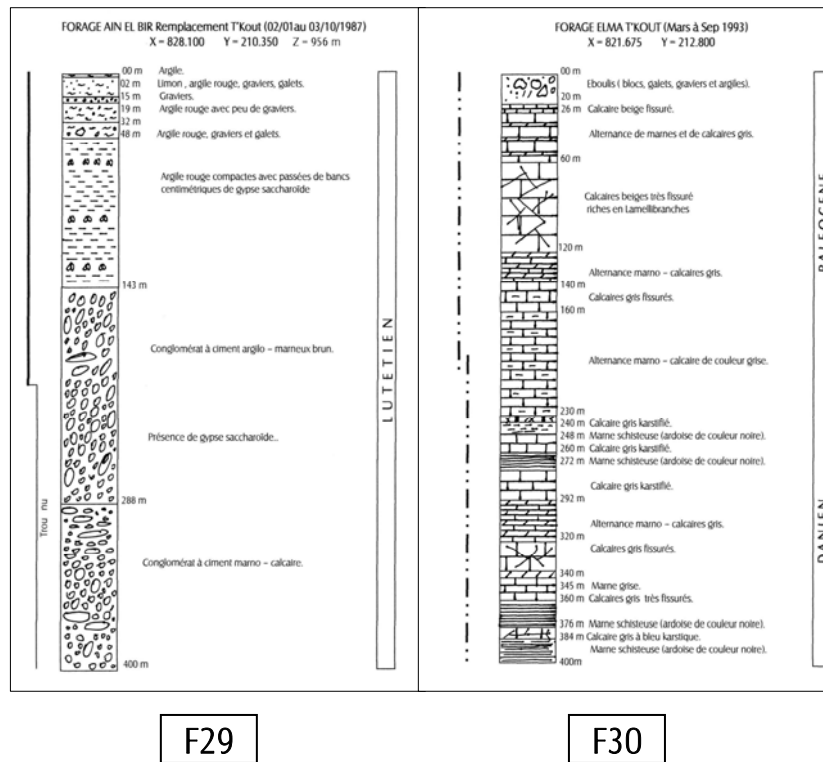


Fig. 75 : Forages à T'Kout. (Source : L'auteur, 2009)

F29 : capte les conglomérats du Lutétien. F30 : capte les calcaires du Paléocène et Danien.

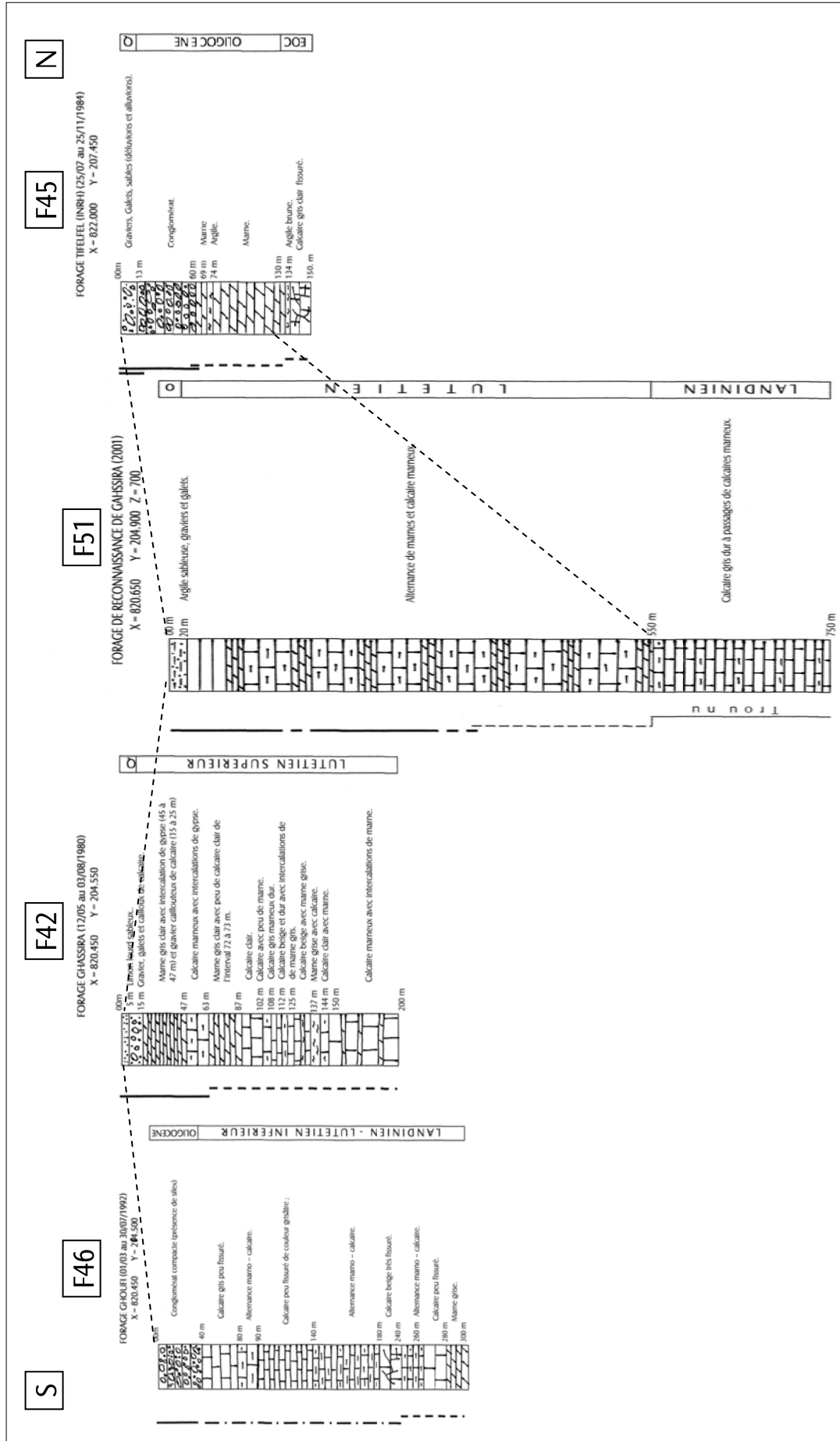


Fig. 76 : Coupe corrélatrice entre forages à la région de Rhassira et Tifefel. (Source : L'auteur, 2009)

Dans la région de Droh, au sud du synclinal, les forages avec des profondeurs de 400 m atteignent les calcaires du Maastrichtien en passant par des niveaux appartenant au Miocène, Eocène et Paléocène (fig.76). Ces niveaux se trouvent en grande partie érodés. Ces forages captent un mélange d'eau provenant des calcaires de l'Eocène inférieur, Paléocène et Maastrichtien. Ils donnent des débits importants allant de 25 à 90 l/s.

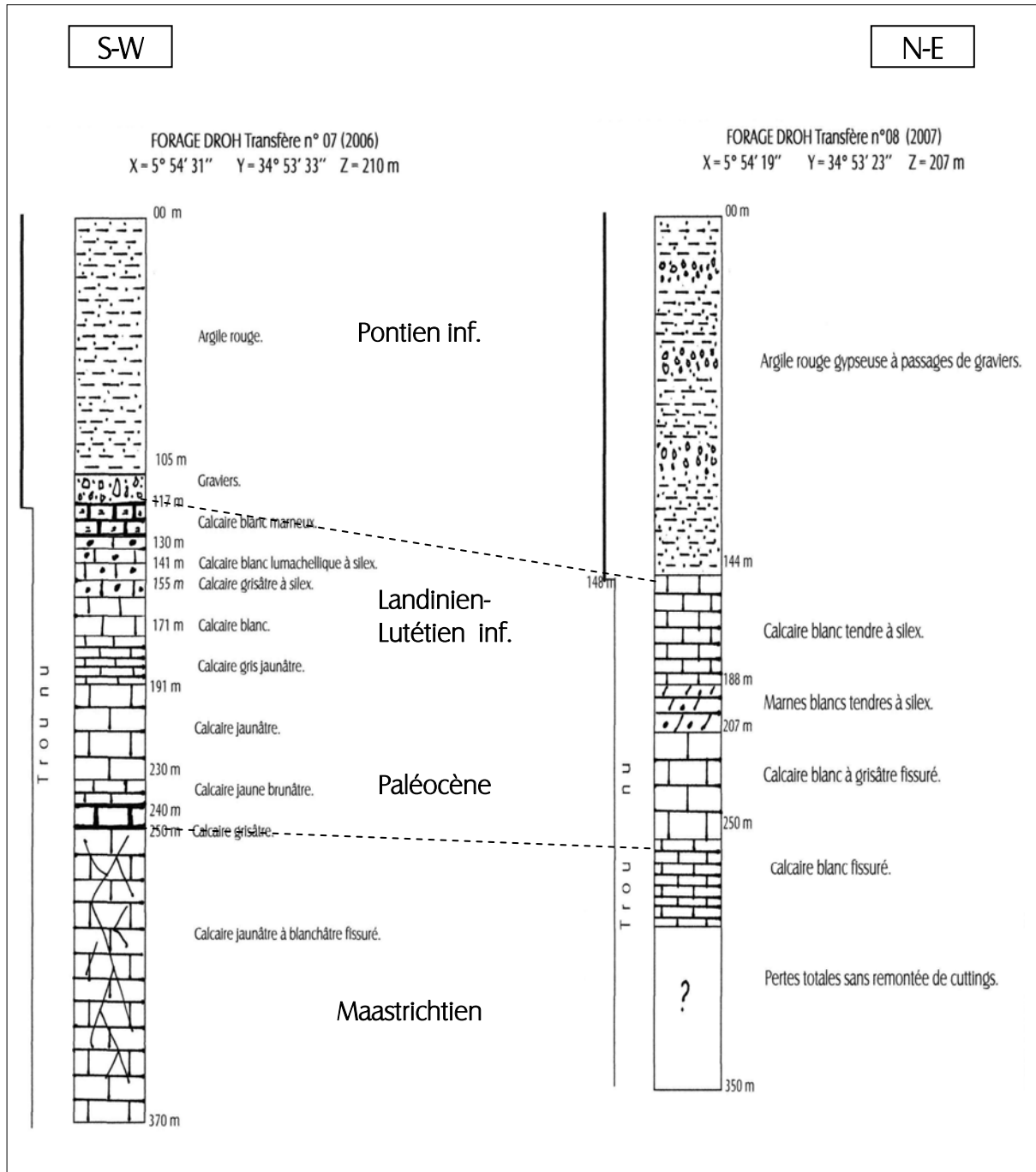


Fig. 77 : Forages à la région de Droh. (Source : L'auteur, 2009)

IV. HYDRODYNAMIQUE

L'objectif de l'étude hydrogéologique est basé sur la détermination des caractéristiques et des propriétés de l'aquifère, où deux approches hydrogéologiques se distinguent :

- approche structurelle : assimilant le milieu karstique au milieu fissuré surtout à une échelle de grandeur importante et où les méthodes d'études restent applicables.
- Approche fonctionnelle qui s'oppose fondamentalement à la précédente. Le domaine karstique présente une hétérogénéité qui persiste quelque soit l'échelle d'observation, interdisant ainsi l'emploi de méthodes d'études classiques.

L'approche thermodynamique du processus de karstification proposée par MANGIN (1975), fait la conciliation entre les deux approches précédentes, dégagant ainsi deux caractéristiques fondamentales du domaine karstique :

- 1- Evolution : le processus de karstification est un phénomène évolutif, les vides évoluent à partir d'une porosité primaire ou secondaire pour aboutir à une structure de drainage organisée.
- 2- Fonctionnalité : le comportement karstique résulte d'une structure de drainage organisée et d'un potentiel hydraulique important.

De ce fait, les méthodes d'étude en matière d'essais de pompage, dépendent du type de système.

Pour le type I, les schémas utilisables sont ceux du milieu fissuré au titre de modèle descriptif et des schémas du milieu poreux au titre de modèle équivalent. Par contre pour les types II et III les schémas des milieux poreux et fissurés ne sont pas utilisables.

Concernant les procédés de traçage, les schémas du milieu fissuré sont utilisables pour le type I. pour les types II et III les schémas du milieu poreux ou fissuré sont inadaptés.

Dans notre cas d'étude, le système est plus proche du type I. On va, donc, utiliser les méthodes classiques de l'étude de l'écoulement souterrain.

IV.1. Piézométrie

Du fait de la forte hétérogénéité, les niveaux relevés dans une nappe karstique ne sont pas représentatifs de l'ensemble de l'aquifère. Ces cartes restent, cependant, valables à l'échelle régionale. Les mesures sont, parfois, effectuées en période de pompage, traduisant par la suite, une distribution des charges en régime influencé. Il faut signaler, en plus, la difficulté d'effectuer des mesures au niveau des forages jaillissants, non équipés en manomètres. La forme allongée du synclinal de Rhassira ainsi que les axes routiers ont conditionné l'implantation des forages suivant l'axe de ce synclinal et réduisant, ainsi, la représentativité spatiale de la piézométrie. De ce fait, les cartes piézométriques (fig. 78 et 79), établies en 2008, sont à prendre avec certaines réserves.

Pour l'établissement de la piézométrie de l'aquifère des calcaires du Landinien-Lutétien inférieur, (25) vingt cinq forages ont été retenus (Tab.23). Ils se positionnent le long du synclinal de Rhassira. La carte obtenue (fig.78), montre un écoulement des eaux souterraines qui se fait du nord-est vers le sud-ouest avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.02. On distingue sur la carte trois zones de dépression, indiquant des zones de captage intensive, telles que les zones de T'Kout, Tifelfel Rhassira et Baniane.

Tab.23 : Piézométrie des forages captant l'Eocène.

N	Non de Forage	x UTM	yUTM	Z(m)	Profd (m)	Débit exp (L/s)	Niveau stat (m)	Niveau dyn (m)	N.P (m)
F25	Touchent	276659.2	3906482.2	1400	232	5	20	120	1380
F26	Taghit 1	249208.1	3892750.5	856.69	265	8	30.6	60	826.09
F28	Chenaoura 1	256860.4	3893762.9	972.48	181	2	50	70	922.48
F29	Ain El Bir 1 Rempl	253891.2	3891213.5	956	400	4	49	80	907
F30	T'Kout 3 (ELMA)	255924.1	3890795	1051	400	8	134	155	917
F31	Ain El Bir 2	253626	3890962	940	200	3	41.5	80	898.5
F34	Chenaoura 2	258893	3894323.9	1104	400	40	0	JLL	1104
F35	Vieux Tkout	255760.6	3891608.6	1082	250	3	90	120	992
F36	Tidebaghine	256182.7	3892147.9	1050	126	20	0	90	1050
F37	Association Chaabani	255653.9	3891580.4	1091.1	353	20	160		931.1
F42	Ghassira 1 (Ouled Abed)	245872.8	3885798.4	750	200	5	7	60	743
F43	Tifelfel AEP	247814.3	3889056.4	834.37			-2		836.37
F44	Kef Laarous	239182	3881961	688.00	230		150	165	538
F46	Rhoufi 1 (Tabaalit)	245011.6	3884899.1	718.91	300	2	35	120	683.91
F50	Ouled Idir (Privé)	246756.2	3887332.8	775.98	270	8	1.9	93	774.08
F51	Ghassira 2	246208.7	3886358.4	735.20	750	5	0	200	735.2
F52	Ghoufi 2	242473.5	3884027.9	758.00	350	10	117	30	641
F53	Tifelfel AEP remplacement	248919.3	3891538.6	688.00			-2		690
F68	O.El-Atrous	223180	3872151.7	400	250	8	52		348
F70	Guergueb.S 1	224160.1	3874312.1	313			65.25		247.75
F71	GCA 1	228146.1	3879405.2	513	500		53.4		459.6
F77	Dissa (Forêts)	228306.6	3877981.5	520	350	16	35	90	485
F78	Tazoughart	230850.2	3876456.3	466	350	15	-4	97	470
F79	Piézomètre Tazoughart	230953.5	3876514.9	464			-4		468
F80	Dissa	229724.4	3879574.1	523			68.7		454.3

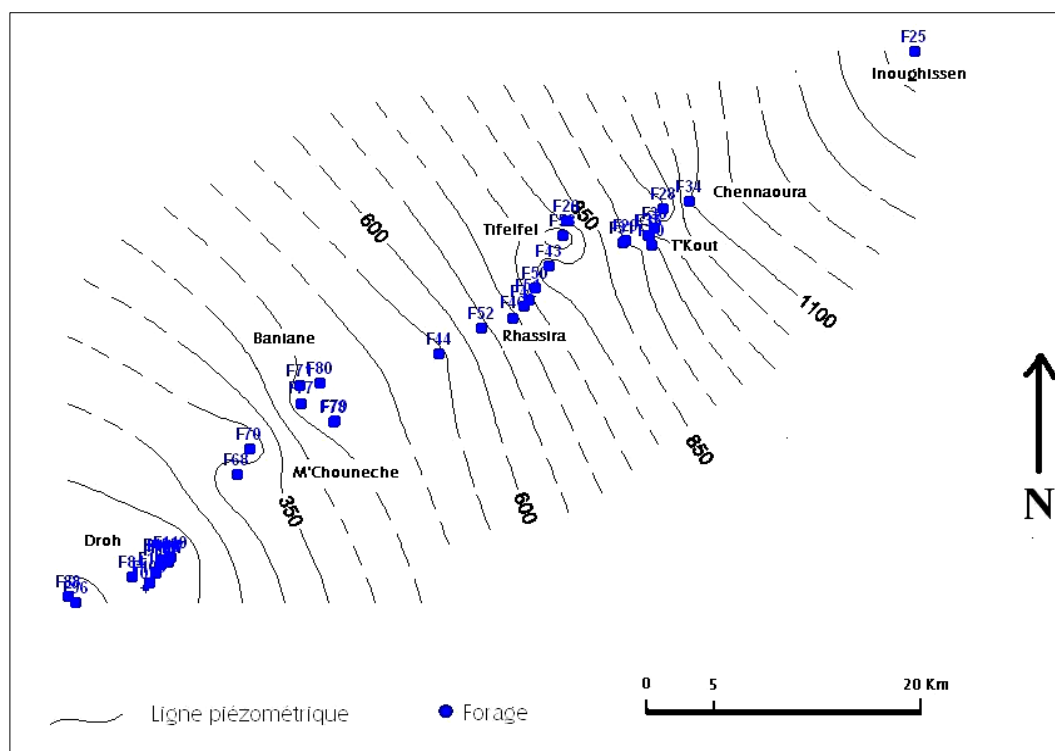


Fig. 78 : Carte piézométrique (Landinien-Lutétien inférieur) synclinal de Rhassira 2008 (Source : L'auteur, 2009)

Tab.24 : Piézométrie des forages captant le Maastrichtien.

N	Non de Forage	x UTM	yUTM	Z(m)	Profnd (m)	Débit exp (L/s)	Niveau stat (m)	Niveau dyn (m)	N.P (m)
F 102	Piézomètre 1	764428.15	3862438.93	185	124	\	12	\	173
F 103	Piézomètre 2	766115.40	3864646.82	208	207	\	34	\	174
F 84	Droh 1 (Ain Djedida)	763312.93	3863208.67	190	340	\	8	\	182
F 88	Boussoudène 5	758434.71	3861342.53	143	404	20	1.5	42	141.5
F 96	Boussoudène 7	759056.55	3860928.39	122	250	12	0.5	6	121.5
F 105	AEP Transfert n° 01	764745.86	3862879.91	182	320	40	7.6	19	174.4
F 106	AEP Transfert n° 02	765545.37	3864759.79	215	350	25	37	76	178
F 107	AEP Transfert n° 03	766115.85	3864631.41	208	233	30	25.9	29	182.1
F 108	AEP Transfert n° 04	765843.84	3864284.23	204	350	35	30	80	174
F 109	AEP Transfert n° 05	765552.95	3863973.53	202	400	35	35.3	45.1	166.7
F 110	AEP Transfert n° 06	766287.02	3865037.35	184	340	35	35	45	149
F 111	AEP Transfert n° 07	765798.73	3864699.30	216	370	25	26.8	34	189.2
F 112	AEP Transfert n° 08	765187.20	3863614.40	206	350	20	39	91	167
F 113	AEP Transfert n° 09	764935.21	3863363.44	197	360	45	37.8	48	159.2

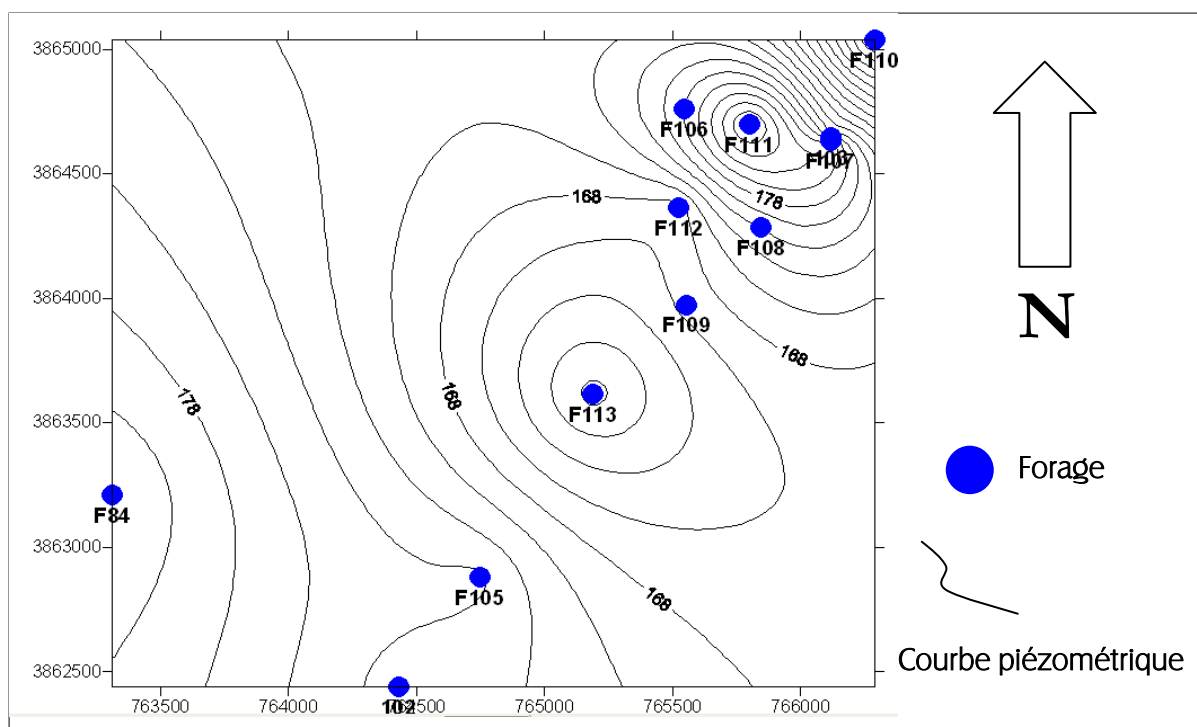


Fig. 79 : Carte piézométrique (Maastrichtien) région sud du synclinal de Rhassira 2008
(Source : L'auteur, 2009)

L'aquifère du Maastrichtien est exploité dans la région de Droh au sud du synclinal de Rhassira. Pour établir la carte piézométrique, quatorze points d'eau ont été retenus (tab.24). La carte piézométrique (fig.79), montre une zone de dépressions, correspondant au champ de captage de l'eau potable à Droh.

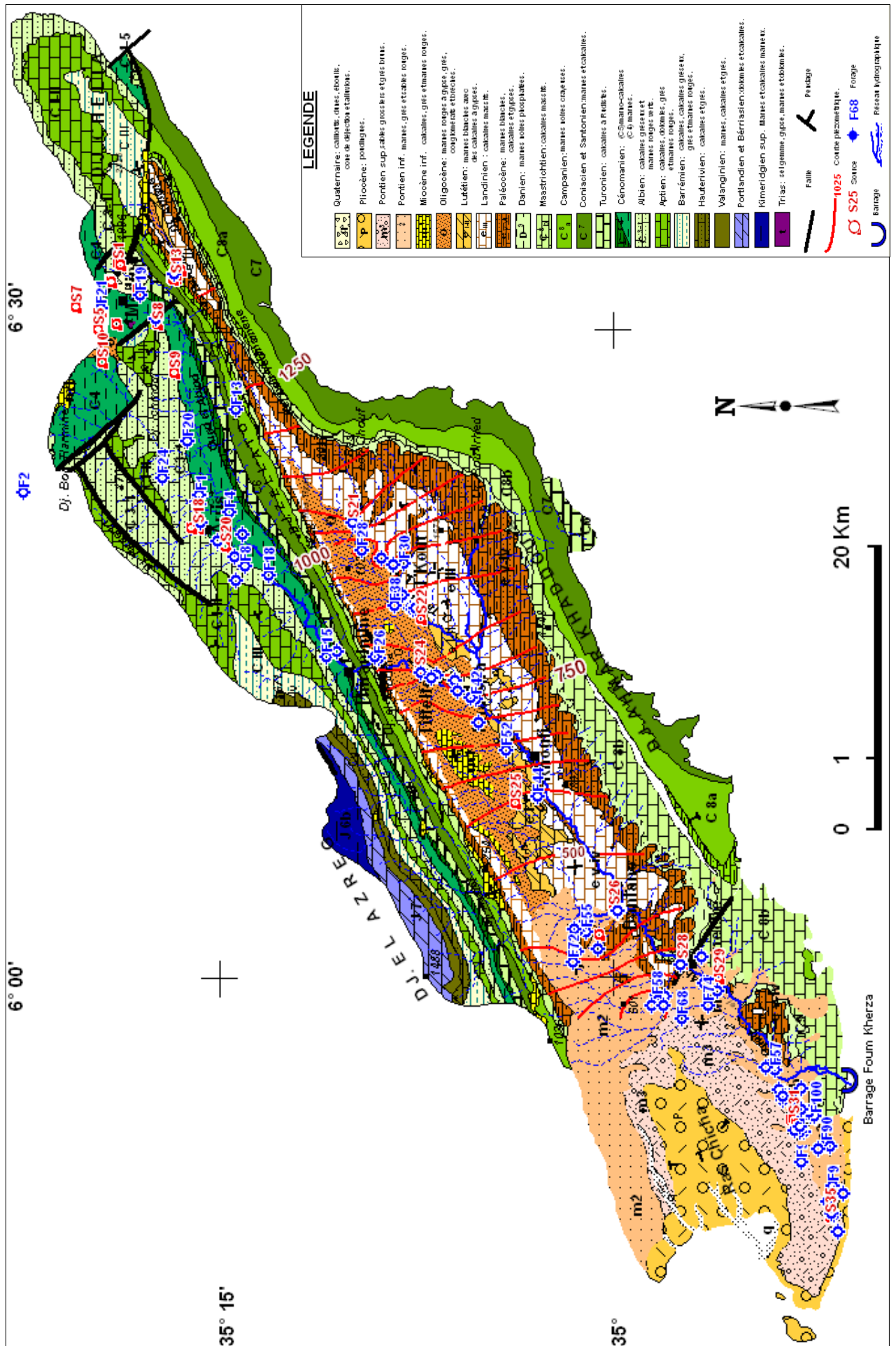


Fig. 80 : Carte hydrogéologique de la vallée d'Oued el-Abiod (Source : L'auteur, 2009)

IV.2. Calcul de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement

- Essai de pompage au niveau du forage de Bir Boussoudène

Le forage est situé dans la partie sud-ouest, juste à la limite du bassin versant, captant les calcaires de l'Eocène inférieur. L'essai de pompage est réalisé en 1981 sans piézomètres d'observation. Les données des mesures figurent en annexe (tab.40).

- Coordonnées Lambert du forage : X = 785.850 Y= 178.650 Z= 143

- Débit de pompage 25 l/s = 0.025 m³/s

- Niveau statique 3.2 m,

Les eaux ont une température de 29° C. La durée de pompage est de 24 heures suivi d'une observation de la remontée durant 23 H : 30mn.

Les résultats sont représentés sur les figures 81 et 82, qui représentent la droite rabattement/logarithmes des temps de pompage.

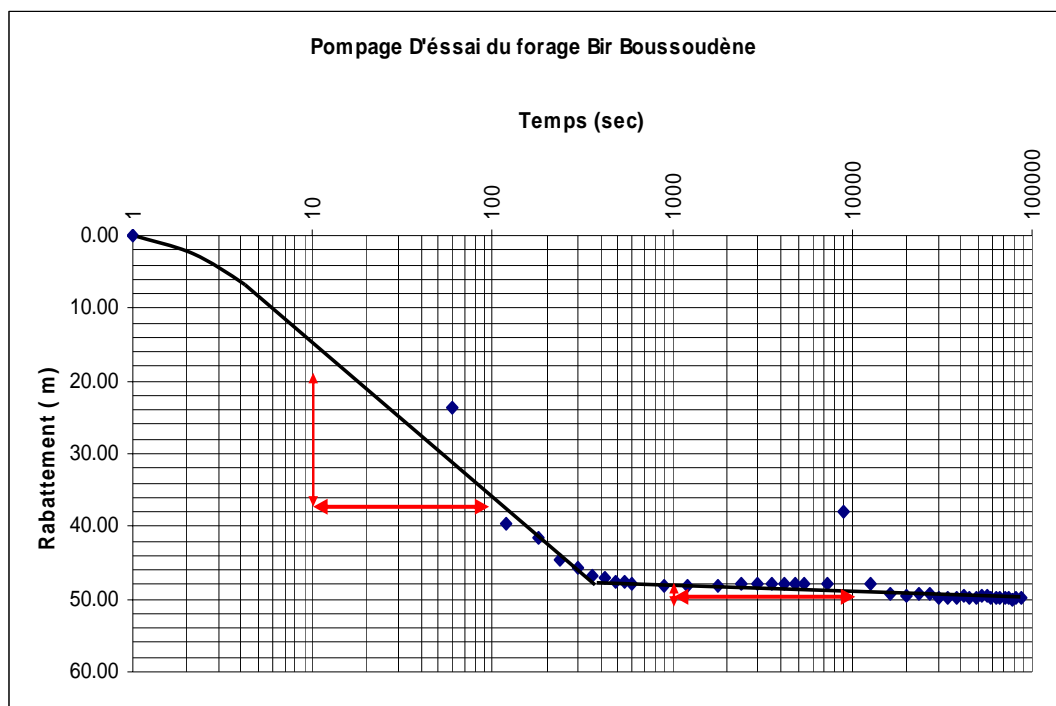


Fig. 81 : Pompage d'essai (Longue durée) dans l'aquifère des calcaires de l'Eocène inférieur (Source : L'auteur, 2009)

Selon l'approximation de C. Jacob, mentionnée ci-dessus. La valeur de la transmissivité est de :

$$T = \frac{0.183 \times Q}{C}$$

La première pente, sur le graphique « descente » donne :

$C = 36 - 15 = 21 \text{ m}$; le débit = 25 l/s ce qui fait 0.025 m³/s. donc
 $T = \frac{0.183 \times 0.025}{21} = 2.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. C'est cette partie de la droite qui va être prise comme droite représentative d'un aquifère illimité pour compléter les conditions de l'approximation de C. Jacob.

Sur le deuxième tronçon du graphique, on remarque que les rabattements diminuent et le régime d'écoulement devient quasi permanent, ce qui laisse supposer de l'existence d'une limite d'alimentation, ou une alimentation par les réserves de la nappe même ou une drainance. Cette limite apparaît après 400 secondes du démarrage de pompage. L'équation de la remontée est comme suit :

$$s_r = \frac{0.183 \times Q}{T} \times \log \frac{t+t'}{t'} \quad \text{Où :}$$

s_r est le rabattement résiduel mesuré instantanément après l'arrêt de pompage

t : temps écoulé depuis le début de pompage en secondes

t' : temps écoulé depuis l'arrêt de pompage.

Les mesures figurent en annexe (tab.40), à partir desquelles, on obtient le graphique de la fig.82:

$$T = \frac{0.183 \times 0.025}{20} = 2.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

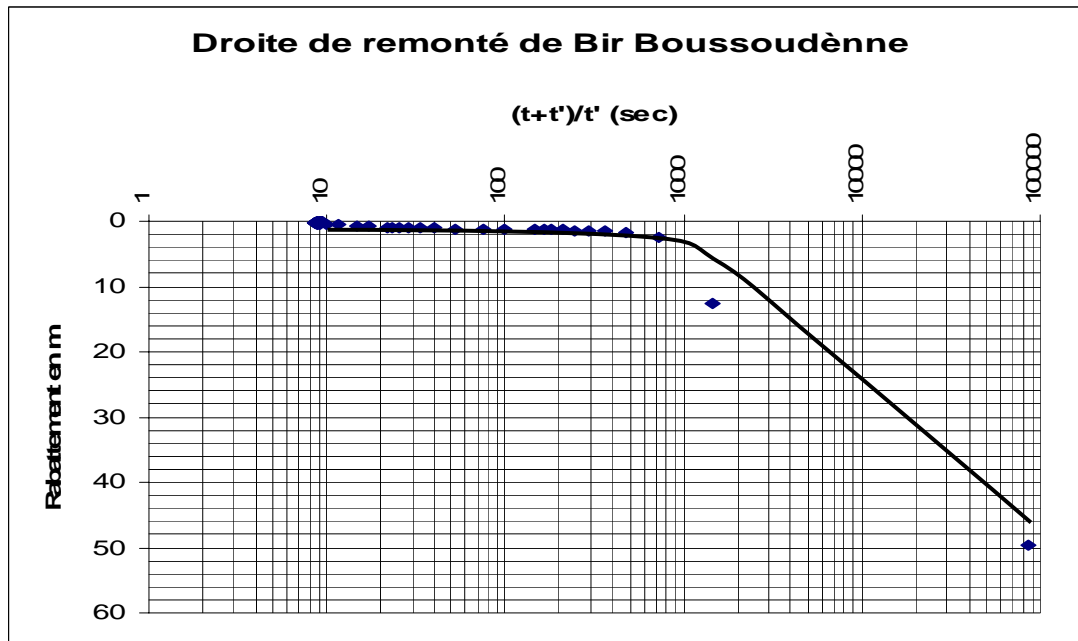


Fig. 82 : Pompage d'essai : Droite de remontée de Bir Boussoudène
 (Source : L'auteur, 2009)

Les deux valeurs de transmissivité concordent parfaitement, et la valeur moyenne de la transmissivité est égale à $2.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. A remarquer que la remontée a été trop rapide, où les premières mesures ont été occultées.

- Essai de pompage au niveau du forage F6 à Droh (Champ de captage)

Le forage (F6) figure sur l'inventaire sous le numéro F110, fait partie du champ captant de Droh. Il alimente la ville de Biskra en eau potable. Les mesures du pompage d'essai ont été réalisées en mois de mars 2008. Le forage est d'une profondeur de 340 m et capte les calcaires du complexe aquifère Eocène inférieur-Maastrichtien, dont l'épaisseur est d'environ 160 m. Le pompage d'essai a été effectué avec un débit constant de 38 l/s soit 0.038 m³/h et qui n'a pas été suivi d'une observation de la remontée. Les mesures ont été faites à l'intérieur du forage, vu qu'il n'existe pas un piézomètre d'observation proche. Les valeurs des mesures figurent en annexe (tab.41). Les résultats ont permis de tracer une droite rabattements- temps (voir fig.83)

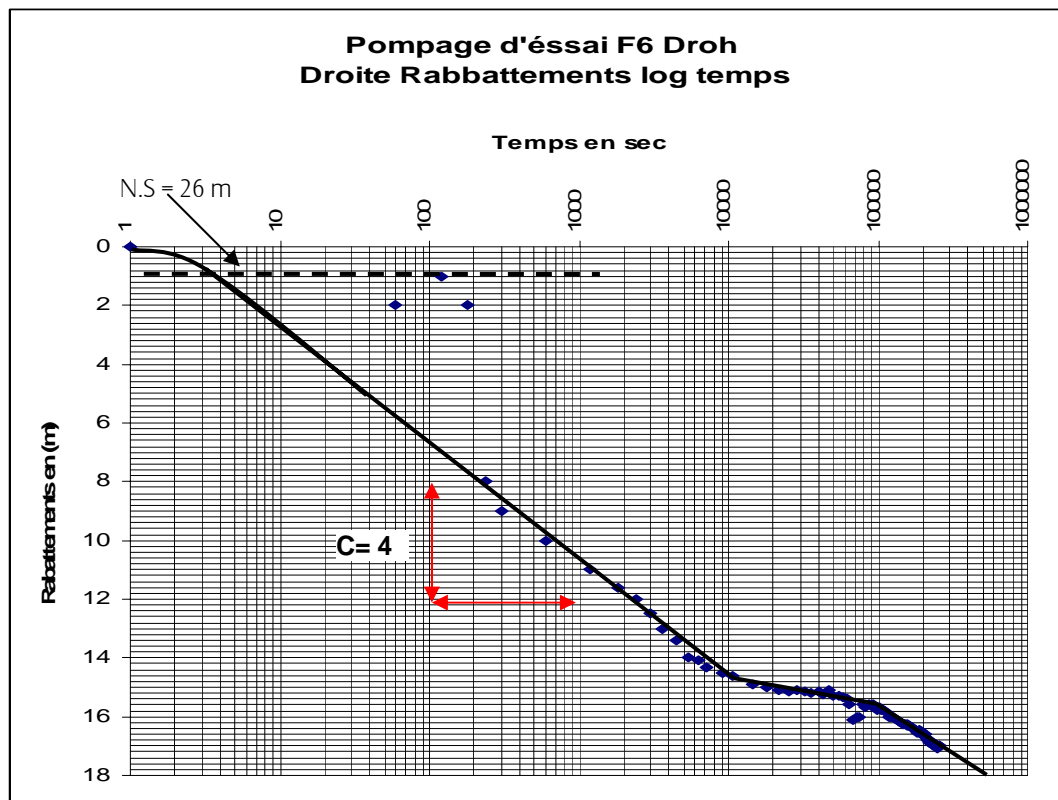


Fig. 83 : Pompage d'essai : Droite de descente de F110 à Droh
(Source : L'auteur, 2009)

A partir de la droite représentative, $T = \frac{0.183 \times 0.038}{4} = 17 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$; la droite présente un amortissement après 10000 sec, puis reprend la même pente. Ce ci est dû probablement à un arrêt de pompage dans les forages limitrophes. Les trois premières mesures ne coïncident pas avec la droite représentative à cause de leur déféctuosité.

- Essai de pompage au niveau du forage F5 (inv.F109) à Droh (Camp de captage)

Le forage (F5) qui figure sur l'inventaire en annexe sous le numéro F109, fait partie du champ captant de Droh, alimentant la ville de Biskra en eau potable. Les travaux de pompage d'essai ont été réalisés au mois de mars 2008. Le forage de 350 m de profondeur, capte les calcaires du complexe aquifère Eocène inférieur-Maastrichtien. Les observations ont été effectuées à l'intérieur du forage, suivis d'une observation de la remontée pendant 4 heures.

Les mesures figurent en annexe. La droite rabattements- de temps (fig. 84) montre une pente de la droite représentative $C = 1.6$ m.

$$T = \frac{0.183 \times 0.040}{1.60} = 46 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

On enregistre des fluctuations du niveau dynamique, qui peuvent être dues à l'exploitation des forages limitrophes. Le deuxième tronçon de la droite prend une pente plus redressée, qui peut être expliquée par une interférence avec les autres forages.

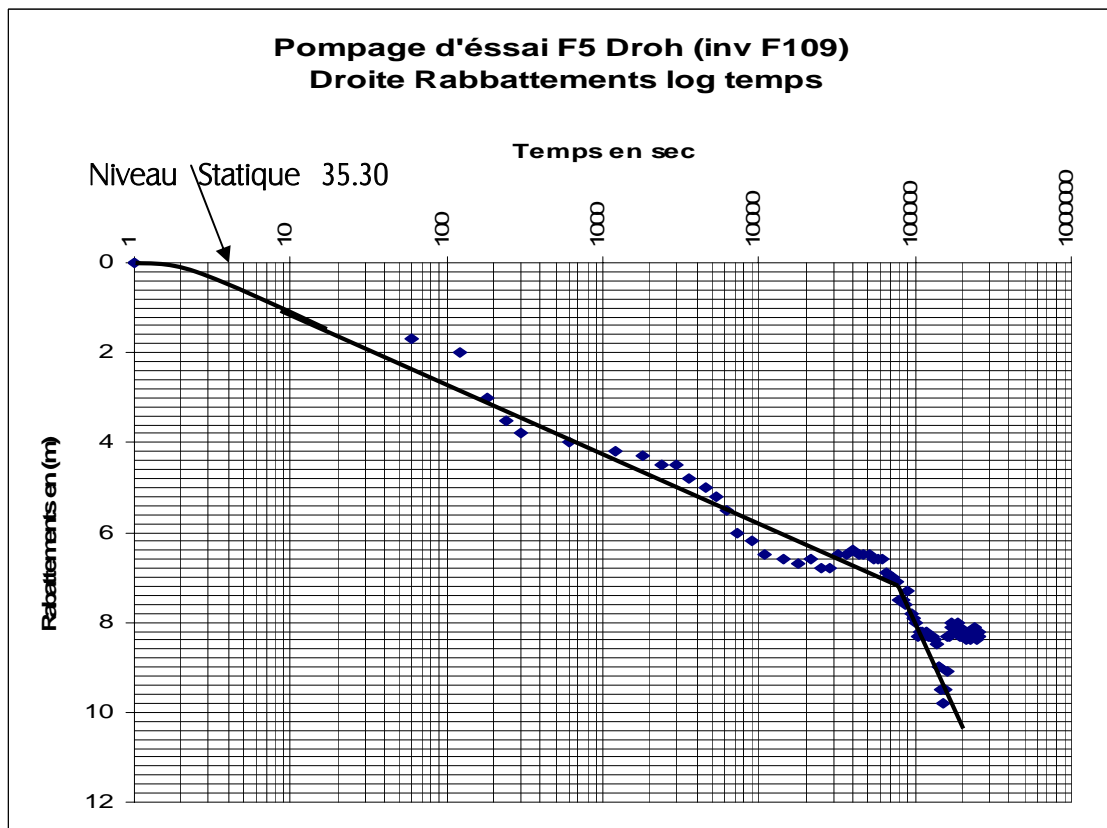


Fig. 84 : Pompage d'essai : Droite de descente de F109 à Droh
(Source : L'auteur, 2009)

Sur la droite de la remontée (fig.84), nous avons $C = 1.40$ m
 $\Rightarrow T = \frac{0.183 \times 0.040}{1.40} = 52 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Pour ce point nous retenons la moyenne des valeurs :
 $T = 49 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

On remarque que, malgré, les deux forages soient assez proches, et ayant presque la même profondeur, la transmissivité du F5 est trois fois supérieure à celle du F6.

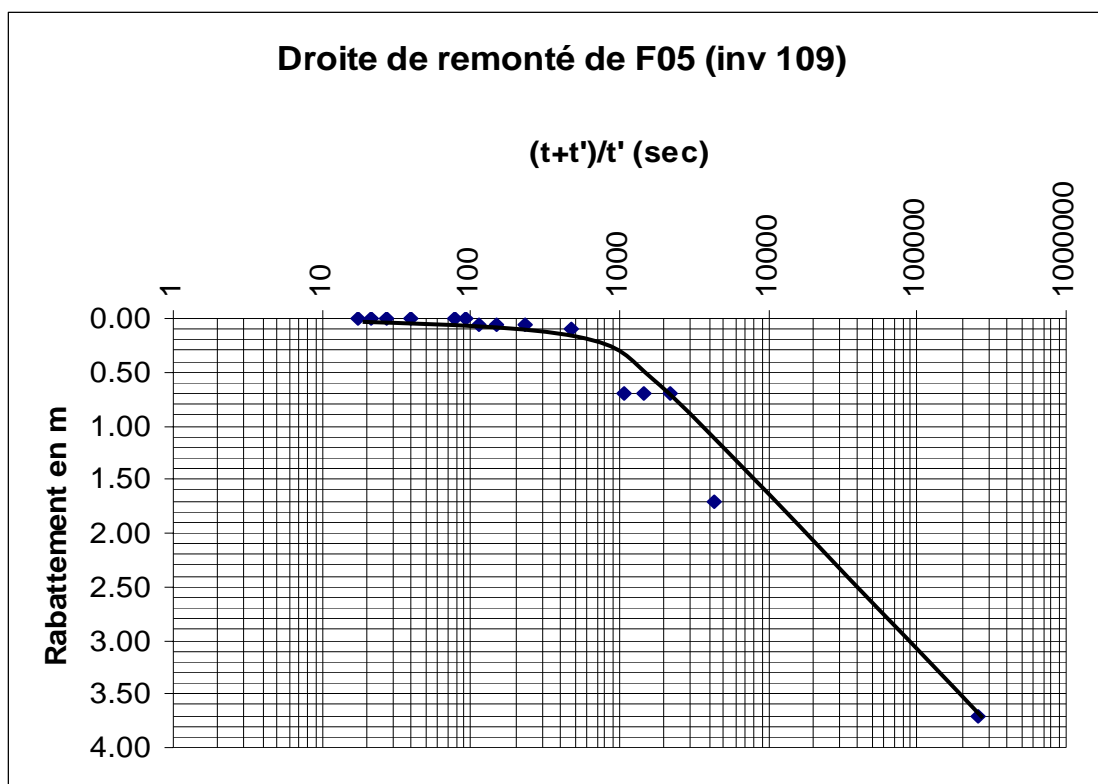


Fig. 85 : Remontée de F109 à Droh (Source : L'auteur, 2009)

- Essai de pompage au niveau du forage de Tazouggart AEP à Baniane.

Dans la Région de Baniane, située entre M'Chouneche et Rhoufi ; on a réalisé un pompage d'essai en mois d'Août, sur un forage, destiné pour l'alimentation en eau potable de la ville de Baniane. D'une profondeur de 300 m, le forage capte les calcaires de l'Eocène inférieur et du Paléocène. Cet horizon est capté sur une puissance d'environ 200 m. Pas loin du forage et à une distance de 64.10 m, existe un piézomètre, d'une profondeur de 290 m, captant les mêmes formations.

L'opération commence par des essais de puits par paliers de débits de courtes durées (2 heures pour chaque palier suivi d'une observation de la remontée pendant une durée égale de 2 heures). Les mesures figurent en annexe, et sont récapitulées sur le tableau n° 25.

Tab. 25 : Résultats des essais par paliers

Palier N°	Débit		N.D (m)	Rabatt. (m)	Débit. S m³/h.m	Rabatt. S m/m³/h
	L/s	m³/h				
1	4	14.4	7.15	11.35	1.26872	0.7882
2	6	21.6	13.91	18.11	1.19271	0.8384
3	8	28.8	29.51	33.71	0.85435	1.1705
4	12	43.2	60.65	64.85	0.66615	1.5012

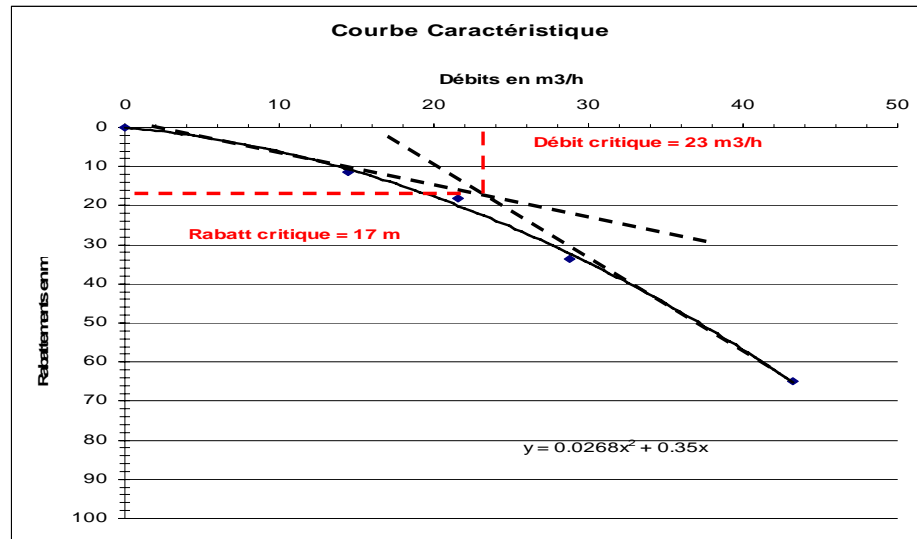


Fig. 86 : Courbe Caractéristique (Débits/Rabattements) Tazougart, Baniane (Source : L'auteur, 2009)

Selon la courbe caractéristique (fig.86), du forage de Baniane, le débit critique est de 23 m³/h, soit environs 7 l/s. le rabattement critique est de 17 m.

Ces paliers permettent d'étudier les caractéristiques, aquifère /ouvrage de captage. En fait selon les données du tableau n°25, on obtient la droite débits/rabattements spécifiques (fig.87). La fonction de la droite est :

$$s/Q = 0.0327Q + 0.0081 \quad \text{que l'on peut écrire comme suit :}$$

$$s = 0.0327 Q^2 + 0.0081 Q \quad \text{qui correspond à l'équation générale :}$$

$$s = C Q^2 + BQ \quad \text{où :}$$

Le terme C de l'équation représente les pertes de charges quadratiques, provoquées par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage de captage. Il est obtenu en calculant la pente de la droite ; le terme B représente les pertes de charges linéaires provoquées par l'écoulement laminaire dans l'aquifère au voisinage de l'ouvrage de captage ; Il est donné par la valeur du point d'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées. Donc C = 0.0327 et B = 0.0081. C et B présentent de très faibles valeurs.

Le débit spécifique relatif est obtenu à partir du graphique (fig.88) qui représente la droite débit spécifique/rabattement. C'est un débit constant pompé, déterminant un rabattement unitaire de 1m. Sur la droite, l'abscisse correspondant à l'ordonnée 1 mètre, donne la valeur du débit spécifique relatif.

$$S = -80.359 q_s + 112 \quad \text{en donnant la valeur de 1 à (S) on aura le débit spécifique relatif } q_{sr} = 1.38.$$

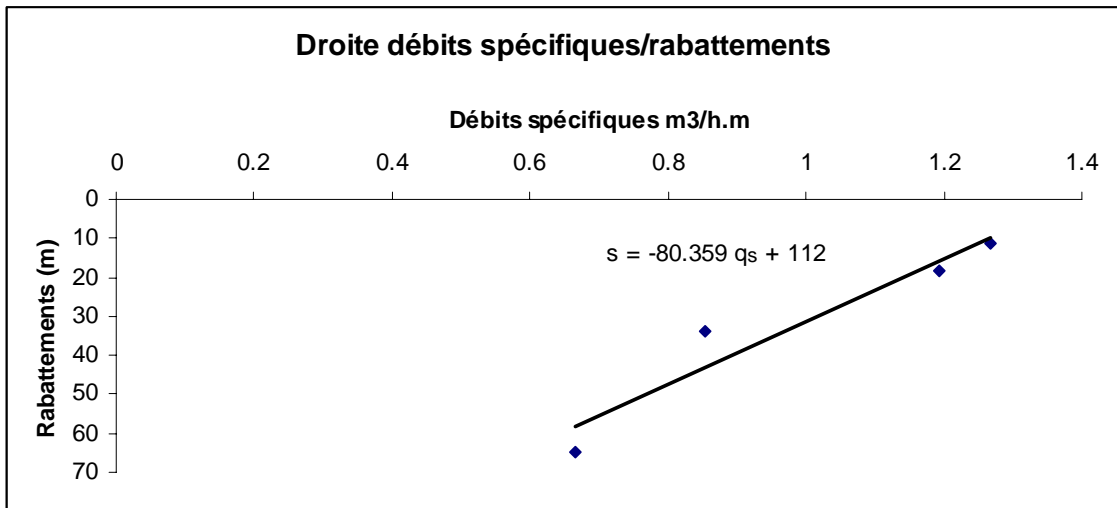


Fig. 87 : Droite Débit spécifique/Rabattement. - Forage Tazouggart, Baniane (Source : L'auteur, 2009)

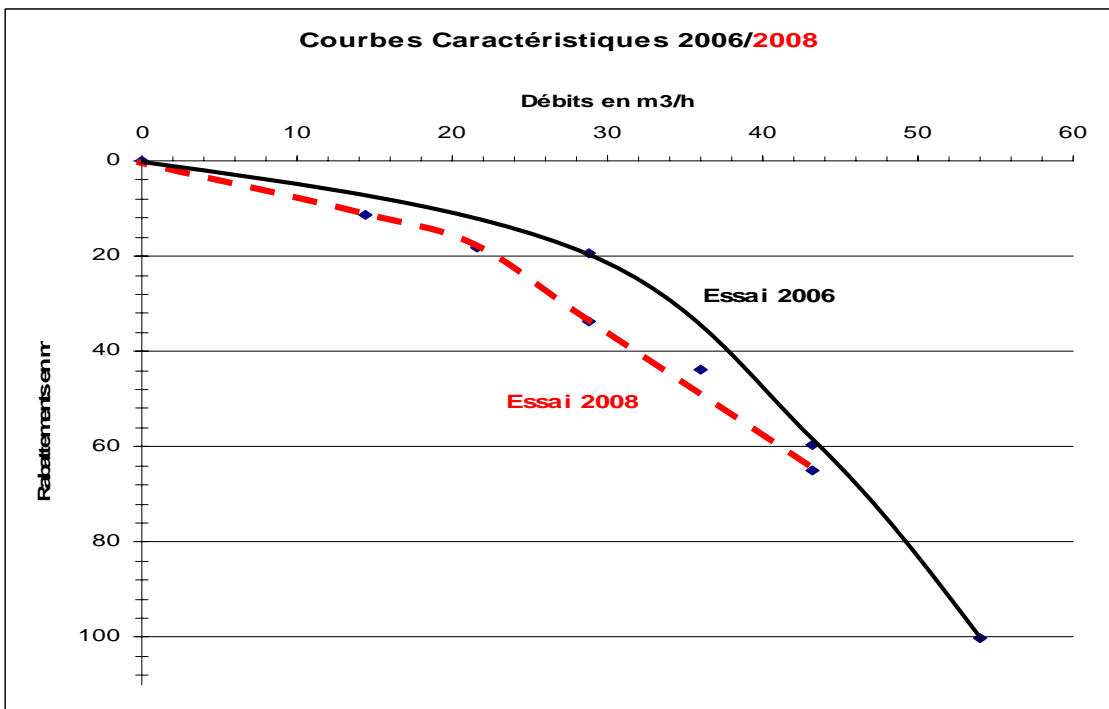


Fig.88 : Essai par paliers. - Forage Tazouggart, Baniane 1^{er} essai en 2006 le 2^{eme} en 2008 (Source : L'auteur, 2009)

En faisant une comparaison entre la courbe caractéristique de l'année 2006 et celle de l'année 2008 (fig.88), on remarque que le forage avait subi, entre temps, un colmatage. Durant le deuxième essai par paliers les rabattements ont augmenté. Durant l'essai de 2006 le débit critique était de 32 m³/h pour un rabattement de 23 m, alors qu'en 2008, le débit critique est de 23 m³/h pour un rabattement de 17 m. Les signes d'un colmatage sont confirmés lors de démarrage de pompage par l'apparition d'une eau très trouble. Ce qui a nécessité un développement à l'air lift, avant de procéder aux essais de pompage.

Le pompage d'essai, est réalisé durant la période du mois d'août 2008. Les mesures de niveau d'eau ont été réalisées sur le forage même et sur le piézomètre distant d'environ 64.10 m. Le forage capte les calcaires de l'Eocène inférieur et les calcaires du Paléocène, sur

toutes leurs épaisseurs. Ce qui fait du forage, un ouvrage parfait. L'aquifère est limité par un substratum et un toit imperméables, constitués de marnes. Le pompage avait duré 72 heures avec un débit constant de 8 l/s, soit 0.008 m³/s. le rabattement total est de 62.87 m dans le forage et de 3.04 m dans le piézomètre. La remontée a été observée sur le forage et sur le piézomètre pendant les 72 heures qui suivent l'arrêt de pompage. Les résultats des mesures figurent en annexe. Ce ci nous a permis de tracer les graphiques (Fig. 89 et 90).

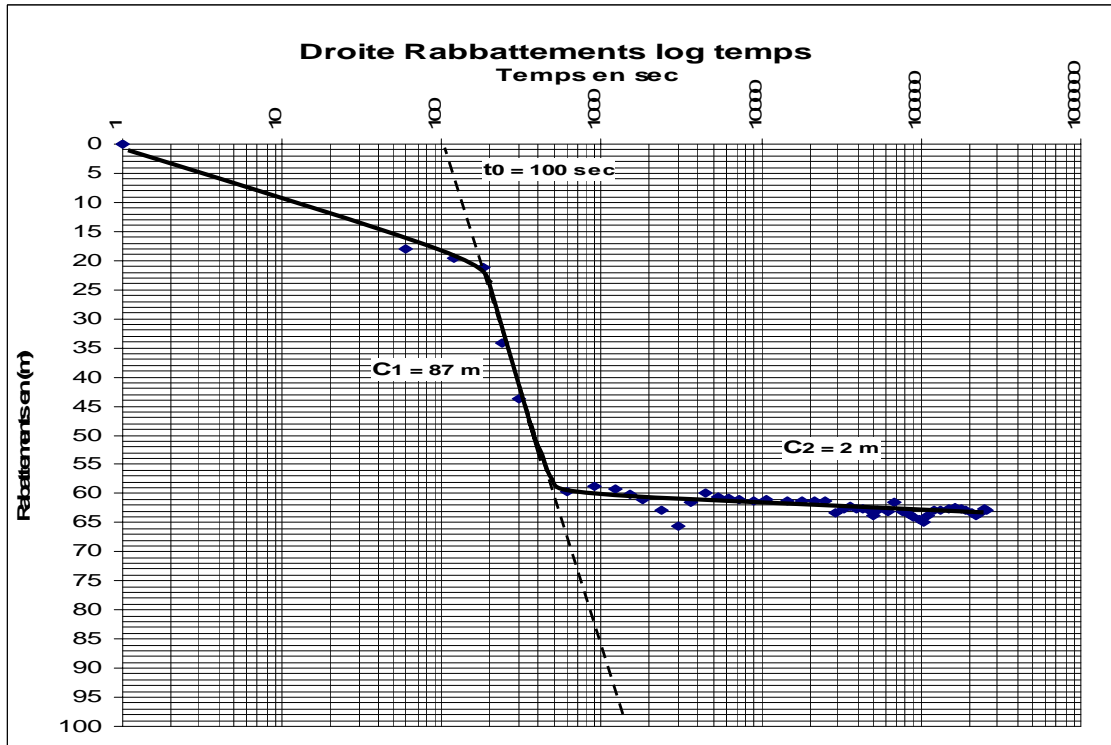


Fig.89 : Droite Rabattement log de temps. Forage Tazouggart, Baniane (Source : L'auteur, 2009)

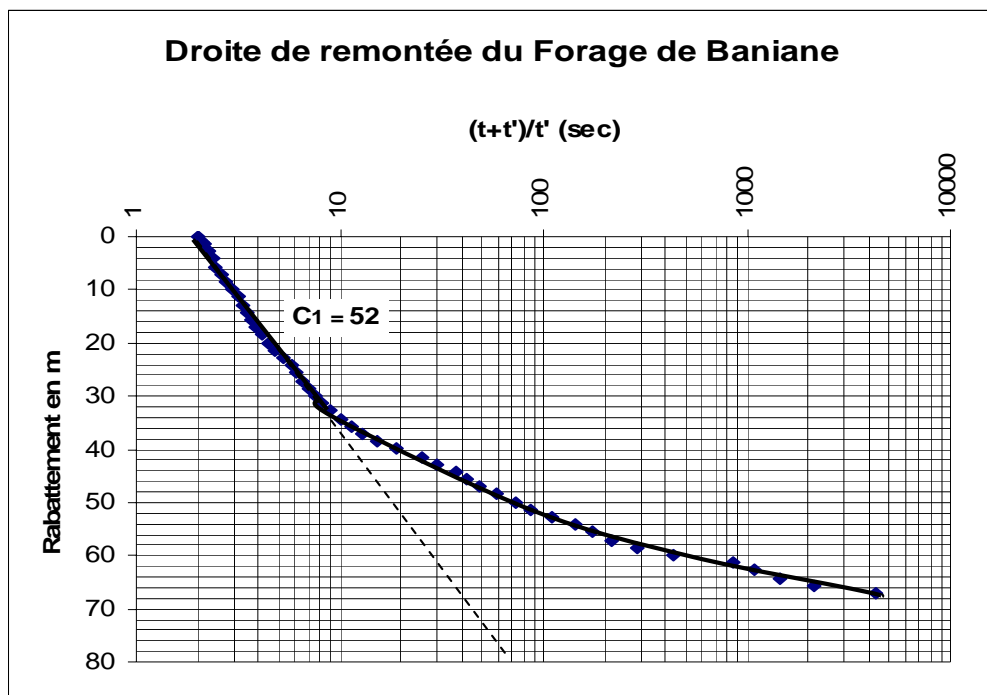


Fig.90 : Droite Remontée. Forage Tazouggart, Baniane (Source : L'auteur, 2009)

Les résultats de l'interprétation nous donnent:

$$\text{Courbe de pompage (forage)} : T = \frac{0.183 \times 0.008}{87} = 0.17 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

La courbe de remontée (forage) donne la valeur de transmissivité suivante :

$$T = \frac{0.183 \times 0.008}{52} = 0.28 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

On prendra donc la valeur moyenne entre les deux : $T = 0.23 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$

En supposant un piézomètre situé à une distance de 0.5 m du forage, le coefficient d'emmagasinement sera de :

$$S = \frac{2.25Tt_0}{x^2} \Rightarrow S = \frac{2.25 \times 0.23 \times 10^{-4} \times 100}{(0.5)^2} = 2.07 \times 10^{-2} \approx 2 \times 10^{-2}$$

C'est une valeur approximative, la méthode n'est pas juste, mais on l'utilise lorsqu'on ne dispose pas de piézomètre, elle sera comparée ultérieurement avec la valeur qui sera donnée par les mesures sur piézomètre.

L'observation de l'effet de pompage et la remontée après arrêt de pompage sur le piézomètre, est illustré sur les fig. 91 et 92.

A partir de la courbe de la figure 91, nous avons :

$$T = \frac{0.183 \times Q}{C} = \frac{0.183 \times 0.008}{3.10} = 4.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

La courbe de remontée (fig. 92), donne la valeur de :

$$T = \frac{0.183 \times 0.008}{2.5} = 5.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$$

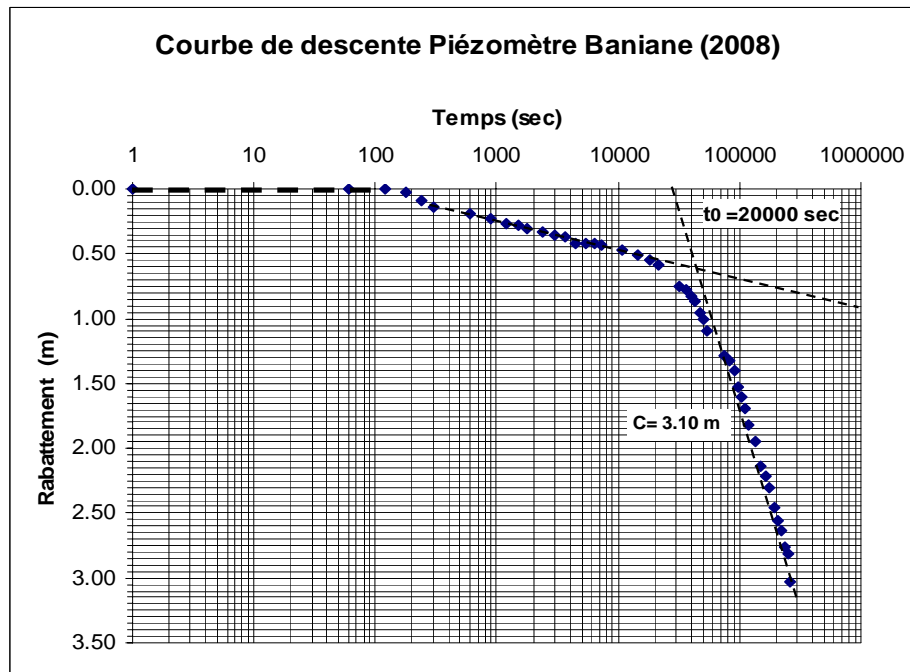


Fig.91 : Courbe Rabattement / log de temps. Piézomètre de Baniane (Source : L'auteur, 2009)

Entre ces deux valeurs nous retenons la moyenne : $T = 5.25 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$

A partir de cette valeur le coefficient d'emmagasinement est de :

$$S = \frac{2.25 \times T t_0}{(x)^2} = \frac{2.25 \times 5.25 \times 10^{-4} \times 20000}{(64.10)^2} = 57 \times 10^{-4}$$

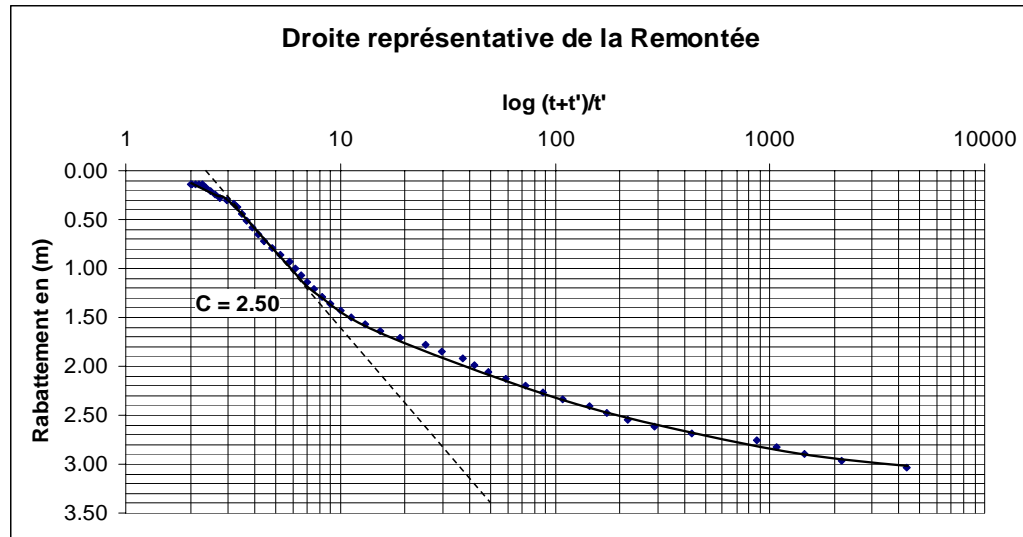


Fig. 92 : Droite représentative de la Remontée Piézomètre de Baniane
(Source : L'auteur, 2009)

Pour la zone de Baniane nous retenons la valeur de transmissivité $T = 5.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s}$ et un coefficient d'emmagasinement $S = 57 \times 10^{-4}$ soit 6 %

V. Infiltration

Plusieurs auteurs ont donné des valeurs du coefficient d'infiltration sur différents massifs carbonatés. Néanmoins ces valeurs présentent une grande disparité. Ce ci est dû à plusieurs paramètres, voir les conditions climatiques, ruissellement, végétation, relief....

Selon C. Drogue (1969), elle serait d'une moyenne de 40 % à 50 %. En Tunisie, J.Tixeront et H.Berkaloff (1948) ont donné pour les massifs carbonatés des valeurs qui varient de 23 % à 36 %. Alors que G. Durozoy (1959), d'après ses travaux sur les calcaires et dolomies du Crétacé, dans la région de Constantine, donne la valeur de 14 à 20 %.

Dans notre secteur d'étude, aucune valeur n'a été donnée, en raison du manque d'études. Nous prendrons en compte les résultats des travaux réalisés dans les régions karstiques proches de la zone d'étude et ayant des conditions climatiques et une végétation assez semblables, telles que Ain Dhelâa M'Doukal et la région d'el-Kantara. R. Kardache¹ (1988), donne des valeurs allant de 15 à 30 % et une moyenne de 20 %.

¹ R. KARDACHE (1988), dans sa thèse, deuxième partie aux Chap. 3 et 4, en p : 140,141, donne des valeurs calculées de l'infiltration au niveau des calcaires du Turonien, pour la région de M'Doukal et El-Kantara avoisinant les 20%.

En 1961, Cornet. A. a pour la première fois, tenté d'estimer l'alimentation de la nappe du Continental intercalaire dans le Sahara algérien. L'une des principales zones d'alimentation des grès du Crétacé inférieur continental est l'Atlas saharien. En limitant la région pouvant intéresser le Sahara algérien par ses infiltrations à la ligne de partage des eaux superficielles, entre la frontière algéro-marocaine et le méridien de Biskra, la superficie totale des affleurements gréseux du Crétacé inférieur est proche de 10000 km², auxquels il ajoute 625 km² dans l'Aurès. La hauteur moyenne des pluies dans la même région (calculée par l'auteur d'après la carte de Seltzer (1946) est d'environ 250 mm/an, (750 mm pour la partie des affleurements en Aurès). La quantité d'eau tombant annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée à 2.5 milliards de m³ à l'ouest de Biskra et de 0.5 dans l'Aurès, soit au total 3 milliards de m³ environ. Il indique par ailleurs, que pour citer un chiffre qui n'est qu'un ordre de grandeur, qu'un coefficient d'infiltration correspondant à 10% des eaux pluviales tombées strictement sur les affleurements du Crétacé continental, permettrait annuellement à 250 millions de m³ (soit 8 m³/s environ) de s'écouler souterrainement vers le Sahara.

L'ensemble des forages captant les calcaires du Landinien-Lutétien inférieur dans le synclinal de Rhassira totalisent un débit annuel d'environ 2.5 millions de m³. Les affleurements de l'aquifère font environ 157 Km². Les affleurements des calcaires du Paléocène font 159 Km².

Au sud les forages captant l'aquifère maastrichtien, totalisent un débit annuel de 7.5 millions de m³. Les calcaires du Maastrichtien affleurent sur une superficie de 142 Km².

La comparaison de ces volumes avec le volume d'infiltration estimé sur tout le sous bassin versant (15 millions de m³) en chapitre hydroclimatologie, reste sujette à caution, vu la complexité du terrain et la structure en multicouches des aquifères. A notre avis la méthode la plus simple, directe et pratique est celle de l'observation des fluctuations de la surface piézométrique. La première année avec un rythme d'une campagne chaque trimestre et à partir de la deuxième année deux campagnes annuellement. La comparaison des différentes cartes permettra de voir toutes les fluctuations du niveau piézométrique et d'estimer le taux de recharge. L'état d'équilibre de la nappe sera en permanence sous contrôle. Pour cela, il est utile de prévoir d'autres techniques et équipements :

- 1- faire un choix d'un réseau de points de surveillance parmi les forages captant chaque aquifère à part.
- 2- réalisation de piézomètres dans les zones éloignées du synclinal où il n'y a pas de points d'eau.
- 3- Equiper ces forages de tubes piézométriques en PVC de diamètre de 2 pouces environ. Afin de faciliter le passage de la sonde électrique et d'éviter tout encombrement de l'équipement électromécanique. équiper en manomètres les forages jaillissants.
- 4- Equiper les forages de compteurs pour arriver à quantifier le débit extrait avec exactitude.
- 5- Mise en place d'une station hydrométrique à l'entrée du synclinal au niveau des gorges de Tighanimine. Pour contrôler le débit d'écoulement entrant. le débit sortant est mesuré à la station de M'Chouneche.

Ces mesures permettront dans l'avenir d'établir les bilans hydriques des aquifères et de mieux contrôler leur l'état d'équilibre.

VI. Conclusion

Dans cette approche hydrogéologique, nous avons opté pour la méthode structurelle, où les aquifères carbonatés ne possèdent pas d'exutoire individualisé en surface (formation située en profondeur sous une couverture). L'approche fonctionnelle ne présente pas d'éléments de réponse. Par conséquent nous avons utilisé les méthodes d'études classiques autant que les modèles descriptifs et équivalents dans la mesure de leur validité en milieu fissuré.

La région présente une série stratigraphique qui s'échelonne du Jurassique au Quaternaire, comportant ainsi plusieurs aquifères, potentiels empilés les uns sur les autres.

L'aquifère jurassique (Kimméridgien inf.), d'une épaisseur de 250 à 300 m, formé de calcaires silicifiés et de conglomérats. Il affleure au niveau de Dj. El-Azreg sur une superficie de 70 Km², et se trouve à une altitude d'environ 2000 m. Il reçoit, donc, une pluviométrie conséquente. La karstification est peu développée, donnant naissance à des sources de faibles débits.

Le Crétacé inférieur se présente sous forme d'un aquifère multicouches, de nature lithologique grés-carbonatée. Il a une extension considérable dans le massif des Aurès et une puissance totale d'environ 1000 à 1500 m. Il comporte les étages de l'Hauterivien, le Barrémien, l'Aptien et l'albien. Le substratum de cet aquifère multicouches est présenté par les marnes blanches du Valanginien, alors que les marnes du Cénomaniens constituent son toit.

Dans la partie N-E du bassin, les forages de la région d'Arris et d'Ichmoul, exploitent les calcaires de l'albien, à des profondeurs allant de 150 à 800 m. Cet horizon présente de faibles potentialités du point de vue débit et qualité des eaux. L'aquifère est captif au centre et libre sur les périphéries de la vallée.

Le Turonien est carbonaté. Sa puissance est de l'ordre de 300 m. Son toit est constitué de marnes du Sénonien inférieur. Les marnes du Cénomaniens constituent le substratum. Il est exploité à des profondeurs de l'ordre de 200 m, avec des débits de 10 à 20 l/s.

Le Maastrichtien Formé d'une série carbonatée d'une épaisseur allant de 200 à 350 m. Il s'agit de calcaires massifs, fissurés, parfois karstifiés ; souvent productifs d'une eau de bonne qualité. Il est rarement exploité dans la partie nord du synclinal, vu son plongement en profondeur. Le forage de Rhassira avait atteint la profondeur de 750 m, alors qu'au sud-ouest, au niveau du flanc sud du synclinal (Droh), le Maastrichtien est exploité par plusieurs forages à des profondeurs de 320 à 400 m.

L'Eocène inférieur est constitué de calcaires à silex, d'âge Yprésien-Lutétien inférieur, c'est l'aquifère le plus exploité dans la région ; donnant des débits qui peuvent atteindre les 90 l/s. il est séparé des calcaires du Maastrichtien et Paléocène par une formation de marnes et calcaires marneux à rognons de silex, d'âge Landinien, faisant environ une trentaine de mètres. Selon les sondages électriques, l'aquifère atteint une épaisseur maximum de 340 m (F4) à El Ksar, et un minimum au nord du synclinal à la région de Chennaoura de 80 m. la profondeur du toit varie de 20 m à 500 m à la région de T'Kout. Dans la région centrale du synclinal (Rhoufi et Rhassira) sa profondeur varie de 30 à 220 m et son épaisseur va de 150 à 220 m. Plus au Sud à la région de Kef Arous, l'aquifère se trouve enfouis sous les dépôts de l'Oligo - Miocène à une profondeur de 300 m.

Le Miocène est formé de dépôts de poudingues, sables et grés. Intercalés d'argiles. L'ensemble se termine par les conglomérats du Pliocène. Les dépôts du Lutétien supérieur forment le substratum de la nappe Miocène. Ce sont des dépôts de remplissage. Ces couches forment un aquifère multicouches en nappe libre, souvent en continuité avec les alluvions du Quaternaire. Il est exploité surtout à Tifelfel et à Tkout par les agriculteurs à travers des puits.

La faille transversale de M'Chouneche, affecte le flanc Sud, d'un rejet important de plusieurs dizaines de mètres. Au nord de cet accident les couches du paléocène affleurent en surface sur presque sur toute la largeur du synclinal marquant la limite sud de l'aquifère des calcaires de l'Yprésien- Lut inf. C'est l'explication de la discontinuité hydraulique de l'aquifère entre la partie nord et la partie sud. Au nord des forages en majorité jaillissants, alors qu'en aval les forages sont en pompage.

Plus à l'ouest, la cuvette d'el-Outaya, est le prolongement du synclinal de Rhassira. Tous les deux forment une continuité géologique. Ils sont séparés par un accident tectonique majeur, de direction NW – SE, sur plusieurs dizaines de kilomètres. Le long duquel émergent plusieurs sources chaudes, telles que Ain Gousskov, Ain Slat et Hammam Sidi El Hadj, ainsi que deux diapirs, celui d'el-Outaya et de M'doukal.

D'après les multiples travaux et études réalisés dans la région, le taux des infiltrations est de l'ordre de 10% des précipitations.

La carte piézométrique, établie en 2008, montre un écoulement des eaux souterraines de l'éocène inférieur, qui s'effectue du N-E au SW. Dans la partie amont le gradient hydraulique est de l'ordre de 23×10^{-3} alors qu'au sud, il est moins fort, $i = 5 \times 10^{-3}$.

Les essais de pompage donnent une valeur du coefficient d'emmagasinement à la région de Baniane de l'ordre de 5.7×10^{-3} , soit 6 ‰ pour la nappe de l'éocène inférieur et Paléocène et une transmissivité de 0.5×10^{-3} m²/s.

Le reste des forages donnent des transmissivités équivalentes de l'ordre de 1.7×10^{-3} à 4.6×10^{-3} m²/s pour l'aquifère du Maastrichtien.

Chapitre 5

HYDROGEOCHIMIE

HYDROGEOCHIMIE

I- INTRODUCTION

Dans les régions arides et semi-arides trouver l'eau, n'est pas l'objectif final, mais encore faut-il qu'elle soit utilisable. Il est important alors de connaître les processus géochimiques dans ces régions, afin de caractériser les eaux de ces systèmes aquifères.

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et de déterminer leurs origines géologiques. Elle a aussi pour but d'identifier les zones d'alimentation ainsi que le sens des circulations des eaux.

L'objectif principal de ce chapitre, est l'étude géochimique des eaux des aquifères carbonatés de la vallée de Rhassira représentés par les formations du Maastrichtien et l'Eocène inférieur, les plus exploités dans la région. D'autres aquifères que le bassin versant recoupe partiellement, seront traités sommairement au début de ce chapitre, tels que le Turonien et l'Albo-barrémien, ayant une extension qui dépasse largement les limites du bassin versant et qui méritent en revanche, un autre cadre d'étude plus élargi et régionale pour les bien cerner.

La zone d'étude, comme on l'a vu précédemment, se trouve subdivisée en deux secteurs, le premier au nord, avec une pluviométrie conséquente et une température de l'air moyenne annuelle de 14.26°C (un climat steppique englobant les régions de T'Kout et Rhassira. Un deuxième, au sud avec un climat sec et chaud et une évaporation élevée. La température de l'air est annuellement d'une moyenne de 21.65° C. Plus les eaux s'approchent de la surface, plus elles sont affectées par la température de l'air.

L'aridité du climat dans ces régions ne favorise guère, le développement de la végétation sur les affleurements des massifs carbonatés. Autrement dit le sol n'est pas assez développé pour jouer le rôle de producteur de gaz carbonique, agent principal dans le phénomène de dissolution des calcaires.

Dés que l'eau de pluie pénètre dans le sol, elle se trouve en contact de différents gaz ayant une solubilité proche, tels que N_2 , O_2 , H_2 , He, CO_2 , NO_3 (H.Schoeller, 1959).

Les eaux commencent à dissoudre différents minéraux et roches tels que, le gypse ($Ca SO_4 \cdot 2H_2O$), l'anhydrite ($Ca SO_4$), les calcaires ($CaCO_3$), la dolomie ($Ca Mg (CO_3)_2$), le sel gemme ($Na Cl$) ; avec des coefficients de solubilité différents. Dans la zone aérée se produit une oxydation des sulfures et d'autres oxydes ferreux ou manganéux. Donc d'autres acides, qui prennent naissance suite à ces réactions chimiques tels que: l'acide sulfurique, résultant de l'oxydation des sulfures, acide nitrique provenant de la nitrification. Ces acides jouent un rôle non négligeable à côté de l'acide carbonique résultant de la dissolution du gaz carbonique provenant de l'atmosphère ou des sols cultivables et de la matière organique, dans l'attaque chimique des roches carbonatées.

II- CARACTERISATION DES EAUX DES AQUIFERES DU BASSIN D'OUED EL ABIOD

II. 1. Aquifère du Jurassique

Il affleure au niveau de Dj el-Azreg, sur la limite N-W du bassin versant, sur une superficie de 70 km² environs. Ces calcaires et dolomies occupent le centre de l'anticlinal, ayant une épaisseur de 250 à 300 m. Ces roches carbonatées sont situées à une altitude de 2000 m et reçoivent de ce fait une pluviométrie conséquente. Le massif donne naissance à des sources de faible débit, l'inaccessibilité du site, nous a empêchée de les repérer ou de voir le degré de karstification. Mais d'après R. KARDACHE (1988), « la karstification superficielle est très peu développée ».

II.2. Aquifères du Crétacé inférieur et moyen

Les anciens termes du Crétacé tel que l' Hauterivien n'affleurent qu'au niveau de Dj. El-Azreg constitué de calcaires de dolomies et de grès sur une épaisseur d'environ 450 m. Mais ces affleurements sont très réduits et se situent à une haute altitude rendant difficile leur exploitation. En revanche, l'aquifère connu sous l'appellation du Continental Intercalaire, comprenant le Barrémien, l'aptien et l'Albien, sont connus à travers les sources et les forages exploitant surtout l'Albien et sont situés dans la partie nord du bassin. Le réservoir du Turonien, constitué de 100 à 300 m de calcaires, comporte des sources et est exploité par quelques forages.

Dans une première partie nous allons interpréter les données des analyses physico-chimiques réalisées en 2000 par le département exploration de la SONATRACH dans le cadre de l'étude hydrogéologique d'Oued el-Abiod (Abchiche, 1999). Cette étude concerne la partie nord du bassin à travers les communes (Ichmoul ; Arris ; Tighanimine ; T'Kout et Rhassira). L'étude a porté sur 46 échantillons dont 20 pour les sources et 26 pour les forages (voir Tableau en annexe).

a/ les Sources

L'ensemble de ces sources, ont des émergences au niveau de différentes formations géologiques. Telles que l'Albo-Barrémien (S1, S2, S8, S9, S18, S19, S20) ; Cénomaniens (S6, S10, S12); Turonien (S7, S11); Campanien-Maastrichtien (S13, S15, S16, S17) ; l'Eocène (S21, S22, S23). Sur le diagramme de Piper l'ensemble des sources montrent une tendance des cations (fig. 93) vers les deux pôles : Bicarbonaté calcique et magnésien et Sulfaté calcique et magnésien.

Ces eaux doivent provenir des formations carbonatées et dolomitiques telles que l'Albien, le Turonien, le Maastrichtien et l'Eocène. Le reste provient de formations comportant des dépôts évaporitiques (Cénomaniens, Campanien, Eocène et Oligocène). Ce ci est confirmé par la situation des points d'émergence de ces sources.

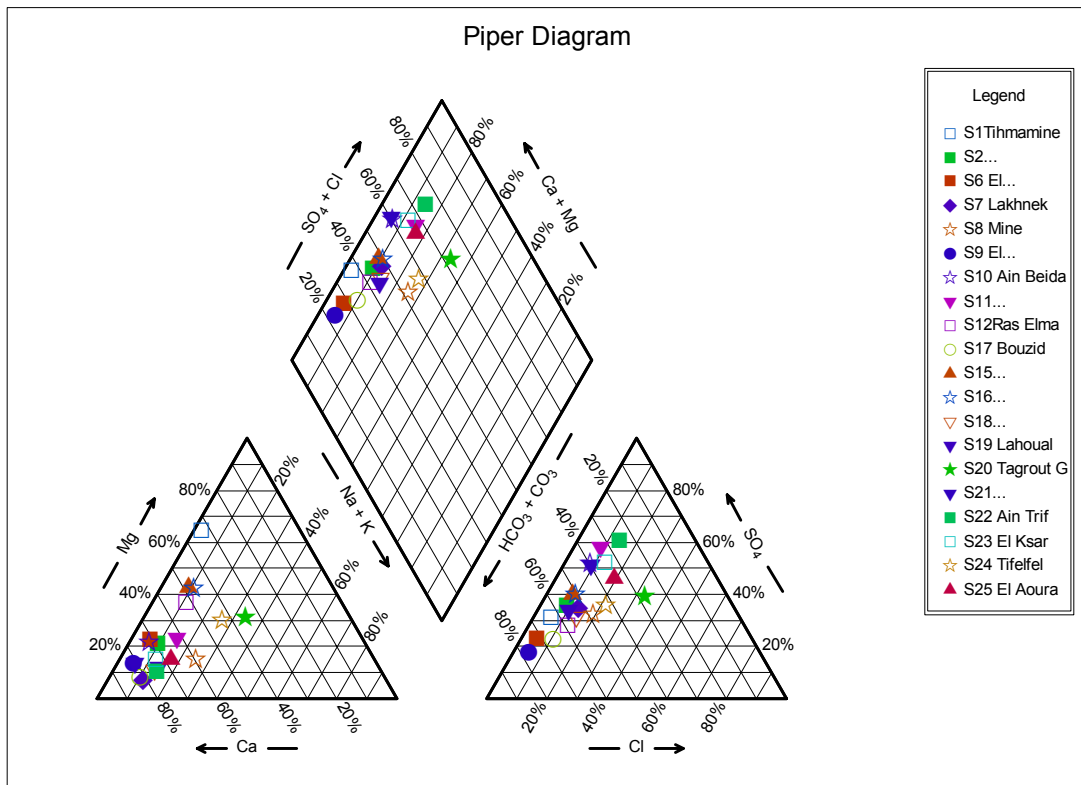


Fig.93: Les eaux des Sources compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

Si on fait une présentation de ces eaux sur le diagramme de Schoeller (fig. 94 à 97), pour chaque nappe à part, on remarque ce qui suit :

L'ensemble des sources provenant de l'albien présentent un faciès bicarbonaté calcique avec une eau de bonne qualité (S2, S6, S8, S9, S12, S18, et S19). La source S1 présente un faciès bicarbonaté magnésien (bonne) avec une valeur élevée en Mg^{++} , due probablement à la présence de dolomies. Les sources S10 (bonne), S11, S20 (mauvaises) présentent un faciès sulfatées calciques avec une tendance générale de l'augmentation de la concentration des sels du N-E au S-W. Ceci s'explique par le sens général de l'écoulement au niveau de cette nappe. L'ensemble des ces sources sont saturées en calcite et aragonite, avec un $p\ CO_2$ de 0.28×10^{-2} au S-W à 2×10^{-2} atm au N-E. Le rapport rMg^{++} / rCa^{++} augmente du N-E au S-W. Ce qui confirme une autre fois le sens de l'écoulement.

Ces sources émergeant au niveau des formations Cénomaniennes ont pour origine les formations Albo-Barrémienne (calcaires et dolomies). Elles remontent à travers des failles (mise en évidence par géophysique) et traversent le long de leurs trajectoires ascensionnelles des dépôts marneux avec des intercalations gypseuses. De ce fait, elles se chargent en sulfates, avec des échanges de bases des ions de Ca^{++} et Mg^{++} contre le Na^+ dans les deux sens eau \ formation géologique.

La source S7, provenant du Turonien (de bonne qualité), présente un faciès bicarbonaté calcique secondairement sulfatée sodique ; sursaturée en calcite et aragonite, avec une $p\ CO_2$ de 10^{-2} atm. Ce qui indique que ces eaux proviennent d'un réservoir carbonaté avec un indice d'échange de base positif, ce ci traduit un échange de base probable, entre le sodium de l'eau et les alcalino-terreux de l'aquifère.

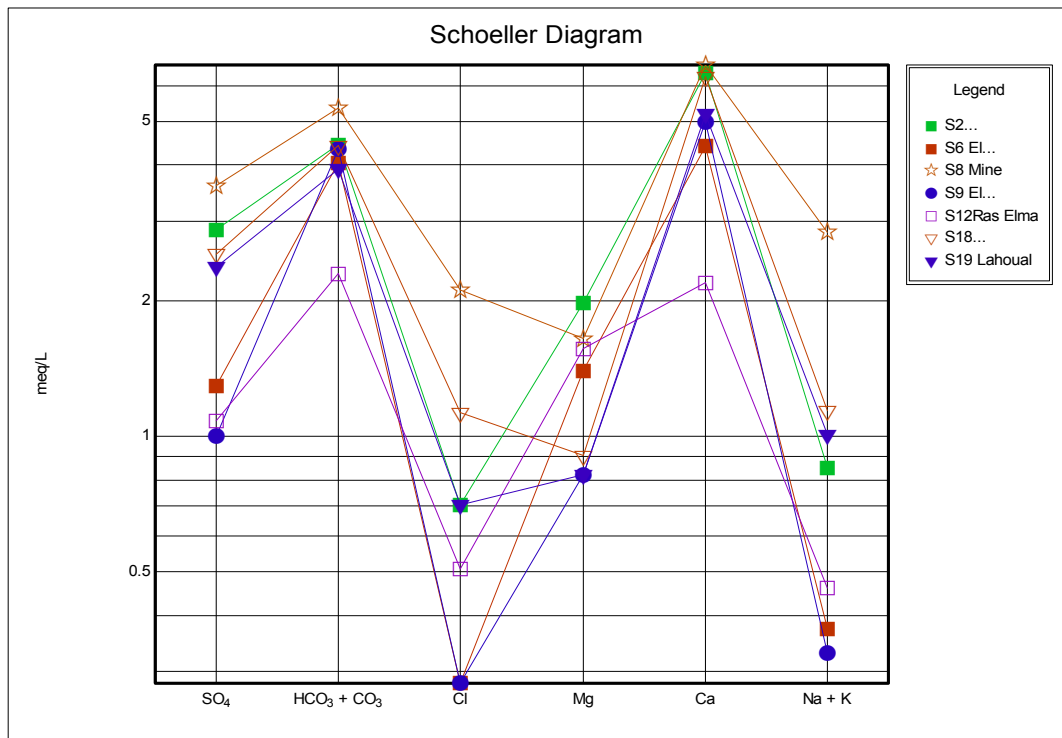


Fig. 94 : Sources de l'Albien compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

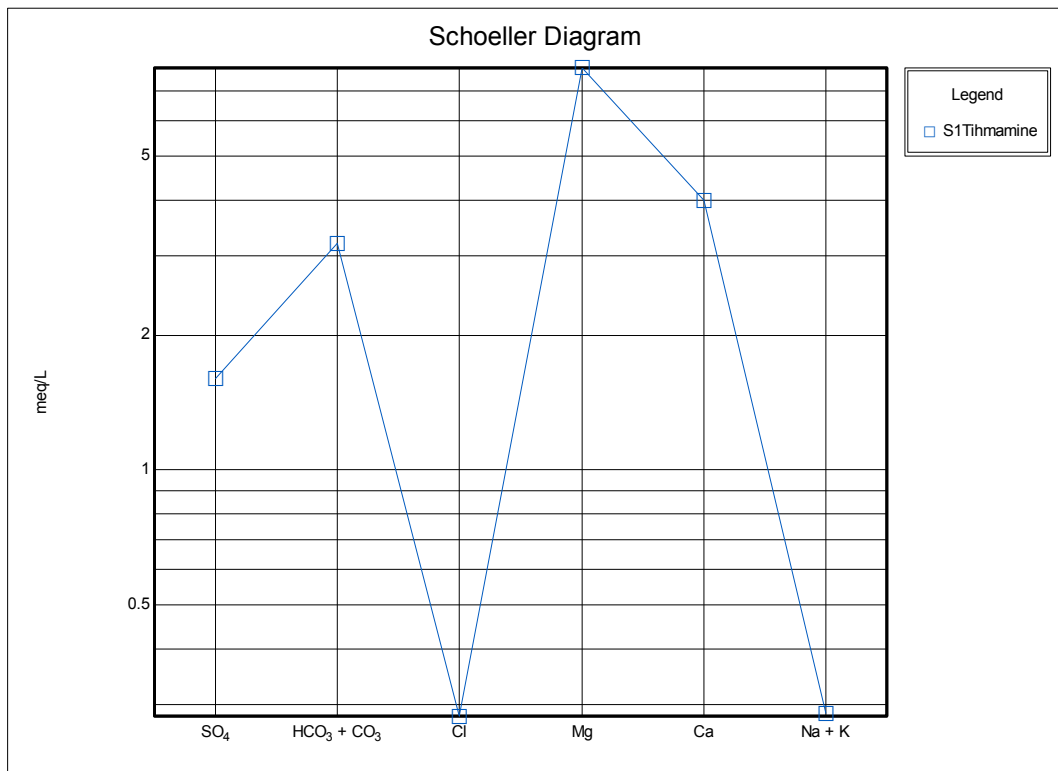


Fig. 95 : Source de l'Albien compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

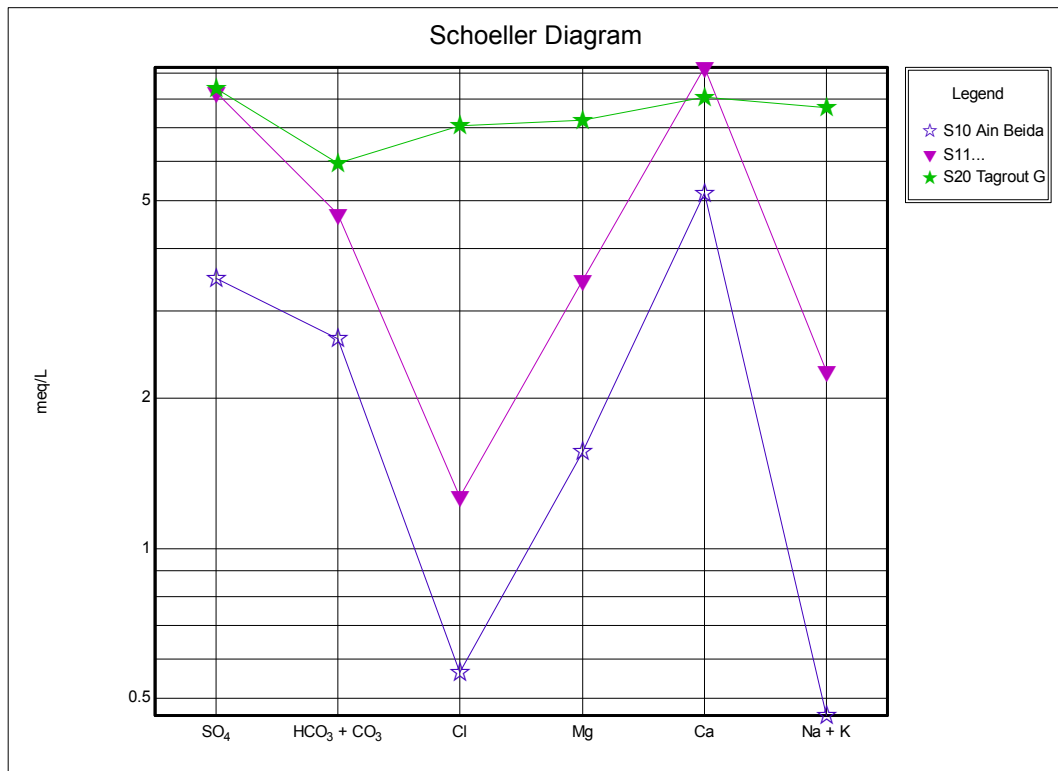


Fig. 96 : Sources de l'Albien compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

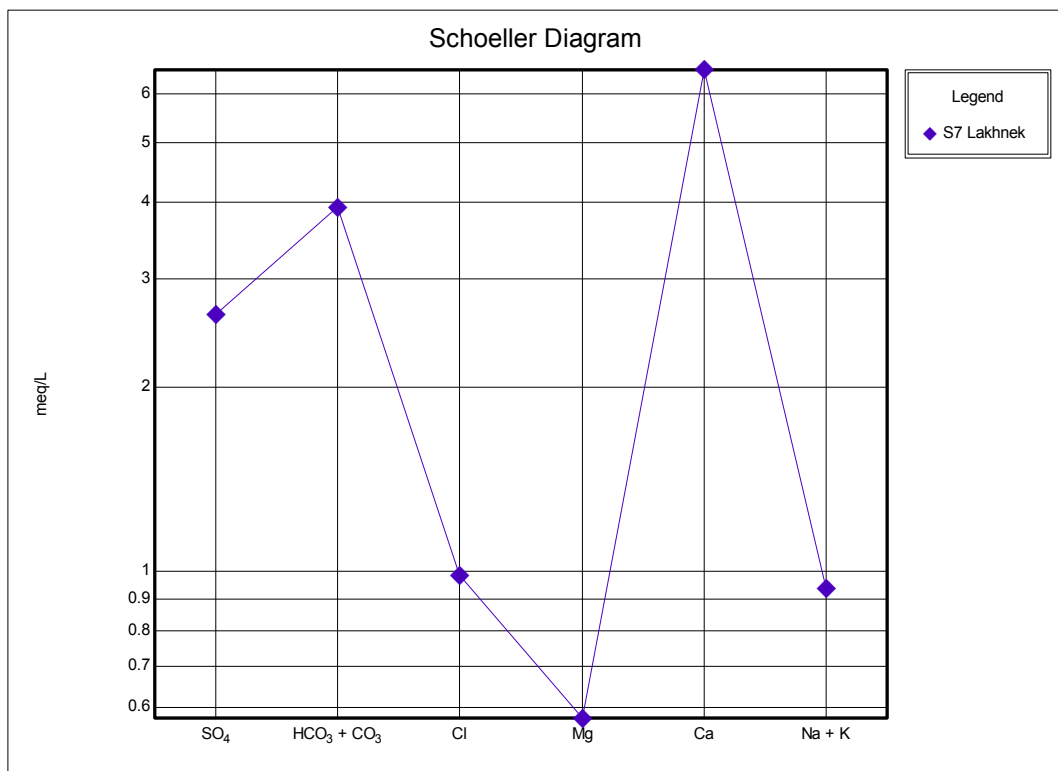


Fig. 97 : Source de l'aquifère Turonien compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

Les sources S15, S16 et S17 sont de bonne qualité. Elles émergent au niveau du Maastrichtien et des calcaires marneux du Campanien avec un résidu sec qui varie entre 418 et 516 mg/l. Les sources S15 et S16 (fig. 98), présentent un faciès Bicarbonaté calcique, secondairement sulfaté magnésien avec une sursaturation en calcite alors que l'aragonite est proche de l'équilibre. La $p\text{ CO}_2$ est respectivement de 5.8×10^{-2} et 7.2×10^{-2} atm. La source S17 est bicarbonatée calcique secondairement sulfatée sodique. Elle est saturée en calcite et en aragonite avec une $p\text{ CO}_2$ égale à 0.8×10^{-2} atm. Il s'agit d'un réservoir bicarbonaté. L'indice d'échange de base est négatif pour les trois sources, donc probabilité d'échanges des alcalino-terreux de l'eau contre le sodium de l'encaissant.

Ces sources proviennent d'un réservoir carbonaté dolomitique en passant par des niveaux marno-évaporitiques. Toutefois la dissolution de ces minéraux n'est pas assez avancé car la zone fait partie des zones d'alimentation.

Les sources S21, S22, S23, S24 et S25 proviennent des formations tertiaires. Ces sources (Fig. 99) ont un faciès sulfaté calcique, sauf pour le S24 qui présente un faciès bicarbonaté calcique. Le résidu sec est de l'ordre de 722 à 978 mg/l pour S21 (qualité bonne), S23 (qualité médiocre) et S24 (qualité bonne) et de 1042 à 1778 mg/l pour S22 et S25 (qualité mauvaise) qui proviennent, probablement, d'un réservoir carbonaté avec présence des marnes gypseuses. Les sources S22 et S25 sont plus chargées, et présentent un faciès sulfaté calcique, secondairement bicarbonaté sodique. Ce qui laisse à penser qu'elles proviennent d'un aquifère carbonaté en présence de formations évaporitiques. Elles se chargent en sulfates en présence soit de Na_2CO_3 , ou d'un échange de base qui se produit entre le Mg et Ca. Ces sources sont sursaturées ou proches de l'équilibre vis à vis de la calcite et l'aragonite (IS cal variant de 0.09 à 1.4 ; IS arg variant de -0.07 à 1.23). La pression en CO_2 atteint rarement 2×10^{-2} atm, comme limite supérieure.

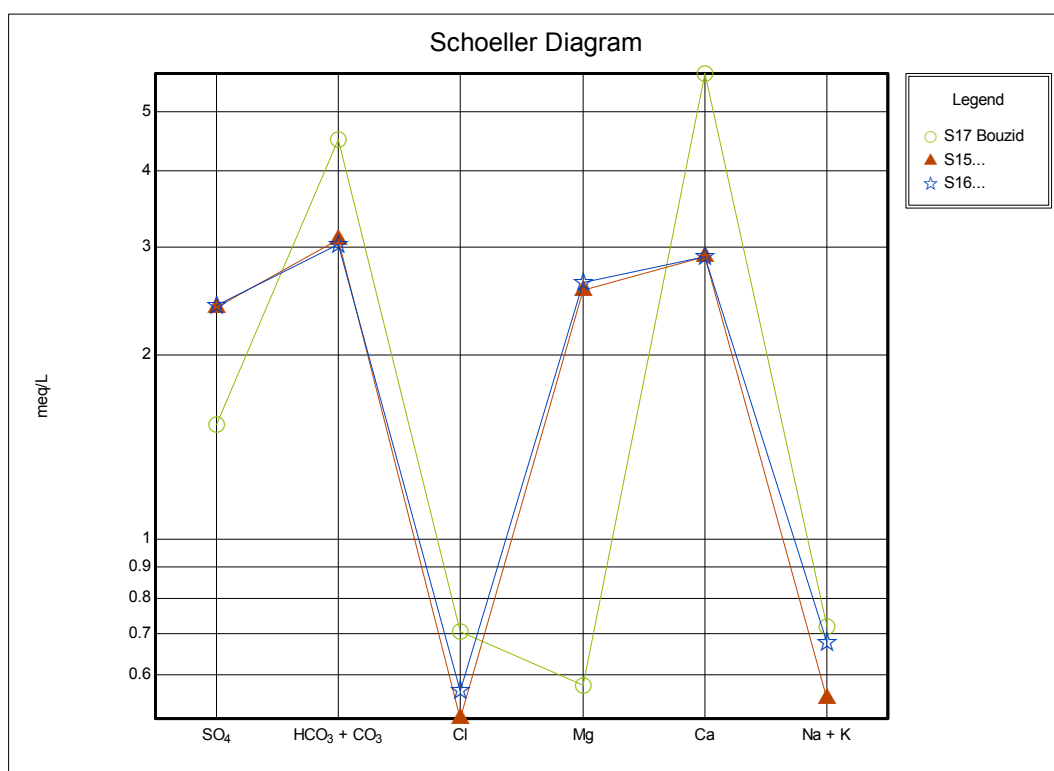


Fig. 98 : Sources du Maastrichtien compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

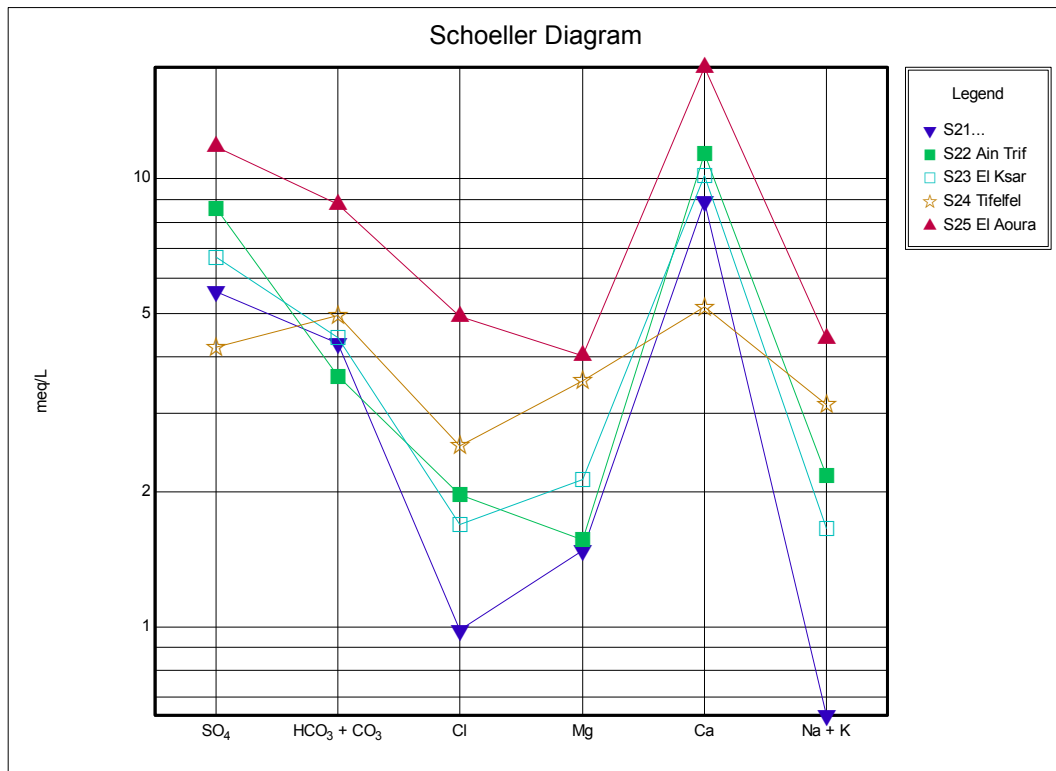


Fig. 99 : Sources des formations tertiaires compagne mars 2000
(Source : L'auteur, 2009)

b/ les Forages

Les 26 échantillons des eaux des forages captant les différents horizons aquifères, se placent sur le diagramme de Piper (fig. 100), sur les pôles :

- Bicarbonaté calcique et magnésien
- Chloruré et sulfaté calcique et magnésien
- Chloruré sodique et potassique, ou sulfaté sodique

La représentation des données chimiques sur le diagramme de Schoeller (Fig. 102, 103, 104 et 106), donne les faciès suivant :

La figure 101 montre le positionnement des forages de la cuvette d' Ichemoul captant l'aquifère de l'Albien F20, F21, F22, et F23 et celui du cénomanien F19. Les eaux des forages sont de bonne qualité sauf celles du F22 dont la qualité est mauvaise.

- F19, F21, bicarbonaté calcique, secondairement chloruré sodique et sulfaté magnésien, respectivement, ce qui indique, un réservoir carbonaté en contact avec des évaporites.

- F20, F22 bicarbonaté sodique, secondairement chloruré calcique, provenant d'un réservoir carbonaté avec un échange de base des alcalino-terreux contre le Na⁺ des argiles sodiques.

- F23, sulfaté calcique, secondairement bicarbonaté magnésien, provenant d'un réservoir carbonaté comportant des niveaux gypsifères.

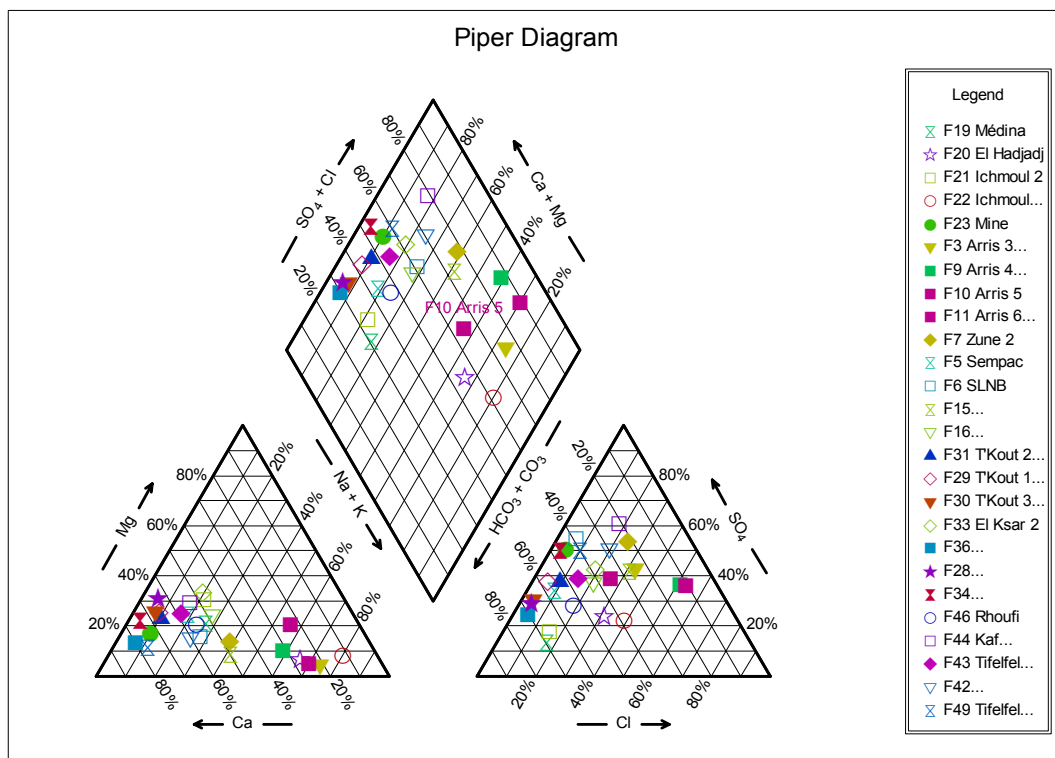


Fig. 100 : Les eaux des forages compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

La particularité de cette région, c'est qu'elle forme une cuvette, qui a pris naissance après l'effondrement d'une partie médiane de l'anticlinal de Dj. El-Azreg ; avec la présence d'un tout petit pointement triasique.

Pour les forages captant l'Albien de la région d'Arris, F3, F9, F10, F11, F7 et F5 ; le résidu sec augmente pour atteindre des valeurs variant de 1400 à 3300 mg/l et des hautes teneurs en sulfates, sodium et parfois en chlorures. Ces points (fig 103) présentent, des faciès :

- F7 sulfaté calcique, secondairement bicarbonaté sodique.
- F3, F10, sulfaté sodique, secondairement chloruré calcique ou bicarbonaté calcique.
- F9, F11 chloruré sodique, secondairement sulfaté calcique

Il est clair d'après les pôles SO_4^- , Ca^{++} et HCO_3^- qu'il s'agit d'un réservoir carbonaté avec des marnes et des évaporites. Le faciès sulfaté calcique laisse la place à un faciès sulfaté sodique, qui lui aussi laisse la place à un faciès chloruré sodique, cette évolution se fait généralement dans une nappe d'amont en aval, dans le sens d'écoulement de la nappe. Dans notre cas du nord-est au Sud-ouest (fig. 101)

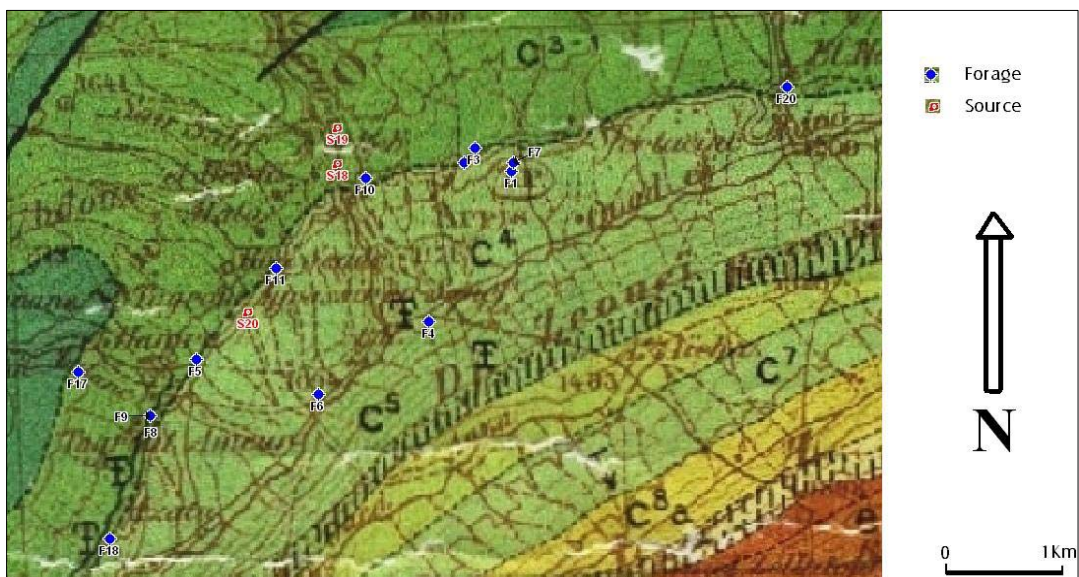


Fig. 101 : Carte de disposition des forages albiens de la région d'Arris
(Source : L'auteur, 2009)

C¹⁻³ : Albien (grés - carbonaté); C⁴: Cénomaniens (marnes); C⁵: Cénomaniens (marno-calcaires); C⁶: Turonien (calcaires); C⁷: Cénomaniens inférieurs (marnes & quelques bancs de calcaires); C^{8 a}: Campanien (marnes); C^{8 b}: Maastrichtien (calcaires);

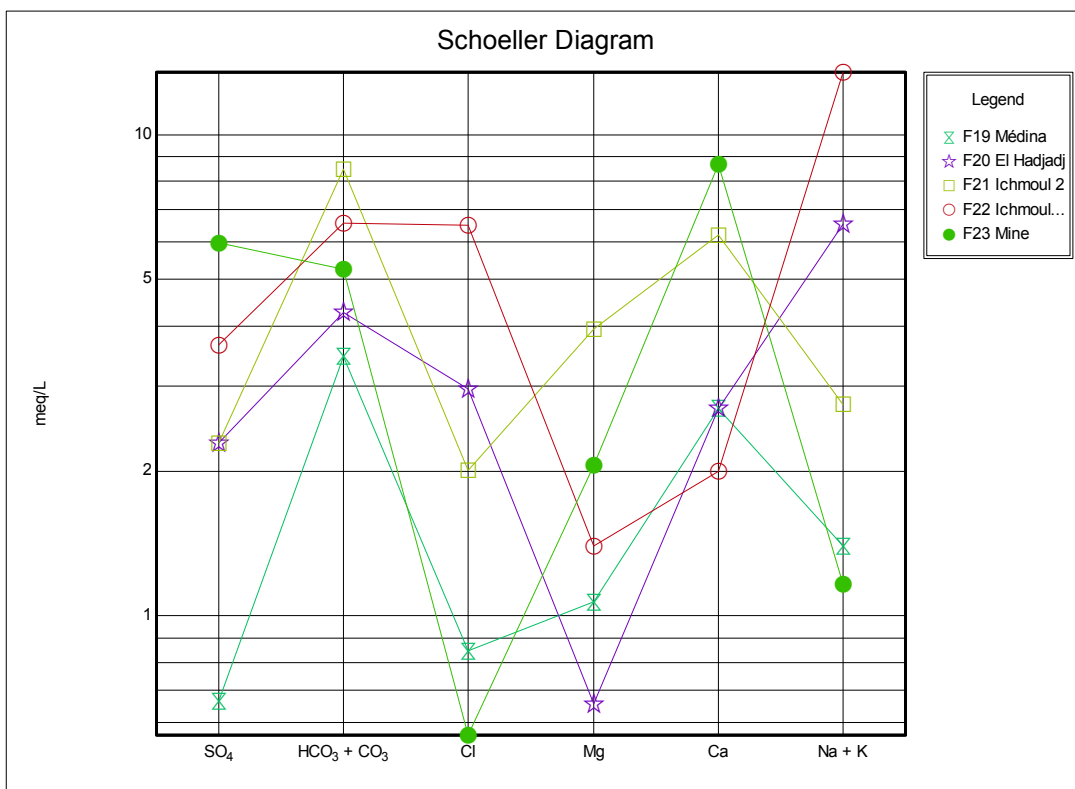


Fig. 102 : Les eaux des forages albiens et cénomaniens de la région Ichmoul compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

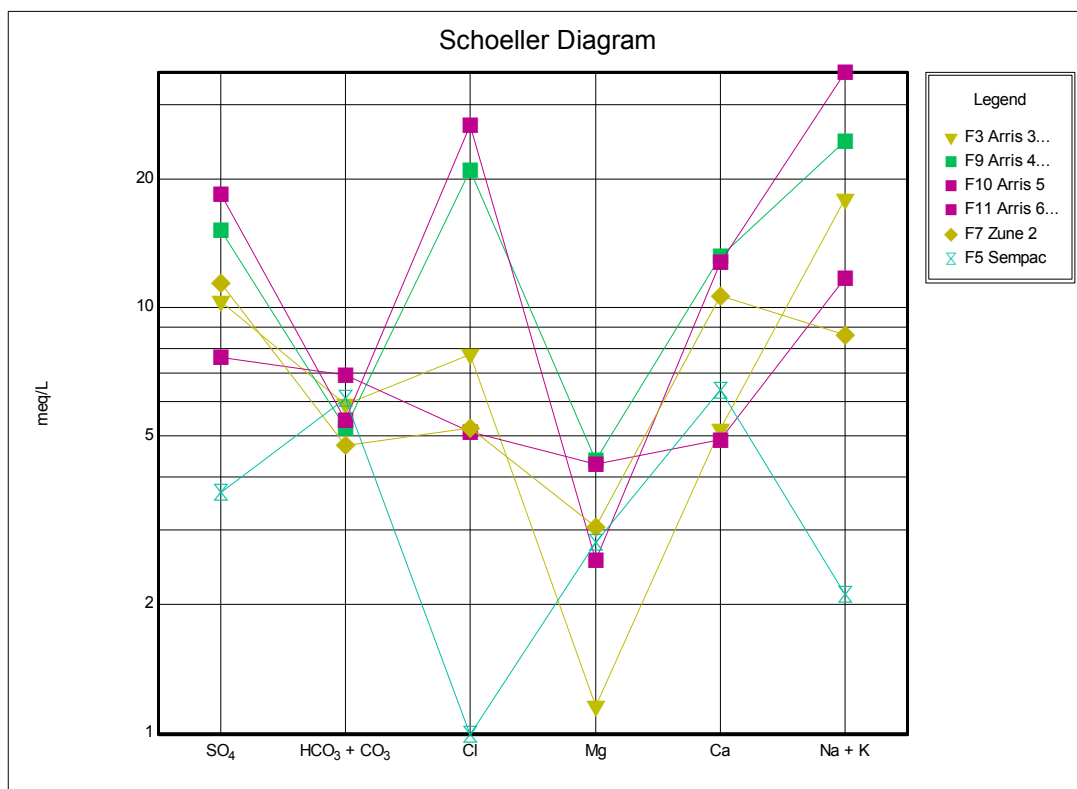


Fig. 103 : Les eaux des forages albiens de la région d'Arris compagne mars 2000
(Source : L'auteur, 2009)

II.3. Aquifères du Turonien

Pour la nappe du Turonien, il y a seulement le forage F16 de Tighanimine, avec une qualité d'eau bonne, et présentant un faciès chimique bicarbonaté calcique secondairement sulfaté sodique. Ceci témoigne d'un réservoir carbonaté en contact avec des marnes et évaporites, avec un échange de base probable entre les alcalino-terreux de l'eau et le sodium des formations. (i.e.b = - 0.35).

II.4. Aquifères du Maastrichtien et de l'Eocène inférieur

Les douze forages restant sont situés le long de l'axe du synclinal de Rhassira, captant principalement les formations du Tertiaire (Yprésien-Lutétien inférieur et parfois en mélange avec l'oligocène).

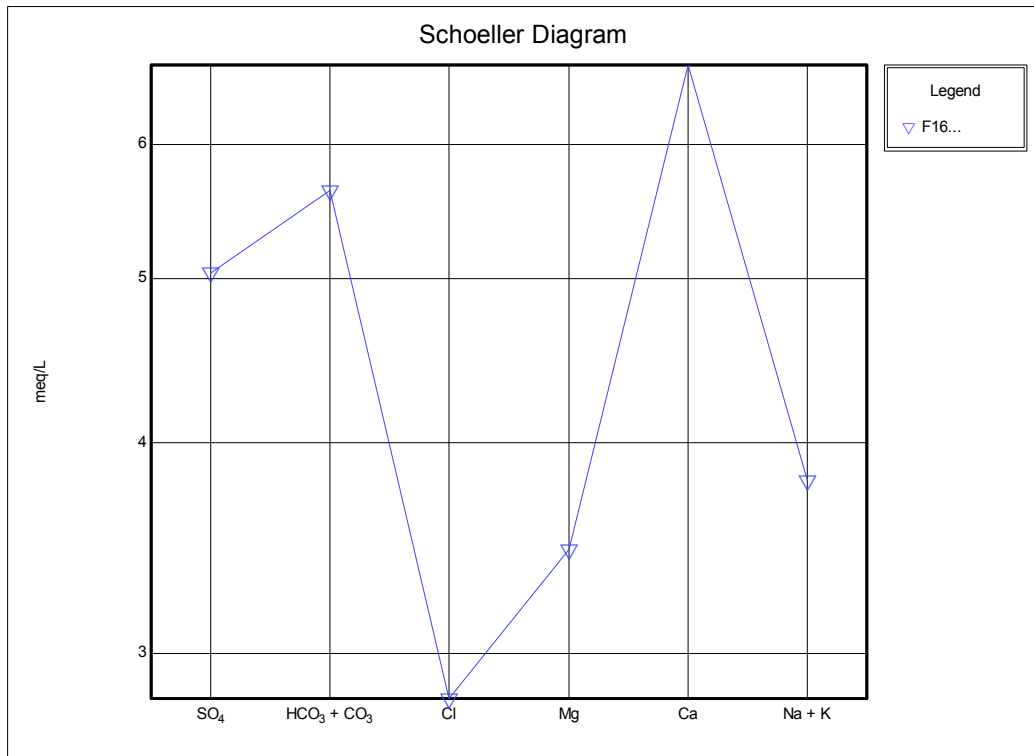


Fig. 104 : Les eaux des forages du Turonien ; Tighanimine compagne mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

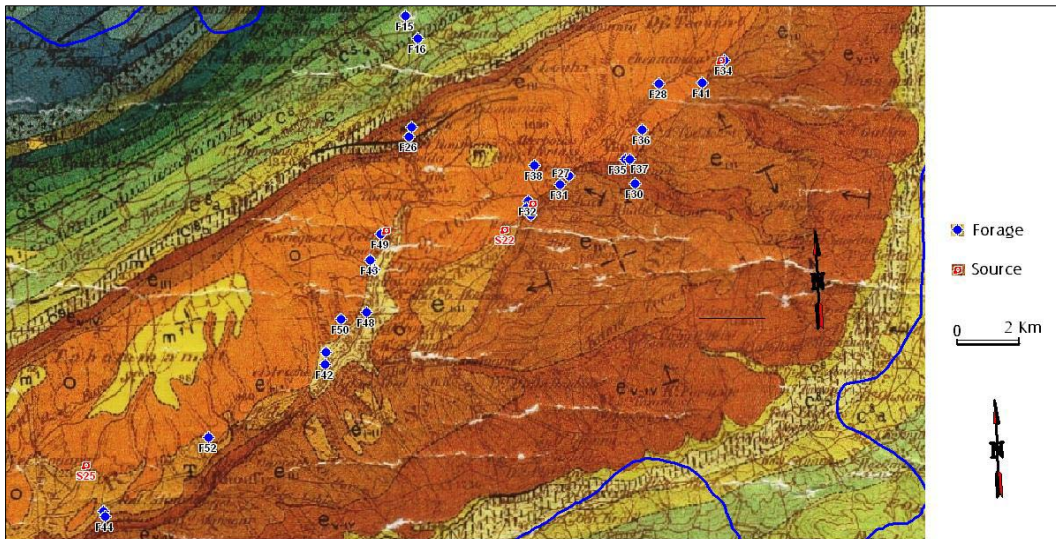


Fig. 105 : Carte des forages au synclinal de Rhassira (Source : L'auteur, 2009)

m : Miocène ; o : Oligocène ; e-II : Lutétien ; e-III : Yprésien ;
e-V-VI : Paléocène ; C9 : Danien ; C8b : Maastrichtien ; C8a : Campanien.

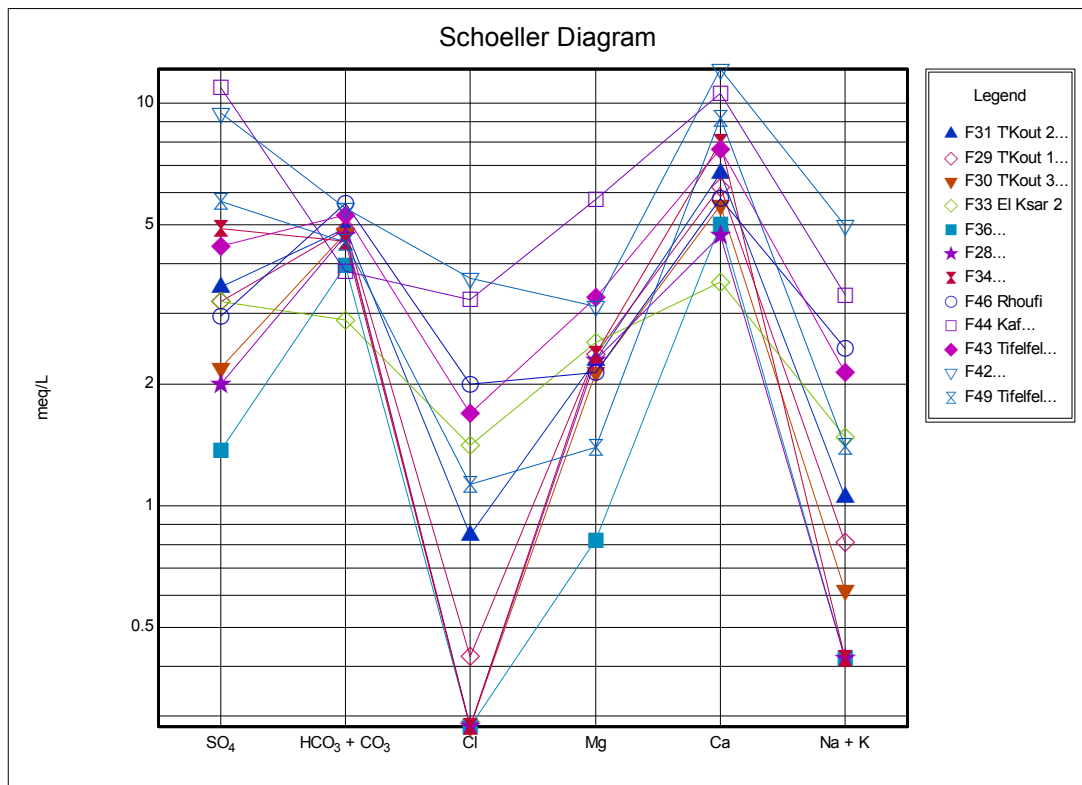


Fig. 106 : Les eaux de l'éocène inférieur dans la vallée de Rhassira compagnie mars 2000 (Source : L'auteur, 2009)

Les 67 % des échantillons présentent un faciès bicarbonaté calcique, dont F31, F29, F30, F36, F28, F34, F43 sont secondairement sulfaté magnésien et F46 est secondairement sulfaté sodique.

Les 33 % des échantillons présentent un faciès sulfaté calcique dont F33, F44, F49 sont secondairement bicarbonatés magnésiens, et F42 est secondairement bicarbonaté sodique.

Ces faciès traduisent un réservoir carbonaté avec l'effet de la présence d'évaporites telles que le gypse et l'anhydrite.

En conclusion, les eaux captées dans la région d'Ichemoul et Arris, appartiennent à la nappe albienne. Les échantillons d'eau, présentent une bonne qualité d'eau, dans la région d'Ichmoul à part les points d'eau tels que F22 et S11, ayant une potabilité chimique médiocre à mauvaise avec respectivement un résidu sec de 1110 et 978 mg/l et un taux de sodium de 310 mg/l pour F22, et les sulfates de 396 mg/l pour S11.

Quand à la région d'Arris, tous les points présentent une eau mauvaise à médiocre avec des résidus secs allant de 1400 à 3270 mg/l. Les taux en sulfates et en sodium dépassant les normes de potabilité. Par ailleurs les forages F5 et F16 à Tighanimine exploitent les alluvions du Quaternaire et la nappe du turonien, donnant une bonne qualité d'eau.

III- CAMPAGNE HYDROCHIMIQUE DE 2008

III.1. Interprétation des données

L'étude géochimique des eaux des aquifères carbonatés (Maastrichtien et Eocène inférieur) est le principal objectif dans ce chapitre. Dans ce cadre, nous avons procédé à un prélèvement de 26 échantillons, dont, trois, représentent des eaux tièdes et seront traités à part. Le reste des échantillons soit 23, représentent 4 sources et 19 forages captant l'Oligocène, l'Eocène et le Maastrichtien. Certaines mesures effectuées sur place afin de déterminer les valeurs des paramètres physico-chimiques qui évoluent rapidement après l'échantillonnage tels que la température, pH et conductivité électrique.



Fig. 107 : Matériel en sondes, utilisé sur terrain. à droite conductivimètre et à gauche le deux sondes (T°C, pH et Potentiel électrique)

-III.1.1. Résidu sec

Les valeurs du résidu sec, varie de 390 à 2820 mg/l, où on distingue quatre zones qui se répartissent comme suit :

- zone N-E, où le résidu sec varie de 390 à 570 mg/l, de bonne qualité, et caractérise les points d'eau (S13, F28, F30, F37); ce qui peut indiquer qu'il s'agit d'une zone d'alimentation où le transit est peu prolongé dans un réservoir carbonaté.

- Puis vient une zone médiane, qui s'étend de T'Kout à Baniane, où le résidu sec, globalement, prend des valeurs allant de 620 à 850 mg/l, (S25, F34, F79, F78, F53, F27, S24, S26, F50, F60 et F49). A ce niveau, le contact avec la roche est plus prolongé ; à part quelques exceptions, comme le F42 (Rhassira 1) qui exploite un mélange d'eau (Eocène, Oligocène et alluvions du Quaternaire et le F47 (Kef Laârous remp), qui se situe au niveau du sondage électrique K4 sur le bloc surélevé. Cette discontinuité des calcaires avec le reste de la couche ralentit la circulation des eaux et conduit ainsi à la forte minéralisation des eaux.

- Un troisième groupe se situe plus au sud mais captant surtout le Maastrichtien (F100, F94) et l'Eocène situé dans la zone médiane tel que (F42, F43, F47, F52) avec des résidus secs allant de 1080 à 1200 mg/l.

- Enfin, le dernier groupe (S35, F83, F99) avec des résidus variant de 2230 à 2820 mg/l, capte le Maastrichtien, mais nous pensons qu'il draine des eaux chaudes qui viennent de grandes profondeurs.

-III.1.2. Conductivité

La conductivité de l'eau au laboratoire, ramenée à une température standard, où l'unité de mesure est le $\mu\text{s/cm}$, donne une répartition de zones sur le terrain qui concorde avec la répartition de celle du résidu sec. On distingue :

- Une première zone, caractérisée par une conductivité allant de 640 à 720 $\mu\text{s/cm}$, se situe dans la partie nord-est et caractérise les points d'eau (S13, F28, F37).

- une zone médiane, d'une conductivité de 850 à 1120 $\mu\text{s/cm}$ (S25, F34, F79, F78, F53, F27, S24, S26, F50, F60 et F49).

- une zone située plus au sud ayant des conductivités de l'ordre de 1400 à 2010 $\mu\text{s/cm}$, caractérisant principalement les eaux du Maastrichtien et quelques points de l'Eocène.

- En fin dans la zone sud des eaux (S35, F83, F99) avec des conductivités de 2850 à 3710 $\mu\text{s/cm}$.

Les valeurs de conductivité mesurées sur site oscillent entre 630 à 3740 $\mu\text{s/cm}$. Elles présentent le même zonage que précédemment (fig. 109).

- Zone au N-E avec une conductivité de 630 à 690 $\mu\text{s/cm}$.
- Une zone médiane (770 à 1110 $\mu\text{s/cm}$)
- Zone sud (1410 à 2030 $\mu\text{s/cm}$)
- Plus au sud des eaux chaudes avec une conductivité de 2760 à 3740.

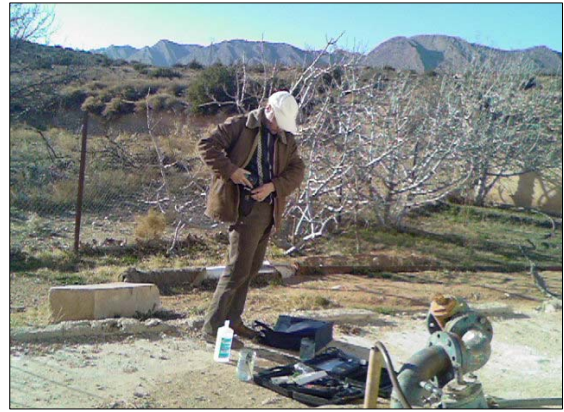


Fig. 108 : Mesure des paramètres physico-chimique des eaux de forage Chennaoura 1.

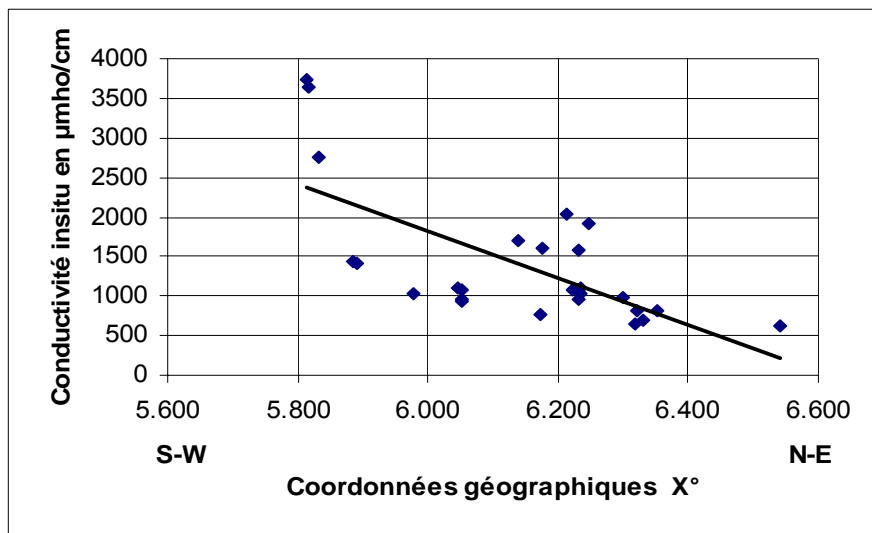


Fig. 109 : Evolution de la conductivité du N-E au S-W de la vallée d'Oued el-Abiod (Source : L'auteur, 2009)

On remarque, que la conductivité évolue du Nord-est au Sud-ouest (fig.109), conséquence du contact eau roche plus prolongé ; le positionnement par rapport aux zones d'alimentation et la pluviométrie qui est plus conséquente au N-E.

-III.1.3. pH

les mesures de pH in situ, montrent que la tendance générale des eaux, est plutôt neutre à légèrement alcalines (pH = 7 à 7.54) à part les échantillons F42, F47 et F83 ayant un pH respectivement dans l'ordre, 6.99, 6.96 et 6.95. La différence entre le pH_m (mesuré) et le pH_e (d'équilibre) est le ΔpH qui donne une idée sur l'état de la solution (fig. 110).

Lorsque $-0.05 < \Delta pH < 0.05$ la solution est en équilibre. C'est le cas de 10 échantillons.

$\Delta pH < -0.05$ la solution est sous saturée et à tendance à dissoudre les carbonates ; ceci concerne 17 échantillons.

$\Delta pH > 0.05$ la solution est incrustante, sursaturée ; ceci concerne 2 échantillons.

Pour la nappe de l'Yprésien l'eau est sous saturée en amont (T'Kout) devient plus ou moins équilibré à saturée dans la partie médiane et au sud.

Les échantillons de l'aquifère du Maastrichtien présentent une solution proche de l'équilibre. Mais les autres trois échantillons des eaux chaudes, sont plutôt sous saturés en bicarbonates.

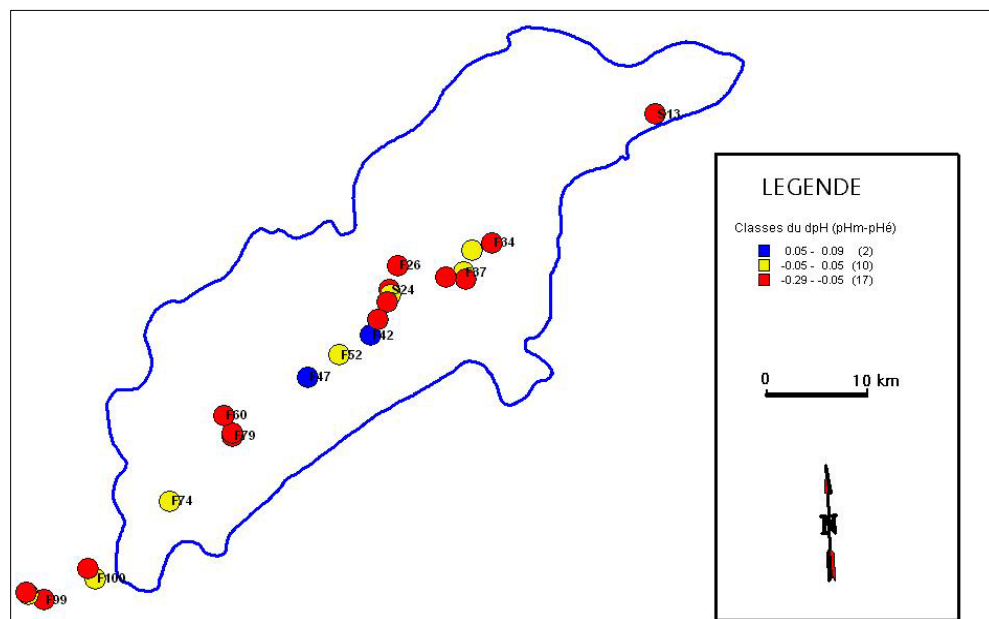


Fig. 110 : Classes du ΔpH dans le synclinal de Rhassira (2008)
(Source : L'auteur, 2009)

-III.1.4. Température

L'ensemble des points d'eaux de la région présentent des températures variant de 15.7 à 27.1 °C ; à l'exception des points F99, F83 et S35 qui présentent des températures un peu élevées (31.1 à 34.4 °C). Pour le premier groupe, la température évolue du N-E au S-W. L'évolution de la température est due à plusieurs facteurs, tels que les zones d'alimentation et l'approfondissement des aquifères, sans oublier l'effet de l'altitude (122 m à 1412 m) ainsi

que le gradient géothermique. Pour le deuxième groupe c'est l'ascension des eaux chaudes des profondeurs à travers la grande faille qui se prolonge sur plusieurs kilomètres jusqu'à la région de M'Doukal.

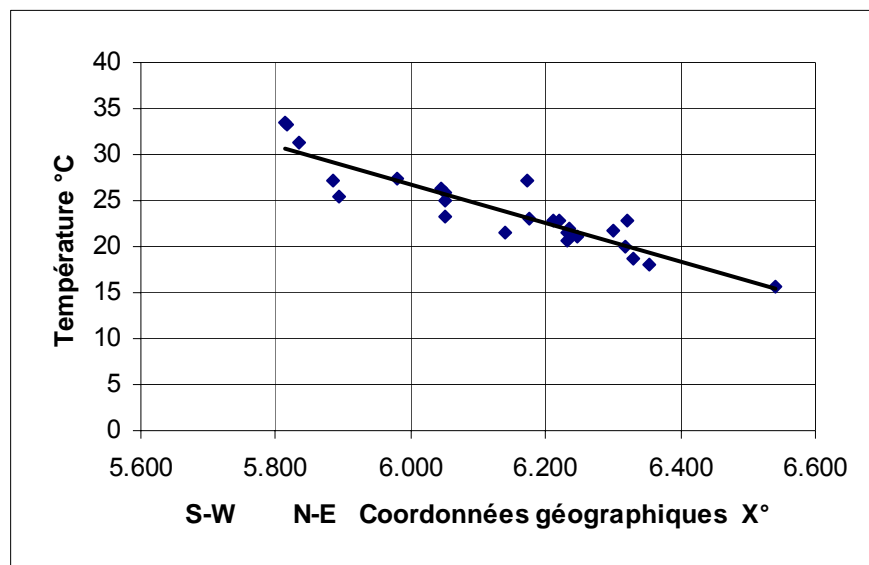


Fig. 111 : Evolution de la température des eaux souterraines du N-E au S-W de la vallée d'Oued El Abiod (Source : L'auteur, 2009)

-III.1.5. Eléments chimiques majeurs

Les analyses chimiques ont déterminé les concentrations en mg/l des éléments majeurs tels que : Ca^+ , Mg^+ , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- et NO_3^- . Pour le bilan ionique (voir tableau en annexe), l'erreur pour tous les échantillons ne dépasse pas 0.78 % sauf pour le F83 où elle atteint 2.68 %.

a/ Faciès chimiques

La représentation des points d'eau sur le diagramme de Piper (fig. 112), montre que l'ensemble des points se positionnent sur le pôle chloruré et sulfaté calcique et magnésien, à part la S13 et le F37 qui se placent plutôt sur le pôle bicarbonaté calcique et magnésien.

Sur le diagramme de Schoeller, (fig. 113); figurent deux faciès : le premier bicarbonaté calcique avec deux pôles secondaires, sulfaté sodique (S13, F37) et sulfaté magnésien pour F28.

Quand au deuxième faciès il est bicarbonaté sodique secondairement sulfaté calcique caractérisant les eaux du F30. Ces eaux sont issues d'un réservoir carbonaté, de l'Eocène pour les premiers points et du Paléocène pour le F30. Tous se situent en amont de la vallée.

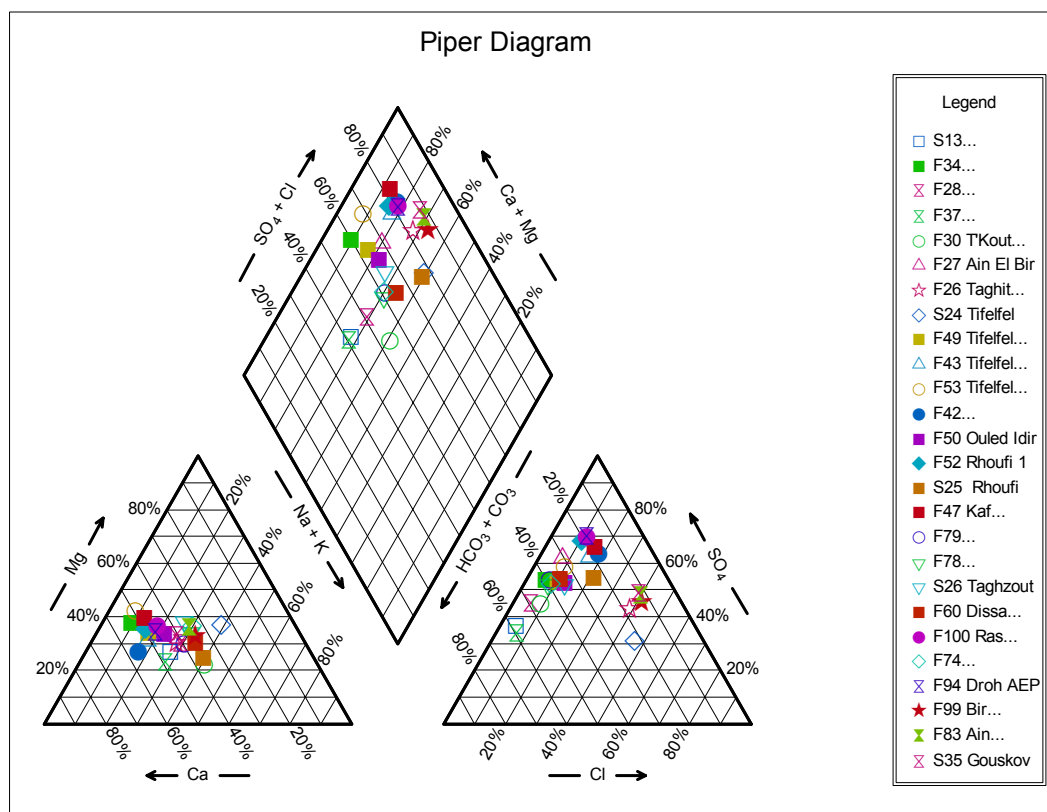


Fig. 112 : Les eaux dans le synclinal de Rhassira (2008)
(Source : L'auteur, 2009)

Le deuxième diagramme, (fig. 114), représente la catégorie des eaux la plus répandue dans la région. Dix sept (17) échantillons, présentent le faciès sulfaté calcique dont :

- 13 échantillons : sulfatés calciques secondairement bicarbonatés magnésiens
- 3 échantillons : sulfatés calciques secondairement chlorurés sodiques
- 1 échantillon sulfaté calcique secondairement bicarbonaté sodique.

A noter que l'ensemble des points d'eaux représentent l'aquifère carbonaté de l'éocène dans la zone médiane de la vallée, le reste c'est des sources qui traversent des dépôts de l'oligocène (F26) ou l'aquifère maastrichtien qui draine des eaux chaudes.

Le faciès sulfaté magnésien caractérise le F74 et S26, dont les eaux proviennent respectivement de l'Eocène et le Maastrichtien et qui sont secondairement chloruré calcique. Le point F83 est secondairement chloruré sodique. Il s'agit d'un forage d'une profondeur de 120 m captant le Maastrichtien. Ce dernier draine des eaux chaudes.

Un seul échantillon (S24), est caractérisé par un faciès chloruré sodique, secondairement sulfaté magnésien, provenant principalement des dépôts de l'oligocène, formés de conglomérats et d'argiles gypseuses. (fig. 116)

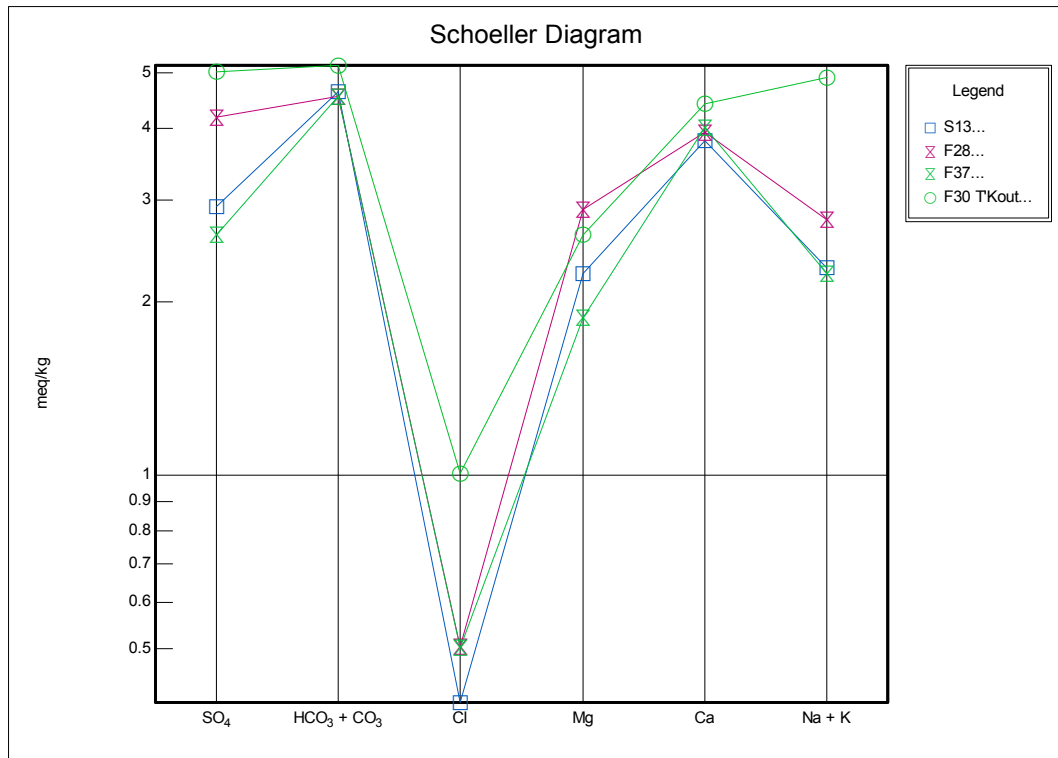


Fig. 113 : Faciès bicarbonaté calcique ou sodique
Synclinal de Rhassira (2008)
(Source : L'auteur, 2009)

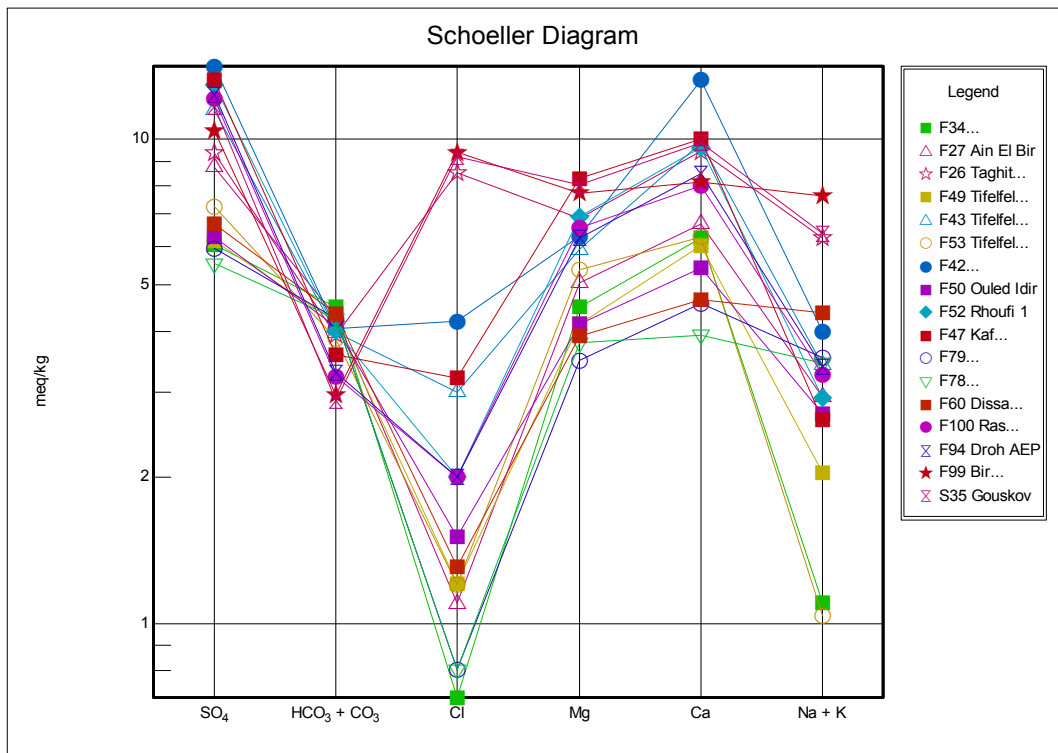


Fig. 114 : Faciès Sulfaté calcique synclinal de Rhassira (2008)
(Source : L'auteur, 2009)

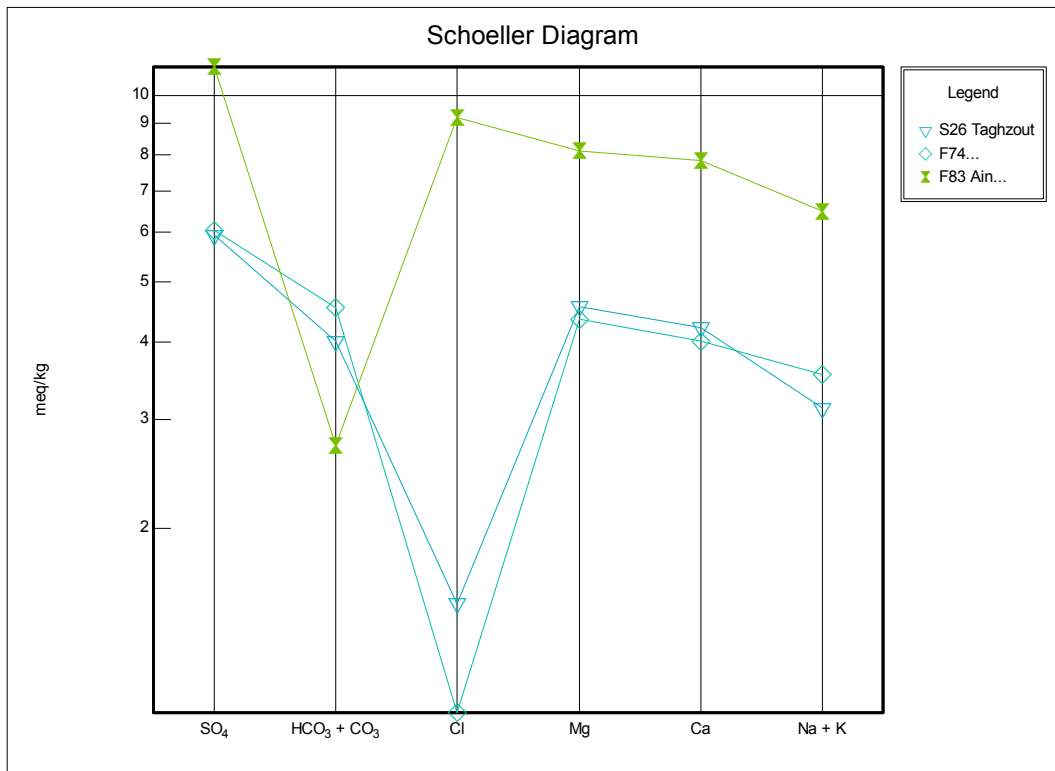


Fig. 115 : Faciès Sulfaté calcique synclinal de Rhassira (2008)
(Source : L'auteur, 2009)

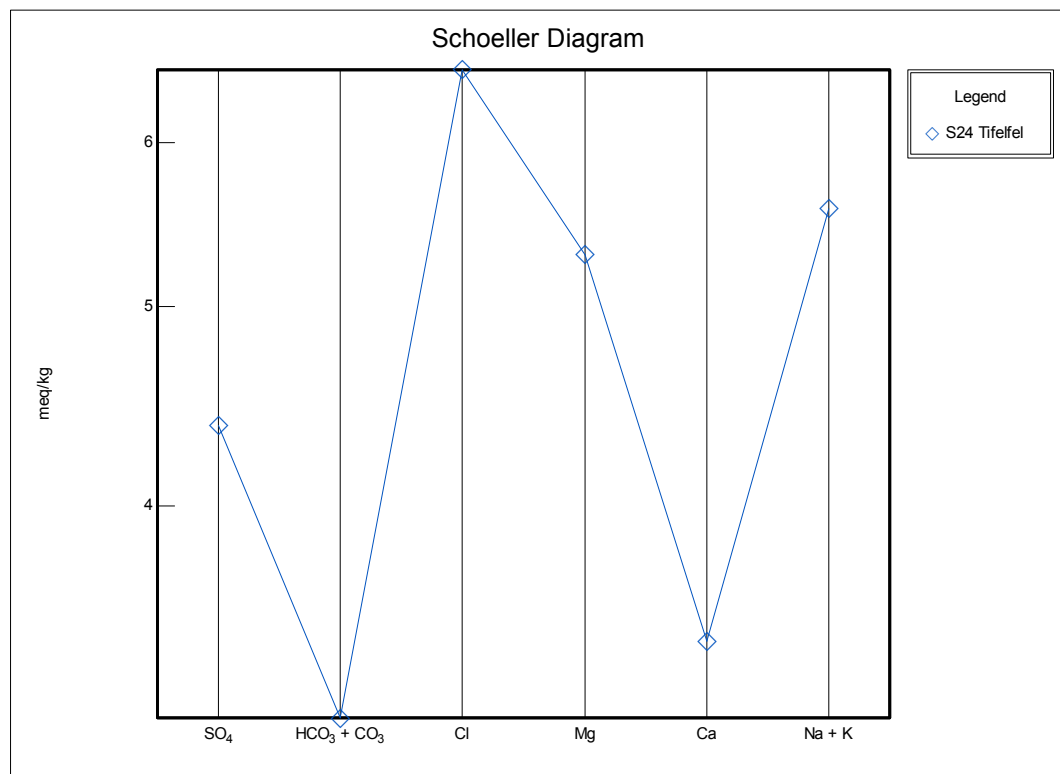


Fig. 116 : Faciès Chloruré sodique synclinal de Rhassira (2008)
(Source : L'auteur, 2009)

b/ Formule ionique

L'étude des données des analyses chimiques (tab en annexe), et l'établissement de la formule ionique, a permis de classer les eaux dans six groupes de faciès :

- Bicarbonatée calcique (3 échantillons) ; soit 11.54 % des échantillons.
- Bicarbonatée sodique (1 échantillon) ; soit 3.85 % des échantillons.
- Sulfatée calcique (17 échantillons) ; soit 65.38 % des échantillons.
- Sulfatée magnésienne (3 échantillons) ; soit 11.54 % des échantillons.
- Sulfatée sodique (1 échantillon) ; soit 3.85 % des échantillons.
- Chlorurée sodique (1 échantillon) ; soit 3.85 % des échantillons.

Trois familles de faciès prédominantes dans la région se dégagent :

- Eaux sulfatées calciques ou magnésiennes ou sodiques 80.77 %
- Eaux Bicarbonatées calciques ou sodiques 15.39
- Chlorurée sodique 3.85 %

Ce sont les faciès qui caractérisent l'ensemble des échantillons prélevés. Le tableau 26 caractérise les différentes nappes du synclinal de Rhassira.

La nappe de l'Yprésien-Lutétien inférieur est caractérisé par un faciès bicarbonaté calcique secondairement sulfaté sodique ou magnésien dans sa partie amont (N-E du synclinal) ; elle est sulfaté calcique secondairement bicarbonaté magnésien dans la partie centrale et sud de la vallée (au sud les forages captent les deux aquifères). Ce dernier faciès devient sulfaté magnésien secondairement bicarbonaté calcique dans quelques points (S26, F74), et ce par un échange de base entre le calcium et le magnésium ou par un contact prolongé avec la roche et dissolution de la dolomite ($\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$) et la magnésite Mg CO_3 .

Il faut cependant noter que les eaux des sources S24 et S25 qui présentent respectivement des faciès chloruré sodique et sulfaté calcique, traversent les conglomérats et les argiles de l'Oligocène. Ceci se fait avec la dissolution des évaporites principalement le Na Cl (pour le cas de S24) et des échange de bases entre les alcalins de la roche et les alcalino-terreux de l'eau (pour le cas de la S25).

Plus au sud, au niveau des trois points d'eau (F99 ; F83 ; S35), les eaux proviennent de l'aquifère maastrichtien, alimenté par des eaux chaudes profondes (probablement de l'Albien) et lessivant des terrains de type lagunaire contenant des sels tel que le Na Cl . Ceci est confirmé par la présence du chlore comme un deuxième pôle après les sulfates, ainsi que la température des eaux.

Enfin nous remarquons que le faciès sulfaté calcique, secondairement bicarbonaté magnésien, prédomine dans la région, caractérisant les eaux d'un réservoir bicarbonaté ou l'influence des formations marneuses et évaporitiques est évidente.

En résumé, les eaux proviennent globalement d'un réservoir carbonaté. Au nord elles sont moins chargées. Au centre et au sud les eaux deviennent plus sulfatées ou chlorurées, traduisant l'éloignement des zones d'alimentation et la mise en solution des évaporites dans un environnement où règne un climat aride.

Tab 26: Faciès chimiques des réservoirs carbonatés dans la vallée de Rhassira

POINT D'EAU	FORMULE IONIQUE	Faciès Chimique	Aquifère
S13 ; F37	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}+\text{K} > r \text{Mg}$	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique	Éocène
F28	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg} > r \text{Na}+\text{K}$	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien	Éocène
F30	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^-$ $r \text{Na}+\text{K} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}$	Bicarbonaté Sodique; Secondairement Sulfaté Calcique	Paléocène
F27 ; F34 ; F49 ; F43 ; F53 ; F42 ; F50 ; F52 ; F47 ; F79 ; F78 ; F94 ; F100	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg} > r \text{Na}+\text{K}$	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien	Éocène & Éocène + Maastrichtien
F26 ; F99 ; S35	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg} > r \text{Na}+\text{K}$	Sulfaté Calcique; secondairement Chloruré Magnésien	Éocène + Maastrichtien
S25	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^-$ $r \text{Na}+\text{K} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}$	Sulfaté Sodique; secondairement Bicarbonaté Calcique	Éocène + Oligocène
F83	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{Cl}^- > r \text{HCO}_3^-$ $r \text{Mg} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}+\text{K}$	Sulfaté Magnésien; secondairement Chloruré Calcique	Miocène eau tiède
S26 ; F74	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^-$ $r \text{Mg} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}+\text{K}$	Sulfaté Magnésien; secondairement Bicarbonaté Calcique	Éocène + Maastrichtien
F60	$r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^-$ $r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}+\text{K} > r$ Mg	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique	Éocène
S24	$r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{2-} > r \text{HCO}_3^-$ $r \text{Na}+\text{K} > r \text{Mg} > r \text{Ca}^{2+}$	Chloruré Sodique; secondairement Sulfaté Magnésien	Oligocène

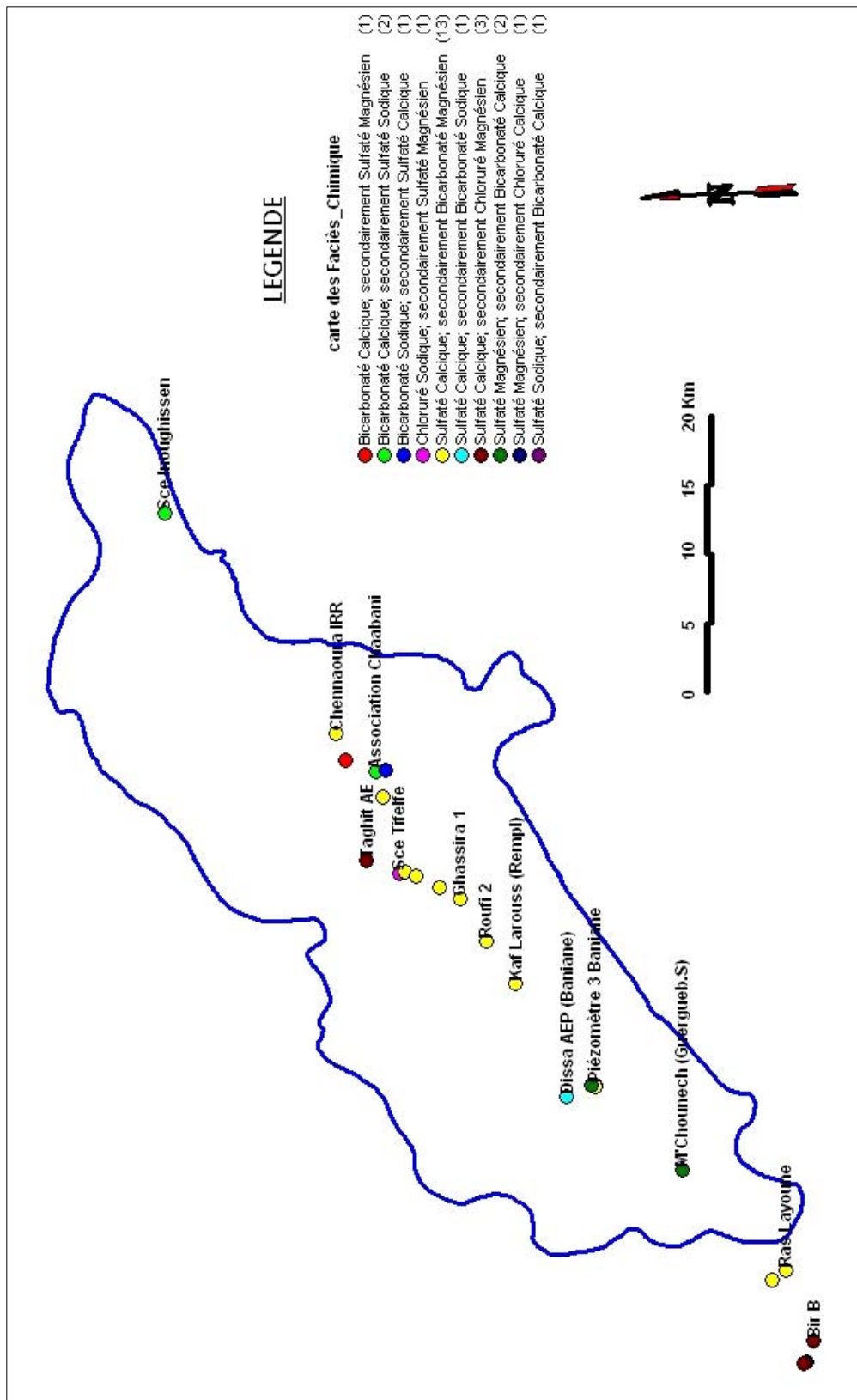


Fig. 117 : Carte des faciès chimiques des eaux à Oued el-Abiod. (Source : L'auteur, 2009)

c/ Domaines de variations des rapports caractéristiques

Dans cette partie on va étudier la variation des rapports caractéristiques dans l'espace.

Le rapport $r \text{Mg}^{++} / r \text{Ca}^{++}$, (fig. 118) augmente du nord-est au sud-ouest de la vallée. Ce qui témoigne d'une mise en solution des minéraux magnésiens, avec une vitesse de transit longue donc un contact eau/roche prolongé.

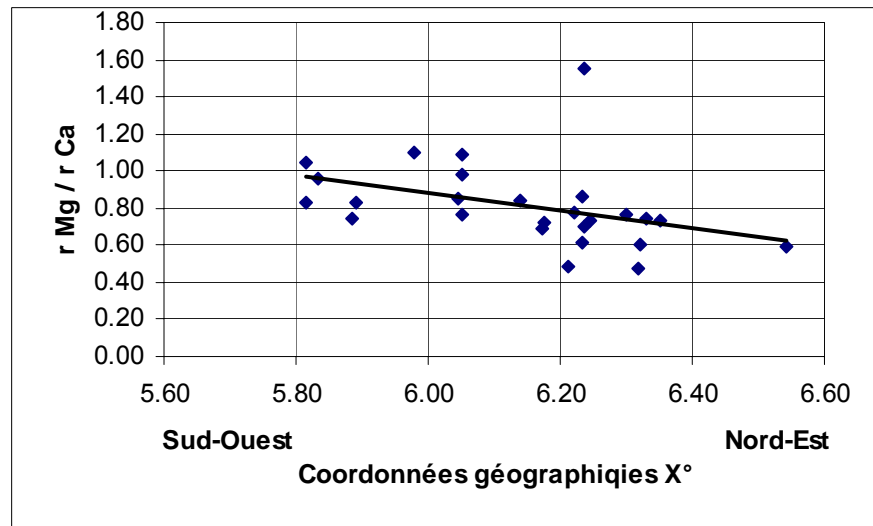


Fig. 118 : Evolution du rapport $r \text{Mg} / r \text{Ca}$ du N-E au S-W de la vallée d'Oued el-Abiod (Source : L'auteur, 2009)

Concernant le rapport $r \text{SO}_4 / r \text{Cl}$ (fig.119), il présente plutôt une tendance à la diminution du N-E au S-W.

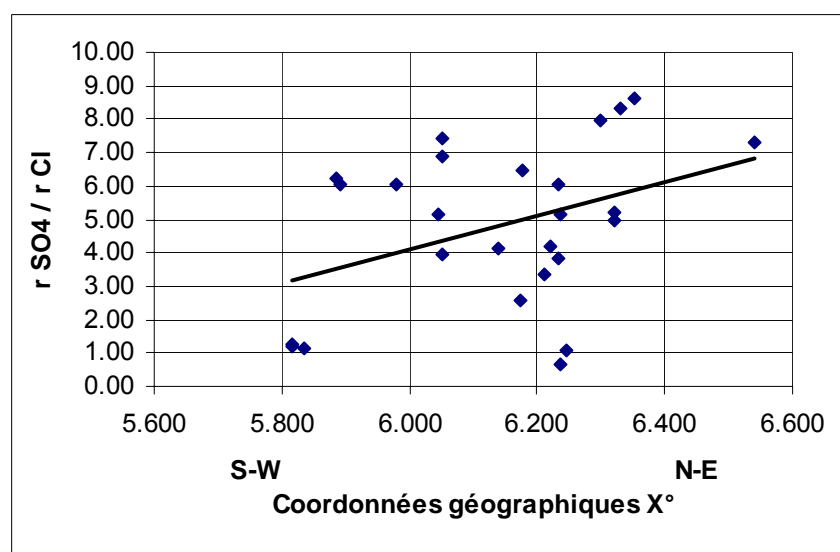


Fig. 119 : Evolution du rapport $r \text{SO}_4 / r \text{Cl}$ du N-E au S-W de la vallée d'Oued el-Abiod (Source : L'auteur, 2009)

d/ Etat des minéraux dissous dans l'eau

La formule de calcul de l'indice de saturation de différents minéraux dans l'eau est :

$$IS = \log (IAP / K)$$

Où **IAP** est le produit de l'activité ionique, et **K** : constante d'équilibre.

Plusieurs simulations ont été faites sur des logiciels tels que « Phreeqc2.8 » et « Hydrowin », pour le calcul des indices de saturation de la calcite (ISc) ; l'aragonite (IS arg) ; dolomite (ISd) ; magnésite (ISmg) ; gypse (ISgy) ; anhydrite (ISanhy) et pression du gaz carbonique en 10^{-2} bars (pCO₂). (Tab. 27).

Tab.27 : Valeurs des indices de saturations des minéraux dissous.

Point d'eau	ISc	IS arg	ISd	ISmg	ISgy	ISanhy	pCO ₂ (10 ⁻² bars)
S13	0.017	-0.133	0.078	-774	-1.452	-1.7	1.3
F34	0.098	-0.051	0.288	-0.576	-1.058	-1.301	1.65
F28	0.162	0.013	0.419	-0.495	-1.329	-1.57	0.986
F37	0.161	0.013	0.199	-0.671	-1.474	-1.711	1.23
F30	0.097	-0.049	0.128	-0.6	-1.235	-1.464	2.06
F27	0.177	0.031	0.406	-0.431	-0.928	-1.16	1.44
F26	0.206	0.06	0.462	-0.427	-0.834	-1.068	1.44
S24	0.146	0.003	0.591	-0.096	-1.437	-1.654	0.508
F49	0.124	-0.022	0.266	-0.523	-1.066	-1.299	1.55
F43	0.13	-0.017	0.229	-0.592	-0.728	-0.964	1.9
F53	0.078	-0.068	0.268	-0.479	-1.01	-1.243	1.43
F42	0.251	0.106	0.334	-0.548	-0.577	-0.806	2.37
F50	0.098	-0.048	0.238	-0.488	-1.1	-1.329	1.44
F52	0.282	0.136	0.57	-0.337	-0.709	-0.937	1.35
S25	0.259	0.116	0.442	-0.323	-1.135	-1.347	0.447
F47	0.041	-0.105	0.174	-0.535	-0.704	-0.937	2.23
F79	0.021	-0.123	0.048	-0.541	-1.169	-1.39	1.88
F78	0.003	-0.14	0.103	-0.445	-1.255	-1.472	1.78
S26	0.041	-0.104	0.268	-0.39	-1.217	-1.444	1.27
F60	-0.019	-0.162	-0.01	-0.523	-1.136	-1.352	2.22
F100	0.244	0.101	0.512	-0.288	-0.786	-1.005	0.926
F74	0.403	0.261	0.926	0.022	-1.227	-1.438	0.754
F94	0.062	-0.08	0.073	-0.496	-0.755	-0.967	1.77
F99	0.028	-0.111	0.044	-0.367	-0.863	-1.055	1.78
F83	0.033	-0.105	-0.086	-0.443	-0.742	-0.924	2.46
S35	0.099	-0.039	0.082	-0.338	-0.761	-0.942	1.72

Les graphiques (fig. 120 et 121) montrent une sous-saturation en magnésite (Mg CO₃), un indice de saturation de l'aragonite (Ca CO₃) proche de l'équilibre, alors que la calcite (Ca CO₃) et la dolomite (Ca Mg (CO₃)₂) sont en sursaturation. Et ceci avec une tendance générale vers une légère augmentation de la pression du gaz carbonique.

Le gypse (Ca SO₄ 2H₂O) et l'anhydrite (Ca SO₄) sont en sous-saturation, sur toute la vallée.

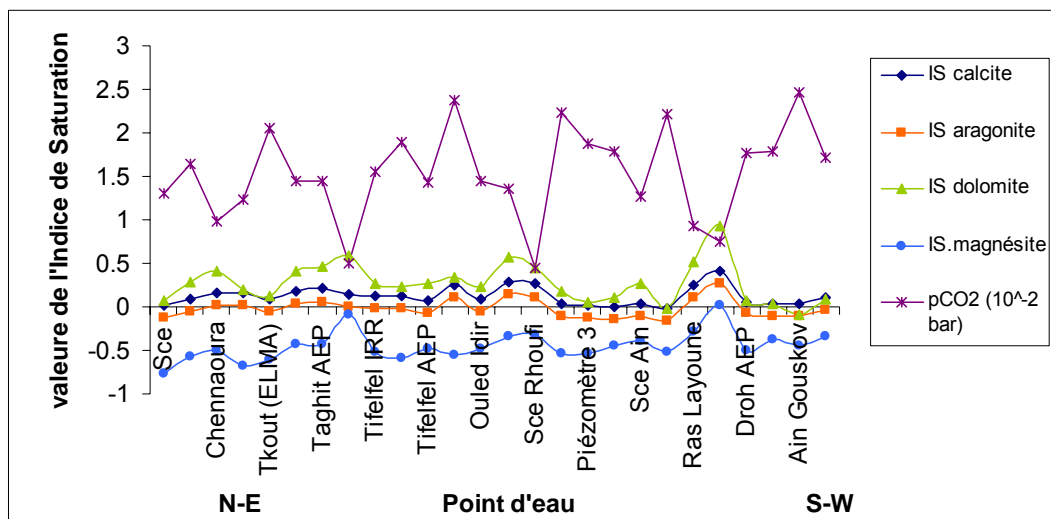


Fig. 120 : Evolution des Indices de saturation et la pression du gaz carbonique) du N-E au S-W de la vallée d'Oued el-Abiod (Source : L'auteur, 2009)

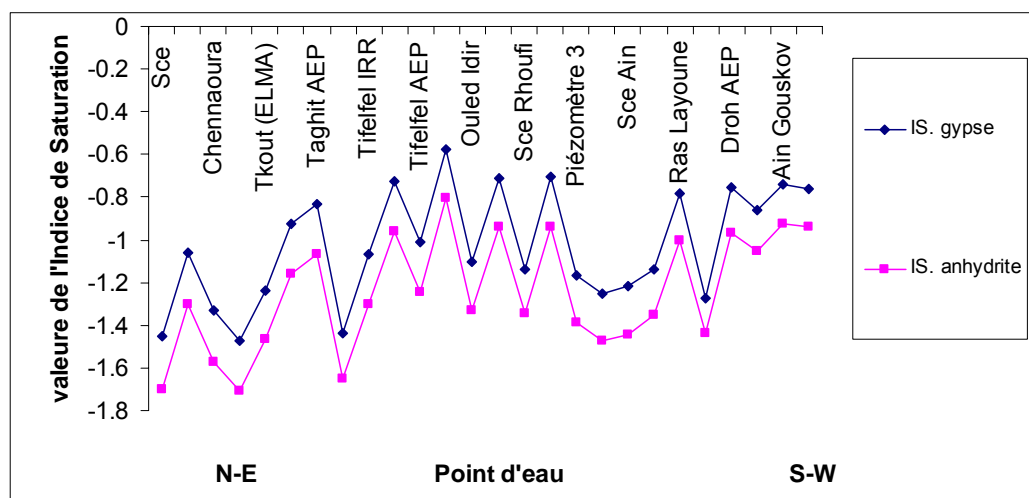


Fig. 121 : Evolution des Indices de saturation (gypse et anhydrite) du N-E au S-W de la vallée d'Oued el-Abiod (Source : L'auteur, 2009)

En résumé, l'interprétation thermodynamique a permis de montrer l'influence des minéraux évaporitiques sur le chimisme de l'eau. La sous-saturation en gypse, anhydrite et halite provoque une continuité dans la dissolution et un enrichissement des eaux par ces éléments. Par ailleurs, les minéraux carbonatés se trouvent parfois proches de l'équilibre souvent en sursaturation et tendent vers la précipitation sous forme de calcite et dolomite.

III.2. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (A.C.P)

L'A.C.P est une des méthodes statistiques, qui permet le traitement d'une masse de données, en faisant une représentation dans l'espace de plusieurs paramètres et variables qui caractérisent plusieurs individus. L'objectif est d'essayer d'identifier les différents groupes d'individus homogènes et ceux qui s'opposent et de déterminer les variables (critères) qui les définissent ou les opposent les uns par rapport aux autres. L'utilisation de cette méthode en hydrochimie permet de donner un complément dans l'interprétation et l'analyse des processus hydro-chimiques des eaux souterraines, leurs origines, l'écoulement, temps de séjour, la nature du réservoir etc...

Dans l'analyse retenue pour l'interprétation finale par ACP, nous avons choisi les variables telles que : température, pH, conductivité, Ca, Mg, Na, K, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, ISc, ISarg, ISd, ISmg, ISgy, ISanhy, et IShalite. Par ailleurs, nous avons négligé les variables qui peuvent déformer la structure générale, ou celles qui donnent des informations redondantes, tels que le résidu sec, pCO₂. Le tableau N°25, présente les corrélations entre variables et les trois facteurs que nous avons pris en considération (F1, F2, et F3).

La matrice de corrélation (tab.29), montre le degré de corrélation liant les différents variables. Ce qui nous a permis d'établir les graphiques couplant les différents éléments chimiques et paramètres physico-chimiques (section III.3 de ce chapitre).

14 facteurs présentent 100 % de la variance. Seuls les facteurs F1, F2 et F3, ont été pris en considération, car ils présentent déjà 79 % de la variance totale.

Le tableau 28, présente ces trois facteurs, où on remarque que le facteur 1, avec une variance de 40%, est défini par les variables : conductivité CE (0.9433) ; SO₄ (0.9143) ; Mg (0.8902) ; Ca (0.8751), ainsi que IS_{gyp}, IS_{anhy}, et à moindre degré par le Cl (0.6765) et IS_{halite}. La minéralisation est due principalement à ces minéraux évaporitiques, où le Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ n'évoluent pas avec les bicarbonates, au moment où les minéraux carbonatés se trouvent en sursaturation. Sur les trois figures (122, 123, 124) le sodium suit le chlore, donc ils proviennent d'une même origine.

Le facteur 2, est marqué par le pH, K⁺, IS dolomite, et à moindre degré le Na⁺.

Sur le plan F1/F2 des individus, les échantillons se répartissent en trois groupes. Le groupe à droite (F26, F100, F52, F94, F43, F42, F47), sont caractérisés par des valeurs proportionnellement élevées en Ca, Mg et en conductivité ; les indices de saturation en gypse et anhydrite sont les plus élevés par rapport aux autres échantillons, sans toutefois atteindre l'équilibre. Ces échantillons présentent un mélange d'eau. Les sources traversent des formations du Lutétien et l'oligocène. Quand aux forages, ils captent à la fois plusieurs formations, spécialement F26, et F42.

Tab 28 : Corrélations entre variables et facteurs principaux

	F1	F2	F3
T°c	0.3036	0.3809	-0.0875
PH	-0.3440	0.8629	0.2756
CE	0.9433	-0.1992	-0.0805
Ca ⁺⁺	0.8751	-0.4112	0.1311
Mg ⁺⁺	0.8902	-0.1941	-0.0214
Na ⁺	0.3865	0.6123	-0.5131
K ⁺	0.3190	0.7268	-0.5028
HCO ₃ ⁻	-0.2697	-0.5532	0.1762
Cl ⁻	0.6765	0.3630	-0.4132
SO ₄ ^{- -}	0.9143	-0.3075	0.1122
NO ₃ ^{- -}	0.0109	-0.0684	0.3203
ISc	0.3821	0.5137	0.7320
ISd	0.3763	0.7138	0.4982
ISarg	0.3914	0.5180	0.7268
ISgyp	0.8919	-0.3849	0.1422
ISanhy	0.8949	-0.3710	0.1379
IShalit	0.7450	0.4404	-0.4303

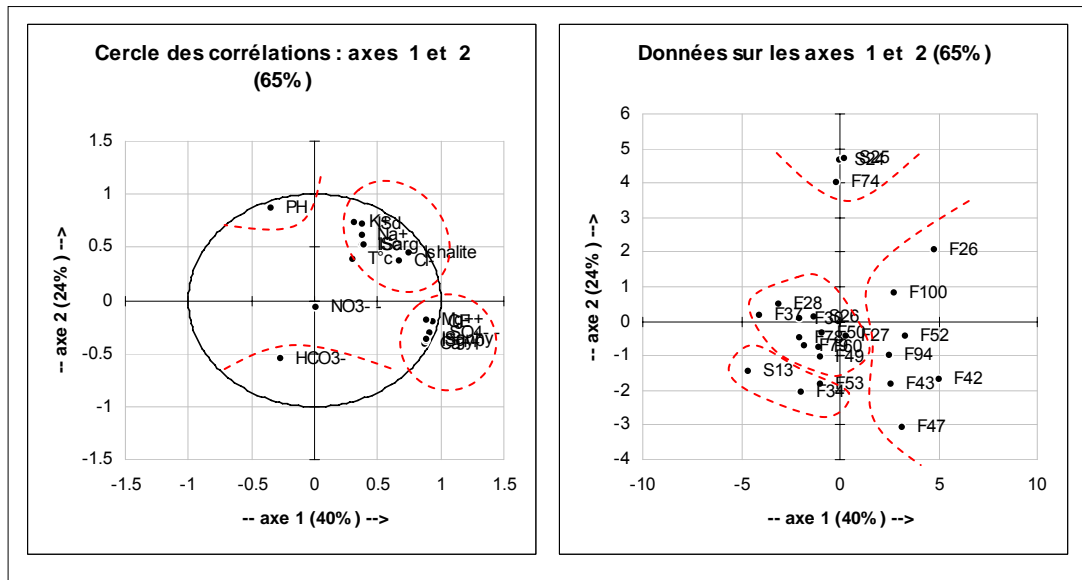


Fig. 122 : A.C.P ; Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F1/ F2 (Source : L'auteur, 2009)

Un deuxième groupe de points d'eau en opposition au premier, (S13, F37, F28, F34, F78, F30), avec des eaux moins chargées (conductivité 600 à 1000 $\mu\text{s/cm}$) ; moins dures, pCO_2 élevée, donc moins basiques.

Le troisième groupe (S24, S25 et F74), avec des eaux relativement plus basiques par rapport au reste des échantillons ($\text{pH} > 7.5$). Ce qui est due à un taux faible en CO_2 (0.50 à 0.75×10^{-2} bar). Les valeurs en K^+ sont sensiblement plus élevées par rapport aux autres échantillons.

Le plan factoriel F1/F3 partage le deuxième groupe cité plus haut, en deux et le plan F2/F3 partage le premier groupe, en mettant en évidence la distance qui sépare le F74 et les deux sources S24, S25.

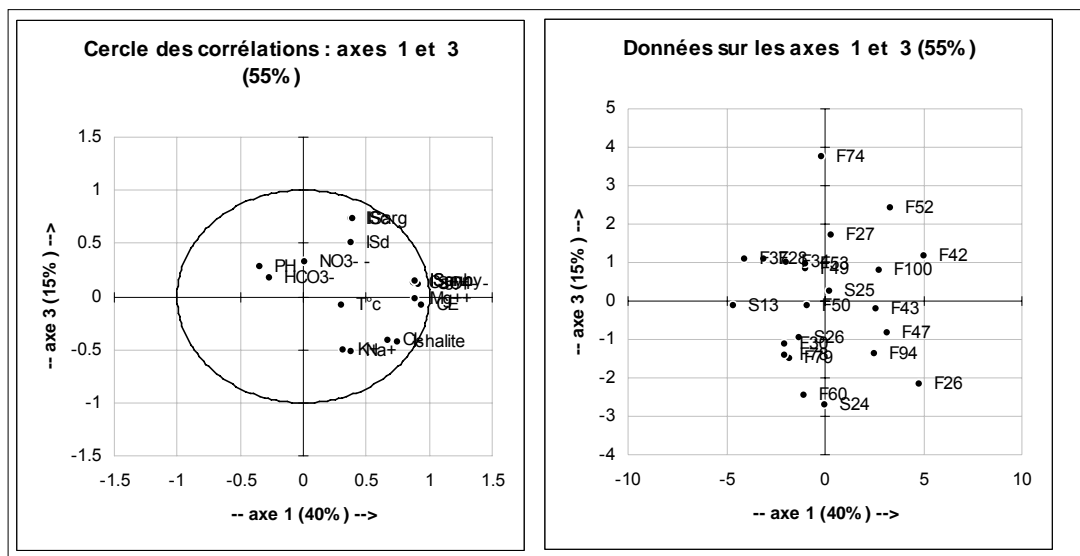


Fig. 123 : A.C.P ; Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F1/ F3 (Source : L'auteur, 2009)

En résumé, l'analyse en ACP, a permis de distinguer plusieurs groupes d'eau :

-un premier groupe (S13, F27, F28, F34, F37, F49, F50, F53), captant la nappe des calcaires de l'éocène inférieur (Yprésien–Lutétien inférieur) d'une qualité d'eau moins chargé et moins dure, avec de basses valeurs de conductivité. D'un faciès chimique bicarbonaté calcique à sulfaté calcique.

-un deuxième groupe (S26, F60, F30, F78, F79) avec une conductivité allant de 800 à 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$, dont l'eau provient principalement des calcaires du Paléocène. En majorité sulfaté calciques.

-un troisième groupe (F26, F42, F43, F47, F52, F94, F100), plus chargé et d'une conductivité dépassant les 1100 pour atteindre des valeurs de l'ordre de 1900 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ces points d'eau présentent un mélange d'eau provenant du Maastrichtien, de l'Yprésien et de l'Oligocène (forages captant plusieurs horizons, mauvaise conception d'équipement en tubage) ou source traversant ces différentes formations géologiques. Ces eaux se caractérisent par un faciès sulfaté calcique secondairement bicarbonaté magnésien.

-Les sources S24 et S25 s'individualisent d'un un groupe à part, leurs eaux ont des conductivités qui varient de 800 à 1000 environs, elles sont chargées en chlorures et sodium. Elles traversent des formations de conglomérats et d'argiles de l'Oligocène.

Le F74, se place entre les 4 groupes. (Il capte le maastrichtien et le miocène).

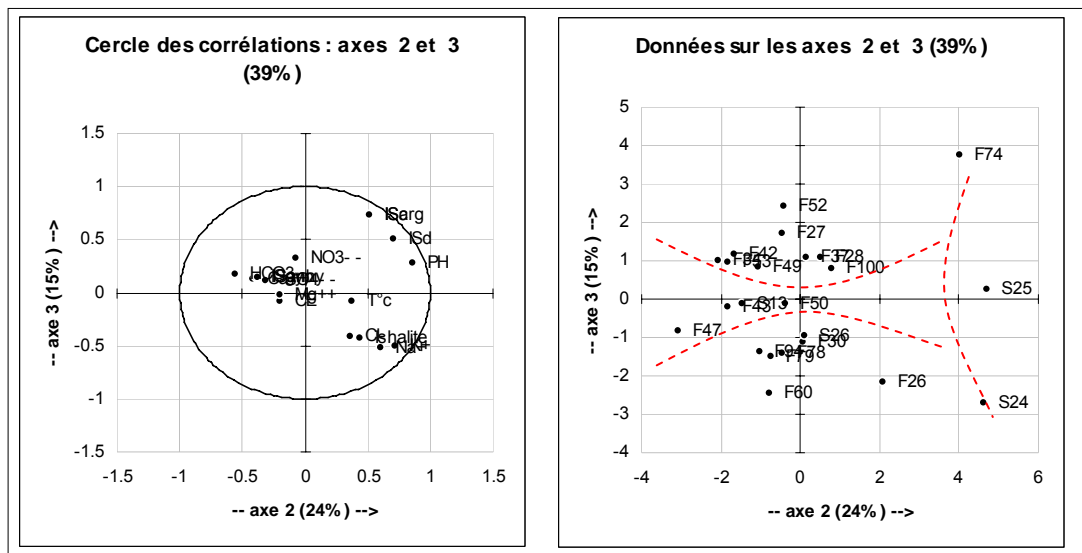


Fig. 124 : A.C.P. ; Projection des variables et des individus sur le plan factoriel F2/ F3
(Source : L'auteur, 2009)

III.3. MISE EN EVIDENCE DES LIENS EXISTANTS ENTRE LES ELEMENTS CHIMIQUES

L'établissement des graphes couplant les éléments chimiques est fait sur la base de la matrice de corrélation des paramètres physico - chimiques, (tab 29). Sur cette matrice, figurent des éléments qui présentent un coefficient de corrélation représentatif ($0,80 \leq r \leq 0,99$) mettant en évidence les liens existants entre ces derniers. Ces liens montrent les éléments qui évoluent ensemble, ce qui indique ainsi une même origine. Il s'agit surtout des couples (Ca-SO4), (Ca-Mg), (Mg-SO4) et (Na-K). La conductivité est liée aux éléments tels que le Ca, Mg, et So4.

Des valeurs moins significatives entre les éléments, avec des valeurs ($0,80 > r > 0,60$) tels que Na-Cl ; K- Cl ; Cl -Conductivité. D'autres éléments sont en relation inversement proportionnelle ; dont les valeurs du coefficient de corrélation sont de l'ordre $-0,9 \leq r \leq -0,8$ tel que Ca-Na ; Mg-Na. Ce qui traduit parfois l'échange de base entre les alcalins de l'eau contre les alcalinoterreux du sol.

Tab 29 : Matrice de corrélation des variables

	T°C	PH	CE	Ca++	Mg++	Na+	K+	HCO3-	Cl-	SO4--	NO3--	ISc	ISarg	ISd	ISmg	ISgy	ISanhy	pCO2
T°C	1	0.0935	0.1732	-0.0159	0.1505	0.3939	0.3334	-0.3741	0.0085	0.2701	-0.3697	0.1988	0.2184	0.1402	0.5514	0.1820	0.2335	-0.0435
PH		1	-0.5291	-0.6144	-0.4240	0.1877	0.3639	-0.4649	-0.0008	-0.5366	0.0441	0.5157	0.5168	0.6587	0.6174	-0.6202	-0.5949	-0.9347
CE			1	0.9070	0.8718	0.3155	0.1560	-0.0631	0.6508	0.8817	-0.0311	0.2461	0.2501	0.1450	0.1113	0.8623	0.8666	0.4073
Ca++				1	0.8060	0.0486	-0.0684	0.0471	0.4499	0.9227	0.1358	0.2540	0.2527	0.0538	-0.1256	0.9431	0.9339	0.4798
Mg++					1	0.1059	0.1330	-0.2709	0.5696	0.8770	-0.0268	0.2016	0.2063	0.2525	0.2800	0.8407	0.8465	0.2314
Na+						1	0.8376	-0.2334	0.6866	0.0924	-0.1116	0.2132	0.2228	0.1925	0.3617	0.0217	0.0425	-0.0902
K+							1	-0.5534	0.7111	0.0017	-0.0849	0.2138	0.2232	0.2859	0.4604	-0.0399	-0.0217	-0.3870
HCO3-								1	-0.3824	-0.1427	0.1186	-0.1986	-0.2085	-0.3293	-0.5433	-0.0627	-0.0798	0.6384
Cl-									1	0.3639	0.0311	0.2486	0.2521	0.3108	0.3091	0.3423	0.3434	-0.0809
SO4--										1	0.0104	0.2613	0.2660	0.1101	0.0876	0.9686	0.9744	0.3868
NO3--											1	0.1678	0.1604	0.1172	-0.1405	0.0567	0.0402	-0.0545
ISc												1	0.9998	0.8891	0.6118	0.2106	0.2415	-0.5063
ISarg													1	0.8901	0.6236	0.2130	0.2448	-0.5068
ISd														1	0.8237	0.0384	0.0720	-0.6737
ISmg															1	-0.0299	0.0202	-0.6137
ISgy																1	0.9979	0.4575
ISanhy																	1	0.4394
pCO2																		1

a/ Le Couple Ca-SO4 ; r= 0.9227 (fig.125)

L'ensemble des points montre un alignement indiquant la même origine des éléments Ca et SO4, probablement les gypses et anhydrite.

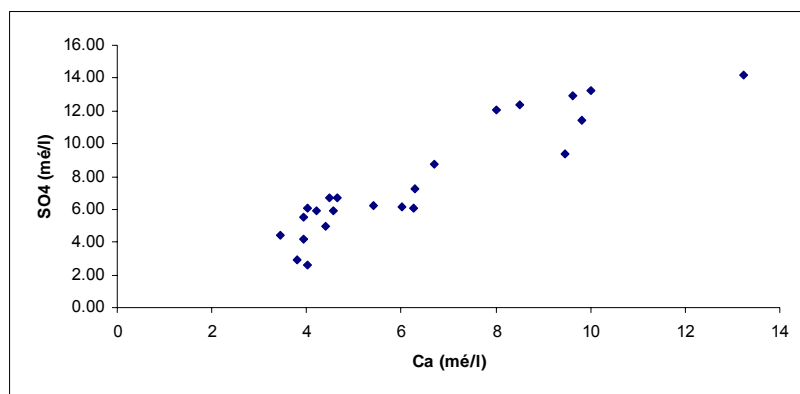


Fig.125: Couple Ca – SO4 (1^{ère} variante)
(Source : L'auteur, 2009)

Par contre si on rajoute les trois points F99, F83 et S35, le nuage de points se déforme et la corrélation entre le Ca et le SO_4 devient plus faible (fig. 126). On observe deux groupes qui évoluent parallèlement où le calcium et les sulfates évoluent ensemble, jusqu'à une valeur où le calcium évolue indépendamment des sulfates.

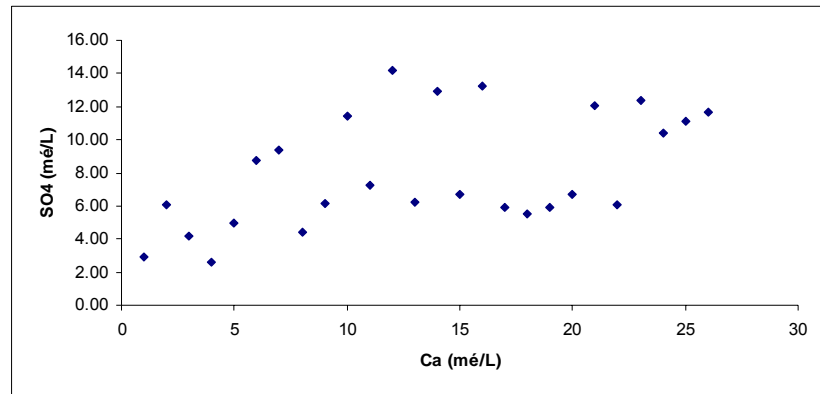


Fig.126 : Couple Ca – SO_4 (2^{ème} variante)
(Source : L'auteur, 2009)

b/ Le Couple Mg- SO_4 ; $r = 0.8770$ (fig. 127)

L'ensemble des points montre un alignement indiquant la même origine des éléments Mg et SO_4 , probablement le gypse et l'anhydrite. L'augmentation des sulfates entraîne non seulement l'augmentation du calcium mais aussi du magnésium. Le gypse renferme toujours une proportion plus ou moins élevée en magnésium.

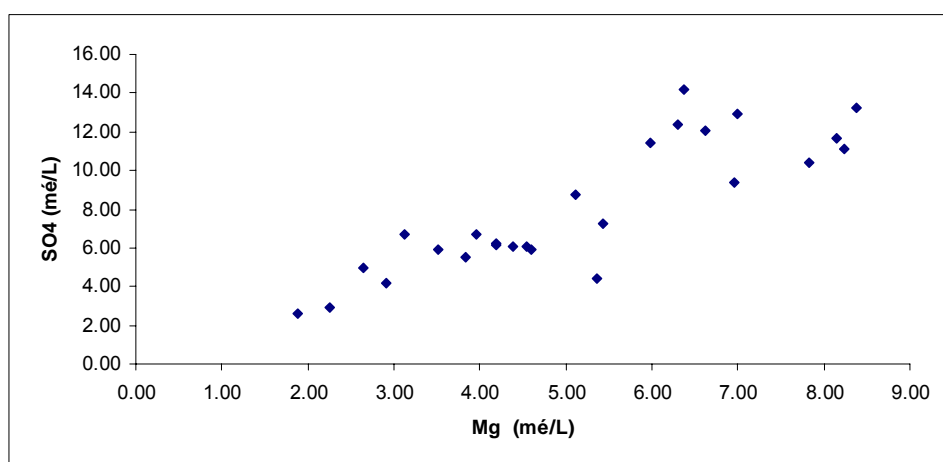


Fig.127: Couple Mg – SO_4 (Source : L'auteur, 2009)

c/ Le Couple Ca - Mg ; $r = 0.8060$ (fig.128)

A part quelques points, plus de 50% des échantillons montrent une tendance vers l'alignement traduisant ainsi la même origine qui doit être des dolomies ou des évaporites.

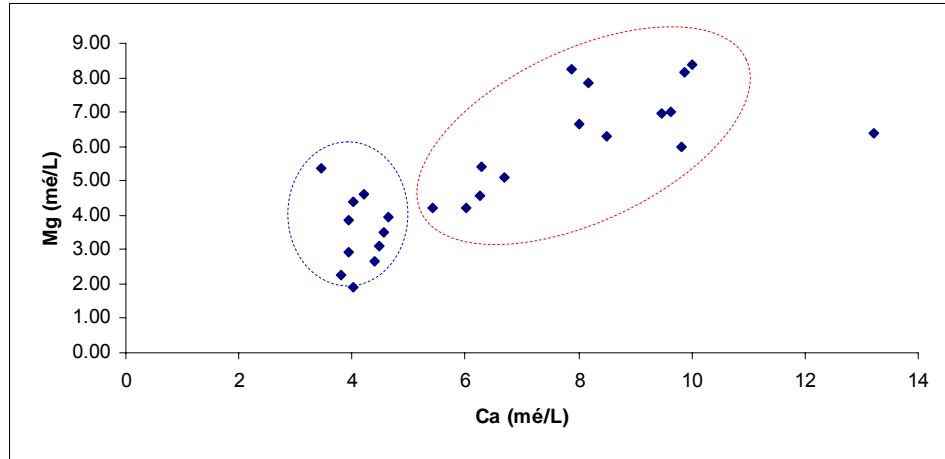


Fig.128: Couple Ca - Mg (Source : L'auteur, 2009)

Le premier groupe marque une droite à pente redressée, où l'évolution du magnésium est indépendante du calcium. Le deuxième groupe regroupe la majorité des points captant l'éocène et situés en amont, dans lequel une évolution très lente marque une certaine stabilité entre les deux éléments. C'est le cas des échantillons situés en aval et dans la partie médiane de la vallée.

d/ Le Couple Na - Cl ; $r = 0.6866$ (fig. 129)

La relation entre les deux éléments est faible. Le nuage de points dispersés montre que les deux éléments évoluent indépendamment l'un par rapport à l'autre. Ce qui traduit des origines différentes ou des échanges de bases.

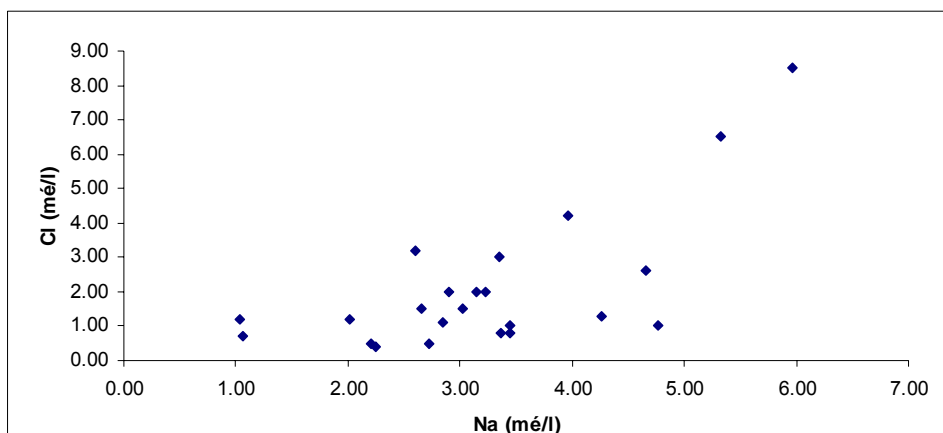
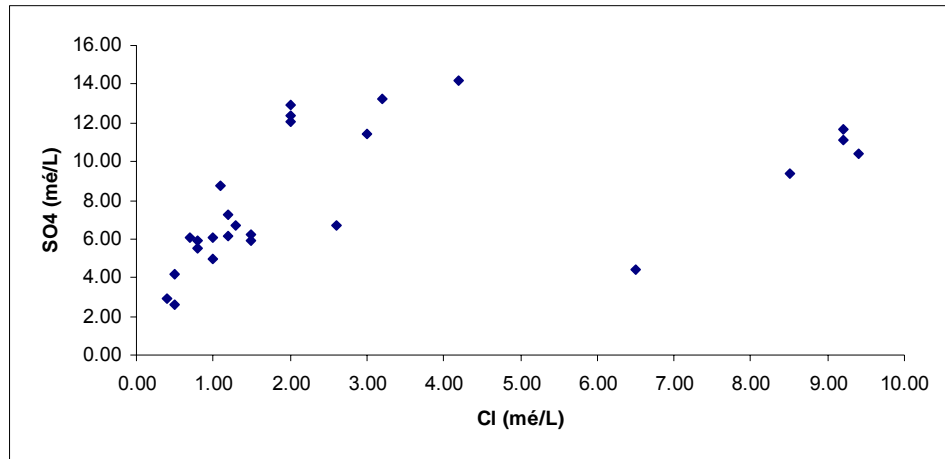


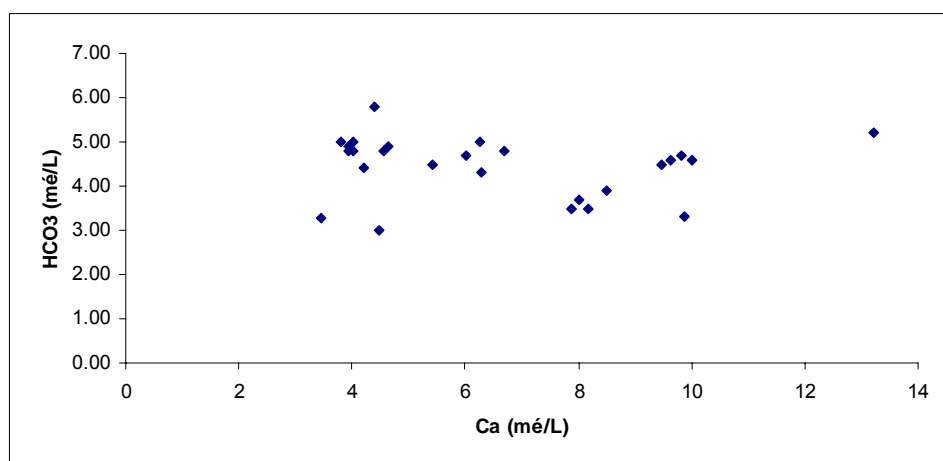
Fig.129: Couple Na - Cl (Source : L'auteur, 2009)

e/ Le Couple Cl – SO₄ ; r= 0.3639 (fig. 130)

On observe un alignement des points, traduisant que les deux éléments évoluent ensemble, donc ils ont la même origine (évaporites). On distingue sur le graphique, deux groupes d'eau qui évoluent séparément. Les points d'eau à droite (S24, F26, F99, F83 et S35), sont caractérisés par des concentrations élevées en chlorures, provenant des grandes profondeurs (F99, F83, S35), ou des dépôts des conglomérats du lutétien et de l'Oligocène (S24, F26).

Fig.130: Couple Cl – SO₄ (Source : L'auteur, 2009)i/ Le Couple Ca - HCO₃; r= 0.0471 (fig. 131)

Globalement le calcium évolue indépendamment des bicarbonates, car il provient aussi de la dissolution des évaporites.

Fig. 131 : Couple Ca – HCO₃ (Source : L'auteur, 2009)

k/ Relation Conductivité – Ca et Relation Conductivité – Mg

La conductivité évolue en fonction des concentrations en Ca et en Mg comme le montre tous les échantillons, à part le F99, F83 et S35 dont la conductivité dépend d'autres facteurs, (fig. 132 ; 133).

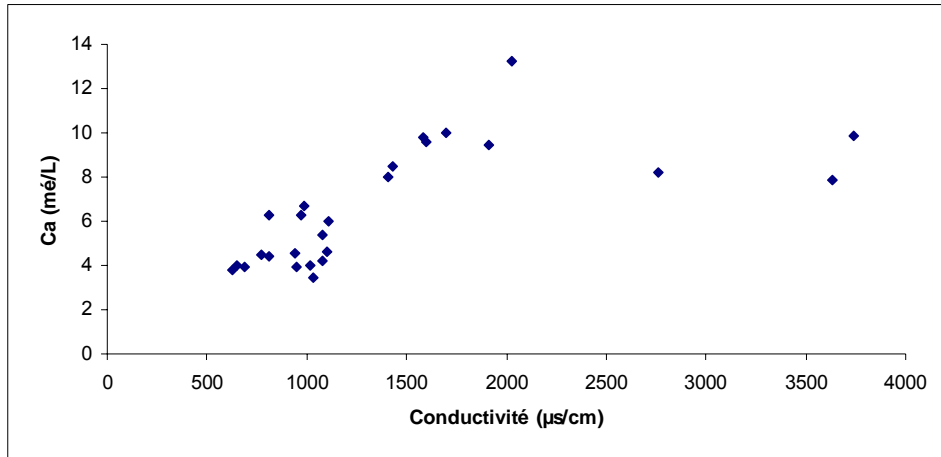


Fig. 132 : Rapport Conductivité - Calcium (Source : L'auteur, 2009)

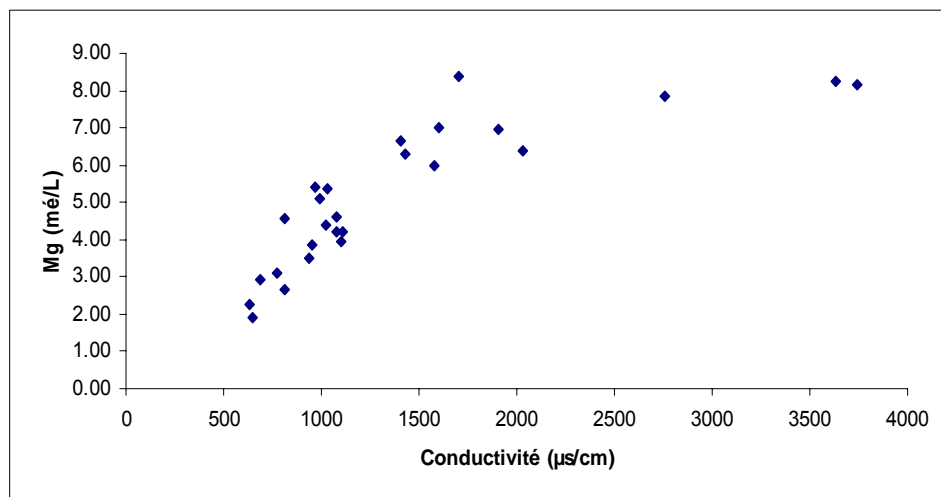


Fig. 133 : Rapport Conductivité - Magnésium (Source : L'auteur, 2009)

l/Relation Conductivité – Cl (fig. 134)

La (fig. 134) montre que la conductivité augmente avec le chlore. Toutefois les points S24, F26, F99, F83 et S35, où les valeurs en chlorure dépassent 6 mé/l, les deux paramètres évoluent indépendamment.

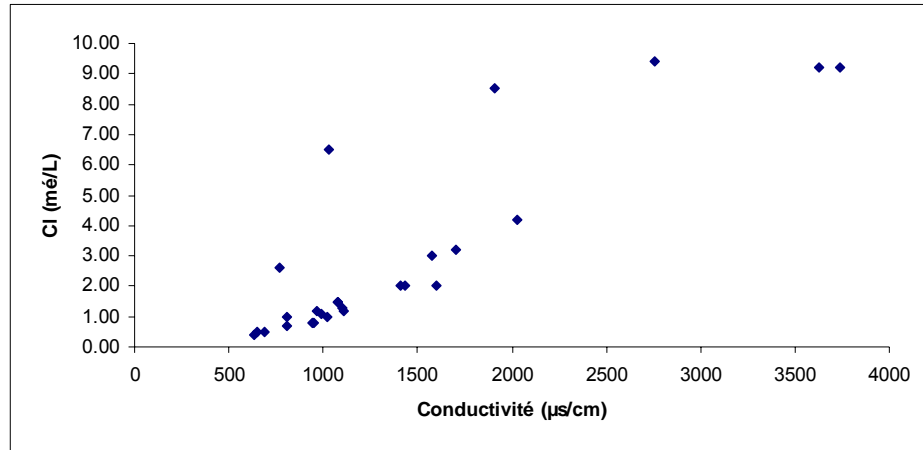


Fig. 134 : Relation Conductivité – Cl (Source : L'auteur, 2009)

m/ Relation Conductivité – SO₄ (fig. 135)

Pour tous les points hormis (S24, F26, F99, F83 et S35), la conductivité évolue avec les sulfates. Il s'agit des sources ou des forages captant les calcaires avec les conglomérats de l'Oligocène. Les derniers trois points c'est l'horizon des calcaires et des gypses qui draine des eaux profondes.

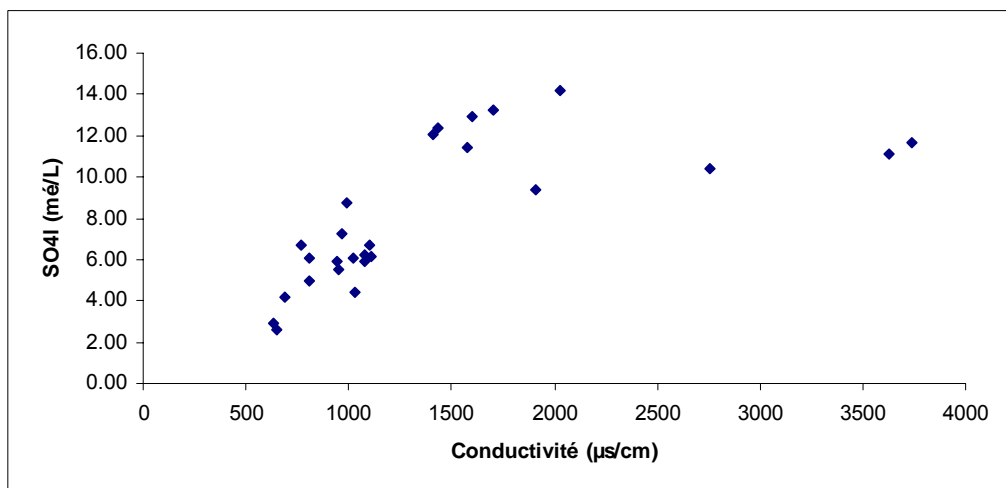


Fig. 135 : Relation Conductivité - SO₄ (Source : L'auteur, 2009)

III-4 Origine du chimisme

a/ Le graphique SO₄/Cl - Ca/Na

Il y a prédominance de la famille sulfatée calcique. Par ailleurs un seul échantillon présente un faciès chloruré sodique (S24). Ce dernier traverse les conglomérats et les argiles de l'Oligocène. Les sulfates et le calcium participent dans le chimisme de l'eau. (fig. 136)

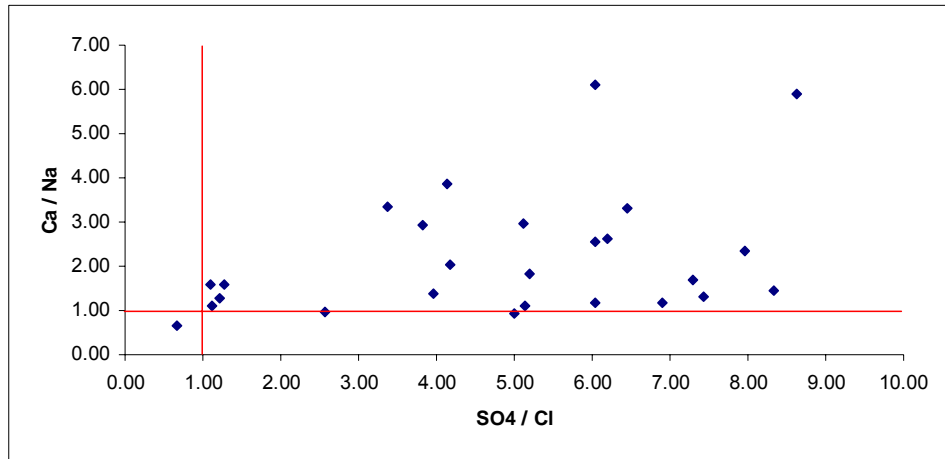


Fig 136: Rapport SO₄ / Cl - Ca / Na (Source : L'auteur, 2009)

b/ Le graphique SO₄/Cl - Mg/Ca

Le graphique (fig. 137) montre l'influence du magnésium et des sulfates dans le chimisme des eaux de la région. Ce ci caractérise, généralement, les eaux des zones arides. Le magnésium provient probablement des évaporites.

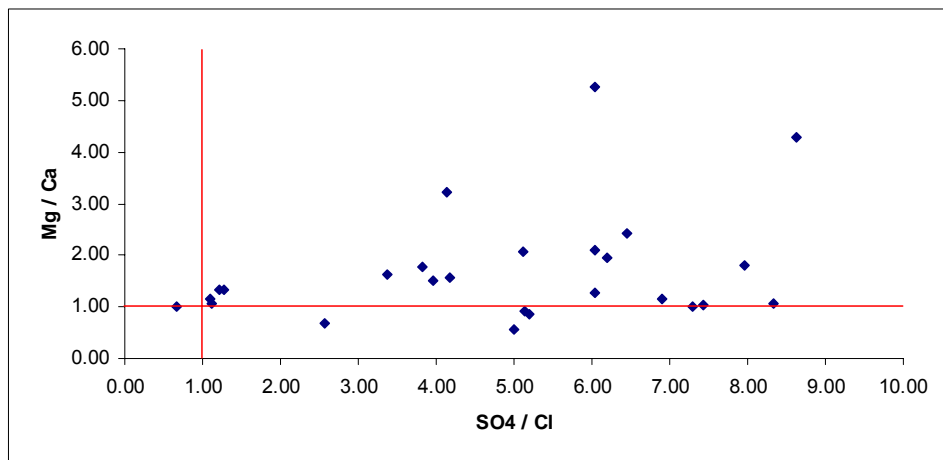


Fig 137 : Rapport SO₄ / Cl - Mg / Ca (Source: L'auteur, 2009)

c/ Le graphique Mg/Ca –SO4/HCO₃ (fig. 138)

Les sulfates et le calcium marquent le chimisme des eaux de 70% des échantillons. Le reste est partagé entre un faciès sulfaté magnésien et un faciès bicarbonaté calcique. Ce ci est dû principalement à la nature des terrains qui sont à dominance évaporitiques.

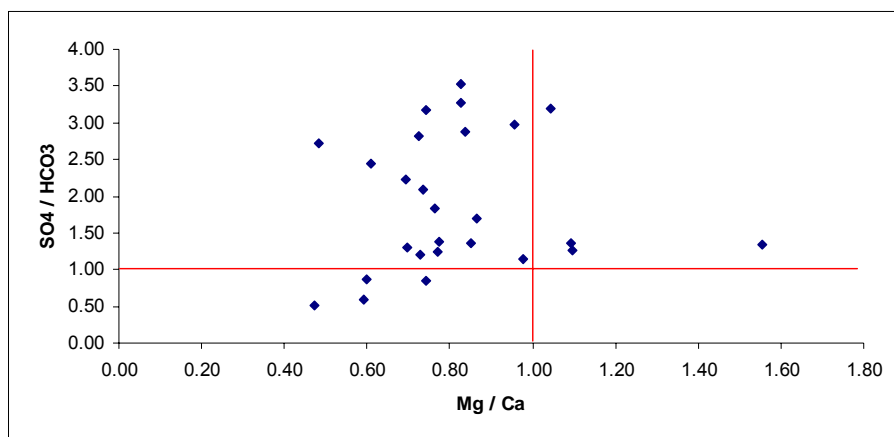


Fig 138: Rapport Mg / Ca – SO4/HCO₃ (Source: L'auteur, 2009)

IV- QUALITE CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA VALLEE DE RHASSIRA

IV.a. Normes de potabilité selon le degré hydrométrique

Le degré hydrométrique ou dureté de l'eau, correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium : $DHT = rCa^{++} + rMg^{++}$ (en mé/l) où 5 mé/l = 1 degré français. Les 26 échantillons d'eau analysés se présentent comme suit sur le tableau 30. Ce qui fait que 8 % des échantillons présentent une eau assez douce, 46% eau dure et 46 % très dure

Tab 30 : Dureté des eaux dans la vallée de Rhassira

D.H.T (°F)	0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Points d'eau			S13 ; F34	F34 ; F28 ; F30 ; S24 ; F49 ; F50 ; S25 ; F79 ; F78 ; S26 ; F60 ; F74	F27 ; F26 ; F43 ; F53 ; F42 ; F52 ; F47 ; F100 ; F94 ; F99 ; F83 ; S35

IV.b. Normes de potabilité selon les concentrations des éléments chimiques majeurs

Concernant les eaux de la vallée de Rhassira, la qualité des eaux des aquifères du Maastrichtien, Eocène inférieur, Oligocène, est bonne, dans la partie amont. Avec des résidus secs allant de 400 à 800 mg/l. Dans la partie médiane, l'eau est passable à médiocre, vu que ces forages captent un mélange d'eau avec des eaux provenant des niveaux conglomératiques de l'Oligocène, ainsi qu'à la présence des gypses du lutétien supérieur. Plus au sud la qualité est médiocre à mauvaise. Le tableau 31 est établi à partir du diagramme de potabilité. L'étude de la potabilité des eaux est basée sur l'étude des concentrations des éléments majeurs. Les points d'eau qui présentent un dépassement des normes de potabilité pour certains éléments chimiques sont comme suit :

Tab 31 : Qualité des eaux dans la vallée de Rhassira

Point d'eau	Aquifère	Qualité d'eau	Elément dépassants les normes de potabilité
S13	Yprésien-Lut inf	Bonne	
F34	Yprésien-Lut inf	Bonne à passable	Mg=54.6 mg/l
F28	Yprésien-Lut inf	Bonne à passable	
F37	Yprésien-Lut inf	Bonne	
F30	Yprésien-Lut inf	Bonne à passable	
F27	Yprésien-Lut inf	Passable à médiocre	Mg = 61.32 mg/l; SO4 = 420 mg/l
F26	Yprésien-Lut inf	Passable à médiocre	Mg = 83.4 mg/l Cl = 301.75; SO4 = 450 mg/l
S24	Yprésien-Lut inf + Oligocène	Passable	Mg= 64.32
F49	Yprésien-Lut inf	Passable	SO4 = 295 mg/l
F43	Yprésien-Lut inf	Médiocre	Ca = 196.39; Mg = 71.88 mg/l ; SO4= 550 mg/l
F53	Yprésien-Lut inf	Passable à médiocre	SO4 = 348 mg/l; Mg = 65 mg/l
F42	Yprésien-Lut inf	Médiocre à mauvaise	Mg = 76 mg/l; Ca = 264 mg/l; SO4 = 680 mg/l
F50	Yprésien-Lut inf	Passable à médiocre	SO4 300 mg/l
F52	Maastrichtien Yprésien-Lut inf	Médiocre à mauvaise	Ca = 192 mg/l; Mg = 84 mg/l; SO4= 620 mg/l
S25	Yprésien-Lut inf + Oligocène	Passable à médiocre	SO4 = 320 mg/l
F47	Yprésien-Lut inf - Paléocène	Médiocre à mauvaise	Mg = 100 mg/l; Ca = 200 mg/l; SO4 = 635 mg/l
F79	Yprésien-Lut inf - Paléocène	Bonne à passable	
F78	Yprésien-Lut inf - Paléocène	Bonne à passable	SO4 = 265 mg/l
S26		Passable à médiocre	SO4 = 285 mg/l
F60	Yprésien-Lut inf	Passable à médiocre	SO4 = 320 mg/l
F100	Maastrichtien	Médiocre à mauvaise	Mg = 79 mg/l; SO4 = 580 mg/l
F74	Maastrichtien	Passable	SO4= 290 mg/l
F94	Maastrichtien	Médiocre	Mg = 76 mg/l; Ca = 170 mg/l; SO4 = 595 mg/l
F99	Eocène Maastrichtien + eau thermale	Médiocre à mauvaise	Na = 168 mg/l; Mg=94 mg/l; Ca= 163 mg/l; Cl= 334mg/l; SO4 = 500 mg/l
F83	Miocène + eau thermale	Médiocre à mauvaise	Mg= 72 mg/l; Ca = 156 mg/l; Cl = 337 mg/l; SO4 = 720 mg/l.
S35	Miocène + eau thermale	Médiocre à mauvaise	

V POLLUTION

Les aspects de la pollution sont limités dans la région du fait du nombre réduit des habitants et l'inexistence d'industries polluantes. Toutefois c'est un aspect qu'il faut cerner dès maintenant pour le bien maîtriser dans le futur où le développement de la population et des différentes industries sera inévitable. La vulnérabilité des aquifères carbonatés est très élevée. Lorsque ces couches ne sont séparées de la surface du sol que par un dépôt mince d'alluvions, l'infiltration est très rapide et l'autoépuration physique est presque négligeable.

Le schéma¹ de la fig. 139, montre la relation cours d'eau/ aquifère karstique. Ce ci ressemble proportionnellement à ce qui se passe au niveau du canyon d'Oued el-Abiod (fig.140). L'exemple est donné au niveau du forage F42 (Rhassira 1) captant les calcaires de l'Eocène inférieur, où les eaux deviennent troubles lors de chaque crue.

Dans une région voisine à la zone d'étude, une contamination par des bactéries fécales (*Escherichia coli* ; streptocoques et des sulfito-réductrices) a été décelée dans les eaux des calcaires, d'une profondeur de 200 m. Cette pollution provient d'un tout petit rejet situé à une distance de 500m. Ce qui laisse à prendre au sérieux les rejets urbains quel que soit la taille de l'agglomération. Un autre facteur de pollution potentiel dans la région provient des stations multiservices, malgré leur nombre très restreint. Les rejets contenant des matières d'hydrocarbures qui vont vers les confluent d'Oued el-Abiod, constituent l'un des polluants, les plus dangereux, du fait que ces matières sont difficilement maîtrisables surtout dans le milieu fissuré, et se répandent rapidement à la surface des eaux.

L'activité agricole se limite à l'arboriculture dans la région d'Arris et au palmier à travers quelques oasis le long de la vallée de Rhassira, la pollution agricole est très limitée. Reste enfin la pollution naturelle, résultant du lessivage des terrains évaporitiques, donnant principalement de fortes concentrations en sulfates.

Sans oublier la présence en amont, dans la région d'Ichmoul, d'une ancienne mine d'antimoine (Sb), où il serait nécessaire de vérifier les teneurs en mercure arsenic, nickel et cobalt qui sont associés au minerai d'antimoine.

Actuellement les services de l'hydraulique, font des efforts pour le raccordement des rejets des différentes agglomérations, telle que Tifelfel, Rhassira et T'kout pour les traiter dans des bassins de décantation avant de les rejeter dans les cours d'eau. Seulement, il serait préférable de penser à des méthodes de phyto-épuration, afin d'éliminer les métaux lourds et d'autres polluants. Surtout que ces méthodes n'exigent pas de grandes surfaces (2 à 6 m² par habitant selon le procédé), comme la méthode de lagunage. D'une part vu la morphologie de la région, les étendus de terrains sont limités et d'autre part les différentes agglomérations ne comptent pas un nombre important d'habitants, donc des débits de rejets qui ne sont pas vraiment important.

¹ Source du schéma « Guide méthodologique B.R.G.M janvier 2005)

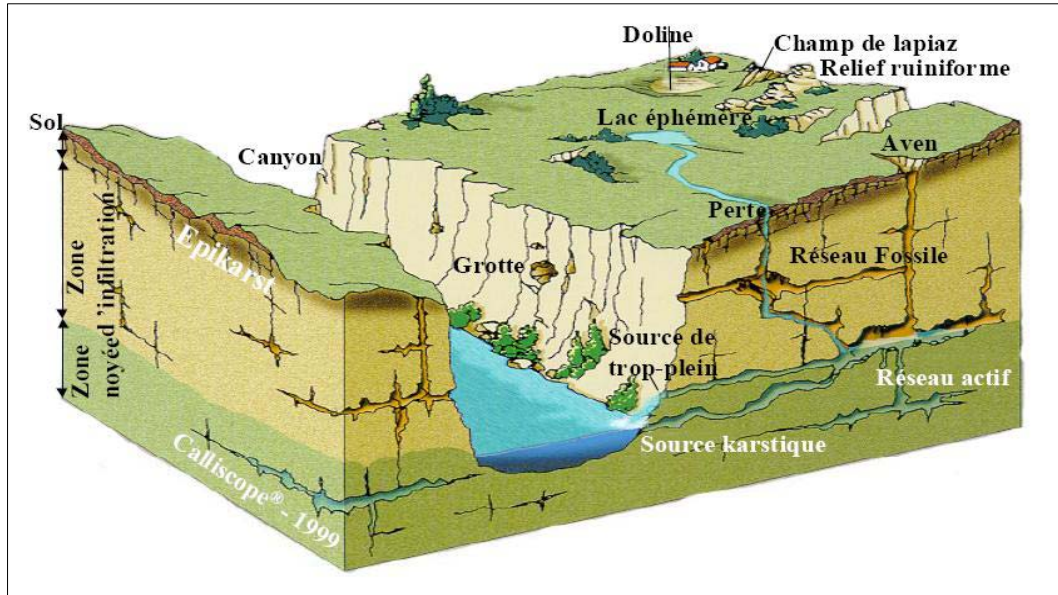


Fig. 139 : Illustration schématique d'un aquifère karstique. (BRGM 2005)



Fig. 140 : Oued El Abiod. Le canyon traverse les couches carbonatées de l'Yprésien -Lutétien inférieur

VI- PERIMETRES DE PROTECTION

Les périmètres de protection visent à la protection des aquifères contre la pollution directe et accidentelle, ainsi que la protection des ressources les alimentant. On distingue trois périmètres de protection :

- 1- Périmètre de protection immédiat, ayant une superficie limitée aux zones d'exploitation des aquifères par forages ou sources ; où toute activité autre que l'exploitation de ces ouvrages est interdite. Les zones de l'aquifère qui sont en contact direct avec la surface du sol présentent elles aussi un risque de pollution majeur. Tel que : un lit d'oued en contact direct avec la nappe.
- 2- Périmètre de protection rapproché d'une superficie dépendant de l'hydrogéologie locale et les aires d'affleurement des formations aquifères ; où certaines activités ou installations peuvent être interdites ou réglementées, afin d'éviter toute atteinte aux eaux souterraines.
- 3- Périmètre de protection éloignée, ou zone de surveillance renforcée ; il dépend essentiellement de la surface du bassin versant et couvre généralement les zones d'alimentation, de recharges des nappes souterraines et affleurements des formations aquifères.

VI.a. Rôles des périmètres de protection

- Protection des ouvrages de captage et la ressource d'eau souterraine des agents polluants tels que : rejets urbains ; rejets industriels ; activités agricoles (fertilisants, pesticides...), décharges publiques.
- Pérenniser les ressources en eau exploitables.
- Respect de la réglementation en matière de la conformité de l'eau aux normes de potabilité.

La carte de la figure (fig. 141), présente les trois périmètres de protection, des aquifères carbonatés de la vallée de Rhassira (Maastrichtien, Paléocène et Eocène inférieur). La zone de protection immédiate, concerne les forages et les entailles d'Oued el-Abiod qui mettent les eaux de surface en contact direct avec ces aquifères.

Le périmètre de protection rapproché, concerne tous les affleurements des aquifères. Enfin le périmètre de protection éloigné concerne tout l'impluvium (bassin versant), qui peut à travers le réseau hydrographique transporter des polluants des zones lointaines vers ces aquifères.

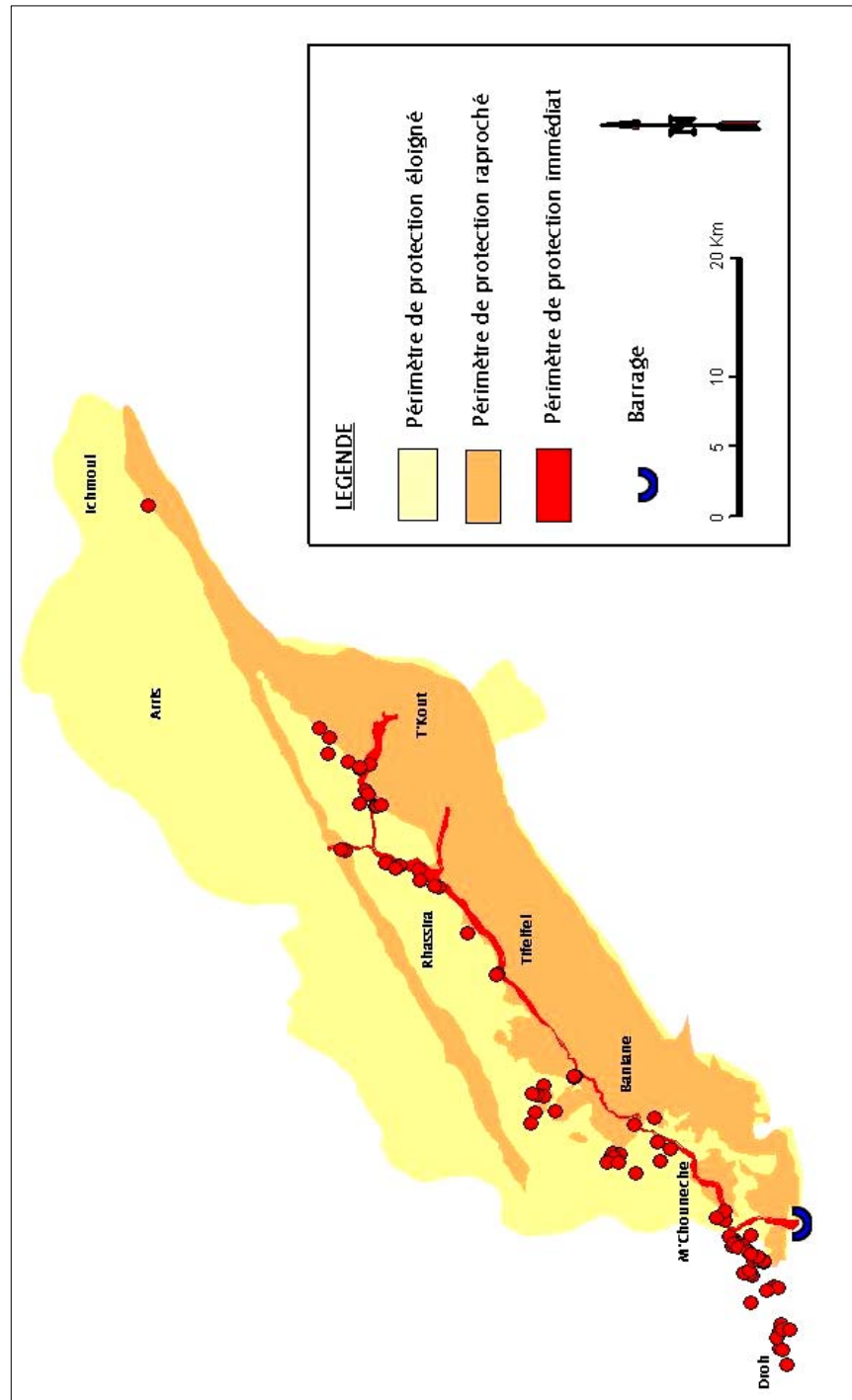


Fig. 141 : Périmètres de protection des aquifères carbonatés de la vallée de Rhassira
(Source: L'auteur, 2009)

VII- HYDROTHERMALISME

Tout d'abord pour identifier une eau thermale, il faut que sa température, soit supérieur de 4°C, par rapport à la température moyenne de l'air ambiant, où qu'elle soit supérieur de 2°C par rapport à la température moyenne du sol.

Au sud de la région d'étude nous avons pu identifier des points d'eaux chaudes. Il s'agit d'aquifères situés à des profondeurs allant de 70 à 200 m, qui sont alimentés en partie par des eaux qui remontent des profondeurs à travers un accident tectonique majeur.

Différentes méthodes, permettent de déterminer la température en profondeur à partir des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Les méthodes chimiques reposent sur la teneur en certains éléments chimiques, tels que : la silice, Potassium, Calcium, Sodium, Lithium...

- Géothermomètre (Na ; K ; Ca) (Fournier 1973)

$$T = \frac{1647}{\log \frac{Na}{K} + \beta \log \sqrt{\frac{Ca}{Na}} + 2.24} - 273 \quad \text{Où } T \text{ est la température en profondeur en } ^\circ\text{C}$$

$$\beta = 1/3 \text{ si } T^\circ \text{ eau} > 100^\circ\text{C}$$

$$\beta = 4/3 \text{ si } T^\circ \text{ eau} < 100^\circ\text{C}$$

En appliquant la formule pour le cas de la source de Gouskov (S35), nous obtenons :

$$T = \frac{1647}{\log \frac{6.16}{0.21} + 4/3 \log \sqrt{\frac{9.86}{6.16}} + 2.24} - 273 \Rightarrow T = 155^\circ\text{C}$$

- Géothermomètre Na/K (J. Ellis 1970)

$$T = \frac{908}{\log \frac{Na^+}{K^+} + 0.7} - 273 \quad \text{Où } Na^+ \text{ et } K^+ \text{ sont en még/l}$$

$$T = \frac{908}{\log \frac{6.16}{0.21} + 0.7} - 273 \Rightarrow T = 146^\circ\text{C}$$

- Géothermomètre CO₃/SO₄ (J. Ellis 1970)

$$T = 74.91 \times \log \frac{\sum CO_3^{--}}{\sum SO_4^{--}} + 192 \Rightarrow T = 74.91 \times \log \frac{13.64}{48.21} + 192 = 150.9 \cong 151^\circ\text{C}$$

D'après ces formules empiriques, la température maximum dans l'aquifère est de l'ordre de 150°C.

VIII-ISOTOPIE

Des analyses isotopiques ont été réalisées à un niveau régional pour voir le renouvellement des nappes entre la partie sud des Aurès et le piémont de la chaîne atlasique. Ces analyses portent sur le Tritium (H^3), l'Oxygène O^{18} et le Deutérium H^2 . Le rapport entre les teneurs de ces deux derniers isotopes est régit par les deux formules suivantes :

$$\begin{aligned} \delta H^2 &= 8 \delta O^{18} + 10 && \text{domaine océanique} \\ \delta H^2 &= 8 \delta O^{18} + 22 && \text{domaine méditerranéen} \end{aligned}$$

Pour le tritium(H^3), trois cas se présentent :

Teneurs > 25 UT, l'âge de la recharge est de quelques dizaines d'années (car marquées des fortes teneurs du pic de 1963).

10<UT<25 alors c'est une eau infiltrée durant la dernière décennie, ou une eau poste nucléaire mélangée à une eau ancienne.

2 <UT<10, alors c'est une eau poste nucléaire dans une eau ancienne.

Dans la région d'Oued el-Abiod Cinq échantillons ont été prélevés. Deux échantillons concernent la nappe du Maastrichtien à la région de Droh et M'Chouneche, au sud du synclinal. Deux autres échantillons, provenant des eaux de l'aquifère de l'Albien. Il s'agit de la source de Tihmamine au nord du bassin versant et de la source de Hammam Salhine qui se situe au sud pas loin du bassin versant. Et enfin un échantillon d'eau de pluie prélevé à Biskra, pour étalonnage. Les échantillons ont été pris en charge par la GTZ, et analysés en Allemagne. Les résultats figurent sur le tableau N° 23.

Ils montrent que les eaux des aquifères (Albien et Maastrichtien) dans la vallée, sont anciennes datant probablement du Quaternaire (Pléistocène). Par ailleurs la source de Tihmamine présente un apport d'eau poste nucléaire mélangé à une eau ancienne.

Tab 32 : Résultats des analyses isotopiques (2009)

Point d'eau	Altitude et Latitude	Aquifère	δO^{18} ‰	δH^2 ‰	H^3 UT	Interprétation
Tihmamine	1240 m 35,26°	Albien	-8.75	-56.7	2,2 ± 0,6	Apport d'eau poste nucléaire (1963), mélangé à une eau ancienne.
Hammam Salhine	137 m 34,88°	Albo Barrémien	-9.6	-67.7	< 0,6	recharge ancienne (pléistocène)
M'chouneche	369 m 34,97°	Maastrichtien	-7.86	-51.2	< 0,6	recharge ancienne (pléistocène)
Droh AEP	203 m 34,88°	Maastrichtien	-7.58	-50.5	< 0,6	recharge ancienne (pléistocène)
Eau de pluies			-9.17	-61.5	3,8 ± 0,7	

IX-CONCLUSION

Dans les régions arides et semi-arides, il est déjà très difficile de trouver de l'eau. Sa quantité n'est pas le seul souci, mais encore faut-il qu'elle soit utilisable. Il est important alors de connaître les processus géochimiques dans ces régions, afin de caractériser les eaux de ces systèmes aquifères. L'aridité du climat dans ces régions ne favorise guère, le développement de la végétation sur les affleurements des massifs carbonatés. Autrement dit le sol n'est pas assez développé pour jouer le rôle de producteur de gaz carbonique, agent principal dans le phénomène de dissolution des calcaires.

Les eaux captées dans la région d'Ichemoul et Arris, appartiennent à la nappe albienne. Elles Présentent des faciès chimiques, bicarbonaté calcique, bicarbonaté magnésien, sulfatées calciques

Les échantillons d'eau, présentent une bonne qualité d'eau, dans la région d'Ichmoul à part les points d'eau tels que F22 et S11, ayant une potabilité chimique médiocre à mauvaise avec respectivement un résidu sec de 1110 et 978 mg/l et un taux de sodium de 310 mg/l pour F22, et les sulfates de 396 mg/l pour S11.

Quand à la région d'Arris, tous les points présentent une eau mauvaise à médiocre avec des résidus secs allant de 1400 à 3270 mg/l. Les taux en sulfates et en sodium dépassant les normes de potabilité. Avec une tendance générale de l'augmentation de la concentration des sels du N-E au S-W. Ce qui donne une idée déjà sur le sens générale de l'écoulement au niveau de cette nappe. Par ailleurs les eaux des forages F5 et le F16 à Tighanimine (exploitant les alluvions du Quaternaire et la nappe du Turonien), présentent une bonne qualité.

L'étude géochimique des eaux des aquifères carbonatés (Maastrichtien et Eocène inférieur) de la vallée de Rhassira, a montré à travers les 26 échantillons prélevés, une diversité dans les faciès chimiques en rapport avec la géologie des aquifères exploités. Ainsi, l'origine du chimisme est due à la dissolution des roches carbonatées, du Maastrichtien, Paléocène et l'Eocène inférieur, en présence de formations évaporitiques du Lutétien, Oligocène.

Globalement les eaux proviennent d'un réservoir carbonaté. Au nord, elles sont moins chargées, au centre et au sud les eaux deviennent plus sulfatées ou chlorurées, traduisant l'éloignement des zones d'alimentation et la mise en solution des évaporites dans une région soumise à un climat aride. Quand aux eaux de l'Oligocène, elles présentent un faciès chloruré sodique. Les trois points de l'extrême sud de la zone d'étude sont sulfatées magnésiennes provenant d'un réservoir profond, à travers un accident tectonique majeur pour circuler dans des niveaux du Miocène, Eocène et Maastrichtien.

L'interprétation thermodynamique a permis de montrer l'influence des minéraux évaporitiques sur le chimisme de l'eau. Une sous-saturation en gypse, anhydrite et halite provoque par dissolution un enrichissement des eaux par ces éléments. Par ailleurs, les minéraux carbonatés se trouvent parfois proches de l'équilibre souvent en sursaturation et tendent vers la précipitation sous forme de calcite et dolomite. Les concentrations en gaz carbonique ont une tendance vers une légère augmentation du N-E au SW.

L'analyse par ACP, a permis de distinguer plusieurs groupes d'eau, et a permis de dissiper certains doutes qui régnaient autour des horizons exploités par les forages.

-un premier groupe, captant la nappe des calcaires de l'éocène inférieur (Yprésien – Lutétien inférieur) d'une qualité d'eau moins chargée et moins dure, avec de basses valeurs de conductivité dans la région d'étude. De faciès chimique Bicarbonaté calcique à sulfaté calcique.

-un deuxième groupe avec une conductivité allant de 800 à 1100 $\mu\text{s}/\text{cm}$; dont l'eau provient principalement des calcaires du Paléocène. En majorité sulfaté calciques.

-un troisième groupe, plus chargé d'une conductivité dépassant les 1100 pour atteindre des valeurs de l'ordre de 1900 $\mu\text{s}/\text{cm}$, d'un faciès sulfaté calcique secondairement bicarbonaté magnésien. Ce groupe présente un mélange d'eau provenant du Maastrichtien, de l'Yprésien et de l'Oligocène, ou il s'agit de sources traversant ces différentes formations géologiques.

Les sources S24 et S25 s'individualisent d'un un groupe(4) à part, d'une conductivité qui va de 800 à 1000 environs, Chargées en chlorures et sodium. Traversant des formations de conglomérats et d'argiles de l'Oligocène.

Le F74, se place entre les 4 groupes, il capte le Maastrichtien et le Miocène.

La qualité des eaux de la vallée de Rhassira, (tout aquifères confondus : Maastrichtien, Eocène inférieur, Oligocène) est bonne, dans la partie amont avec de résidus secs allant de 400 à 800 mg/l. Passable à médiocre dans la partie médiane. Plus au sud la qualité est médiocre à mauvaise.

Sur le plan pollution, l'analyse chimique fondamentale des eaux de la région, ne montre pas un indice de pollution remarquable. Toutefois les rejets urbains sans traitement, peuvent avec le temps menacer les eaux des aquifères carbonatés, car l'Oued el-Abiod recoupe les affleurements de ces formations dans plusieurs endroits, où il rentre en contact direct avec les eaux souterraines.

Dans cette optique et sur la base de l'environnement géomorphologique et géologique, de la région, les trois périmètres de protection des eaux souterraines des aquifères carbonaté on été établis (périmètre immédiat, rapproché et éloigné).

Le thermalisme se manifeste dans la région à travers des eaux chaudes, résultat d'un mélange d'eaux profondes et de surface.

Conclusion

G E N E R A L E

CONCLUSION GENERALE

La vallée d'Oued el-Abiod est située dans le plus grand synclinal des Aurès. C'est celui de Rhassira. Elle constitue l'extrémité orientale de la chaîne Atlasique. Le plus haut sommet se situe en amont de la vallée à Dj Chélia et exactement à « Irfen'Keltoume » avec une altitude de 2326 m.

Les structures géologiques sont la résultante des phases orogéniques atlasique (Lutétien supérieur) et post-miocène. La série stratigraphique s'échelonne du Jurassique au Quaternaire (6000 m d'épaisseur). Les formations géologiques sont constituées de dépôts détritiques du Crétacé inférieur, des dépôts argilo carbonatés du Crétacé supérieur et du Jurassique. Les sédiments tertiaires sont à dominante carbonatée, du Paléocène jusqu'à l'Eocène moyen. Tandis que le Néogène est essentiellement détritique. Les variations latérales de faciès sont très fréquentes et concerne tous les étages.

Dans le synclinal de Rhassira, le Maastrichtien est constitué d'une épaisse série carbonatée formée par des calcaires massifs (200 à 350 m), très fissurés et souvent productifs d'eau, formant un réservoir d'eau important, d'une bonne qualité. Viennent, ensuite, des calcaires phosphatés du Danien. Le Paléocène est représenté par des calcaires contenant quelques bancs marneux. L'Eocène inférieur est formé de marnes blanches et des calcaires marneux à silex et nummulites. Le Lutétien est présenté par des calcaires à silex. Les terrains du Quaternaire sont rares et sont représentés par les éboulis aux pieds des montagnes et les terrasses des Oueds.

Les failles et cassures prennent des directions variables N-S ; NE-SW ; E-W et NW-SE. Le synclinal est affecté dans son extrémité nord par une faille d'un rejet de 5000 m environs, qui a mis en contact les formations du Crétacé inférieur (Barrémien) de l'anticlinal de Chélia avec les formations du Lutétien du synclinal de Rhassira. Dans la partie sud ouest, un autre accident majeur, sépare le synclinal de Rhassira et le bassin d'el-Outaya. Le long de cet accident sur des dizaines de kilomètres, se manifestent des sources chaudes telles que Ain Gousov , source de Hammam sidi el-Hadj, ainsi que des diapirs tels que celui d'el-Outaya et de M'Doukel.

L'ensemble des sondages électriques réalisés ont permis de localiser les niveaux susceptibles d'être aquifères, ainsi que la géométrie des réservoirs. Dans le synclinal de Rhassira, les niveaux résistants qui suscitent un intérêt hydrogéologique sont :

- Les calcaires et les conglomérats du Miocène
- Les Calcaires à silex de l'Yprésien – Lutétien inférieur (aquifère potentiel dans la région)
- Les calcaires crayeux du Paléocène
- Les calcaires du Maastrichtien.

Au sud (M'Chouneche et Droh), le Maastrichtien est le niveau le plus prometteur, d'une épaisseur de 150 m environs et dont le toit se situe à une profondeur allant de 100 à 300 m.

Le S.B.V d'Oued el-Abiod est d'une superficie de 1300 Km². L'altitude moyenne est de 1170m. Le réseau hydrographique n'est pas très dense, ce qui est en rapport avec les terrains assez perméables, formés principalement de roches carbonatées fissurées et souvent karstifiées. L'oued el- Abiod est le drain naturel et le collecteur de cette vallée. Le couvert végétal, vient ajouter son influence à celle de la géologie et la topographie pour accentuer la rapidité du ruissellement des eaux, l'évapotranspiration et la capacité de rétention du bassin.

Au nord le climat est semi aride, avec des précipitations de l'ordre de 450 mm/an, et des périodes d'enneigement d'environ 25 jours par an. Sur la partie médiane, règne un climat steppique (200 à 300 mm de précipitations). Au sud le climat est hyperaride, avec des précipitations ne dépassant pas les 200 mm. Les saisons les plus arrosées, sont le Printemps (mars, avril et mai) et l'automne (septembre, octobre et novembre) et enfin les deux tiers de la saison de l'hiver (janvier et décembre). Les pluies orageuses sont assez fréquentes en mois de juin et août, mais moins abondantes. L'évapotranspiration pour la zone nord représente 84 à 92% des précipitations, alors qu'elle est égale à ces dernières pour les stations de T'Kout et M'Chouneche. Ce qui fait que le bilan hydrologique est déficitaire dans cette zone qui représente les deux tiers de la surface du sous bassin versant. Alors qu'il est excédentaire dans la partie Nord Est. C'est cette dernière partie du sous bassin, qui participe efficacement dans l'écoulement de surface ainsi qu'à l'infiltration. Le ruissellement est d'environ 17 mm/an sur l'ensemble du bassin. L'infiltration est estimée à environ 11 mm/an, selon le bilan d'eau, ce qui représente un volume d'eau de 15.4 Hm³/an.

La région comporte plusieurs aquifères potentiels empilés les uns sur les autres. L'aquifère jurassique, d'une épaisseur de 250 à 300 m, est formé de calcaires silicifiés et de conglomérats. La karstification est peu développée, donnant naissance à des sources de faibles débits. Cet aquifère affleure au niveau de Dj. El-Azreg sur une superficie de 70 Km², à une altitude d'environ 2000 m. Ce qui fait que ce niveau reçoit une pluviométrie conséquente.

Le Crétacé inférieur se présente sous forme d'un aquifère multicouches, de nature lithologique grés-carbonatée. D'une puissance totale d'environ 1000 à 1500 m. Il comporte les étages de l'Hauterivien, le Barrémien, l'Aptien et l'Abien. Le substratum de cet aquifère multicouche est présenté par les marnes blanches du Valanginien, alors que les marnes du Cénomaniens constituent son toit. Le Turonien est carbonaté d'une puissance de 300m environ. Son toit est constitué par les marnes du Sénonien inférieur, et le substratum par les marnes du Cénomaniens. Exploité par des forages d'une profondeur d'environ 200 m et donnant des débits de 10 à 20 l/s. Le Maastrichtien Formé d'une série carbonatée d'une épaisseur allant de 200 à 350 m. C'est des calcaires massifs, fissurés, parfois karstifiés ; productifs d'une eau de bonne qualité. Rarement exploité en amont, vu son plongement en profondeur. Alors qu'au sud-ouest (Droh), il est exploité par plusieurs forages à des profondeurs de 320 à 400 m. L'Eocène inférieur est constitué des calcaires à silex, c'est l'aquifère le plus exploité dans la région, donnant des débits qui peuvent atteindre les 90 l/s. Il est séparé des calcaires du Maastrichtien et Paléocène par une formation de marnes et calcaires marneux à rognons de silex, d'âge Landinien qui fait environ une trentaine de mètres d'épaisseur. La profondeur du toit varie de 20 m à 500 m à la région de T'Kout. Dans la région centrale du synclinal (Rhoufi et Rhassira) l'épaisseur varie de 30 à 220 m et une épaisseur allant de 150 à 220 m. Plus au Sud à la région de Kef Arous, l'aquifère se trouve enfoui sous les dépôts de l'Oligo-miocène à une profondeur de 300 m. Le Miocène est formé de dépôts de poudingues, sables, grès et d'argiles. L'ensemble se termine par les conglomérats du Pliocène. Les dépôts du Lutétien supérieur forment le substratum de la

nappe Miocène. Ces couches forment un aquifère multicouche en nappe libre, souvent en continuité avec les alluvions du Quaternaire. Il est exploité, surtout, à Tifelfel et à T'Kout par les agriculteurs à travers des puits.

La faille de M'Chouneche, affecte le flanc Sud, d'un rejet important. Au nord de laquelle les couches du Paléocène affleurent en surface marquant ainsi la limite sud de l'aquifère des calcaires de l'éocène inférieur. Ce qui explique la discontinuité hydraulique de l'aquifère entre la partie nord et la partie sud. Au nord des forages en majorité jaillissants, alors qu'en aval les forages sont en pompage.

D'après les multiples travaux et études réalisés dans la région, le taux des infiltrations est de l'ordre de 10% des précipitations.

La carte piézométrique, établie en 2008, montre un écoulement des eaux souterraines de l'Eocène inférieur qui s'effectue du N-E au SW. Dans la partie amont le gradient hydraulique est de l'ordre de 23×10^{-3} alors qu'au sud il est moins fort 5×10^{-3} .

Les essais de pompage donnent une valeur du coefficient d'emmagasinement à la région de Baniane de l'ordre de 5.7×10^{-3} (nappe de l'Eocène inférieur et Paléocène) et une transmissivité de 5×10^{-4} m²/s. Le reste des forages donnent des transmissivités équivalentes de l'ordre de 1.7×10^{-3} à 4.6×10^{-3} m²/s pour l'aquifère du Maastrichtien.

Pour une meilleure gestion des ressources en eaux souterraines, la mise en place d'un réseau de surveillance s'avère le moyen le plus adapté pour cette région.

Les eaux captées dans la région d'Ichemoul et Arris, appartiennent à la nappe albiennaise. Elles présentent les faciès chimiques : bicarbonaté calcique, bicarbonaté magnésien, sulfatées calciques. Les échantillons d'eau, présentent en majorité une bonne qualité d'eau, dans la région d'Ichemoul. Quand à la région d'Arris, tous les points présentent une eau mauvaise à médiocre. Par ailleurs les forages à Tighanimine exploitant les alluvions du Quaternaire et la nappe du Turonien, présentent une bonne qualité d'eau.

L'étude géochimique des eaux des aquifères carbonatés (Maastrichtien et Eocène inférieur) de la vallée de Rhassira, a montré à travers les 26 échantillons prélevés, une diversité des faciès chimiques, en rapport avec la géologie des aquifères exploités. Ainsi, l'origine du chimisme est due à la dissolution des roches carbonatées, du Maastrichtien, Paléocène et l'Eocène inférieur en présence de formations évaporitiques du Lutétien supérieur et de l'Oligocène. Les processus chimiques et thermodynamique régissant l'évolution des éléments chimiques dans l'eau, ont déterminé trois faciès.

- Eaux sulfatées calciques ou magnésiennes ou sodiques 80.77 %
- Eaux Bicarbonatées calciques ou sodiques 15.39 %
- Chlorurée sodique 3.85 %

Globalement les eaux proviennent d'un réservoir carbonaté. Au nord elles sont moins chargées, au centre et au sud les eaux deviennent plus sulfatées ou chlorurées, traduisant l'éloignement des zones d'alimentation et la mise en solution des évaporites. Quand aux eaux de l'oligocène, elles présentent un faciès chloruré sodique. Les trois points de l'extrême sud de la zone d'étude sont sulfatées magnésiennes provenant d'un réservoir profond, à

travers un accident tectonique majeur pour circuler dans les formations d'âge Miocène, Eocène et Maastrichtien.

L'interprétation thermodynamique a permis de montrer l'influence des minéraux évaporitiques sur le chimisme de l'eau. Avec une sous-saturation en gypse, anhydrite et halite dont la dissolution provoque un enrichissement des eaux par ces éléments. Les minéraux carbonatés se trouvent parfois proches de l'équilibre souvent en sursaturation et tendent vers la précipitation sous forme de calcite et dolomite. L'analyse en ACP, a permis de distinguer plusieurs groupes d'eau et a permis de dissiper certains doutes qui régnaient autour des horizons exploités par les forages.

La qualité des eaux de la vallée de Rhassira, est bonne, dans la partie amont. Elle est passable à médiocre dans la partie médiane et médiocre à mauvaise au sud. Du point de vu dureté, 8 % des échantillons, présentent une eau assez douce, en amont (T'Kout); 46% présentent une eau dure, situés en majorité dans la partie médiane et 46 % des eaux très dures situées dans la plus part du temps dans la partie sud.

Sur le plan pollution, l'analyse chimique fondamentale des eaux de la région, ne montre pas un indice de pollution remarquable. Toutefois les rejets urbains sans traitement, peuvent avec le temps menacer les eaux des aquifères carbonatés. Dans cette optique et sur la base de l'environnement géomorphologique et géologique, de la région, les trois périmètres de protection des eaux souterraines des aquifères carbonatés ont été établi (périmètre immédiat, rapproché et éloigné).

Le thermalisme se manifeste dans la région à travers des eaux tièdes, résultat d'un mélange d'eaux profondes et d'eaux des aquifères de surface.

Les analyses isotopique ont montré, la recharge des aquifères par des eaux récentes mélangées à des eaux anciennes.

BIBLIOGRAPHIE

- Abchiche. M et All, (1999) : *Etude hydrogéologique de la vallée de Oued Abdi et Bouzina(W.Batna)*. Sonatrach, division opérations, Hassi-Messaoud.
- A.N.R.H, (1971) : *Extrait de la Carte pluviométrique au 1/500 000. Alger, Algerie.*
- Bakalowicz.M, (1979) : *Contribution à la géochimie des eaux, à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification, thèse de Doctorat de Sciences naturelles, Université Pierre et Marie Curie. Paris VI. 269 p.*
- Boulvain.F, (2007) : *Eléments de sédimentologie et de pétrologie sédimentaire. Cours. Université de Liège.*
- B.R.G.M, (2005) : *Guide méthodologique : Cartographie de la vulnérabilité en vue de la délimitation de périmètres de protection en milieu Karstique.*
- Brinis.N, (2003) : *Essai d'explication de la salinité des Eaux de la nappe du Moi-Pliocène, cas de la zone Est de la plaine d'El-Outaya (W.Biskra).* Université Annaba, Mémoire de Magister.
- Castany.G, (1967) : *Traité pratique des eaux souterraines.* Dunod.
- Castany.G, (1998) : *Hydrogéologie : principes et méthodes.* Dunod.
- Chebbah.M,(2007) : *Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra.*
- Cornet. A, (1961) : *Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Hydraulique et équipement rural.* Service des études scientifiques. Rapport, Alger, Algérie. 108 p.
- Debieche, T.H, (2002) : *Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse ;*Thèse de Doctorat, Université Franche-Comté.199 p.
- De Marsily.G, (1981) : *Hydrogéologie quantitative.* Masson, Parie. 215 p.
- D.E.M.R.H, (1980) : *Carte hydrogéologique de Biskra au 1/200 000, service hydrogéologie.*
- Drogue.C, (1969) : *Contribution à l'étude quantitative des systèmes hydrologiques karstiques, d'après l'exemple de quelques karsts périméditerranéens,* thèse de Doctorat en Sciences naturelles, Montpellier, 482 p.
- Engalene.M, (2006) : *Eaux minérales.*
- Gilli.E ; Maugin.C ; Mudry.J (1999). *Hydrogéologie : Objets, Méthodes, Applications.*
- Guiraud, R, (1973) : *Evolution post Triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine en Algérien d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines.*
- Kardache. R, (1988) : *Ressources en eau des Karsts du SUD-EST Algérien.* Thèse de Docteur Ingénieur ; université des Sciences et Techniques du Languedoc, 234 p.
- Laffitte. R, (1939) : *Etude géologique de l'Aurès et esquisse géologique des Aures,* Thèse, Paris, Bull. Service de la carte géologique de L'Algérie, Alger, 2^{ème} édition, 484 p.
- Ledoux. E, (2003) : *Modèles Mathématiques en Hydrogéologie.*
- Mangin.A, (1975) : *Contribution à l'Etude Hydrodynamique des Aquifères Karstiques.* Thèse de Docteur Es Sciences. Université De Dijon.

- Marsaud.B, (1997) : *Structure et fonctionnement de la zone noyée des Karsts à partir des résultats expérimentaux*. Thèse de Docteur Es Sciences. Univ. Paris XI Orsay. Edition BRGM 268. 324 p.
- Nesson. C, (1975) : *L'évolution des ressources hydrauliques dans les Oasis du Bas-Sahara algérien*. Recherches sur l'Algérie. Mémoires et documents. Service de doc. Et de cartographie géographique. CNRS. Nouvelle série, V17. pp 7-99.
- Réménieras.G, (1986) : *L'Hydrogéologie de l'Ingénieur*.
- Salmon.J.N, (2000) : *Précis de Karstologie*. Edition.
- Schnell.B, (1962) : *Carte géologique de Biskra au 1/200 000*. Service de la carte géologique de L'Algérie.
- Senouci.M et All, (2000) : *Etude hydrogéologique de la vallée d'Oued El Abiod (Aurès, W Batna)*, Sonatrach, division opérations, Hassi-Messaoud.
- Scholler. H, (1959) : *Hydrologie des Régions Arides (Progrès Récents)*, 126 p.
- Scholler. H, (1962) : *Les Eaux Souterraines*.
- Seltzer P, (1946) : *Le climat de l'Algérie. Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Alger*.
- Snaoui & All, (2002) : *Etude géophysique par sondages électriques verticaux, site Chetma Droh, W Biskra*. E.N.A.G.E.O, division exploitation sismique, département des opérations spéciales.
- Tarits.C & All, (2002) : *Géologie de l'Environnement*. Dunod.
- Thierrin, J & All, (2001) : *Guide pratique de l'échantillonnage des eaux souterraines*. OFEP Marseille. 84 p.

ANNEXE

Tab.33 : Station hydrométrique de M'Chouneche (apports en Hm³)

Année/mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jll.	Aout	Annuel
1971/72			1.830	2.260	1.586	2.693	2.218	3.794	1.570	1.770	0.101	0.120	17.942
1972/73	0.416	1.463	0.461	1.403	1.190	2.426	4.136	8.206	1.046	0.808	0.261	0.335	22.151
1973/74	0.193	0.249	0.268	1.741	2.154	0.901	0.940	0.824	0.261	0.176	0.148	0.139	7.994
1974/75	0.190	0.356	0.358	0.429	0.416	0.990	3.131	1.894	2.938	0.077	0.098	0.071	10.948
1975/76	3.700	0.426	0.248	0.317	0.289	2.231	3.518	1.660	0.585	2.640	2.040	0.197	17.851
1976/77	7.240	0.203	2.590	3.157	14.200	1.610	0.499	2.660	5.190	1.660	0.241	0.242	39.492
1977/78	1.170	0.361	0.786	0.608	0.434	0.492	0.396	0.340	0.179	0.090	0.115	2.890	7.861
1978/79	1.780	2.290	0.521	0.379	0.195	0.265	0.325	1.040	0.125	0.213	0.076	0.056	7.265
1979/80	14.500	0.164	0.104	0.121	0.121	0.216	1.170	0.528	0.406	0.313	0.296	0.341	18.280
1980/81	0.311	0.733	0.108	0.617	1.554	1.173	1.347	0.315	0.095	0.134	0.049	0.049	6.485
1981/82	0.091	0.046	0.088	0.123	0.183	0.277	0.277	0.443	0.683	0.227	0.043	0.065	2.546
1982/83	0.047	0.054	0.187	0.283	0.139	0.117	0.097	0.077	0.078	0.054	0.030	0.032	1.195
1983/84	0.048	0.031	0.020	0.021	0.022	0.016	0.053	0.032	0.029	0.028	0.027	0.026	0.353
1984/85	0.026	0.016	0.019	0.033	0.042	0.048	0.062	0.046	0.217	0.043	0.018	0.015	0.585
1985/86	0.248	0.327	0.460	0.398	0.280	0.467	3.660	2.220	0.902	0.168	0.016	0.030	9.176
1986/87	1.650	3.921	0.931	1.170	0.823	0.821	0.713	0.317	0.243	0.193	0.127	0.071	10.980
1987/88	0.009	0.110	0.096	0.138	0.176	0.214	0.321	0.431	0.650	0.953	0.038	0.398	3.534
1988/89	0.619	0.858	1.168	0.491	0.419	0.427	0.501	0.746	0.043	2.896	0.390	0.210	8.768
1989/90	9.570	0.261	0.328	0.511	0.712	1.588	0.543	1.929	2.627	0.369	0.348	1.025	19.811
1990/91	0.682	0.764	0.639	0.284	0.321	0.338	0.526	0.725	0.452	0.225	0.217	0.325	5.498
1991/92	0.766	0.219	0.222	0.207	0.172	0.209	0.468	0.320	0.327	0.164	0.075	0.403	3.552
1992/93	0.446	0.732	0.734	0.273	0.438	0.435	0.368	0.085	0.185	0.177	0.191	0.230	4.294
1993/94	0.193	0.223	0.333	0.403	0.269	0.110	0.245	0.315	0.336	0.311	0.141	0.216	3.095
1994/95	0.657	0.654	0.239	0.181	0.166	0.141	1.262	1.188	0.033	0.209	0.229	0.205	5.164
MOYENNE	1.937	0.629	0.531	0.648	1.096	0.759	1.116	1.256	0.800	0.579	0.221	0.320	9.784

Tab.34 : Station pluviométrique de Médina « 06.15.03 » (en mm)

Année/Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Jll	Aout	Annuel
1969/70	151.9	122.5	7.3	39.5	33.4	3.2	8.2	91	52.4	6.4	7.8	0	523.6
1970/71	8	29.1	0	31.5	22.2	10.6	21.9	10.7	64	0	19.9	26.7	244.6
1971/72	27.3	37.9	39.3	9.2	36.8	29.7	54.6	79	28.2	100.4	14	26.5	482.9
1972/73	186.4	56	35.5	37.9	60.8	31.7	89.7	28.5	7	18.9	0.6	105.7	658.7
1973/74	12.2	20.6	18	72.8	5	26	55.2	33.7	10.6	75.1	0	2.5	331.7
1974/75	28	45.3	31.2	11.6	38.8	60.7	60.5	38.2	72.8	1.4	0.1	0	388.6
1975/76	59.7	9.2	80	34.1	19	73.8	65.1	30.4	82.7	35.1	34.3	23	546.4
1976/77	65.7	38.9	94.1	35.6	67.1	2.2	20.7	57.4	91	24.7	0	23.9	521.3
1977/78	0	10.5	132.4	1	36	35	4.8	37	9.7	0	0	78.8	345.2
1978/79	3.9	54.4	1.9	2	35	34.7	22.2	53	18.6	48.6	2	4.1	280.4
1979/80	119.4	31.7	19.4	6	13.2	13.9	46.3	30.1	74.6	9	0	10	373.6
1980/81	88.1	2.8	70.8	108	48.6	123.6	16.5	21.7	3.2	29.2	0	4.7	517.2
1981/82	122.6	21.5	7.5	22	40.8	39.8	50	85.1	61.2	14.8	0	0	465.3
1982/83	48.2	90.5	154.1	10.4	5.1	6.9	19.9	0	12.5	12.4	0	20.1	380.1
1983/84	22.7	61.9	10.4	23.2	18.9	20.3	21.3	42.6	1	11.7	0	2.4	236.4
1984/85	0	93.1	14.2	83.9	49.9	10.8	52.8	18.8	70.1	3.8	4.3	32.5	434.2
1985/86	46.8	39.8	30.8	24.4	44.1	35.5	131.9	49.3	47	6.9	0	55.9	512.4
1986/87	68.4	73	69.4	35.3	16.8	43.3	19.3	12.8	33.5	1.4	34.4	12.4	420
1987/88	3.5	27	12.7	33.9	16.9	5.6	21.6	18.2	19.2	58.2	0	34.5	251.3
1988/89	28.7	38.3	68.8	97.7	8.5	7.5	10.1	14	9.7	111.2	21	121.6	537.1
1989/90	34.3	32.4	11.8	17.3	85	0	37.1	84.6	79.9	8.9	0	135.9	527.2
1990/91	48.05	1.4	80.9	41.5	8.1	24.7	66	26.4	3.9	19.9	4.9	10.6	336.35
1991/92	35.7	42.7	30.3	18.4	34.9	39.2	57.3	36.3	87.5	0	43.8	57.2	483.3
1992/93	33.1	9.4	52.6	66.2	21	54.8	27.7	17.5	45.5	33.1	0	0	360.9
1993/94	18.1	5	13.3	63.8	24.8	21.5	33.5	22.3	7.2	0	6.7	35.4	251.6
1994/95	57	42.6	17	12.2	66.2	0	60.7	14.1	22.4	36.7	4.2	14	347.1
1995/96	28.8	44	1	24.8	99.4	98.3	67.9	32	25.1	31.1	29.4	5.9	487.7
1996/97	18.8	0.8	5.2	11.7	27.7	9.1	36.7	43.9	6	13.9	0	51.3	225.1
1997/98	87.7	36.1	73.7	56.1	7.8	31.8	35.1	63.7	39.3	52.2	0	57.2	540.7
1998/99	19.3	37.3	33.4	27.9	88	20.2	17.5	14.5	22.8	16.9	0	18.8	316.6
1999/00	27.8	32.3	58.2	78	8.2	6.4	24.7	4.4	88.9	18.8	0	1.5	349.2
2000/01	64.6	21.2	13.2	30.9	39.8	7	4	6.4	46.9	0.1	2.3	15.6	252
2001/02	49	9.4	51.8	9.5	11.7	4.6	18.6	32.4	12.8	6	2.5	46.1	254.4
2002/03	2.4	30.7	94.6	29.6	79.5	51.9	21	130	17.2	25.1	10.9	34.5	527.4
2003/04	65.5	95.9	40.1	113.5	44.7	35.6	105.3	92.5	118.5	59.3	54.4	71.1	896.4
MOYENNE	48.05	38.43	42.14	37.75	36.11	29.14	40.16	39.21	39.80	25.46	8.50	32.58	417.34

Tab.35 : Station pluviométrique de T'Kout « 06.15.05 ». (en mm)

Année/Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jll	Aout	Annuel
69\70	32.90	63.00	9.00	4.00	11.00	0.00	0.00	18.00	25.00	0.00	8.00	0.00	170.90
70\71	0.00	30.00	0.00	14.00	53.00	0.00	1.60	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	101.40
71\72	14.50	17.00	25.80	18.70	34.30	0.00	13.00	26.00	0.00	8.00	0.00	8.00	165.30
72\73	84.80	24.70	34.00	8.10	23.20	0.00	26.40	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	208.80
73\74	0.00	0.00	1.00	17.40	0.00	6.00	11.40	0.00	10.00	5.70	0.00	0.00	51.50
74\75	0.00	3.00	0.00	1.40	8.00	3.80	6.20	6.00	15.90	0.00	5.90	17.70	67.90
75\76	30.00	0.00	18.00	18.70	0.00	39.40	30.70	8.00	33.70	44.70	39.50	8.20	270.90
76\77	70.20	49.20	43.80	36.60	77.60	6.20	0.00	23.70	161.00	36.40	3.10	14.30	522.10
77\78	0.00	10.30	22.00	0.00	13.00	27.00	2.40	23.10	24.70	0.00	0.00	78.90	201.40
78\79	0.30	23.70	0.00	1.00	32.50	24.50	12.40	41.50	2.10	27.60	4.50	1.70	171.80
79\80	87.90	41.20	14.00	0.00	4.90	28.80	58.60	51.30	39.90	0.00	0.00	3.00	329.60
80\81	30.00	14.20	75.00	78.50	22.00	32.20	18.40	20.50	0.00	34.70	0.00	16.30	341.80
81\82	38.30	8.60	25.80	37.40	20.10	19.60	12.60	14.60	10.20	2.80	0.00	5.50	195.50
82\83	33.20	46.60	53.40	18.70	22.00	2.20	3.80	2.20	24.70	16.30	0.00	14.10	237.20
83\84	30.00	30.00	9.00	8.20	2.00	75.70	6.00	5.70	0.70	20.50	8.00	24.50	220.30
84\85	3.20	84.10	6.60	11.60	33.60	10.90	64.00	10.60	51.70	1.60	0.00	0.00	277.90
85\86	29.70	41.50	27.00	12.20	22.00	30.90	91.60	30.50	3.20	6.50	0.50	13.20	308.80
86\87	48.10	63.40	18.20	0.00	15.70	25.30	8.70	7.50	17.20	0.70	2.90	1.00	208.70
87\88	1.40	25.20	18.10	56.10	22.00	1.00	11.00	9.40	26.20	40.90	1.50	24.10	236.90
88\89	13.60	4.80	52.50	31.80	4.60	31.10	8.30	26.10	8.50	68.20	1.40	103.80	354.70
89\90	12.80	7.00	14.30	11.70	59.70	0.00	33.70	59.90	99.30	5.20	13.60	65.90	383.10
90\91	20.70	3.20	53.00	16.40	2.50	15.50	47.80	20.00	3.50	16.20	5.00	24.40	228.20
91\92	34.70	61.20	11.70	19.60	15.10	16.60	20.60	37.40	52.10	16.30	17.70	7.40	310.40
92\93	46.70	11.60	37.90	5.30	4.50	56.20	21.50	13.00	23.20	6.60	0.00	7.80	234.30
93\94	12.10	3.20	17.30	14.90	21.50	19.30	32.40	17.30	0.30	8.20	5.00	8.60	160.10
94\95	68.00	51.60	13.40	1.90	9.80	0.00	63.20	9.10	5.90	21.30	3.10	15.90	263.20
95\96	67.30	35.80	28.80	39.80	48.60	72.70	86.70	48.20	13.20	61.10	40.20	9.80	552.20
96\97	30.00	0.00	0.10	18.00	14.60	9.50	17.10	44.20	3.70	16.00	0.20	8.60	162.00
97\98	44.80	25.10	71.30	20.70	7.20	13.30	7.70	39.50	23.10	39.40	0.00	12.10	304.20
98\99	29.00	11.70	24.00	4.70	23.50	7.70	4.90	5.10	17.30	18.20	17.30	38.00	201.40
99\00	19.70	13.90	37.70	54.60	22.00	0.60	12.40	8.60	84.00	5.30	5.00	17.00	280.80
00\01	17.80	34.40	5.10	31.50	23.40	10.90	1.30	2.70	25.00	0.00	3.20	20.00	175.30
2001\2002	55.60	13.50	36.20	14.70	6.70	13.00	10.90	18.80	11.00	9.80	2.40	14.80	207.40
2002\2003	11.20	23.10	72.60	7.00	66.80	7.70	19.30	69.90	12.70	47.20	7.90	16.60	362.00

2003/2004	28.30	77.40	28.40	32.30	6.10	38.50	92.70	61.30	60.80	40.90	0.00	27.80	494.50
2004/2005	84.00	10.40	48.20	124.60	0.00	31.50	16.00	9.00	7.40	42.40	7.60	5.40	386.50
2005/2006	30.00	12.50	22.30	21.00	<u>20.55</u>	44.10	6.70	33.40	59.00	15.80	50.80	15.50	331.65
2006/2007	26.10	13.30	26.80	17.40	6.90	9.10	14.30	47.40	21.50	2.10	21.60	6.10	212.60
MOYENNE	31.23	26.04	26.38	21.86	20.55	19.23	23.59	23.16	25.73	18.07	7.26	17.26	260.35

Suite de Tab. 35 : Station de T'Kout(06.15.05)

Tab.36 : Station pluviométrique de Tifelfel « 06.15.11 » (en mm)

Année/Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jll	Aout	Annuel
74\75	7.5	12	18	7.5	10	16.5	18.3	4.4	14	7	0	8	123.2
75\76	26	8	21	12	0	33.5	31	14.5	20.9	0	15.1	8	190
76\77	1	25	20.4	16	32	5	8.5	33	60	24.3	2	13	240.2
77\78	41	17.5	28.2	3.5	1	25.5	0	18	7	0	0	71.2	212.9
78\79	2.5	22.6	1	0	16	7	22.4	26	0	7.5	0	0	105
79\80	49	10.5	24	0	8.5	13.5	40	28	23	3.2	0	6	205.7
80\81	52	0	56	10	6	12	11	8	0	3.2	0	6	164.2
81\82	0	0	0	44	0	13.5	4	29	0	3	0	3	96.5
82\83	6	39	31	7.4	0	19	0	0	6	6	0	7	121.4
83\84	0	15	6	7.5	0	33	0	0	0	7.5	2	0	71
84\85	0	121	0	0	9	17	12	7	14.5	7	2	0	189.5
85\86	29.4	0	16	0	6	13	16	0	0	0	0	0	80.4
86\87	0	0	6	7	13	7	6	0	9	0	0	0	48
87\88	8	17	9.5	23.6	14	7.5	4	19.5	22.5	0	6.5	0	132.1
88\89	18	0	7.4	34.5	0	17	7	17.5	12.46	32.5	0	15.5	161.86
89\90	40	4	7.5	9	18	17	5	38	56.5	7	2	80.5	284.5
90\91	16.9	0	25	9	4	17	33.5	9	0	0	0	6.5	120.9
91\92	6	15.5	6.5	13.5	22.5	8	10.5	16	29	7	2	5.5	142
92\93	27	0	30	28.3	11.15	23.5	18	11.5	7	0	0	14.56	171.01
93\94	5	3.5	16.5	0	9.5	21	31.5	16.26	0	3	1.9	3	111.16
94\95	32.5	64	7	0	9	17	14	48	5	0	7.5	0	204
95\96	29.5	39	9.5	23.5	33.8	66.5	67.5	19	3	57.5	7.5	0	356.3
96\97	0	0	0	4	11	0	0	38.5	0	6.5	6.5	7.5	74
97\98	47	12	8.5	4.6	0	12.5	0	4.8	8	7	0	12.5	116.9
98\99	11.9	17.2	13	0	14.5	17	14	16	10	7	0	9.5	130.1
99\00	7.5	7.5	33	41.5	0	0	2	9.5	27	0	0	0	128
00\01	19.5	9	5	11.51	24.3	0	0	0	22	0	0	0	91.31
2001\2002	31	7.5	14.5	10	0	15.84	3	13	0	0	0	83	177.84
2002\2003	0	7	15.02	6	50	4	7.5	27	4.5	6	0	62	189.02
MOYENNE	17.73	16.34	15.02	11.51	11.15	15.84	13.33	16.26	12.46	6.97	1.90	14.56	153.07

Tab.37 : Station pluviométrique de M'Chouneche « 06.15.06 » (en mm)

Année/ Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jll	Aout	Annuel
1925/26	10	9.5	0	0	2.3	0	2.5	15.3	0	0	0	2.51	42.11
1926/27	9.5	2.5	6.5	3.4	15.8	0	22.1	0	11.3	7	0	0	78.1
1927/28	5.2	19.1	18.1	61	64	0	0	0	0	8	0	0	175.4
1928/29	0	14	0	1.4	3.6	19	0.7	0	1.3	1.6	0	0	41.6
1929/30	1.2	0	0.9	0	0	0.3	0	0	0.8	0	0	0	3.2
1930/31	0	0	0	0.9	2	1.6	0	1	12	0	0	1	18.5
1931/32	1.7	0	14	21	0	23.8	33	0.2	5.2	0	0	0	98.9
1932/33	15.5	0	20.9	31.2	5.2	1.2	49	0	10.8	0.2	0	0.3	134.3
1933/34	0	2.1	26.3	37.6	7.4	5.4	28.3	3.1	35	19.4	0	0	164.6
1934/35	23.6	5.5	13.8	0.3	10.8	27.5	51.5	22.2	34.5	1.3	5.1	17.2	213.3
1935/36	0	52.2	8.9	21	0	0	0	1	0	0.7	0	0.4	84.2
1936/37	0.3	22.1	39.4	25.1	0	0	16.4	9.4	0	0	1	17	130.7
1937/38	16	5	12	12	9.3	5.3	0	47.1	0	0	0	0	106.7
1938/39	0.6	0.4	77.9	0	0.9	0.7	78.2	3.3	31.4	0	16.4	0	209.8
1939/40	30.5	0	7.3	13.3	40.1	8.4	27.4	0	0	11.2	0	25.7	163.9
1940/41	24.3	26.4	0	0	22.3	9.1	43.7	49.2	4.1	0	0	0	179.1
1941/42	14.3	21.1	12.1	0	3.3	46.9	5.2	3.5	0	0	0	1.2	107.6
1942/43	6.8	0	54.8	34	6.2	33.6	58.1	21.9	0	0	3.1	0	218.5
1943/44	0	25.2	5.3	39.4	0	1.1	1.3	3.1	0	8.4	0	0	83.8
1944/45	9.4	19.1	1.2	0	0	0	8	0	11.2	13	0	0	61.9
1945/46	0	32.1	5.3	2.1	43.1	0	0	65.3	13.2	0	0	0	161.1
1946/47	1	0	11	0	0	0	0	5.1	0	0	5.1	6.1	28.3
1947/48	0	15.4	7.3	22.1	29.3	5.1	34.4	14.2	0	37.5	0	0	165.3
1948/49	3.1	65.2	0	10.2	6.1	5.1	33.6	53.4	23.9	0	0	0	200.6
1949/50	0	20.4	0	53.3	8.3	0	1.1	25.4	10.3	0	0	7.3	126.1
1950/51	24.3	31.3	0	58.3	20.8	10.1	52.5	0	22.2	0	0	0	219.5
1973/74	0	0	2.5	0	4.8	20.8	5.5	0	0	0	0	0	33.6
1974/75	0	6.2	4.3	0	5.5	15.5	4.9	38.8	17	0	0	0	92.2
1975/76	41.7	1.2	13	6.7	0	22.7	20.5	1.7	13.2	25	9.7	0	155.4
1976/77	51	6.5	35	5.1	46.4	0	0	19.5	46.1	1.7	0	1.7	213
1977/78	4.3	0	16.8	0	0	26	0	7.4	1.2	0	0	0	55.7
1978/79	0.3	25.3	0	0	7.2	40.5	21.9	17.5	0	0	0	0	112.7
MOYENNE	9.21	13.37	12.96	14.36	11.40	10.30	18.74	13.39	9.52	4.22	1.26	2.51	121.24

Tab.38 : Station pluviométrique de Foum el-Kharza « 06.15.01 » (en mm)

Année/Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Jll	Aout	Annuel
70\71	10.35	9.5	22.1	2.5	11.7	9.6	13.2	11.46	7.4	4.6	0.5	3.7	106.6
71\72	10.35	9.5	22.1	2.5	10.1	9.6	17.0	20.9	3.1	0.0	0.0	0.0	105.2
72\73	22.8	27.0	16.0	17.5	14.5	1.5	0.0	9.5	3.5	5.4	0.0	0.0	117.7
73\74	0.0	0.0	4.5	10.7	0.0	3.7	19.5	1.8	1.6	7.4	0.0	0.4	49.6
74\75	0.0	1.0	9.0	0.0	9.5	27.0	3.4	21.4	8.7	0.0	0.0	0.0	80.0
75\76	40.0	2.9	4.1	1.5	0.0	12.0	18.0	4.5	6.6	31.4	9.3	3.0	133.3
76\77	37.0	11.1	42.6	7.0	9.2	2.0	7.3	10.0	40.0	3.0	0.0	1.3	170.5
77\78	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	23.0	2.7	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	33.5
78\79	0.0	4.0	0.0	8.18	2.0	3.0	12.0	11.0	1.0	0.0	0.0	0.0	41.2
79\80	15.0	4.5	1.5	0.0	0.5	14.0	3.0	11.46	6.0	0.0	0.0	0.0	56.0
80\81	0.0	0.0	42.5	10.0	0.0	24.0	2.5	7.5	3.0	6.0	2.0	23.0	120.5
81\82	4.0	27.4	0.0	9.7	7.0	1.0	0.9	28.0	0.0	4.5	0.0	0.0	82.5
82\83	0.0	21.5	79.5	8.18	0.0	12.0	0.0	1.8	8.0	7.5	0.0	20.0	158.5
83\84	10.35	9.5	1.5	8.2	0.5	9.0	6.8	11.46	1.5	4.6	0.0	1.0	64.4
84\85	0.0	29.0	17.5	0.0	15.0	0.5	32.0	0.0	41.0	4.6	0.0	0.0	139.6
85\86	0.5	13.5	15.99	2.5	7.0	3.0	58.0	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	114.5
86\87	20.0	2.0	15.0	12.0	11.0	16.0	9.0	0.0	4.0	0.0	0.0	2.0	91.0
87\88	10.35	16.0	2.5	9.0	0.0	0.0	4.5	10.0	0.0	4.6	0.5	0.0	57.5
88\89	1.0	0.0	17.5	2.4	0.3	10.4	0.0	11.3	7.5	34.9	0.0	28.8	114.1
89\90	1.5	0.2	9.2	3.0	20.0	0.0	19.0	70.0	20.0	2.0	2.0	30.0	176.9
90\91	0.0	0.0	11.5	21.0	8.0	7.5	34.0	4.5	3.0	0.0	0.0	2.5	92.0
91\92	23.0	37.5	4.0	11.0	11.7	15.0	26.0	14.0	6.0	4.6	0.5	0.0	153.3
92\93	26.0	4.5	23.0	0.0	0.0	48.0	6.5	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	116.5
93\94	2.5	0.0	15.2	5.5	25.0	7.0	25.0	0.0	0.0	4.6	0.5	0.0	85.3
94\95	20.0	34.5	3.0	0.0	4.0	3.8	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	69.8
95\96	31.0	0.5	23.0	9.6	49.0	16.0	29.0	4.0	1.5	4.6	0.0	0.0	168.2
96\97	20.0	9.5	0.0	3.5	2.5	2.5	7.0	53.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.0
97\98	8.5	5.2	34.5	6.0	0.0	9.6	6.5	27.5	3.6	24.5	0.0	0.0	125.9
98\99	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	2.5	0.5	0.0	8.0	0.0	0.5	3.7	55.2
99\00	0.0	11.4	46.2	39.1	0.0	0.0	0.9	3.0	8.5	0.0	0.0	0.0	109.1
00\01	4.3	0.0	1.5	5.9	27.6	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	40.7
01\02	3.6	11.8	22.1	12.1	2.2	0.0	2.6	2.0	0.0	0.3	0.0	3.7	60.4
02\03	0.8	7.5	15.6	1.2	111	4.8	4.1	8.5	1.6	0.1	0	2	157.2
03\04	25.9	18.4	3.1	11.7	0.2	0.5	88.2	32.2	31	0.9	0	0.6	212.7
04\05	7.8	3	35.5	45.7	0	22.9	2.5	0	0	4.6	0.5	3.7	126.2
05\06	10.35	9.5	15.99	8.18	31.62	21.53	13.2	11.46	7.4	4.6	0.5	3.7	138.0
2006/2007	16.05	9.5	12.62	7.47	0	13.78	10	21.75	11.93	0	0	2.03	105.1
MOYENNE	10.35	9.50	15.99	8.18	11.65	9.64	13.17	11.46	7.36	4.58	0.54	3.71	106.12

Tab 39 : Essai de pompage « Bir Boussoudene »

Essai de Pompage au niveau du Forage de Bir Boussoudene (1981)

X= 785.850

Y=178.650

Z= 143 m

N.S = 3.2

T= 29° C

Date	H	mn	Temps Cumulé en mn	Temps Cumulé en sec	Niveau Dynamique (m)	Rabatte- ment (m)	Débit (l/s)	Observations
29/01/1981	10	30	0	0	3.20	0.00	25	eau claire
	10	31	1	60	26.79	23.59	"	
	10	32	2	120	42.85	39.65	"	
	10	33	3	180	44.85	41.65	"	
	10	34	4	240	47.75	44.55	"	
	10	35	5	300	48.87	45.67	"	
	10	36	6	360	49.88	46.68	"	
	10	37	7	420	50.38	47.18	"	
	10	38	8	480	50.73	47.53	"	
	10	39	9	540	50.92	47.72	"	
	10	40	10	600	51.00	47.80	"	
	10	45	15	900	51.36	48.16	"	
	10	50	20	1200	51.45	48.25	"	
	11	00	30	1800	51.34	48.14	"	
	11	10	40	2400	51.00	47.80	"	
	11	20	50	3000	51.00	47.80	"	
	11	30	60	3600	51.13	47.93	"	
	11	40	70	4200	51.14	47.94	"	
	11	50	80	4800	51.12	47.92	"	
	12	00	90	5400	51.11	47.91	"	
	12	30	120	7200	51.22	48.02	"	
	13	00	150	9000	41.15	37.95	"	
	14	00	210	12600	51.18	47.98	"	
15	00	270	16200	52.54	49.34	"		
16	00	330	19800	52.72	49.52	"		
17	00	390	23400	52.60	49.40	"		
18	00	450	27000	52.46	49.26	"		
19	00	510	30600	53.09	49.89	"		
20	00	570	34200	53.14	49.94	"		
21	00	630	37800	52.90	49.70	"		
22	00	690	41400	52.68	49.48	"		
23	00	750	45000	52.93	49.73	"		
30/01/1981	00	00	810	48600	52.89	49.69	25	
	1	00	870	52200	52.81	49.61	"	
	02	00	930	55800	52.77	49.57	"	
	3	00	990	59400	53.12	49.92	"	
	04	00	1050	63000	53.10	49.90	"	
	5	00	1110	66600	53.00	49.80	"	
	06	00	1170	70200	52.97	49.77	"	
	7	00	1230	73800	53.15	49.95	"	
	08	00	1290	77400	53.19	49.99	"	
9	00	1350	81000	53.07	49.87	"		

Suite tab. 39 essais de pompage « Bir Bousoudène »

	10	30	1440	86400	52.90	49.70		Arrêt de pompage
	10	31	1441	86460	15.81	12.61		
	10	32	1442	86520	5.6	2.4		
	10	33	1443	86580	4.84	1.64		
	10	34	1444	86640	4.69	1.49		
	10	35	1445	86700	4.61	1.41		
	10	36	1446	86760	4.57	1.37		
	10	37	1447	86820	4.53	1.33		
	10	38	1448	86880	4.5	1.3		
	10	39	1449	86940	4.48	1.28		
	10	40	1450	87000	4.47	1.27		
	10	45	1455	87300	4.4	1.2		
	10	50	1460	87600	4.38	1.18		
	11	00	1470	88200	4.33	1.13		
	11	10	1480	88800	4.26	1.06		
	11	20	1490	89400	4.23	1.03		
	11	30	1500	90000	4.2	1		
	11	40	1510	90600	4.14	0.94		
	11	50	1520	91200	4.12	0.92		
	12	00	1530	91800	4.09	0.89		
	12	30	1560	93600	4	0.8		
	13	00	1590	95400	3.91	0.71		
	14	00	1650	99000	3.81	0.61		
	15	00	1710	102600	3.7	0.5		
	16	00	1770	106200	3.64	0.44		
	17	00	1830	109800	3.6	0.4		
	18	00	1890	113400	3.54	0.34		
	19	00	1950	117000	3.51	0.31		
	20	00	2010	120600	3.5	0.3		
	21	00	2070	124200	3.46	0.26		
	22	00	2130	127800	3.45	0.25		
31/01/1981	00	00	2250	135000	3.41	0.21		
	2	00	2370	142200	3.38	0.18		
	4	00	2490	149400	3.35	0.15		
	6	00	2610	156600	3.33	0.13		
	8	00	2730	163800	3.3	0.1		
	10	00	2850	171000	3.26	0.06		
	12	00	2970	178200	3.22	0.02		

Tab. 40 : Observation de la remontée « Bir Boussoudene »

Essai de Pompage au niveau du Forage de Bir Boussoudene (1981)

X= 785.850 Y= 178650 Z= 143 m

N.S = 3.2 m

T= 29°C

Date	H	mn	t' en (mn)	t+t' en (mn)	t' en (sec)	t+t' en (sec)	(t+t')/t'	Niveau Dynamique (m)	Rabattement (m)	Observations
30/01/1981	10	30	00	1440	01	86400	86400.00	52.90	49.7	Arrêt de pompage
	10	31	01	1441	60	86460	1441.00	15.81	12.61	
	10	32	02	1442	120	86520	721.00	5.60	2.4	
30/01/1981	10	33	03	1443	180	86580	481.00	4.84	1.64	
	10	34	04	1444	240	86640	361.00	4.69	1.49	
	10	35	05	1445	300	86700	289.00	4.61	1.41	
	10	36	06	1451	360	87060	241.83	4.57	1.37	
	10	37	07	1458	420	87480	208.29	4.53	1.33	
	10	38	08	1466	480	87960	183.25	4.5	1.3	
	10	39	09	1475	540	88500	163.89	4.48	1.28	
	10	40	10	1485	600	89100	148.50	4.47	1.27	
	10	45	15	1500	900	90000	100.00	4.4	1.2	
	10	50	20	1520	1200	91200	76.00	4.38	1.18	
	11	00	30	1550	1800	93000	51.67	4.33	1.13	
	11	10	40	1590	2400	95400	39.75	4.26	1.06	
	11	20	50	1640	3000	98400	32.80	4.23	1.03	
	11	30	60	1700	3600	102000	28.33	4.2	1	
	11	40	70	1770	4200	106200	25.29	4.14	0.94	
	11	50	80	1850	4800	111000	23.13	4.12	0.92	
	12	00	90	1940	5400	116400	21.56	4.09	0.89	
	12	30	120	2060	7200	123600	17.17	4	0.8	
	13	00	150	2210	9000	132600	14.73	3.91	0.71	
	14	00	210	2420	12600	145200	11.52	3.81	0.61	
	15	00	270	2690	16200	161400	9.96	3.7	0.5	
	16	00	330	3020	19800	181200	9.15	3.64	0.44	
17	00	390	3410	23400	204600	8.74	3.6	0.4		
18	00	450	3860	27000	231600	8.58	3.54	0.34		
19	00	510	4370	30600	262200	8.57	3.51	0.31		
20	00	570	4940	34200	296400	8.67	3.5	0.3		
21	00	630	5570	37800	334200	8.84	3.46	0.26		
22	00	690	6260	41400	375600	9.07	3.45	0.25		
31/01/1981	24	00	810	7070	48600	424200	8.73	3.41	0.21	
	26	00	930	8000	55800	480000	8.60	3.38	0.18	
	28	00	1050	9050	63000	543000	8.62	3.35	0.15	
	30	00	1170	10220	70200	613200	8.74	3.33	0.13	
	32	00	1290	11510	77400	690600	8.92	3.3	0.1	
	34	00	1410	12920	84600	775200	9.16	3.26	0.06	
36	00	1530	14450	91800	867000	9.44	3.22	0.02		

Tab 41 : Essai de pompage « forage de Baniane F78».

Essai de Pompage au niveau du Forage Baniane (2008) F78 Pompage à débit constant 0.009m³/s

Temps (mn)	Temps (sec)	N.Dyn (m)	Rabatt (m)	Débit (l/s)	Observations
0	1	3.8	0	0	Arrêt de Pompage
1	60	14.15	17.95		
2	120	15.68	19.48	"	"
3	180	17.28	21.08	"	"
4	240	30.3	34.10	"	"
5	300	39.94	43.74	"	"
10	600	55.97	59.77	"	"
15	900	55.03	58.83	"	"
20	1200	55.39	59.19	"	"
25	1500	56.45	60.25	"	"
30	1800	57.32	61.12	"	"
40	2400	59.08	62.88	"	"
50	3000	61.77	65.57	"	"
60	3600	57.72	61.52	"	"
75	4500	56.17	59.97	"	"
90	5400	56.79	60.59	"	"
105	6300	57.00	60.80	"	"
120	7200	57.26	61.06	"	"
150	9000	57.39	61.19	"	"
180	10800	57.21	61.01	"	"
240	14400	57.39	61.19	"	"
300	18000	57.57	61.37	"	"
360	21600	57.57	61.37	"	"
420	25200	57.57	61.37	"	"
480	28800	59.52	63.32	"	"
540	32400	58.82	62.62	"	"
600	36000	58.50	62.30	"	"
660	39600	58.83	62.63	"	"
720	43200	58.825	62.63	"	"
780	46800	59.02	62.82	"	"
840	50400	59.88	63.68	"	"
900	54000	58.99	62.79	"	"
1020	61200	59.23	63.03	"	"
1140	68400	57.62	61.42	38	"
1260	75600	59.32	63.12	"	"
1380	82800	59.80	63.60	"	"
1500	90000	60.28	64.08	"	"
1620	97200	60.58	64.38	"	"
1740	104400	61.12	64.92	"	"
1860	111600	60.04	63.84	"	"
1980	118800	59.18	62.98	"	"
2220	133200	58.98	62.78	"	"
2460	147600	58.80	62.60	"	"
2700	162000	58.53	62.33	"	"
2940	176400	58.84	62.64	"	"
3180	190800	59.14	62.94	"	"
3420	205200	59.50	63.30	"	"
3660	219600	59.96	63.76	"	"
3900	234000	59.63	63.43	"	"
4140	248400	58.80	62.60	"	"
4320	259200	59.07	62.87	"	"

Tab. 42 : Observation de la remontée »forage de Baniane F78 ».

NS=

4.2

t= 259200

t' (mn)	t' (sec)	t+t' (sec)	t+t'/t'	N. Dyn (m)	Rabatt (m)	Observations
1	60	259260	4321.00	62.87	67.07	Arrêt de pompage
2	120	259320	2161.00	61.44	65.64	
3	180	259380	1441.00	60.01	64.21	
4	240	259440	1081.00	58.59	62.79	
5	300	259500	865.00	57.158	61.36	
10	600	259800	433.00	55.73	59.93	
15	900	260100	289.00	54.302	58.50	
20	1200	260400	217.00	52.874	57.07	
25	1500	260700	173.80	51.446	55.65	
30	1800	261000	145.00	50.018	54.22	
40	2400	261600	109.00	48.59	52.79	
50	3000	262200	87.40	47.162	51.36	
60	3600	262800	73.00	45.734	49.93	
75	4500	263700	58.60	44.306	48.51	
90	5400	264600	49.00	42.878	47.08	
105	6300	265500	42.14	41.45	45.65	
120	7200	266400	37.00	40.022	44.22	
150	9000	268200	29.80	38.594	42.79	
180	10800	270000	25.00	37.166	41.37	
240	14400	273600	19.00	35.738	39.94	
300	18000	277200	15.40	34.31	38.51	
360	21600	280800	13.00	32.882	37.08	
420	25200	284400	11.29	31.454	35.65	
480	28800	288000	10.00	30.026	34.23	
540	32400	291600	9.00	28.598	32.80	
600	36000	295200	8.20	27.17	31.37	
660	39600	298800	7.55	25.742	29.94	
720	43200	302400	7.00	24.314	28.51	
780	46800	306000	6.54	22.886	27.09	
840	50400	309600	6.14	21.458	25.66	
900	54000	313200	5.80	20.03	24.23	
1020	61200	320400	5.24	18.602	22.80	
1140	68400	327600	4.79	17.174	21.37	
1260	75600	334800	4.43	15.746	19.95	
1380	82800	342000	4.13	14.318	18.52	
1500	90000	349200	3.88	12.89	17.09	
1620	97200	356400	3.67	11.462	15.66	
1740	104400	363600	3.48	10.034	14.23	
1860	111600	370800	3.32	8.606	12.81	
1980	118800	378000	3.18	7.178	11.38	
2220	133200	392400	2.95	5.75	9.95	
2460	147600	406800	2.76	4.322	8.52	
2700	162000	421200	2.60	2.894	7.09	
2940	176400	435600	2.47	1.466	5.67	
3180	190800	450000	2.36	0	4.20	
3420	205200	464400	2.26	-1.428	2.77	
3660	219600	478800	2.18	-2.856	1.34	
3900	234000	493200	2.11	-3.2	1.00	
4140	248400	507600	2.04	-3.45	0.75	
4320	259200	518400	2.00	-4.2	0.00	

Tab. 43 : Descente « piézomètre Baniane F79 »

N.S = 3.625 m

Temps Cumulé en mn	Temps Cumulé en sec	Niveau Dynamique (m)	Rabattement (m)	Débit (l/s)	Observations
0	1	3.625	0.00	9	Démarrage de Pompage
1	60	3.625	0.00		
2	120	3.625	0.00	"	"
3	180	3.6	0.02	"	"
4	240	3.53	0.10	"	"
5	300	3.48	0.15	"	"
10	600	3.43	0.20	"	"
15	900	3.39	0.24	"	"
20	1200	3.36	0.27	"	"
25	1500	3.34	0.29	"	"
30	1800	3.32	0.31	"	"
40	2400	3.30	0.33	"	"
50	3000	3.275	0.35	"	"
60	3600	3.255	0.37	"	"
75	4500	3.205	0.42	"	"
90	5400	3.205	0.42	"	"
105	6300	3.20	0.43	"	"
120	7200	3.19	0.44	"	"
180	10800	3.15	0.48	"	"
240	14400	3.11	0.52	"	"
300	18000	3.08	0.55	"	"
360	21600	3.035	0.59	"	"
540	32400	2.873	0.75	"	"
600	36000	2.844	0.78	"	"
660	39600	2.8	0.83	"	"
720	43200	2.765	0.86	"	"
780	46800	2.676	0.95	"	"
840	50400	2.615	1.01	"	"
900	54000	2.535	1.09	"	"
1260	75600	2.345	1.28	"	"
1380	82800	2.300	1.33	"	"
1500	90000	2.220	1.41	"	"
1620	97200	2.098	1.53	"	"
1740	104400	2.020	1.61	"	"
1860	111600	1.930	1.70	"	"
1980	118800	1.800	1.83	"	"
2220	133200	1.678	1.95	"	"
2460	147600	1.490	2.14	"	"
2700	162000	1.410	2.22	"	"
2940	176400	1.327	2.30	"	"
3180	190800	1.168	2.46	"	"
3420	205200	1.070	2.56	"	"
3660	219600	0.988	2.64	"	"
3900	234000	0.868	2.76	"	"
4140	248400	0.815	2.81	"	"
4320	259200	0.590	3.04	"	fin de Popage

Tab 44: Remontée « piézomètre Baniane F79 ».

Temps après arrêt de pompage en mn	t+t' en sec	t' en sec	t+t'/t'	N.Dyn (m)	Rabatt (m)	Observations
1	259260	60	4321	0.59	3.04	Remontée
2	259320	120	2161	0.660	2.97	
3	259380	180	1441	0.73	2.90	"
4	259440	240	1081	0.8	2.83	"
5	259500	300	865	0.87	2.76	"
10	259800	600	433	0.94	2.69	"
15	260100	900	289	1.01	2.62	"
20	260400	1200	217	1.08	2.55	"
25	260700	1500	173.8	1.15	2.48	"
30	261000	1800	145	1.22	2.41	"
40	261600	2400	109	1.29	2.34	"
50	262200	3000	87.4	1.36	2.27	"
60	262800	3600	73	1.43	2.20	"
75	263700	4500	58.6	1.5	2.13	"
90	264600	5400	49	1.57	2.06	"
105	265500	6300	42.14286	1.640	1.99	"
120	266400	7200	37	1.71	1.92	"
150	268200	9000	29.8	1.78	1.85	"
180	270000	10800	25	1.85	1.78	"
240	273600	14400	19	1.92	1.71	"
300	277200	18000	15.4	1.99	1.64	"
360	280800	21600	13	2.06	1.57	"
420	284400	25200	11.28571	2.13	1.50	"
480	288000	28800	10	2.200	1.43	"
540	291600	32400	9	2.27	1.36	"
600	295200	36000	8.2	2.34	1.29	"
660	298800	39600	7.545455	2.41	1.22	"
720	302400	43200	7	2.480	1.15	"
780	306000	46800	6.538462	2.55	1.08	"
840	309600	50400	6.142857	2.620	1.01	"
900	313200	54000	5.8	2.690	0.94	"
1020	320400	61200	5.235294	2.760	0.87	"
1140	327600	68400	4.789474	2.830	0.80	"
1260	334800	75600	4.428571	2.900	0.73	"
1380	342000	82800	4.130435	2.970	0.66	"
1500	349200	90000	3.88	3.040	0.59	"
1620	356400	97200	3.666667	3.110	0.52	"
1740	363600	104400	3.482759	3.180	0.45	"
1860	370800	111600	3.322581	3.250	0.38	"
1980	378000	118800	3.181818	3.290	0.34	"
2220	392400	133200	2.945946	3.320	0.31	"
2460	406800	147600	2.756098	3.350	0.28	"
2700	421200	162000	2.6	3.380	0.25	"
2940	435600	176400	2.469388	3.410	0.22	"
3180	450000	190800	2.358491	3.450	0.18	"
3420	464400	205200	2.263158	3.480	0.15	"
3660	478800	219600	2.180328	3.480	0.15	"
3900	493200	234000	2.107692	3.480	0.15	"
4140	507600	248400	2.043478	3.480	0.15	"
4320	518400	259200	2	3.480	0.15	"

Tab. 45 : Inventaire des forages

Commune	N	Non de Forage	Dest-nation	Année de Réal	Coordonnées Géographique						Alt (m) Z(m)	Profnd (m)	Débit (L/s) max	Débit (L/s) exp	Niveau Stat (m)	Niveau Dynm (m)	Observations	Coupe Tech
					Longitude			Latitude										
					DG°	Mn'	Sec"	DG°	Mn'	Sec"								
ARRIS	F1	Arris 1 (Zhun 1)	AEP	1978	6	22	23.0	35	15	44.0	1191,50	450	5	3	60	98	6000 mg/l exploité	Exst
	F2	Arris 2	AEP	1979	6	22	15.0	35	22	31.0	1560,00	200	15		0	76		Exst
	F3	Arris 3 (Zhun 1)	AEP	1979	6	22	4.0	35	15	55.0	\	265	11				1480 mg/l	Exst
	F4	Sanef	AEP	\	6	21	35.0	35	14	39.0	1092,16							
	F5	Sempac	IND	1980	6	19	30.0	35	14	27.0	\	55	3				815 mg/l	Exst
	F6	SNLB	AEP	1981	6	20	34.0	35	14	9.0	1066,67	200	25				813 mg/l	Exst
	F7	Zhun 2	AEP	1992	6	22	24.0	35	15	48.0	1187,30	250	16	10	JLL	78	1760 mg/l exploité	Exst
	F8	Arris 3 (D.Hamra)	AEP	\	6	19	4.0	35	14	3.0	1180.00	250	10	8	JLL	90	eau salée exploité	Exst
	F9	Arris 4		1992	6	19	4.0	35	14	3.0	1180.00	250	12	8	JLL	90	exploité	
	F10	Arris 5	AEP	1997	6	21	5.0	35	15	44.0	1220.00	200	10	3	12	92	exploité	Exst
	F11	Arris 6 (M'Zata)	AEP	1996	6	20	15.0	35	15	6.0	1180.00	212	30	5	JLL	92	3338 mg/l exploité	Exst
	F12	SLNB (Bis)	AEP	2000	6	20	34.0	35	14	9.0		200		10	5	39	exploité	
	F13	Arris 7	AEP	2001	6	26	20.0	35	14	24.0		145		9		92	exploité	
	F14	Arris Centre	AEP	2006	6	21	58.0	35	15	49.0	1250	177		12	12	60	exploité	
TIGHANIMINE	F15	Tighanimine 1	Rec	1980	6	14	52.0	35	08	56.0	850	263	10	5	1	70	968 mg/l	Exst
	F16	Tighanimine 2	AEP	1990	6	15	6.0	35	10	33.0	970	120	7	3		90		Exst
	F17	Taghrout Amor	AEP	2006	6	18	27.0	35	14	24.0		250		8	26.6			
	F18	Boussaleh Samer	AEP	2006	6	18	39.0	35	13	9.0		200		2	25.5	60		
ICHMOUL	F19	Medina	AEP	1989	6	31	41.0	35	18	3.0	1440	100	7	3	2	80	Miocène gréseux	
	F20	EL-Hadjadj	AEP	1994	6	24	52.0	35	16	16.0	1180	140		3	2	80		
	F21	Ichmoul 2	AEP	1994	6	31	4.0	35	19	34.0	1540	200	20	4	JLL		TURONIEN (SO4)	
	F22	Ichmoul 2 (bis)	AEP	1998	6	31	4.0	35	19	34.0	1540	200	12	4	14	120	TURONIEN	
	F23	Mine			6	30	34.0	35	17	28.0	1450						C inf eau trop chargée	
F24	Ichmoul	AEP	2007	6	23	11.0	35	27	13.0	1350	250	7	6	32				
INOUGHISSEN	F25	Touchent	AEP	1999	6	32	40.0	35	16	45.0	1400	232	5	5	20	120		

Suite Tab. 45 : Inventaire des forages

Commune	N	Nom de Forage	Desti- nation	Année de Réal	Coordonnées Géographiques						Alt (m) Z(m)	Profnd (m)	Débit (L/s) max	Débit (L/s) exp	Niveau Stat (m)	Niveau Dynam (m)	Observations	Coupe Tech
					Longitude			Latitude										
					DG°	Mn'	Sec"	DG°	Mn'	Sec"								
M'CHOUNECH	F54	M'Chounech Reconnaissance	Rec	1956	5	59	23.0	34	56	3.0		138						Exst
	F55	Baniane (El - Hammam)	AEP	1983	6	02	8.0	35	01	3.0	491	316		12				
	F56	Mlek	AEP		6	02	12.0	35	01	22.0	547							à l' arrêt
	F57	Lahbal Bourafai Brahim	IRR	1987	5	55	42.0	34	53	53.0	209			0				à l'arrêt
	F58	M'Chounech 1	AEP	1991	5	59	1.0	34	58	23.0	368	260		15				24/24 h de marche
	F59	M'Chounech 2	AEP	1992	5	58	58.0	34	58	18.0	360	340		0				à l' arrêt
	F60	Dissa Baniana	IRR	1992	6	02	38.0	35	01	5.0	500	250		32				
	F61	Ifri El - Hani	IRR	1992	6	01	0.0	34	56	40.0	374			12				
	F62	M'Richi		1992	6	00	37.0	34	57	28.0	390	308		3				
	F63	Lahbal	AEP	1993	5	56	11.0	34	53	54.0	260	200		15				Exst
	F64	Baniane O.Labiad	IRR	1993	6	03	11.0	34	59	48.0	588	250						à l' arrêt
	F65	Mrichi 1		1994	5	59	11.0	34	58	21.0	400	200		15				
	F66	Mrichi 2		1994	5	59	11.0	34	58	21.0	400	200		6				
	F67	M'Chounech 3	AEP	1996	5	59	8.0	34	58	4.0	370							à l' arrêt
	F68	O.El-Atrous		1999	5	58	7.0	34	57	24.0	400	250		8	52			
	F69	M'Chounech 4	AEP	2000	5	58	58.0	34	58	18.0	358	300		15				24/24 h de marche
	F70	Guergueb.S 1		2001	5	58	43.0	34	58	35.0	313				65.25			Abandonné
	F71	GCA 1	IRR	2002	6	01	14.0	35	01	24.0	513	500			53.4			à l' arrêt
	F72	GCA 2	IRR	2002	6	00	43.0	35	01	35.0	523	500						à l' arrêt
	F73	Lahbal Mafraza			5	55	50.0	34	54	14.0	202							
	F74	Guergueb.S 2		2005	5	58	44.7	34	56	25.2	320			14				
	F75	Guess Miouri Lakhdar		2005	5	59	46.0	34	56	35.0	306	150		10				
	F76	Djimaoui	IRR	2005	5	58	43.0	34	58	6.0	358			8				
	F77	Dissa (Forêts)	IRR	2005								350		16	35	90		
	F78	Tazoughart	AEP	2006	6	03	4.0	34	59	51.0	466	350		15	JLL	97	1,5 l/s	
	F79	Piézomètre Tazoughart	PIEZO	2007	6	03	8.0	34	59	53.0	464							
	F80	Dissa		2007	6	02	16.0	35	01	31.0	523				68.7			

Suite Tab. 45 : Inventaire des forages

Commune	N	Nom de Forage	Desti- nation	Année de Réal	Coordonnées Géographiques						Alt (m) Z(m)	Profnd (m)	Débit (L/s) max	Débit (L/s) exp	Niveau Stat (m)	Niveau Dynam (m)	Observations	Coupe Tech
					Longitude			Latitude										
					DG°	Mn'	Sec'	DG°	Mn'	Sec'								
CHETMA	F81	Ain Flamand	IRR	1923	5	48	14.0	34	51	27.0	124	188	\	0	\	Accidenté; 2706 mg/l		
	F82	Boussoudène 1	AEP	1926	5	49	54.0	34	51	42.0	125	79	\	\	\	Tari		
	F83	Ain Gousskov IRR	IRR	1950	5	48	59.6	34	51	36.0	128	120	50	50		2544 mg/l		
	F84	Droh 1 (Ain Djedida)	MIXTE	1951	5	52	51.0	34	52	47.0	190	340			8	862 mg/l	Exst	
	F85	Boussoudène 2	AEP	1953	5	50	1.0	34	51	37.0	109	274	\	\	\	Tari		
	F86	Boussoudène 3	AEP	1954	5	49	59.0	34	51	43.0	120	138	\	\	\	Tari		
	F87	Boussoudène 4	AEP	1978	5	49	37.0	34	51	51.0	134	240	\	\	\	Tari		
	F88	Boussoudène 5	AEP	1980	5	49	37.0	34	51	51.0	143	404		20	1.5	42		
	F89	Droh 2 (SNEMA)	IND	1984	5	52	53.0	34	52	55.0	180	371		15	JLL	909 mg/l	Exst	
	F90	Krimi Abdelkader	PRIVE	1987	5	52	15.0	34	51	55.0	161	180	\	10				
	F91	Ben Harhour Med	PRIVE	1990	5	52	13.0	34	51	47.0	145	250	\	5				
	F92	Boussoudène 6	AEP	1991	5	50	20.0	34	51	40.0	111.5	274		3	Ar			
	F93	Droh AEP rempl	AEP	1992	5	52	57.0	34	53	8.0	260	230		0				
	F94	Droh AEP	AEP	1994	5	53	6.7	34	52	53.8	240	322		10				
	F95	Droh IRR	IRR	1995	5	53	35.0	34	52	44.7	185	385	20	13		744 mg/l	Exst	
	F96	Boussoudène 7	AEP	1996	5	50	1.0	34	51	37.0	122	250			0.5	6		
	F97	Droh (Renforcement)	AEP	1997	5	51	27.0	34	52	51.0	300	400	2	\	3	80	Abandonné	Exst
	F98	Saadi Abderrahmane	IRR	1997	5	53	37.0	34	52	32.0	178	210	\	12				
	F99	Boussoudène 8	AEP	2000	5	50	0.8	34	51	17.1	100							
	F100	Ras Layoune	IRR	2002	5	53	32.3	34	52	19.4	192	400	40	20				
F101	Marza Mostafa	PRIVE	2003	5	52	5.0	34	52	14.0	227	150	\	10					
F102	Piézomètre Droh 1	PIEZO	2006	5	53	34.0	34	52	21.0	185	124	\	\	\				
F103	Piézomètre Droh 2	PIEZO	2006	5	54	42.9	34	53	31.0	208								
F104	Alb Ensara IRR	IRR		5	54	54.0	34	52	52.0	178.35								
F105	AEP Transfert n° 01	AEP	2007	5	53	47.0	34	52	35.0	182	320		40	7.6	19			
F106	AEP Transfert n° 02	AEP	2007	5	54	20.6	34	53	35.2	215	350		20					
F107	AEP Transfert n° 03	AEP	2007	5	54	42.9	34	53	30.5	208	233	40	30	25.9	29			
F108	AEP Transfert n° 04	AEP	2007	5	54	31.8	34	53	19.5	204	350		20					
F109	AEP Transfert n° 05	AEP	2007	5	54	20.0	34	53	9.7	202								
F110	AEP Transfert n° 06	AEP	2007	5	54	50.1	34	53	43.5	184	340	40	30	35	45			

Suite Tab. 45 : Inventaire des forages

F111	AEP Transfert n° 07	AEP	2007	5	54	30.5	34	53	33.0	216	350	30	25	26.8	34		
F112	AEP Transfert n° 08	AEP	2007	5	54	19.3	34	53	22.4	206	340		20				
F113	AEP Transfert n° 09	AEP	2007	5	54	5.2	34	52	58.4	197	360	40	40	37.8	48		
F114	AEP Transfert n° 10	AEP	2008	5	53	55.0	34	52	50.5	189						en cours	
F115	Ain Gousskov 2 IRR	IRR	2008	5	49	3.0	34	51	44.0	132							

Tab 46 : Inventaires des sources

Localité	N° INV	Nom de Source	Débit L/s	Coordonnées Géographiques						Alt (m) Carte Topo Z(m)
				Longitude			Latitude			
				DG°	Mn'	Sec'	DG°	Mn'	Sec'	
ICHMOUL	S1	Tihmamine		6	33	9.0	35	18	55.0	1480
	S2	Tachercharte		6	32	20.0	35	19	13.0	1440
	S3	Père Blanc		6	00	5.0	35	18	4.0	
	S4	Tahmamt		6	32	16.0	35	19	10.0	
	S5	El-Hadri		6	30	3.0	35	19	40.0	
	S6	Anasser		6	30	56.0	35	19	32.0	1540
	S7	Lakhnak		6	31	8.0	35	20	30.0	1600
	S8	Mine		6	30	20.0	35	17	23.0	1450
	S9	El-Hammam		6	28	5.0	35	16	44.0	1360
	S10	Ain Beida		6	28	33.0	35	19	30.0	1560
	S11	Tikandourine		6	31	53.0	35	18	9.0	1420
	S12	Ras Elma		6	30	18.0	35	18	56.0	1560
INOUGHISSENE	S13	Touchent 1		6	32	27.8	35	16	41.5	1412
	S14	Touchent 2		6	32	48.0	35	16	29.0	
	S15	Ghourmis 1		6	32	29.0	35	16	52.0	1380
	S16	Ghourmis 2		6	32	25.0	35	16	48.0	1380
	S17	Bouزيد		6	32	38.0	35	16	41.0	1400
ARRIS	S18	Tihmamine		6	20	51.0	35	15	51.0	1240
	S19	Lahoual		6	20	52.0	35	16	7.0	1280
	S20	Tagrout G.		6	19	59.0	35	14	47.0	1160
TKOUT	S21	Chenaoura		6	21	5.0	35	09	58.0	1080
	S22	Ain Trif		6	16	38.0	35	07	20.0	880
	S23	El-Ksar		6	17	13.0	35	07	44.0	940
GHASSIRA	S24	Tifelfel		6	14	18.0	35	07	24.0	800
	S25	El-Aoura		6	08	7.0	35	03	45.0	811.42
M'CHOUNECH	S26	Ain Cheikh (Baniane)	0.5	6	3	9	35	0	2	
	S27	Dissa								
	S28	Gorges		6	00	42.0	34	57	24.0	350
	S29	Machkal		6	00	1.0	34	56	1.0	323
DROH	S30	Source 1	Tarie	5	53	23.0	34	53	15.0	205.04
	S31	Source 2	Tarie	5	53	29.0	34	53	9.0	201.16
	S32	Source 3	Tarie	5	53	14.0	34	53	5.0	192.72
	S33	Source 4	Tarie	5	53	41.0	34	52	24.0	184.59
	S34	Source 5	Tarie	5	53	34.0	34	52	29.0	184.15
CHETMA	S35	Sce Ain Gousskov		5	48	54.1	34	51	45.5	122

Tab 47: Analyses physico – chimiques (2008)

N° INV	Nom de forage	T (C°) insitu	PH insitu	Eh (mv) insitu	Cd (µs) insitu	T (C°)	PH	Cd (µs)	R.S mg/l	TAC (meq)	DHT (még)	Ca ⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Σ mé/l cations	Σ mé/l anions	le l %
S13	Sce Inoughissen	15.7	7.25	74.7	630	28.8	7.40	640	390	5	6.06	76.15	27.12	51.75	1.20	305.00	14.20	140	1.20	8.35	8.36	0.04
F34	Chennaoura IRR	18.1	7.14	103.4	810	17.3	7.30	840	720	5	10.8	125.04	54.6	24.38	1.63	305	24.85	290	0.4	11.90	11.75	0.63
F28	Chennaoura	18.6	7.37	69	690	28.8	7.40	720	480	4.9	6.84	78.55	35.04	62.56	1.8	298.5	17.75	200	0.3	9.61	9.57	0.23
F37	Association Chaabani	20.1	7.3	\	650	28.8	7.30	650	410	5	5.9	80.16	22.7	50.6	1.1	305	17.7	125	0.6	8.13	8.12	0.04
F30	Tkout (ELMA)	22.8	7.14	90.9	810	28.8	7.20	810	570	5.8	7.04	88.17	31.68	109.48	4.9	353.8	35.5	240	0.6	11.93	11.82	0.48
F27	Ain El Bir Tkout	21.8	7.19	98.8	990	16.3	7.30	1010	720	4.8	11.8	133.86	61.32	65.55	3.44	292.8	39.05	420	1.8	14.74	14.71	0.11
F26	Taghit AEP	21	7.14	74.6	1910	16.3	7.20	1880	1400	4.5	16.4	189.17	83.4	137.31	10.68	274.5	301.75	450	0.6	22.65	22.39	0.57
S24	Sce Tifelfel	22	7.51	125	1030	16.7	7.80	1020	670	3.26	8.8	68.93	64.32	122.59	9.41	198.86	230.75	210	0.6	14.38	14.15	0.78
F49	Tifelfel IRR	21.6	7.16	71.2	1110	28.8	7.20	1120	850	4.7	10.2	120.24	50.28	46.46	0.9	286.7	42.6	295	0.8	12.25	12.07	0.71
F43	Tifelfel AEP	20.7	7.04	67.8	1580	16.5	7.10	1580	1400	4.7	15.8	196.39	71.88	77.05	2.15	286.7	106.5	550	0.6	19.21	19.18	0.10
F53	Tifelfel AEP remplacement	21.5	7.15	\	970	16.5	7.30	940	780	4.3	11.72	125.85	65.16	23.69	0.31	262.3	42.6	348	0.8	12.76	12.78	0.06
F42	Ghassira 1	22.8	6.99	100.8	2030	16.5	6.90	2010	1690	5.2	19.6	264.52	76.56	91.08	1.72	317.2	149.1	680	1	23.61	23.60	0.02
F50	Ouled Idir	22.9	7.18	60.6	1080	28.8	7.30	1090	800	4.5	9.6	108.21	50.28	60.95	2.1	274.5	53.25	300	0.5	12.30	12.27	0.16
F52	Roufi 2	23	7.19	72.3	1600	16.5	7.20	1630	1500	4.6	16.6	192.38	83.88	66.7	1.04	280.6	71	620	0.5	19.54	19.53	0.01
S25	Sce Rhoufi	27.1	7.54	103	770	16.5	7.80	850	620	3	7.6	89.77	37.44	107.18	8.22	183	92.3	320	0.7	12.48	12.29	0.77
F47	Kaf Larouss (Rempl)	21.5	6.96	70.8	1700	16.5	6.90	1720	1310	4.6	18.4	200.4	100.56	59.8	1.2	280.6	113.6	635	0.5	21.03	21.05	0.03
F79	Piézomètre 3 Baniane	25	7.11	84.9	940	28.8	7.20	970	740	4.8	8.08	91.38	42.24	79.35	2.8	292.8	28.4	285	0.1	11.61	11.54	0.30
F78	Tazoughart AEP (Baniane)	25.8	7.14	96.7	950	28.8	7.20	960	690	4.8	7.76	78.55	46.08	77.28	2.8	292.8	28.4	265	0.4	11.20	11.13	0.29
S26	Sce Ain Cheikh Tazoughart	23.3	7.23	110	1080	28.8	7.30	1090	770	4.4	8.8	84.16	55.2	69.69	3.2	268.4	53.25	285	0.5	11.92	11.85	0.28
F60	Dissa AEP (Baniane)	26.2	7.05	108.7	1100	28.8	7.20	1110	780	4.9	8.6	92.98	47.52	97.98	3.6	298.9	46.15	320	0.2	12.96	12.87	0.34
F100	Ras Layoune	25.4	7.25	143.2	1410	15.8	7.20	1410	1200	3.7	14.64	160.32	79.56	72.22	4.8	225.7	71	580	0.3	17.91	17.79	0.33
F74	M'Chounech (Guergueb.S)	27.3	7.52	118.4	1020	28.8	7.50	1010	750	4.8	8.4	80.16	52.7	79.12	3.3	292.8	35.5	290	0.5	11.92	11.86	0.28
F94	Droh AEP	27.1	7.03	116.1	1430	15.8	7.10	1420	1080	3.9	14.8	169.93	75.72	74.37	5.61	237.9	71	595	0.3	18.18	18.31	0.33
F99	Bir Boussoudène 8	31.3	7	108.1	2760	15.8	7.10	2850	2230	3.5	16	163.52	93.96	168.13	12.7	213.5	333.7	500	0.5	23.64	23.33	0.66
F83	Ain Gouskov	33.3	6.95	127.5	3630	16.1	6.90	3640	2710	3.5	17.6	157.57	98.76	143.52	10.48	213.5	326.6	535	0.6	22.62	23.87	2.68
S35	Sce Gouskov	33.4	7	127.5	3740	16.1	7.20	3710	2820	3.3	18	197.19	97.8	141.68	8.32	201.3	326.6	560	1.1	24.38	24.20	0.37

Suite Tab 47: Analyses physico – chimiques (2008)

N° INV	Nom de forage	f	o	r	m	u	l	e	i	o	n	i	ique	Facès Chimique
S13	Sce Inoughissen	r% HCO ₃	r% SO ₄	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Na+K	r% Mg							Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
F34	Chennaoura IRR	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F28	Chennaoura	r% HCO ₃	r% SO ₄	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F37	Association Chaabani	r% HCO ₃	r% SO ₄	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Na+K	r% Mg							Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
F30	Tkout (ELMA)	r% HCO ₃	r% SO ₄	r% Cl	r% Na+K	r% Ca ⁺⁺	r% Mg							Bicarbonaté Sodique; secondairement Sulfaté Calcique
F27	Ain El Bir Tkout	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F26	Taghit AEP	r% SO ₄	r% Cl	r% HCO ₃	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Chloruré Magnésien
S24	Sce Tifelfel	r% Cl	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Na+K	r% Mg	r% Ca ⁺⁺							Chloruré Sodique; secondairement Sulfaté Magnésien
F49	Tifelfel IRR	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F43	Tifelfel AEP	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F53	Tifelfel AEP remplacement	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F42	Ghassira 1	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F50	Ouled Idir	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F52	Roufi 2	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
S25	Sce Rhoufi	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Na+K	r% Ca ⁺⁺	r% Mg							Sulfaté Sodique; secondairement Bicarbonaté Calcique
F47	Kaf Larouss (Rempl)	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F79	Piézomètre 3 Baniane	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F78	Tazoughart AEP (Baniane)	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
S26	Sce Ain Cheikh Tazoughart	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Mg	r% Ca ⁺⁺	r% Na+K							Sulfaté Magnésien; secondairement Bicarbonaté Calcique
F60	Dissa AEP (Baniane)	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Na+K	r% Mg							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique
F100	Ras Layoune	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F74	M'Chounech (Guerqueb,S)	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Mg	r% Ca ⁺⁺	r% Na+K							Sulfaté Magnésien; secondairement Bicarbonaté Calcique
F94	Droh AEP	r% SO ₄	r% HCO ₃	r% Cl	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F99	Bir Boussoudène 8	r% SO ₄	r% Cl	r% HCO ₃	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Chloruré Magnésien
F83	Ain Gouskov	r% SO ₄	r% Cl	r% HCO ₃	r% Mg	r% Ca ⁺⁺	r% Na+K							Sulfaté Magnésien; secondairement Chloruré Calcique
S35	Sce Gouskov	r% SO ₄	r% Cl	r% HCO ₃	r% Ca ⁺⁺	r% Mg	r% Na+K							Sulfaté Calcique; secondairement Chloruré Magnésien

Tab 48: Analyses physico – chimiques (2000)

N°	Nom du point d'eau	PH	Minéralisation	R.S mg/l	Ca ⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Σ mé/cations	Σ mé/anions	lel %	Facès Chimique
F19	Médina	8	372	380	54	13	28	7	214	30	32	26	5.18	5.86	6.15	Bicarbonaté Calcique; secondairement Chloruré Sodique
F20	El Hadjadj	7.8	558	666	54	8	148	3	268	105	110	10	9.88	9.97	0.44	Bicarbonaté Sodique; secondairement Chloruré Calcique
F21	Ichmoul 2	8.8	682	\	124	48	58	9	500	71	110	3	12.95	12.59	1.44	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F22	Ichmoul2 (bis)	8.1	1054	1110	40	17	310	1	403	230	176	10	16.92	17.07	0.45	Bicarbonaté Sodique; secondairement Chloruré Calcique
F23	Mine	7.8	744	778	174	25	25	3	329	20	286	10	11.95	12.24	1.20	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
S1	Tihmamine	7.8	310	410	80	96	6	1	201	10	77	9	12.29	5.47	38.38	Bicarbonaté Magnésien; secondairement Sulfaté Calcique
S2	Tachercharte	7.1	558	620	128	24	19	1	317	25	138	12	9.25	9.16	0.48	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
S6	El-Anasseur	7.4	372	432	88	17	8	1	268	10	62	11	6.19	6.32	1.05	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
S7	Lakhnek	7.1	496	580	132	7	21	1	281	35	126	7	8.12	8.44	1.94	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
S8	mine	7.5	682	746	134	20	64	2	348	75	173	7	11.20	11.65	1.96	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
S9	El-Hammame	7.4	372	428	100	10	7	1	287	10	48	7	6.16	6.21	0.40	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
S10	Ain Beida	7.2	434	480	104	19	10	1	183	20	168	9	7.24	7.35	0.75	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
S11	Tikandourine Ras Elma	7.5	930	978	186	42	51	2	305	45	396	8	15.07	14.78	0.98	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
S12	Ras Elma	7.7	248	286	44	19	10	1	146	18	52	16	4.24	4.50	2.93	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
S17	Bouzid	7.5	434	516	116	7	16	1	293	25	74	10	7.10	7.37	1.85	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
S15	Ghourmis 1	7.5	372	418	58	31	12	1	201	18	115	8	6.03	6.46	3.41	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
S16	Ghourmis 2	7.4	372	446	58	32	15	1	201	20	116	8	6.24	6.53	2.26	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F3	Arris 3 (Zune 1)	7.5	1488	1606	104	14	410	9	384	275	496	14	24.42	24.83	0.82	Sulfaté Sodique; secondairement Chloruré, Calcique
F9	Arris 4 (D.Hamra)	7.1	2604	2702	264	53	560	11	366	745	732	14	42.25	42.69	0.52	Chloruré Sodique; secondairement Sulfaté Calcique
F10	Arris 5	7.4	1178	\	98	52	260	16	458	181	366	29	20.95	21.17	0.52	Sulfaté Sodique; secondairement Bicarbonaté Calcique
F11	Arris 6 (M'Zata)	7.2	3162	3270	256	31	812	19	372	950	888	10	51.17	51.68	0.49	Chloruré Sodique; secondairement Sulfaté Calcique
F7	Zune 2	7.1	1364	1486	214	37	193	8	335	185	548	13	22.38	22.54	0.35	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique
F5	SEMPAC	8	806	\	128	34	44	8	378	35	176	20	11.35	11.49	0.63	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F12	SNLB	7.5	1054	\	170	28	92	4	384	35	400	9	14.94	15.90	3.14	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique
S18	Tihmamine	7.5	496	588	126	11	25	2	287	40	122	12	8.35	8.76	2.37	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
S19	Lahoual	7.9	434	518	104	10	22	2	244	25	114	9	7.04	7.37	2.28	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
S20	Tagrout G.	7.2	1426	1510	162	88	175	3	409	250	404	61	23.12	24.13	2.14	Sulfaté Calcique; secondairement Chloruré Sodique
F15	Tighanimine 1	7.1	1364	1506	226	23	214	3	403	230	418	29	22.60	22.73	0.29	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique
F16	Tighanimine 2	7.4	868	946	134	42	85	4	372	100	242	11	14.00	14.31	1.11	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
F31	T'Kout 2 (El - Ksar)	7.1	620	686	134	28	23	2	348	30	168	28	10.08	10.95	4.13	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F29	T'Kout 1 (bis)	7.2	558	608	124	29	18	1	335	15	154	18	9.42	9.70	1.46	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F30	T'Kout 3 Elma	7.2	496	588	112	26	13	2	329	10	106	13	8.38	8.30	0.48	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F33	ElKsar2	7.7	434	450	72	31	30	7	183	50	154	4	7.67	7.75	0.51	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F36	Tidebaghine	7.4	372	444	100	10	9	1	262	10	66	14	6.25	6.40	1.21	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F28	Chennaoura1	7.4	434	518	94	28	9	1	311	10	96	13	7.45	7.80	2.29	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F34	Chennaoura IRR	7.1	620	684	160	29	9	1	323	10	234	13	10.83	10.87	0.17	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
S21	Chennaoura	7.6	682	722	178	18	14	1	275	35	269	7	11.03	11.32	1.30	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien

Suite Tab 48: Analyses physico - chimiques (2000)

S22	Ain Trif	7.2	930	1042	228	19	49	2	250	70	412	49	15.17	16.23	3.40	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique
S23	El-Ksar	7.2	868	978	204	26	37	2	305	60	322	41	14.03	14.72	2.42	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F46	Roufi	8.4	620	\	116	26	52	8	342	71	142	11	10.43	10.92	2.28	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Sodique
F44	Kaf Larouss	8.3	1116	1176	212	70	72	8	232	115	525	3	19.77	18.08	4.47	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
F43	Tifelfel AEP	7.4	744	840	154	40	48	2	348	60	212	18	13.17	12.39	3.05	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
F42	Ghassira 1	7.0	1240	1300	244	38	112	3	403	130	454	31	20.31	20.73	1.01	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique
F49	Tifelfel IRR	7.2	744	810	184	17	31	2	311	40	274	21	12.02	12.61	2.42	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Magnésien
S24	Tifelfel	7.8	744	838	104	43	71	2	311	90	202	24	11.92	12.62	2.83	Bicarbonaté Calcique; secondairement Sulfaté Magnésien
S25	El Aoura	7.6	1612	1778	356	49	100	2	561	175	566	14	26.28	26.37	0.17	Sulfaté Calcique; secondairement Bicarbonaté Sodique

Tab 49 : Matrice de corrélation entres les paramètres physico-chimiques.

	T °c	PH	CE	Ca++	Mg++	Na+	K+	HCO3-	Cl-	SO4--	NO3--	Isc	IS arg	ISd	ISmg	ISgy	ISanhy	pCO2
T °c	1	0.0935	0.1732	-0.0159	0.1505	0.3939	0.3334	-0.3741	0.0085	0.2701	-0.3697	0.1988	0.2184	0.1402	0.5514	0.1820	0.2335	-0.0435
PH		1	-0.5291	-0.6144	-0.4240	0.1877	0.3639	-0.4649	-0.0008	-0.5366	0.0441	0.5157	0.5168	0.6587	0.6174	-0.6202	-0.5949	-0.9347
CE			1	0.9070	0.8718	0.3155	0.1560	-0.0631	0.6508	0.8817	-0.0311	0.2461	0.2501	0.1450	0.1113	0.8623	0.8666	0.4073
Ca++				1	0.8060	0.0486	-0.0684	-0.0471	0.4499	0.9227	0.1358	0.2540	0.2527	0.0538	-0.1256	0.9431	0.9339	0.4798
Mg++					1	0.1059	0.1330	-0.2709	0.5696	0.8770	-0.0268	0.2016	0.2063	0.2525	0.2800	0.8407	0.8465	0.2314
Na+						1	0.8376	-0.2334	0.6866	0.0924	-0.1116	0.2132	0.2228	0.1925	0.3617	0.0217	0.0425	-0.0902
K+							1	-0.5534	0.7111	0.0017	-0.0849	0.2138	0.2232	0.2859	0.4604	-0.0399	-0.0217	-0.3870
HCO3-								1	-0.3824	-0.1427	0.1186	-0.1986	-0.3293	-0.5433	-0.0627	-0.0798	0.6384	0.6384
Cl-									1	0.3639	0.0311	0.2486	0.2521	0.3108	0.3091	0.3423	0.3434	-0.0809
SO4--										1	0.0104	0.2613	0.2660	0.1101	0.0876	0.9686	0.9744	0.3868
NO3--											1	0.1678	0.1604	0.1172	-0.1405	0.0567	0.0402	-0.0545
Isc												1	0.9998	0.8891	0.6118	0.2106	0.2415	-0.5063
IS arg													1	0.8901	0.6236	0.2130	0.2448	-0.5068
ISd														1	0.8237	0.0384	0.0720	-0.6737
ISmg															1	-0.0299	0.0202	-0.6137
ISgy																1	0.9979	0.4575
ISanhy																	1	0.4394
pCO2																		1

Tab 50 : Valeurs propres et vecteurs propres (A.C.P)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Valeur propres	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Valeur	6.5086	5.3865	2.2271	1.4588	1.0141	0.6821	0.4174	0.1376	0.0833	0.0370	0.0288	0.0109	0.0043	0.0031	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000
% de variabilité	0.3616	0.2993	0.1237	0.0810	0.0563	0.0379	0.0232	0.0076	0.0046	0.0021	0.0016	0.0006	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
% cumulé	0.3616	0.6608	0.7846	0.8656	0.9219	0.9598	0.9830	0.9907	0.9953	0.9974	0.9990	0.9996	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Vecteurs :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T°C	0.0977	0.1490	0.2440	0.5591	0.2538	0.4631	0.0857	-0.2170	-0.2849	-0.1583	-0.0938	0.1496	0.1222	0.2919	0.1376	-0.0786	0.0117	-0.0070
PH	-0.1864	0.3697	-0.0834	-0.0165	-0.0689	-0.0044	-0.1015	-0.1241	0.2664	0.2383	-0.0857	-0.0275	0.6939	0.2388	-0.3349	0.0538	-0.0327	0.0172
CE	0.3752	-0.0297	0.0604	-0.0747	0.0679	-0.1545	0.0919	-0.4263	0.0037	-0.5367	0.2067	-0.2589	0.3174	-0.3373	-0.1315	-0.0053	0.0287	0.0066
Ca++	0.3654	-0.1043	-0.1149	-0.1061	-0.0072	-0.0370	-0.2008	-0.1627	-0.0459	0.1438	-0.2014	-0.4545	-0.1189	0.4129	0.0435	-0.2523	-0.4843	-0.0909
Mg++	0.3567	0.0048	0.0150	0.0367	-0.2692	-0.1817	0.3771	0.1747	0.1069	-0.1208	-0.4242	0.5124	0.1017	-0.0549	-0.0787	-0.1366	-0.2903	-0.0452
Na+	0.1002	0.1995	0.4347	-0.2403	0.4142	0.1166	-0.0481	-0.0911	0.5813	0.0964	0.1642	0.1959	-0.1760	-0.0587	0.0959	-0.1074	-0.1962	-0.0379
K+	0.0670	0.2677	0.4365	-0.2351	0.0250	0.1265	-0.1471	0.6025	-0.2539	-0.1855	-0.2136	-0.3047	0.1531	-0.1144	-0.0475	-0.0242	0.0065	-0.0009
HCO3-	-0.0626	-0.2628	-0.2125	-0.1455	0.6359	-0.1749	0.2529	0.2749	0.0176	-0.2547	-0.0189	0.0302	0.0869	0.4036	-0.1838	0.1148	0.0430	0.0217
Cl-	0.2271	0.1600	0.2898	-0.4244	-0.0650	-0.2502	0.0818	-0.2842	-0.3926	0.2119	0.0384	0.2220	-0.0713	0.3342	0.0035	0.2060	0.3033	0.0578
SO4--	0.3755	-0.0532	-0.0530	0.1254	-0.0698	0.1042	-0.0842	0.0429	0.4579	-0.0184	-0.3792	-0.1934	-0.0944	0.1130	0.1027	0.2601	0.5597	0.0927
NO3--	0.0081	-0.0041	-0.3009	-0.5134	-0.1238	0.7219	0.3148	-0.0806	-0.0198	-0.0534	-0.0086	0.0078	0.0102	-0.0154	-0.0009	-0.0020	0.0018	-0.0010
ISc	0.1350	0.3146	-0.3356	-0.0185	0.2574	-0.0130	-0.2519	-0.0366	-0.1423	0.0162	-0.1483	0.1545	-0.1246	-0.2043	-0.1305	0.0255	0.1282	-0.6934
ISarg	0.1369	0.3175	-0.3275	-0.0089	0.2592	-0.0043	-0.2438	-0.0438	-0.1483	0.0160	-0.1585	0.1365	-0.1436	-0.2198	-0.0822	0.0478	-0.1314	0.6953
ISd	0.0871	0.3660	-0.2735	-0.0166	0.0544	-0.2015	0.2512	0.1604	0.0216	0.0502	0.1908	-0.1020	0.2049	0.0396	0.6946	-0.2486	0.1155	0.0062
ISmg	0.0713	0.3701	0.0146	0.2411	0.0036	-0.0402	0.5757	0.0543	0.0208	0.2081	0.1391	-0.3572	-0.3321	-0.0411	-0.3751	0.1318	-0.0523	-0.0128
ISgy	0.3700	-0.0954	-0.0746	0.0750	-0.0708	0.1128	-0.1508	0.2604	-0.0045	0.1309	0.4474	0.1494	0.0272	0.1014	-0.3503	-0.5219	0.2864	0.0820
ISanhy	0.3731	-0.0790	-0.0717	0.1037	-0.0490	0.1253	-0.1242	0.2477	-0.0267	0.1257	0.3960	0.1006	0.1719	0.0120	0.1258	0.6435	-0.3106	-0.0655
pCO2	0.1316	-0.3666	0.0933	0.0128	0.3300	0.0404	0.1872	-0.0418	-0.1535	0.5991	-0.2061	-0.0947	0.2889	-0.4031	0.0469	-0.0682	0.0727	0.0072

Tab.51 : Valeurs des indices de saturations des minéraux dissous.

Point d'eau	ISc	IS arg	ISd	ISmg	ISgy	ISanhy	pCO2 (10 ⁻² bars)
S13	0.017	-0.133	0.078	-774	-1.452	-1.7	1.3
F34	0.098	-0.051	0.288	-0.576	-1.058	-1.301	1.65
F28	0.162	0.013	0.419	-0.495	-1.329	-1.57	0.986
F37	0.161	0.013	0.199	-0.671	-1.474	-1.711	1.23
F30	0.097	-0.049	0.128	-0.6	-1.235	-1.464	2.06
F27	0.177	0.031	0.406	-0.431	-0.928	-1.16	1.44
F26	0.206	0.06	0.462	-0.427	-0.834	-1.068	1.44
S24	0.146	0.003	0.591	-0.096	-1.437	-1.654	0.508
F49	0.124	-0.022	0.266	-0.523	-1.066	-1.299	1.55
F43	0.13	-0.017	0.229	-0.592	-0.728	-0.964	1.9
F53	0.078	-0.068	0.268	-0.479	-1.01	-1.243	1.43
F42	0.251	0.106	0.334	-0.548	-0.577	-0.806	2.37
F50	0.098	-0.048	0.238	-0.488	-1.1	-1.329	1.44
F52	0.282	0.136	0.57	-0.337	-0.709	-0.937	1.35
S25	0.259	0.116	0.442	-0.323	-1.135	-1.347	0.447
F47	0.041	-0.105	0.174	-0.535	-0.704	-0.937	2.23
F79	0.021	-0.123	0.048	-0.541	-1.169	-1.39	1.88
F78	0.003	-0.14	0.103	-0.445	-1.255	-1.472	1.78
S26	0.041	-0.104	0.268	-0.39	-1.217	-1.444	1.27
F60	-0.019	-0.162	-0.01	-0.523	-1.136	-1.352	2.22
F100	0.244	0.101	0.512	-0.288	-0.786	-1.005	0.926
F74	0.403	0.261	0.926	0.022	-1.227	-1.438	0.754
F94	0.062	-0.08	0.073	-0.496	-0.755	-0.967	1.77
F99	0.028	-0.111	0.044	-0.367	-0.863	-1.055	1.78
F83	0.033	-0.105	-0.086	-0.443	-0.742	-0.924	2.46
S35	0.099	-0.039	0.082	-0.338	-0.761	-0.942	1.72

Abstract

This work deals with the mountain hydrogeology. It's a hydrogeological approach of aquifer systems of one of the aurasian valleys. The highest point (Irfen Keltoum) is located in Chelia with an altitude of 2328 m. The study area belongs to the territories of Biskra and Batna, covering a surface exceeding 1300 km².

The regions of the Saharan Atlas, as the case for much part of the Aurès, participate in the recharge of aquifers Ziban aquifers and hence, lower Sahara aquifers. Disequilibrium in the auresian aquifer balance will undoubtedly affect the reserves of Sahara aquifers.

The geological and geophysical studies have identified the aquifers and allowed to know the reservoirs geometry; and reveal the existence of facies lateral passages, very common in this zone. The Rhassira synclinal is the largest in the Aures, stretched over 80 km, and the El-Outaya basin is an extension of the latter. Giving a structure in the form of pressed folds, the boundary between the two is marked by a major tectonic accident in extension until M'Doukal region, revealing diapirs and several hot springs. The stratigraphic series is from Jurassic until Quaternary, and thick about 6000 m.

The area is a part of chott Melghir basin, with a semi arid climate in The North, steppe in the middle and hyper arid in the South. Rainfall is ranging, from 150 to 450 mm. The evapotranspiration shows 84 to 92% of the precipitations in the North and the rest of the basin (two-thirds of the surface present a deficit in water balance).

The area consists of a succession of reservoirs. The most exploited are the Maastrichtian, Paleocene and Ypresian – lower Lutetian. The groundwater flow strike is NE - SW.

Chemical Facies indicate dissolution of carbonate rocks with the presence of evaporitic rocks. 81% of samples present a calcium sulphated facies, and 15% calcium bicarbonate facies. The sodic chloride water, characterize the sandstone conglomerate reservoirs and a mixture with thermal water in the region of Chetma. The characteristics ratios $r_{Mg^{++}} / r_{Ca^{++}}$ and r_{SO_4} / r_{Cl} reveal that the groundwater flow strike is also NE-SW with a low transit velocity in the South. Principal component analysis (A.C.P) has shown several groups of water, and helped to dispel some doubts concerning water origins. Water quality is good at the upstream part, fair to mediocre in the middle and mediocre to bad in the South.

In this context and on the basis of the geomorphologic and geological environment of the region, the three protection perimeters of carbonate aquifers groundwater were established (immediate perimeter, close and distant).

Key-words: Mountain hydrogeology, semi-arid zone, thermodynamic simulation, Geode, Rhoufi canyon, Aurès.

ملخص:

يندرج هذا العمل ضمن هيدروجيولوجيا المناطق الجبلية. وهو مقارنة هيدروجيولوجية لأنظمة الطبقات الحاوية للمياه لإحدى أهم السهوب الأوراسية. تقع أعلى قمة "بارفان كلثوم" بشلية على إرتفاع 2338م.

تتوزع منطفة الدراسة على ولايتي بسكرة وباتنة، ممتدة على مساحة تفوق 1400 كلم² كما هو الحال بالنسبة لمناطق الأطلس الصحراوي، فإن أغلب منطقة الأوراس تساهم في تغذية المياه الجوفية لمنطقة الزيبان ومن خلال هذه الأخيرة، تغذية طبقات المياه الجوفية للصحراء. وأي إختلال في ميزان الموارد المائية لمنطقة الأوراس له تأثيره بدون شك على مخزون الطبقات المائية في الصحراء.

إن الدراسة الجيولوجية والجيوفيزيائية مكنت من تعيين الطبقات الحاوية للمياه وتحديد أبعادها. وبيئت تكرار ظاهرة التغير الأفقي الجيولوجي في عدة نقاط.

إن الطية المقعدة لغاسيرة، وهي أكبر طية في الأوراس تمتد على مسافة 80 كلم، والتي تشكل إمتداد جيولوجي لحوض الوطاية ويفصل بينهما فالق كبير يمتد على عدة كيلومترات إلى غاية منطقة مدوكال، حيث نشأت على إمتداد عدة ينابيع حارة وكذا كتلتان ملحيتان.

إن السلسلة السيتراتيقرافية تمتد من الجوراسي إلى غاية الزمن الرابع ضمن تراكمات على ثغن حوالي 6000 متر.

تنتمي المنطقة إلى حوض شط ملغيغ، وذات مناخ شبه جاف في الشمال، سهبي في الوسط وجاف في الجنوب. تتراوح كمية التساقط من 150 إلى 450 ملم. حيث أن عملية التبخر تشكل 84 إلى 92 % من التساقط في الشمال، أما في بقية ثلثي المنطقة فإن الميزان الهيدروجيولوجي مختلف سلبيًا.

تتكون المنطقة من عدة طبقات مائية متموضعة فوق بعضها البعض وأكثرها إستغلالاً: المايستريشي، الباليوسان، الأيوسين، تناسب المياه الجوفية من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي.

إن التكوين الكيميائي للمياه يدل على تحلل الصخور الكلسية مع وجود معتبر لصخور جبسية وملحية 81% من عينات المياه. سولفاتي كلسية، 15% بيكربونات كلسية. أما بالنسبة للمياه الكلورو صودية فهي تميز طبقات الحجر الرملي والكونقلوميراتي وأيضاً أماكن إختلاط المياه العميقة الحارة والمياه السطحية بمنطقة شتمة.

النسب المميزة So_4/Cl و Mg/Ca تؤكد اتجاه إنسياب المياه الجوفية من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي بسرعة بطيئة.

التحليل الإحصائي بطريقة التحليل بالتركيبات الأساسية (A.C.P) يمكن من تحديد عدة مجموعات للمياه ذات أصول مختلفة.

نوعية المياه في الشمال جيدة ومتوسطة في الوسط وريئة في جنوب منطقة الدراسة.

في هذا الإطار وبناء على الوسط الجيومورفولوجي والجيولوجي للمنطقة تحديد محيطات الحماية الثلاث القريب والمتوسط والبعيد لحماية المياه الجوفية المتواحدة ضمن طبقات الصخور الكلسية .

كلمات المفتاح: هيدروجيولوجية المناطق الجبلية ، منطقة شبه جافة، محاكات ترموديناميكية، جيود، كانيون غوفي، أوراس.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'hydrogéologie des montagnes. C'est une approche hydrogéologique des systèmes aquifères de l'une des vallées aurésiennes. Le plus haut point (Irfen Keltoum) se situe à Chélia d'une altitude de 2328 m. Partagée entre la wilaya de Biskra et la wilaya de Batna, la zone d'étude s'étend sur une superficie dépassant les 1300 Km².

Les régions de l'Atlas saharien, comme c'est le cas pour une grande partie des Aurès, participent à l'alimentation des aquifères des Zibans et par là même, les aquifères du bas Sahara. Un déséquilibre dans le bilan des aquifères aurétiens, aura, sans nul doute, une répercussion sur les réserves des aquifères du Sahara.

L'étude géologique et géophysique ont permis d'identifier les aquifères et de connaître la géométrie des réservoirs, et révèlent l'existence de passages latéraux de faciès très fréquents dans cette zone. Le synclinal de Rhassira est le plus important de l'Aurès, allongé sur plus de 80 Km, et la cuvette d'El-Outaya constitue le prolongement de ce dernier. C'est une structure sous forme de plis emboutis. La limite entre les deux est marquée par un accident tectonique majeur, qui s'étend jusqu'à la région de M'doukal faisant apparaître deux diapirs et plusieurs sources chaudes. La série stratigraphique s'échelonne du Jurassique au Quaternaire faisant environs 6000 m d'épaisseur.

La zone fait partie du bassin de chott Melghir, avec un climat semi aride au Nord, steppique sur la zone médiane et hyperaride au Sud. Les précipitations vont de 150 à 450 mm. Au nord l'évapotranspiration présente 84 à 92 % des précipitations et le reste du bassin soit deux tiers de la surface présente un bilan hydrologique déficitaire.

La zone est constituée d'un empilement de réservoirs. Les plus exploités sont le Maastrichtien, Paléocène et Yprésien-lutétien inférieur. L'écoulement des eaux est du NE au SW.

Les faciès chimiques indiquent une dissolution des roches carbonatées en présence notable de roches évaporitiques. 81 % des échantillons sulfatés calciques ; 15% bicarbonatés calciques. Quand aux eaux chlorurées sodiques, elles caractérisent le réservoir grésos - conglomératique et les eaux mélangées à des eaux thermales dans la région de Chetma. Les rapports caractéristiques rMg^{++}/rCa^{++} , et rSO_4^{--}/rCl^- témoignent d'un écoulement également dans le même sens, avec une vitesse de transit longue au Sud. L'analyse en composantes principales (A.C.P) a permis de distinguer plusieurs groupes d'eau, et a permis de dissiper certains doutes qui régnaient autour des origines des eaux. La qualité des eaux est bonne, dans la partie amont, passable à médiocre dans la partie médiane et médiocre à mauvaise au Sud.

Dans cette optique et sur la base de l'environnement géomorphologique et géologique de la région, les trois périmètres de protection des eaux souterraines des aquifères carbonatés ont été établis (périmètre immédiat, rapproché et éloigné).

Mots-clés : Hydrogéologie de montagne, zone semi-aride, simulation thermodynamique, Géode, canyon de Rhoufi, Aurès.