

N° d'ordre :

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des Science de la Terre, de Géologie et de l'Aménagement du Territoire



Département des Science de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du

Grade de Master II en Science de la Terre

Option : Les eaux souterraines et environnement (hydrogéologie)



Thème :

Présentation de quelques logiciels récents d'interprétation des courbes de Sondages géophysiques électriques. Application à une étude hydrogéologique de la région de Gdyl (wilaya d'Oran), Algérie

Présenté Par :

**Mahmoudi Noureddine
Ziani Souad**

Soutenu publiquement le 03 Juillet 2018, devant le jury composé de :

Mr. MANSOUR. H	Université d'Oran 2	Président
Mr. MAHAMMED.D	Université d'Oran 2	Encadreur
Mr. BAICHE. A.E.K	Université d'Oran 2	Examineur
Mr. BORSALI.T	Université d'Oran 2	Examineur

Oran, 2017/2018

Remerciement

Nous remercions tous d'abord **ALLAH**, les toutes puissances qui nous a donne force et persévérance pour terminer ce travail.

Mes remerciements s'adressent tout d'abord aux membres du jury.

D'abord, à monsieur **Mahammed.D** qui a accepté de nous encadrer, son expérience et sa compétence nous ont permis d'acquérir de nouvelles informations qui nous savoir dans notre travail.

A monsieur **Mansour .H** qui nous à fait l'honneur d'accepter de présider notre jury qu'il soit remercié.

A monsieur **Baiche.A.E.K** et **Borsali.T** qui ont accepté sans hésiter de juger notre travail, nous les remercions de tout cœur.

Enfin, tous les enseignants du département des sciences de la terre qui nous aide tous le long de notre cursus, qu'ils soient remercié.

MAHMOUDI.N / ZIANI.S

LISTE DES FIGURES

Fig.01 : carte géographique du secteur d'étude.....	03
Fig.02 : Carte géologique de la région d'Arzew.....	06
Fig.03 : Log synthétique du permo Carbonifère du Djebel khar (B.Fernte.1975).....	07
Fig.04 : Série Carbonatée du revers sud de Djebel Orousse Monts d'Arzew.....	07
Fig.05 : coupe géologique synthétique.....	10
Fig.06 : Schéma structural de l'Oranie (B. Fenet, 1975).....	11
Fig.07 : carte de Précipitations moyennes mensuelles (H.gausсен et bagnols : 1913-1947)...15	
Fig.08 : carte pluviométrique de l'Algérie moyenne annuelles (H. Chaumont et Paquin1913 ; 1963).....	16
Fig.09 : Moyennes Mensuelles des précipitations (1990-2001).....	17
Fig.10 : Histogramme des Précipitations Moyennes Annuelles « Arzew » (1990-2001).....	19
Fig.11 : Histogramme des Précipitations Moyennes Annuelles « Es- Sénia » (1990-2001)....	20
Fig.12 : Variation des Températures Moyennes Mensuelles « Es Sénia » (1990-2001).....	22
Fig.13 : Variation des Températures Moyennes Mensuelles« Arzew » (1999-2001).....	22
Fig.14 : le diagramme Pluviothermique de la station d'Arzew.....	25
Fig.15 : la courbe Ombrothermique de la station d'Es Sénia.....	25
Fig.16 : le diagramme Pluviothermique de la station d'Es Sénia.....	26
Fig.17 : la courbe Ombrothermique de la station d'Es Sénia.....	26
Fig.18 : Abaque d'indice d'aridité.....	29
Fig.19 : Sondage de Gdyel (D'après ANRH).....	35
Fig.20 : Sondage de Hassi Benyebka (D'après ANRH).....	37
Fig.21 : sondage de Hassian-Ettoual.....	38
Fig.22 : Sondage de Hassi Mefsoukh (D'après ANRH).....	39
Fig.23 : forage de Hassi Mefsoukh.....	41
Fig.24 : Aquifère bicouche : éboulis – Alluvions et grés.....	44
Fig.25 : Aquifère bicouche : éboulis – Alluvions et calcaires gréseux.....	45
Fig.26 : Extrait de la carte piézométrique de la région d'Arzew (D'après M Foukrach.1996).....	47
Fig.27 : Etapes de l'Interprétation Indirecte.....	51

Fig.28 : étapes de résolution automatique, et recherche du modèle géoélectrique responsable de sondage électrique.....	54
Fig.29 : Nouvelle interprétation SEV étalonnage du forage F3 Gdyel.....	57
Fig.30 : Interprétation du SEV étalonnage Gdyel Forage F3.....	60
Fig.31 : Profil F – Coupe géoélectrique avec la présentation IPI2.....	63
Fig.32 : Profil F de Conductances.....	63
Fig.33 : Profil E – Coupe géoélectrique avec la présentation IPI2.....	64
Fig.34 : Profil E - Conductances.....	64
Fig.35 : Etalonnage du sondage électrique EL al'aide du forage du GDYEL F3.....	69
Fig.36 : Etalonnage du sondage électrique « M4 » à l'aide du forage ELAYAIDA (F5).....	70
Fig.37 : Etalonnage du sondage électrique « J1 » a l'aide de forage Sidi Ben Yebka (F1)....	71
Fig.38 : Etalonnage du sondage électrique « G4 » à l'aide du forage Hassi Mefsoukh (F2)..	72
Fig.39 : Coupes géoélectriques (profils A et B).....	74
Fig.40 : Coupes géoélectriques (profils C et D).....	74
Fig.41 : coupe géoélectrique (profil E).....	76
Fig.42 : coupe géoélectrique (profil F).....	78
Fig.43 : coupe géoélectrique (profil G).....	78
Fig.44 : carte de résistivité apparente (AB =1000m).....	80
Fig.45 : carte de résistivité apparente (AB = 2000m).....	81
Fig.46 : Enregistrement des Diagraphie.....	85
Fig.47 : coupe géologique et technique du forage de sidi benyebka III.....	89
Fig.48 : Interprétation du SEV étalon (nouveau) du forage F2 Hassi Mefsoukh.....	90
Fig.49 : Interprétation du SEV étalon Forage Hassi Ben Yebka III.....	91

Liste des Tableaux

Tab.01 : Stations Pluviométriques.....	14
Tab.02 : précipitations moyennes mensuelles des stations« Es- Sénia, Arzew » (1990-2001).....	17
Tab.03 : Précipitations moyennes annuelles des stations « Es-Sénia, Arzew » (1990-2001).....	18
Tab.04 : Températures Moyennes Mensuelles de la station « Es Sénia » (1990-2001).....	20
Tab.05 : Températures Moyennes Mensuelles à « Arzew » (1990-2001).....	21
Tab.06 : Précipitations et Températures Moyennes Mensuelles de la station d'Arzew.....	23
Tab.07 : Précipitations et Températures Moyennes Mensuelles de la station d'Es-sénia.....	24
Tab.08 : les résultats de déficit et l'excédent des deux stations.....	27
Tab.09 : valeurs de l'indice d'aridité (I).....	28
Tab.10 : l'Evaporation mensuelle des deux stations.....	29
Tab.11 : volume des travaux.....	66
Tab.12 : Echelle de résistivités adoptée par les sondages paramétriques.....	68
Tab.13 : Coupe lithologique et stratigraphique du forage de Sidi benyebka III.....	87
Tab.14 : Tableau synthétique final à adopter comme échelle de résistivités la plus probable.....	93

Sommaire

Introduction générale.....	01
Chapitre I. Cadre géographique et géologique cadre tectonique et structurale	
I. Situation géographique.....	03
II. cadre géologique.....	04
II.1. Description litho stratigraphique.....	04
a). Le substratum.....	04
a ₁ . Le Permo Carbonifère.....	04
a ₂ . Le Trias.....	05
a ₃ . Le Jurassique.....	05
a ₄ . Le Crétacé.....	05
b). La couverture.....	08
b ₁ . Le Miocène.....	08
1). Premier cycle post nappe «Miocène inférieur».....	08
2). Deuxième cycle post nappe «Miocène supérieur».....	08
b ₂ . Le cycle Pliocène.....	08
b ₃ . Le Pléistocène moyen- supérieur.....	09
III. Etude tectonique et structurale.....	09
Conclusion.....	12
Chapitre II : Hydroclimatologie et Hydrogéologie	
I. Hydroclimatologie.....	14
Introduction.....	14
1. Les paramètres climatiques.....	14
1.1. les précipitations.....	14
1.1.1. L'interprétation des cartes pluviométriques.....	14
1.1.2. Etude des précipitations mensuelles.....	14
1.1.3. Etude des précipitations moyennes annuelles.....	18

a).Station d’Es Sénia.....	18
b).Station d’Arzew.....	19
1.1.4. L’interprétation des Histogrammes.....	19
1.2. La température.....	20
a).Station d’Es Sénia.....	20
b).Station d’Arzew.....	21
1.3. La relation Température – Précipitations.....	23
a). Station d’Arzew.....	23
a).1. Le diagramme pluviométrique de la station d’Arzew.....	23
a).2. la courbe Ombrothermique de la station d’Arzew.....	23
b). Station d’Es- Sénia.....	23
b).1. Le diagramme pluviométrique.....	24
b).2 la courbe Ombrothermique.....	24
2. Les indices climatiques.....	27
2.1. Méthode de De Martonne.....	27
2.1.1. indice d’aridité annuel (I).....	27
a). Station d’Arzew.....	27
b). Station d’Es Sénia.....	27
3. Etude de l’Evaporation.....	29
a). Station d’Arzew.....	30
b). Station d’Es-Sénia.....	30
Conclusion.....	30
II. Hydrogéologie.....	31
Introduction.....	31
1. Aperçu hydrogéologique.....	31
a). Le substratum.....	31
a ₁ . Le Trias.....	31

a ₂ . Les formations Jurassico- Crétacées.....	31
b). La couverture.....	32
b ₁ . Miocène.....	32
b _{1.1} . les marnes bleues.....	32
b _{1.2} . les tripolis du miocène.....	32
b ₂ . Le Pliocène.....	32
b ₃ . Le Quaternaire.....	32
2. Présentation des coupes.....	33
2.1. Sondage de Gdyel.....	33
Le quaternaire.....	33
Le pliocène.....	33
Jurassique.....	34
2.2. Sondage de Sidi Benyebka.....	36
2.3. Sondage de Hassian-Ettoual.....	36
2.4. Sondage de Hassi Mefsoukh.....	36
2.5. Forage de Hassi Mefsoukh.....	40
3. Etude des aquifères.....	42
3.1. Les formations Plio-Quaternaires.....	42
3.1.1. La formation alluvionnaire.....	42
3.1.2. Les grés coquilliers et sable jaunes.....	42
3.1.3. Les calcaires gréseux.....	43
3.1.4. Corrélation entre les niveaux aquifères.....	43
3.2. L'aquifère des calcaires dolomitiques.....	46
4. Interprétation de la carte de piézométrie.....	46
CHAPITRE III : utilisation de la Géophysique électrique	
I). Traitement des mesures Géophysique de surface.....	49
a. Expression de la résistivité apparente causée par un milieu stratifié.....	49

a ₁ . Théorie.....	49
a ₂ . Application.....	50
b. bases du traitement automatique.....	50
b ₁ . Interprétation indirecte : (Problème Direct).....	50
b ₂ . Interprétation directe : (Problème Inverse).....	52
II). Présentation des logiciels récents de traitement automatique.....	55
a. Logiciel WinSev 3.0.....	56
b. Logiciel Qwseln.....	57
b ₁ . Application au SEV étalonnage du forage F3 Gdyel.....	58
b ₂ . Application au SEV G4 d'étalonnage du forage F2 HassiMefsoukh.....	59
c. Logiciel IPI-2.....	60
d. Application à quelques profils construits à partir des résultats de la campagne géophysique.....	63
Conclusion sur les trois Logiciels d'interprétation.....	65
III). résultats d'une campagne Géophysique de la zone d'étude.....	66
1. Disposition.....	66
2. Etalonnage des sondages électriques à l'aide des forages.....	66
2.1. Etalonnage des sondages électriques.....	66
a. Etalonnage du sondage électrique « E ₁ » a l'aide du forage de Gdyel (F3).....	66
b. Etalonnage du sondage électrique « M4 » a l'aide du forage EL Ayaida (F5).....	67
c. Etalonnage du sondage électrique a l'aide du forage Sidi Benyebka (F1).....	67
d. Etalonnage du sondage électrique « G4 »a l'aide du forage Hassi Mefsoukh (F2)..	67
2.2. Etalonnage à l'aide des sondages paramétriques.....	67
Conclusion.....	68
3. Interprétation des coupes géoélectriques.....	73
3.1. Coupes géoélectriques A, B, C, D et E.....	73
3.2. Coupes géoélectriques F, G.....	76

4. Interprétation des cartes de résistivités.....	79
4.1. Carte de résistivité apparente en AB=1000m.....	79
4.2. Carte de résistivité apparente en AB =2000m.....	79
IV). Relation entre les SEV étalons, les Logs géologiques et les Diagraphies.....	82
1. Diagraphie de forage de Hassi Mefsoukh (F2).....	82
1.1. Interprétation des résultats de diagraphie.....	83
a). le gamma –ray.....	83
b). la Sonde normale de Résistivité.....	83
c). Le Potentiel Spontané (SP).....	84
Conclusion.....	84
2. Diagraphie dans le forage Hassi Ben Yebka III.....	87
2.1. Interprétation des résultats de diagraphie.....	87
a). Le gamma –ray.....	87
b). La sonde normale.....	88
c). La Potentiel Spontané (SP).....	88
3. Résultats de la réinterprétation des SEV étalons.....	90
CONCLUSION GENERALE.....	94

Introduction générale

Le traitement des données de Géophysique électrique a connu une grande évolution avec l'appel à l'informatique et l'automatisation complète des calculs. Il y a quelques décennies la résolution des courbes de Sondages électriques s'exécutait manuellement avec un défaut de précision et de rapidité.

C'est le but principal de ce travail de présenter les outils modernes d'interprétation des données de la prospection électrique en montrant les performances de divers logiciels et leur exploitation optimale.

Evidemment, les données géologiques de terrain constituent une contrainte et des informations « à priori » dont les calculs exécutés par les logiciels doivent tenir compte. De même que l'apport d'informations issues d'autres méthodes géophysiques à l'instar des diagraphies est bénéfique pour améliorer les solutions dans le traitement des données de surface.

Cette méthodologie sera appliquée à la zone de Gdyl dans les piémonts d'Arzew, ayant fait l'objet d'études hydrogéologiques antérieures, afin de tenter d'améliorer la connaissance des résistivités électriques et donc d'épaisseurs de certains faciès géologiques dont le potentiel hydraulique est non négligeable.

Nous exposerons donc au préalable le contexte général et géologique de la zone puis nous analyserons les résultats de la méthode électrique pour en extraire plus d'informations.

Chapitre

I

Chapitre I. Cadre géographique et géologique étude tectonique et cadre structurale

I. Situation géographique

Le secteur d'étude se trouve au Nord – Ouest de l'Algérie, et comprend le plateau entre GDYEL et SIDI BENYEBKA (fig.01). Il est localisé à environ 20km à l'est de la ville d'Oran.

Il est limité

- Au Nord par les monts d'Arzew et la mer Méditerranée.
- Au Sud par le plateau de Télamine.
- A l'Ouest par le plateau d'Oran.
- A l'Est par la baie d'Arzew et la mer Méditerranée.

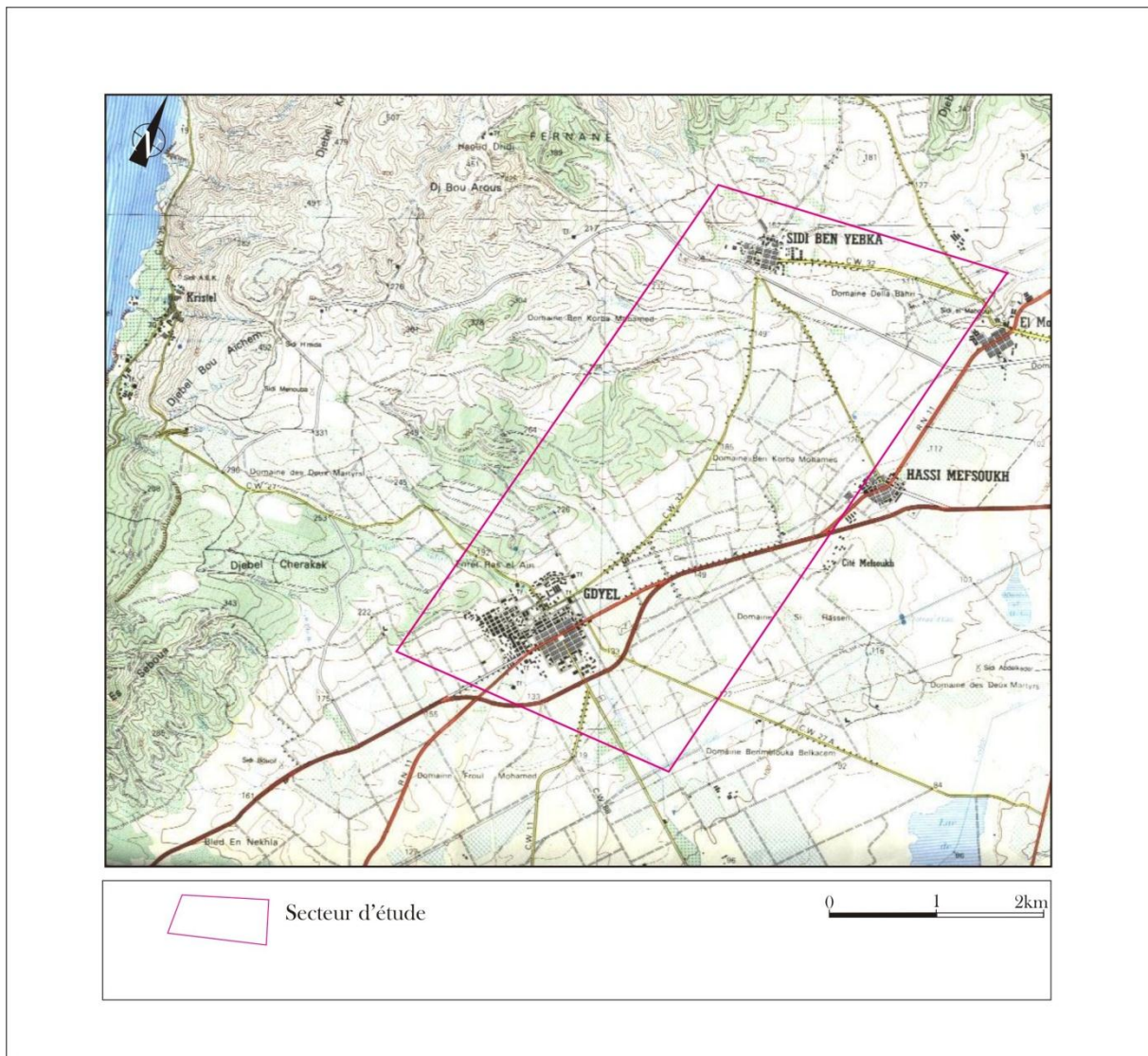


Fig.01 : carte géographique du secteur d'étude

II. Cadre géologique

Divers travaux géologiques ont été élaborés dans le bassin du Chélif en général et qui ont touché notre secteur d'étude. Nous citerons Perrodon (1957), Gourinard (1952), Fenet (1975), Thomas (1985).

A partir de la carte géologique (fig.02) on distingue les unités suivantes :

- Substratum anté-néogène.
- la couverture des terrains néogènes composée de :
 - cycle miocène.
 - cycle plio-quadernaire.

II.1. Description litho stratigraphique

a). Le substratum

Le substratum anté-néogène affleure au niveau du Djebel Khar et des monts d'Arzew. Il est représenté par une série litho- stratigraphique formée essentiellement par des schistes, des calcaires, des dolomies et des évaporites allant du Permo Carbonifère au Crétacé.

a₁. Le Permo Carbonifère

Le Permo Carbonifère qui est peu affecté au Djebel Khar par le métamorphisme alpin (Fenet 1975), est assez fortement transformé dans les massifs du Cap Falcon et des Andalouses où il atteint parfois le faciès des schistes verts.

Bien que fortement disloqué, le Djebel Khar peut être assimilé probablement à une structure monoclinale à fort pendage vers le nord ouest.

Le Permo Carbonifère est composé d'une succession de trois termes lithologiques (fig.03) représentés de la base au sommet par

-des séquences grossières séparées par des niveaux d'épaisseurs variables de pélites charbonneuses que l'on peut attribuer au Westphalien (terme a).

-des pélites schisteuses rouges violacées ou verdâtres en alternance avec des grès grossiers lie de vin et des bancs lenticulaires de conglomérats massifs polygéniques, à galets de quartzite ou des phanites fortement liés par un ciment quartzo-pélitique rouge.

Cette série attribuée au Stéphanien correspond au terme b.

Une épaisse formation de pélites rouges violacées à rares bancs de grès lie de vin avec une stratification oblique.

a2. Le Trias

Il est très réduit et ne constitue que quelques pointements situés à la périphérie des massifs schisteux. Il affleure dans la Montagne des Lions, au nord de Gdyel et de Sidi Ben yebka.

Le Trias se présente généralement sous forme de

- diapir, faciès associé aux marnes Sénoniens, et attribué par les auteurs aux nappes de glissement superficielles.
- d'argilites, gypses, dolomies, conglomérats, roches vertes et sel gemme.

a3. Le Jurassique

Les Djebels Orouse et Bourousse sont constitués des formations carbonatées schisteuses relativement épaisses attribuées au Lias par F.Dommergue (1912) .Ces formations passent au sommet à des schistes rougeâtres.

Le Dogger est formé par des lentilles calcaires et de calcaires dolomitiques.

Le log synthétique du Jurassique au niveau du Djebel Orouse est schématisé sur la (fig.04).La base est constituée par les calcaires marmoréens blancs bleutés ou roses surmontés de part et d'autre de schistes calcareux jaunes et rouges orangés foncés surmontés à leur tour par des conglomérats.

La série se termine par une épaisse formation de schistes rouges orange calcareux.

On remarque à la (fig.04), l'existence d'une série régulière inverse où les calcaires dolomitiques du Lias coiffent l'ensemble de la série.

a4. Le Crétacé

Dans le massif d'Arzew, l'ensemble du Crétacé inférieur est représenté sous un faciès essentiellement schisteux avec une très forte épaisseur bien que difficile à évaluer, en raison des complications structurales, l'épaisseur totale minimale doit atteindre 1500 à 2000m.

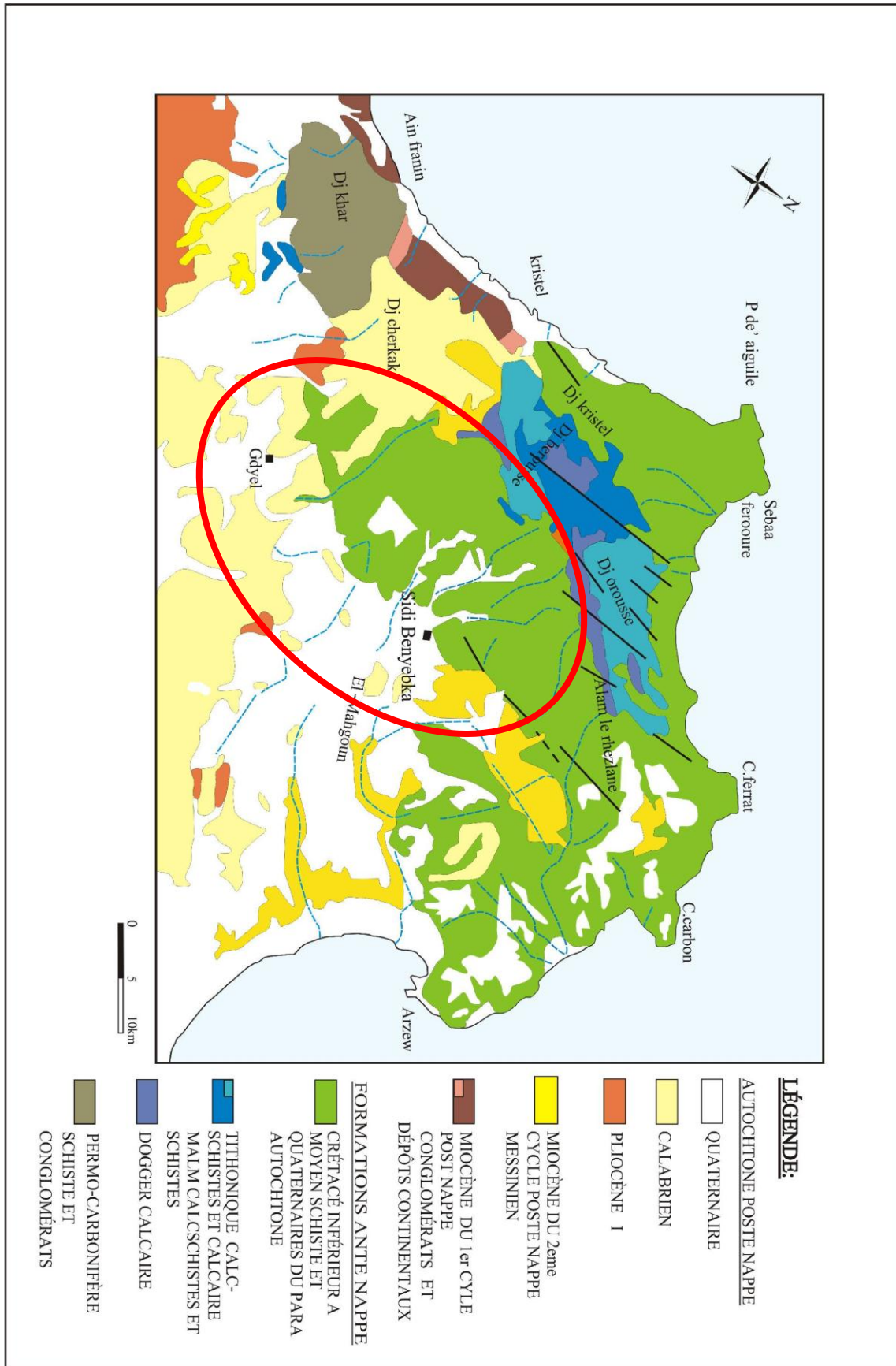


Fig.02 : carte géologique de la région d'Arzew (d'après B. Fenet)

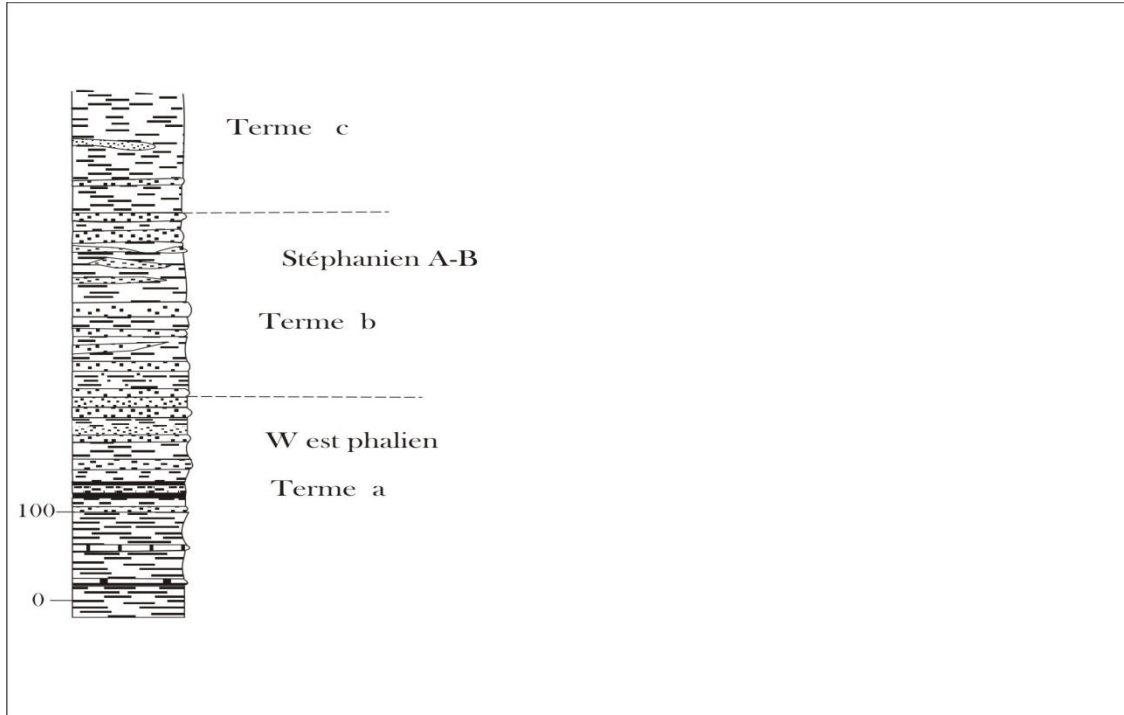


Fig.03 : Log synthétique du permio Carbonifère du Djebel Khar (B. Fenet. 1975)

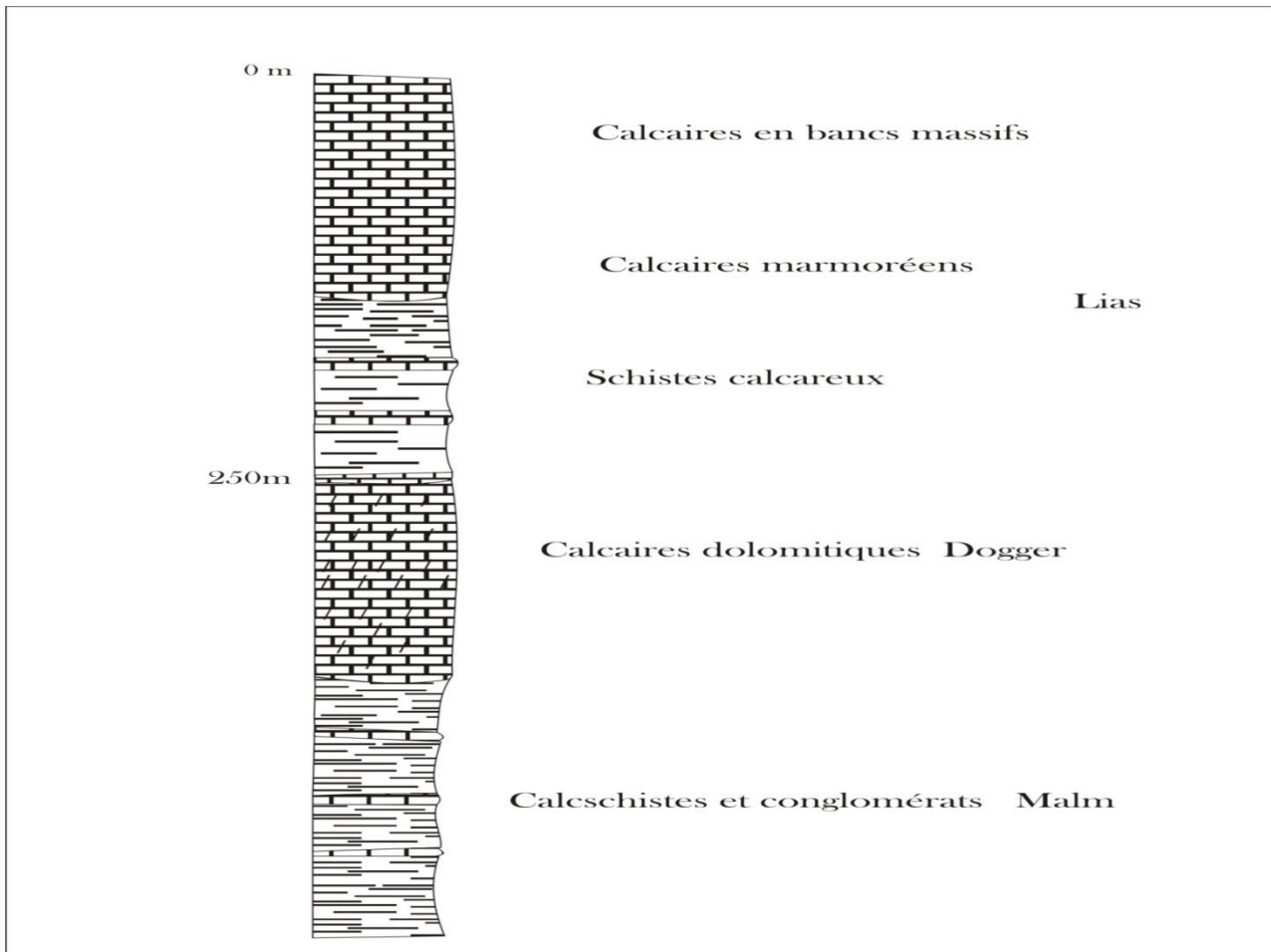


Fig.04 : Série Carbonatée du revers sud de Djbel Orouse Monts d'arzew

b). La couverture

b₁. Le Miocène

Certains auteurs A.Perrdon (1958), B.Fenet et Thomas se sont intéressés à l'étude du Miocène post nappe.

Ils le subdivisent en 2 cycles sédimentaires

1). Premier cycle post nappe «Miocène inférieur»

Il débute au Serravalien (vers 12,5MA) et correspond à des dépôts rubéfiés (Formation de BOU HANIFIA) qui passe vers le centre à des sédiments marins. Sur le plateau de Boufatis, on a des marnes verdâtres micacées marquant le début du Miocène au niveau du flanc sud du Djebel Khar.

2). Deuxième cycle post nappe «Miocène supérieur»

Il débute au Tortonien (vers 8,5 MA) et se termine au Messinien tout comme les dépôts marins du premier cycle ; il est précédé d'une phase d'érosion active accompagnée d'accumulation de séries continentales à l'Est d'Oran.

Les marnes et les formations cinéritiques reposent sur les dépôts redressés du 1^{er} cycle post nappe de Canastel (Falaises d'Oran – Canastel).

Au sud et à l'est du Djebel Khar, ce sont des marnes blanchâtres à tripolis et gypse qui affleurent au Sud Est des Monts d'Arzew. L'attribution stratigraphique des marnes du plateau de Béthioua – Guessiba ne présente aucune difficulté.

Ces marnes grises à intercalation de Cinérites, semblent avoir été recoupées par deux forages de la raffinerie.

Ce Miocène peu tectonisé mais érodé à sa partie supérieure est recouvert par le Pliocène.

b₂. Le cycle Pliocène

Le cycle Pliocène est souvent confondu avec les terrains quaternaires. Le vocable Plio-Quaternaire vague et imprécis, prête à diverses confusions. Dans cette optique nous adoptons la nomenclature de Thomas (1985) pour les terrains pliocènes et quaternaires.

-Le cycle PI représenté par des conglomérats sableux, des marnes et des sables marins passant latéralement au pied des massifs schisteux, à des dépôts conglomératiques continentaux. Ces dépôts sont d'âge Tabianien.

Le cycle PII il est représenté par la formation du golfe d'Arzew. Cette formation montre des passages latéraux contrôlés par la configuration paléogéographique. On peut rencontrer divers faciès vers la partie la plus septentrionale, on a des calcaires gréseux lumachéliques passant latéralement (par endroits) à des dunes grésifiées, ou encore des marnes et des sables au cœur de la cuvette (lac Télamine et salines d'Arzew) (fig.05). Ces faciès sont d'âge Plaisancien à Calabrien.

b₃. Le Pléistocène moyen- supérieur

Il est souvent formé par des limons rubéfiés et des limons gris avec des équivalents latéraux représentés soit par des sables coquilliers, des dunes ou encore des argiles fluvio-lacustres.

Une croûte calcaire (dalle rose à brun rouge) se développe sur divers faciès en relation avec le façonnement des surfaces d'ablation corrélatifs aux dépôts de type « playa », l'épaisseur varie de quelques centimètres à quelques mètres (deux mètres en moyenne).

III. Cadre tectonique et structurale

Le secteur d'étude fait partie du faisceau bordier du massif d'Arzew structuré en horsts et grabens. Le massif d'Arzew contient des éléments de la chaîne alpine du Tell septentrional, les formations de ce massif et le Djebel Khar ont subi les effets d'une phase tectonique à schistosité (fig.06). Le Calabrien monte régulièrement vers le nord ouest contre le massif d'Arzew.

Dans la partie sud de notre secteur, le Pliocène se relève légèrement, dessinant une aire synclinale allongée qui s'élargit vers l'est pour former la plaine de Télamine, et vers l'est l'accident du Djebel Khar – Tamzourah (AKT de Thomas, 1985) met en contact les séries Jurassico- Crétacé du Djebel Khar avec les dépôts Miocènes.

A l'est de la transversale d'Ain Franin – Tamzourah (au niveau de notre secteur d'étude), les sédiments Mio –plio- quaternaires montrent une épaisseur plus importante que celle du compartiment occidental.

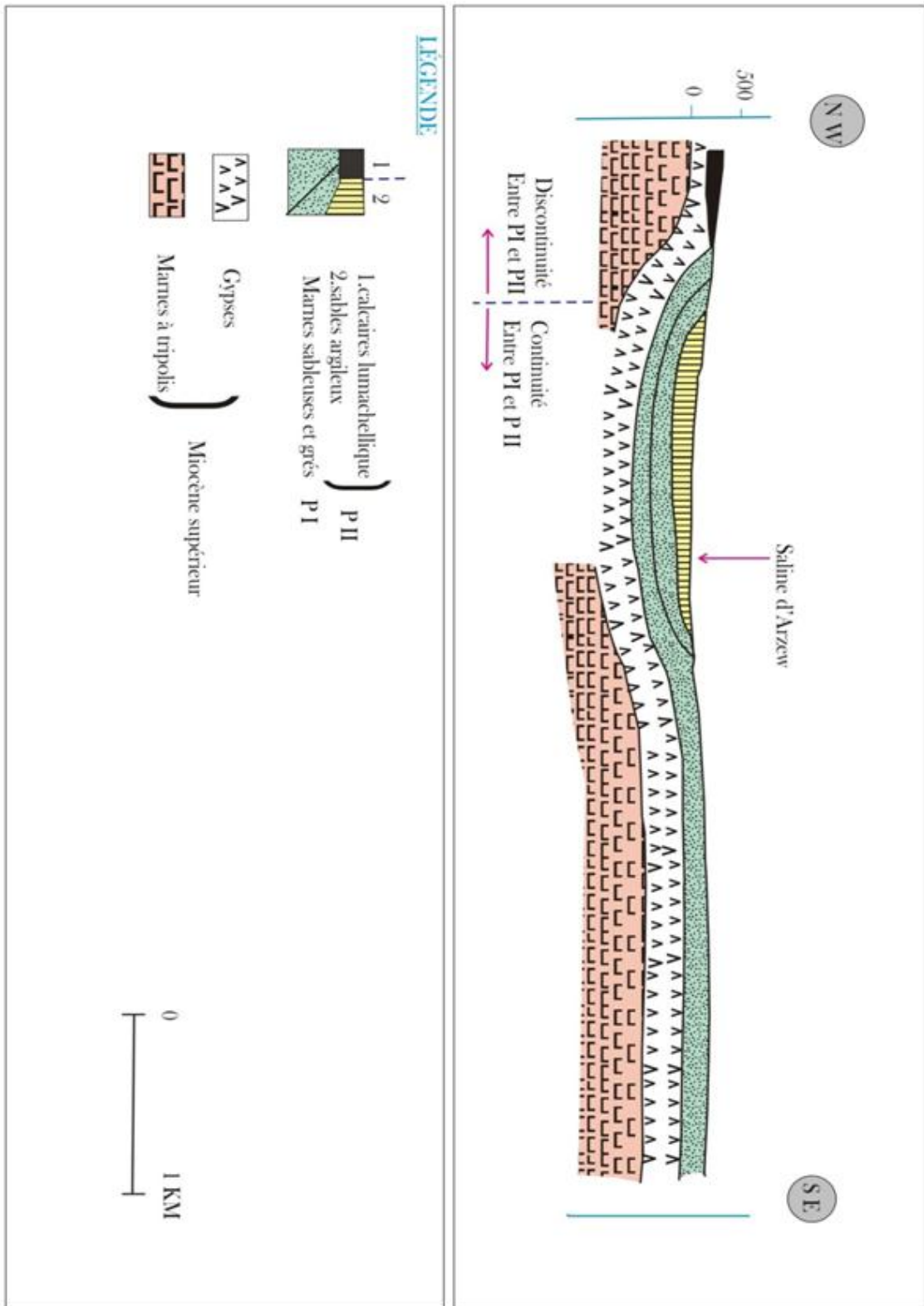


Fig.05 : coupe géologique synthétique

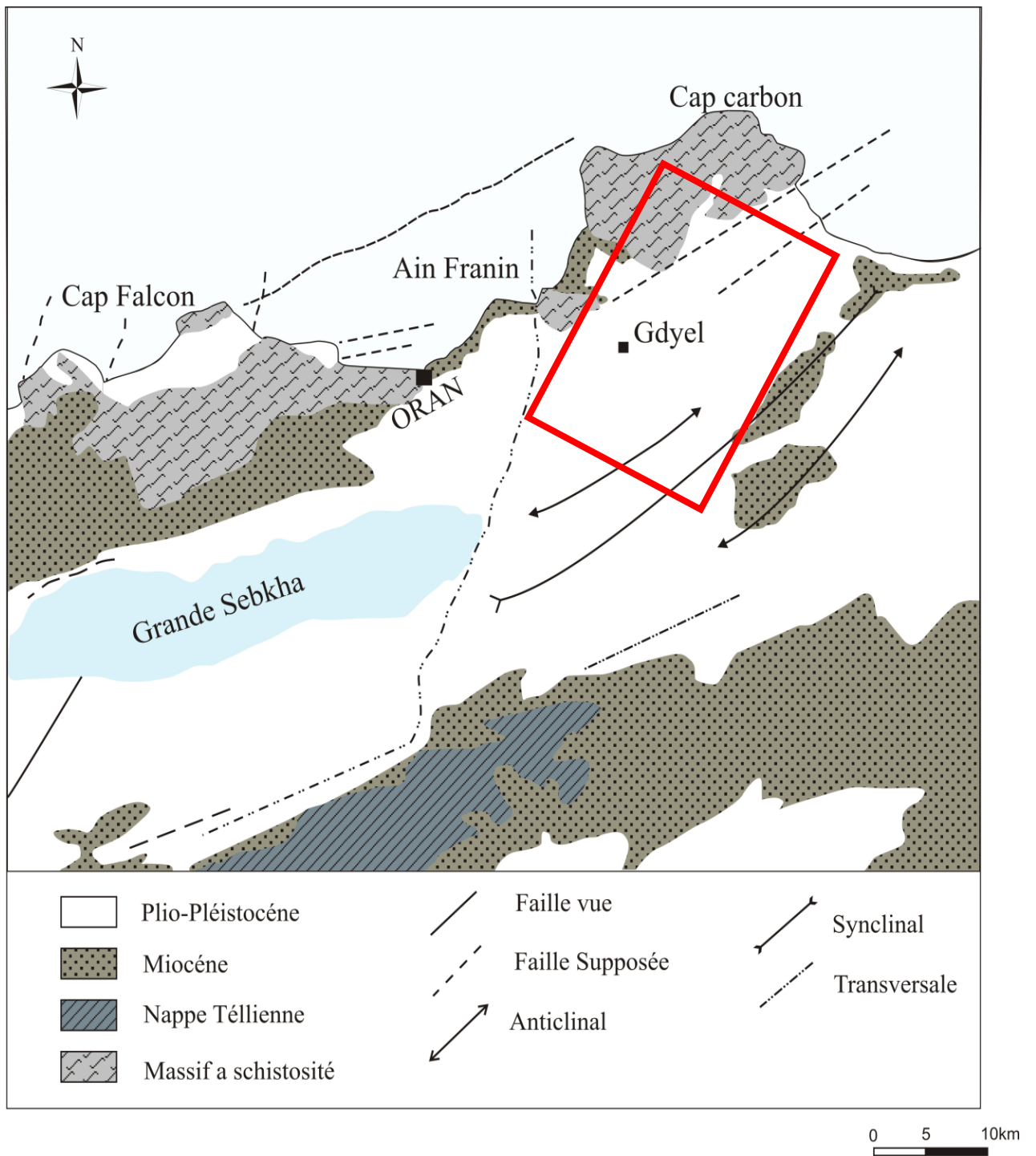


Fig.06 : schéma structural de l'Oranie (B. Fenet 1975).

CONCLUSION

Dans le secteur du massif d'Arzew nous pouvons résumer la colonne litho stratigraphique synthétique basée sur des données de terrains, des sondages antérieurs et des travaux de divers auteurs (d'après ANRH). De bas en haut on a

- Le substratum argilo- quartzitique (Permo- Triasique = Djebel Khar).
- Grés quartzites et schistes noirs ou gris et calcaire dolomitiques et schiste calcaireux (Jurassico- Crétacé = Djebels Orousse et Bourousse).
- Conglomérats et sables vers le sud de la cuvette des salines d'Arzew.
- Marnes bleues au centre de la cuvette passant latéralement à des marnes à gypses.
- Gypses à intercalations marneuses avec rarement quelques passées diatomitiques.
- Gypses à fines passées marneuses ou sableuses.
- Marnes grises du cycle Pliocène.
- Grés (dunaires ou sable ou encore des calcaires sableux)
- Calcaires lumachéliques.
- Intercalations irrégulières entre argiles rouges, sable et calcaires ou encore limons et croûte calcaire.

Chapitre

II

Chapitre 2 Hydroclimatologie et Hydrogéologie

I. Hydroclimatologie

Introduction

L'étude climatologique a été basée sur les principaux indices et paramètres climatiques qui sont :

les données de précipitations, de température et de l'évaporation, relevées au niveau des stations d'Es- Sénia et d'Arzew. Cette étude a permis de préciser le climat caractérisant notre secteur.

Nous avons résumé au (tab 01) les renseignements relatifs aux différentes stations.

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Paramètres	Période d'observation
Es- sénia	00° 36' w	35°38'N	90 M	P et T	(1990-2001)
Arzew	00° 16' w	35°49' N	03 M	P et T	(1990-2001)

Tab.01 : Stations Pluviométriques

1-Les paramètres climatiques

1-1.les précipitations

La région de l'Algérie nord a intéressé plusieurs auteurs qui ont établi plusieurs cartes pluviométriques (fig. 08), qui nous a permis de constater le régime pluvial de notre secteur.

1-1-1L'interprétation des cartes pluviométriques

L'interprétation des cartes montre que la plus importante quantité d'eau précipitée (600mm) à été enregistrée au niveau des massifs côtiers assez élevés (monts d'Arzew, Djebel Khar....).

Notre zone d'étude reçoit des précipitations annuelles comprises entre : 400-500mm.

1-1-2 Etude des précipitations mensuelles

Le tableau (tab.02) représente les précipitations mensuelles moyennes durant la période (1990-2001) de la station d'Arzew et celles de la station d'Es Sénia dont les données seront Prises comme référence pour une période d'observation de 11 ans.

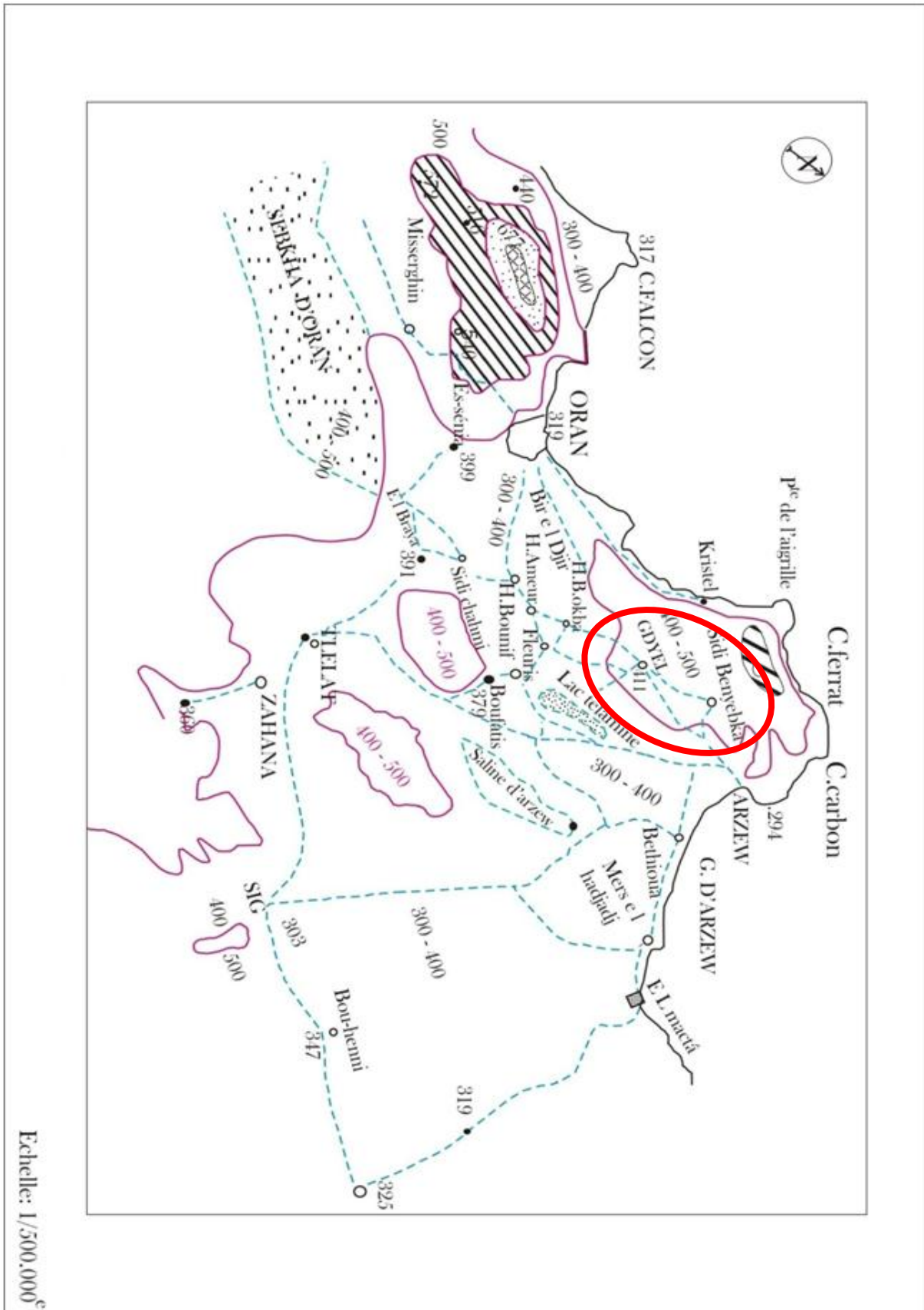


Fig.07 : carte de Précipitations moyennes mensuelles (H.gaussen et bagnols : 1913-1947)

Mois \ Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Es-Sénia	48.46	46.83	43.40	22.34	22.86	3.59	0.71	1.82	15.47	26.33	65.48	37.79	335.08
Arzew	33.80	35.97	31.54	27.26	17.12	2.74	1.62	1.17	18.07	27.47	60.61	28.30	285.67

Tab.02 : précipitations moyennes mensuelles des stations « Es- Sénia, Arzew » (1990-2001), d'après ANRH

- ❖ L'étude des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station d'Arzew (fig.09) a permis d'observer que la période pluvieuse débute au mois d'Octobre (27.47mm) et se termine au mois d'Avril (27.26). Au cours de cette période on remarque que le maximum des précipitations apparaît en Novembre (60.61mm) et le minimum en Août (1.17mm) et Juillet (1.62mm).
- ❖ Pour la station d'Es-Sénia la répartition des précipitations moyennes mensuelles (fig.09) indique que le mois le plus pluvieux est Novembre avec (65.48mm) et le mois le plus sec est Juillet avec (0.71mm).

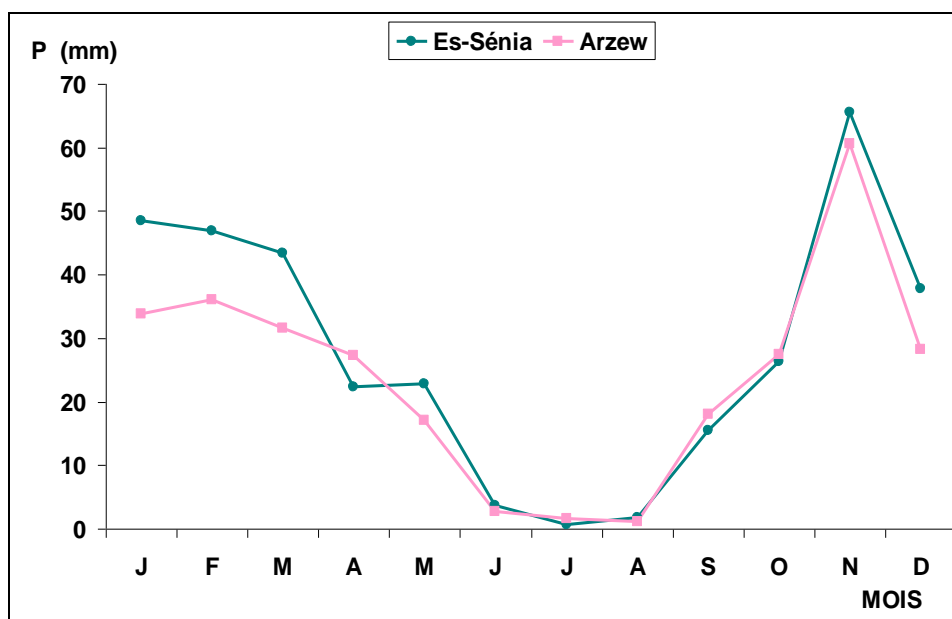


Fig.09 : Moyennes Mensuelles des précipitations (1990-2001)

1-1-3 Etude des précipitations moyennes annuelles

-Le tableau ci-dessous (Tab.03) représente les précipitations moyennes annuelles des stations d'Es-Sénia et d'Arzew pour la période « 1990-2001 ».

Station Année	Es-Sénia	Arzew
	P (mm)	P (mm)
1990-1991	353.45	284.65
1991-1992	345.01	301.25
1992-1993	328.90	241.25
1993-1994	272.90	238.60
1994-1995	314.70	267.45
1995-1996	373.50	267.50
1996-1997	311.50	259.50
1997-1998	256.00	236.50
1998-1999	326.50	272.50
1999-2000	339.50	321.00
2000-2001	375.04	384.50

Tab.03: Précipitations moyennes annuelles des stations « Es-Sénia, Arzew » (1990-2001), d'après ANRH

❖ L'étude des précipitations moyennes annuelles permet de remarquer au niveau des deux stations
a).Station d'Es Sénia

Le maximum des précipitations observées durant cette décennie s'est présenté en « 2000-2001 » avec (375.04mm) et le minimum avec (256mm) a été enregistré en « 1997-1998».

b). Station d'Arzew

La moyenne des précipitations annuelles est de (279.49mm).

Les années entre « 1990-2001 » ont enregistré le maximum des précipitations surtout pendant l'année « 2000-2001 » où on a (384.50). Cependant, l'année entre « 1997-1998 » a enregistré le minimum avec (236.50mm).

1-1-4 L'interprétation des Histogrammes

Les figures (fig.10-11) montrent les moyennes des précipitations annuelles.

L'année la plus pluvieuse de la période (1990-2001) a été enregistrée à la station d'Arzew (384.50mm), et la période la plus importante à la station d'Es-Sénia égale a (375mm).

Cependant, l'année la plus sèche apparaît à la station d'Arzew (236mm) puis à Es-Sénia (256mm).

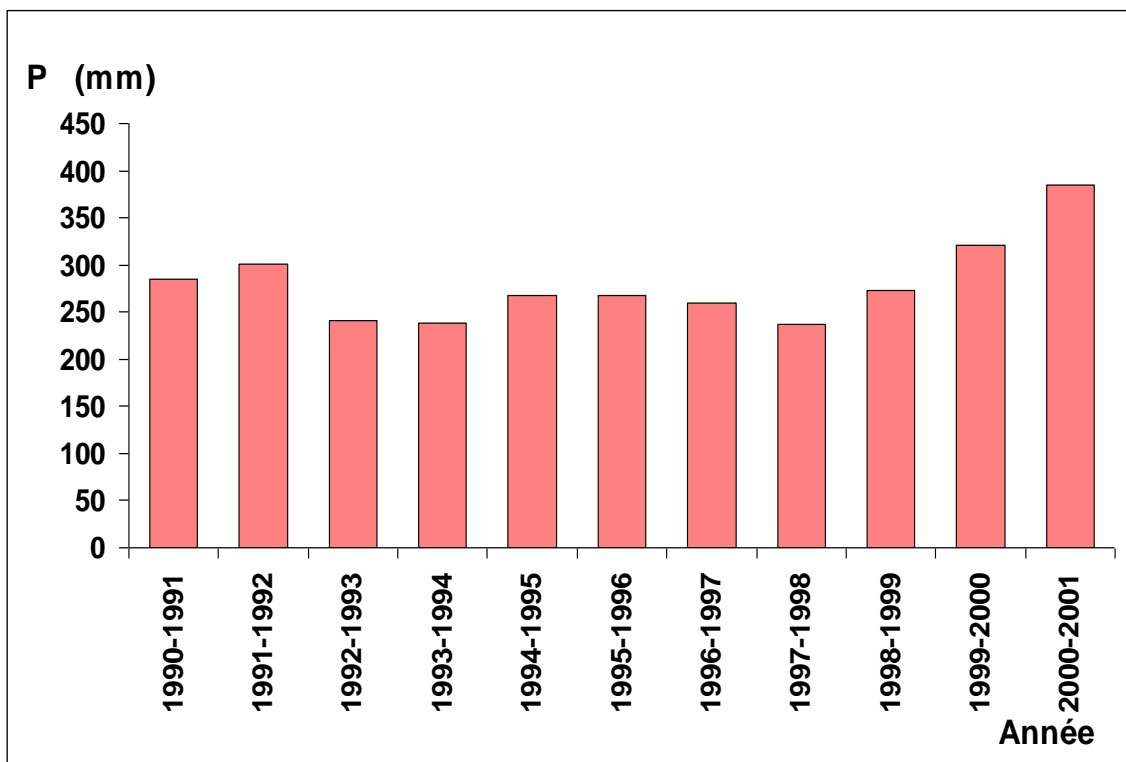


Fig.10 : Histogramme des Précipitations Moyennes Annuelles « Arzew » (1990-2001)

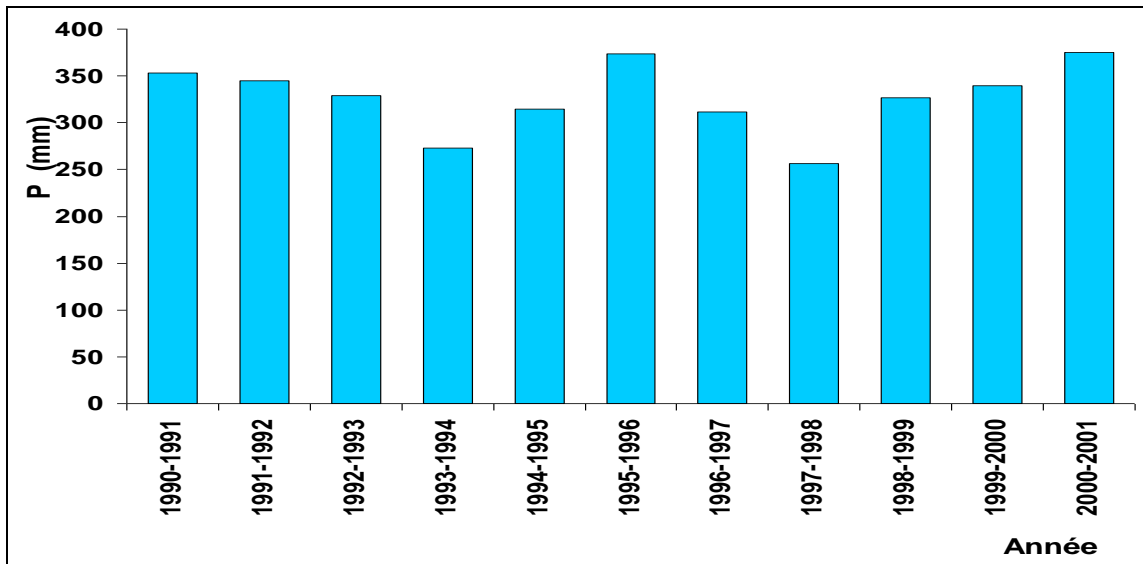


Fig.11: Histogramme des Précipitations Moyennes Annuelles « Es- Sénia » (1990-2001)

1-2 La température

a).Station d’Es Sénia

Les données des températures de la station d’Es Sénia sont pris comme référence au niveau de notre secteur d’étude. Le tableau 04 représente les températures moyennes mensuelles pour une période d’observations de 11ans.

mois T(c°)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOY Ann.
	M (c°)	16.75	18.00	20.24	21.70	24.38	27.84	30.63	32.08	28.98	24.91	20.21	17.53
m (c°)	5.39	6.41	8.65	10.15	18.83	17.18	19.79	20.66	18.03	14.19	10.07	6.76	12.59
M+m/2	11.07	12.20	14.44	15.92	19.10	22.51	25.21	26.37	23.50	19.55	15.14	12.14	18.09

Tab.04 : Températures Moyennes Mensuelles de la station « Es Sénia » (1990-2001), d’après

ANRH

-La fig.12 représente la variation des températures moyennes mensuelles à la station d'Es Sénia pour la période « 1990-2001 ».

A partir de ces variations on constate que le mois de Janvier a enregistré la plus faible température (11.07 c°) alors que le mois d'Août est le plus chaud avec une température de (26.37 c°).

b).Station d'Arzew

Les données sont représentées au tableau05.

Mois T(c°)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOY Ann.
M(c°)	17.18	17.68	18.92	20.43	22.58	25.34	27.80	29.28	27.23	23.71	20.23	18.00	22.36
m (c°)	9.04	9.63	11.56	12.55	16.16	19.48	21.93	23.14	20.80	17.05	12.92	10.37	15.38
M+m/2	13.11	13.65	15.24	16.49	19.37	22.41	24.86	26.21	24.01	20.38	16.57	14.18	18.87

Tab.05 : Températures Moyennes Mensuelles à « Arzew » (1990-2001)

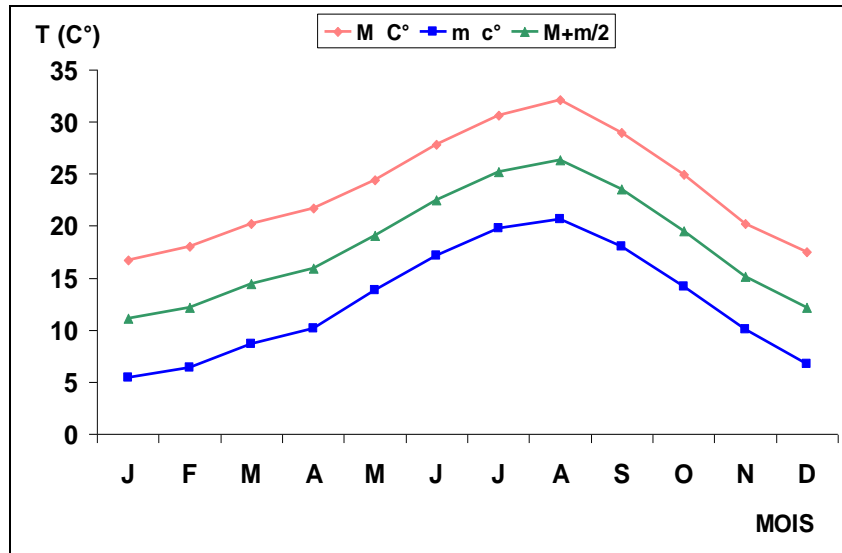


Fig.12 : Variation des Températures Moyennes Mensuelles « Es Sénia » (1990-2001)

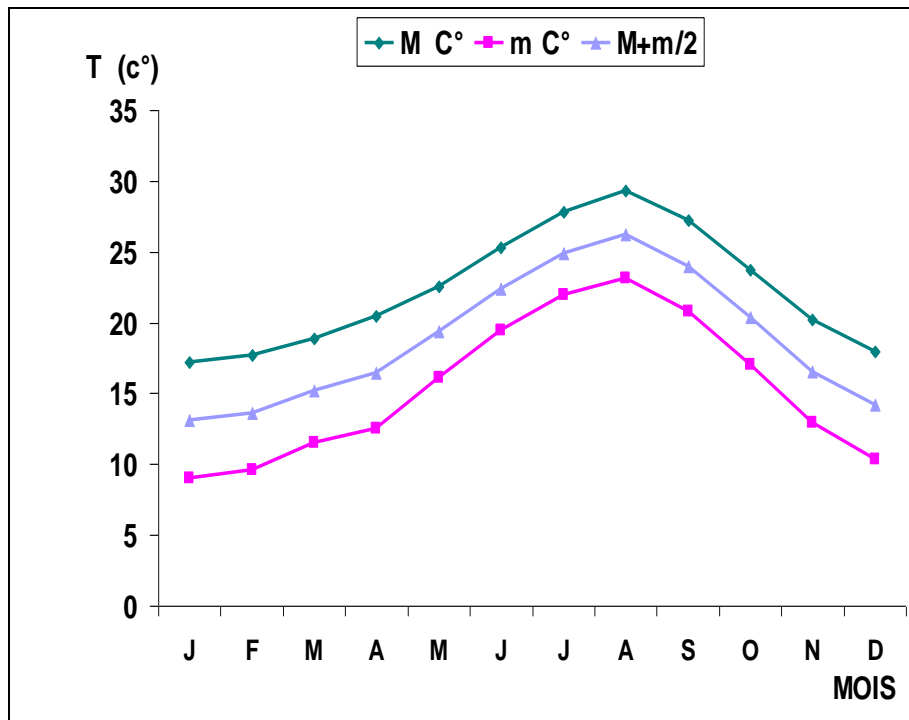


Fig.13: Variation des Températures Moyennes Mensuelles « Arzew » (1999-2001)

-La courbe des variations des températures moyennes mensuelles d'Arzew (fig.13) indique que le mois de Janvier est le plus froid ($T=13.11c^{\circ}$) et le mois d'Août est le plus chaud ($T=26.21c^{\circ}$) dont l'écart entre les deux mois est ($T=13.1c^{\circ}$).

1-3 La relation Température - Précipitations

a).Station d'Arzew

Le tableau (tab.06) ci -dessous représente les températures et les précipitations moyennes mensuelles de la station d'Arzew.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
T C°, P (mm)												
T Moy. Mensuelles	13.11	13.65	15.24	16.49	19.37	22.41	24.86	26.21	24.01	20.38	16.57	14.18
P Moy. Mensuelles	33.80	35.97	31.54	27.26	17.12	2.47	1.62	1.17	18.07	24.47	60.61	28.30

Tab.06: Précipitations et Températures Moyennes Mensuelles de la station d'Arzew

a).1.Le diagramme pluviométrique de la station d'Arzew (fig.14)

La courbe de température passe au dessus de celle des précipitations pendant les mois secs entre (Mars- Août). Cependant la période humide débute à Septembre -Octobre et se termine en Février -Mars.

a).2.La courbe Ombrothermique de la station d'Arzew (fig.15)

Cette courbe permet de calculer la valeur du déficit et celle de l'excédent dont la période déficitaire est comprise entre Mai et Septembre et Octobre, l'excédent débute au Septembre -Octobre et se termine au Avril.

b).Station d'Es- Sénia

Les données de températures et précipitations moyennes mensuelles de la station d'Es-sénia représentées dans le tableau suivant (tab.07)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T C°												
P (mm)												
T Moy. Mensuelles	11.07	12.20	14.44	15.92	19.10	22.55	25.21	26.37	23.50	19.55	15.14	12.14
P Moy. Mensuelles	48.46	46.83	43.40	22.34	22.86	3.59	0.71	1.82	15.47	26.33	65.48	37.79

Tab.07 : Précipitations et Températures Moyennes Mensuelles de la station d'Es-sénia

b).1.Le diagramme pluviométrique (fig.16)

La même remarque pour la station d'Es-sénia, la courbe de température passe au dessus de la courbe de précipitation.

La période humide débute à Septembre et se termine au Mars.

b).2.la courbe Ombrothermique (fig.17)

Le déficit débute à Avril- Mai et se termine en Septembre- Octobre.

L'excédent se situe entre Octobre et Avril.

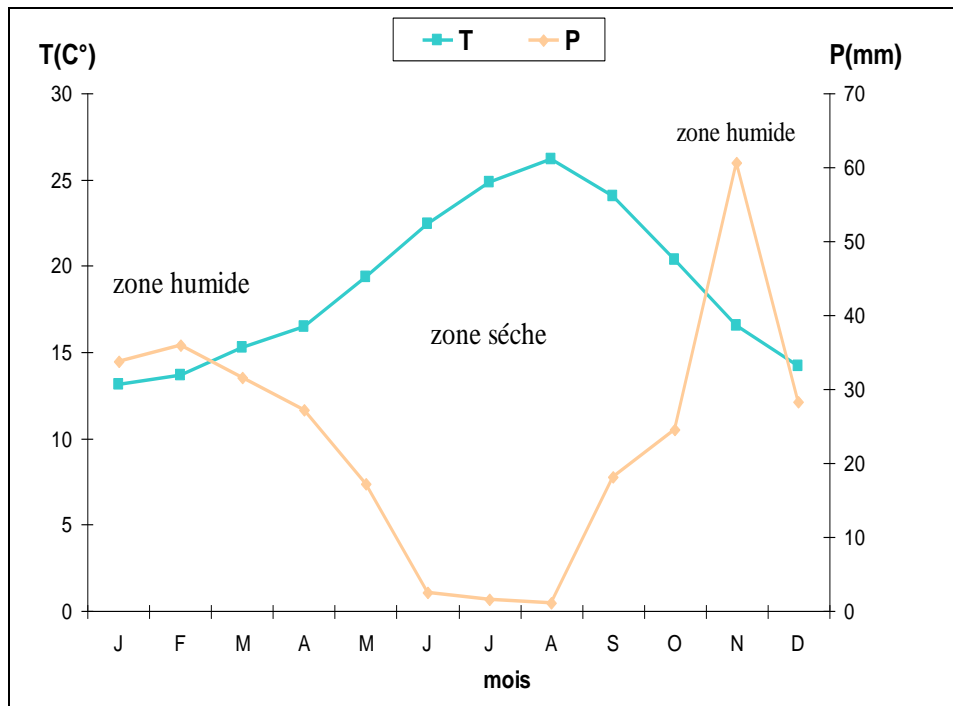


Fig.14: le diagramme Pluviothermique de la station d'Arzew

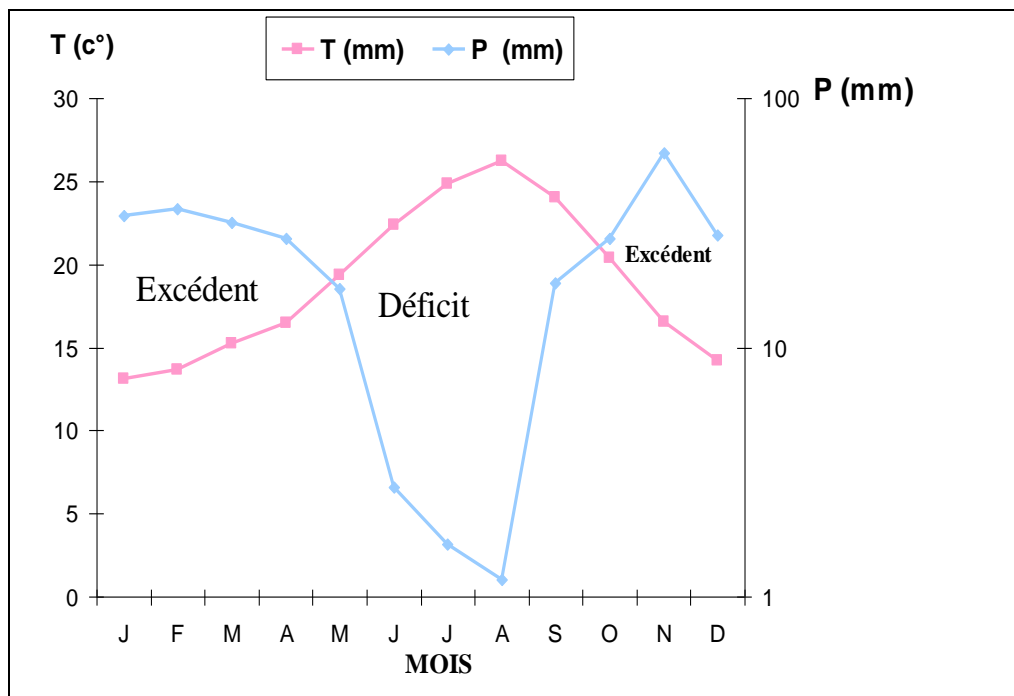


Fig.15: la courbe Ombrothermique de la station d'Arzew

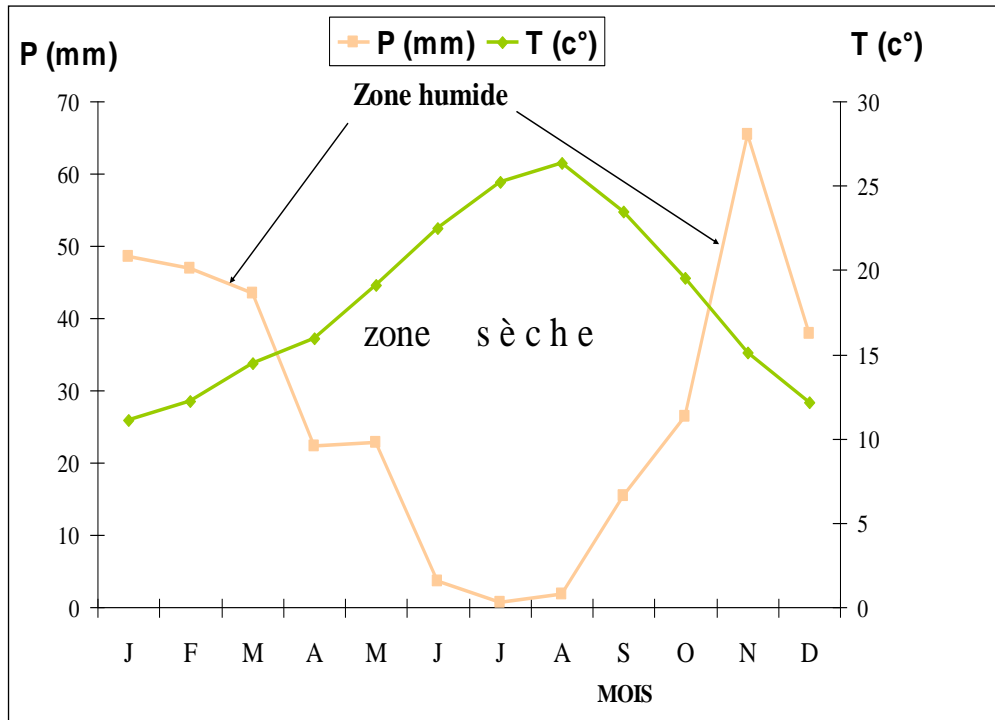


Fig.16 : le diagramme Pluviothermique de la station d’Es Sénia

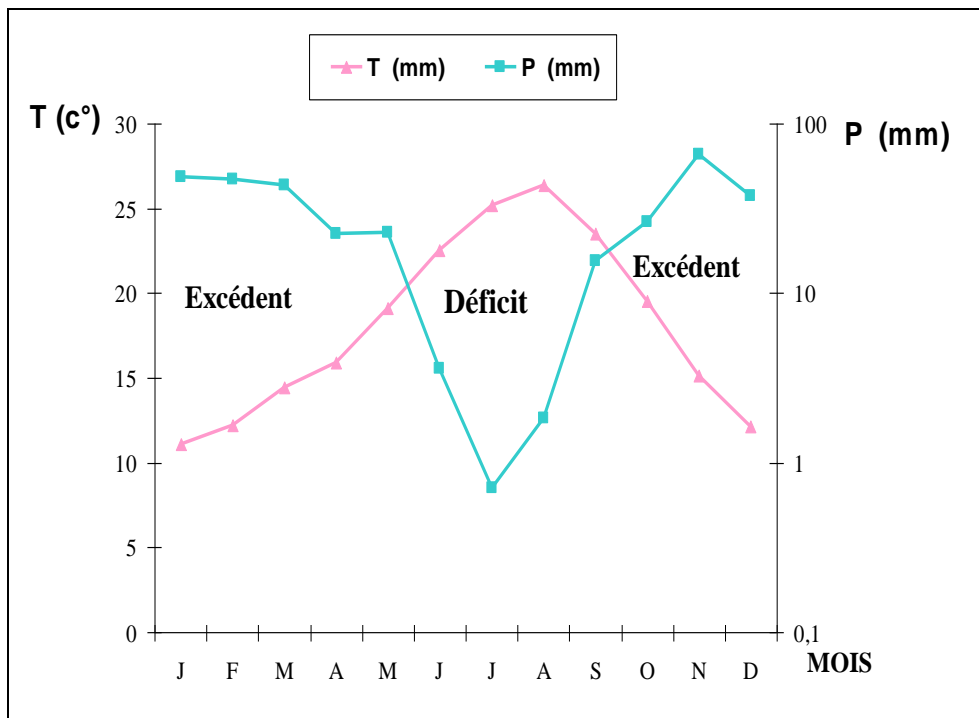


Fig.17 : la courbe Ombrothermique de la station d’Es Sénia

- Le tableau suivant (tab.08) représente les résultats du déficit et l'excédent des deux stations

Résultat Station	Déficit	Excédent
Es –Sénia	295mm	45mm
Arzew	250mm	65mm

Tab.08: les résultats de déficit et l'excédent des deux stations

2. Les indices climatiques

2.1. Méthode de De Martonne

1. Indice d'aridité annuel (I)

On peut calculer cet indice par la formule : $I_{(a)} = P/T + 10$

Dont :

-**P** : Précipitations Moyennes annuelles en mm

-**T** : Températures Moyennes annuelles en (c°)

a). Station d'Arzew

$$P=285.67 \text{ (mm)} \quad I = 285.67/18.87+10$$

$$T=18.87 \text{ (c°)} \quad I_{(a)}=10$$

b). Station d'Es Sénia

$$P=335.08 \text{ (mm)} \quad I=335.08/18.09+10$$

$$T=18.09 \text{ (c°)} \quad I_{(a)}=12$$

➤ Le tableau (tab.09) représente les valeurs de l'indice d'aridité des deux stations.

Station	Es -Sénia	Arzew
Années	1990-2001	1990-2001
$I_{(a)}$	12	9.89

Tab.09 : valeurs de l'indice d'aridité (**I**)

($I < 5$) régime hyperaride

($5 < I < 10$) climat désertique

($10 < I < 20$) climat semi-aride

($I > 20$) climat tempéré

➤ Les résultats montrent que les valeurs de la station d'Arzew se caractérisent par un régime semi-aride, et celles d'Es -Sénia se caractérisent par un régime semi-aride .On détermine ces valeurs à l'aide de l'abaque d'indice d'aridité (fig.18).

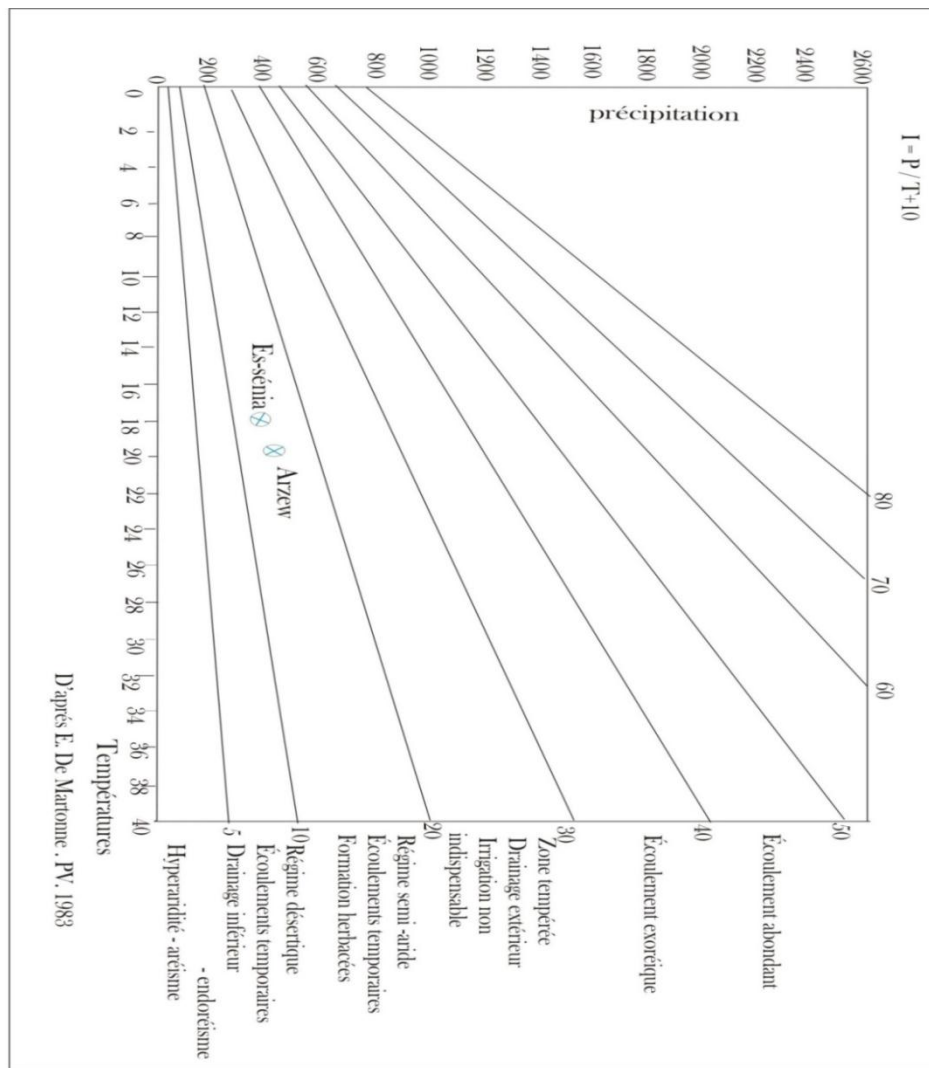


Fig.18 : Abaque d'indice d'aridité

3. Etude de l'Evaporation

Le tableau ci-dessous (tab.10) représente les évaporations annuelles des deux stations.

Mois Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOY. annuel
Es Sénia	68.1	75.1	98.6	134. 2	149. 0	171. 2	177. 9	181. 5	145. 8	109. 3	77.5	66	1454.2
Arzew	116. 7	102. 2	108. 9	148. 8	138. 1	139. 2	136. 4	137. 9	141. 4	118. 3	112. 9	117. 6	1518.4

Tab.10 : l'Evaporation mensuelle des deux stations

a).Station d'Arzew

On observe que le maximum d'évaporation a eu lieu au mois d' Avril (148.8mm) suivi d'un maximum secondaire en Septembre (141mm) et le minimum en Février (102.2mm).

b).Station d'Es-Sénia

Le maximum d'évaporation est atteint en Août (181.5 mm) et Juillet (177.9mm) et le minimum apparaît en Décembre (66mm).

Conclusion

L'étude des précipitations a été basée sur l'ancienne étude qui est présentée par les cartes pluviométriques et l'étude récente relevée au niveau des stations d'Es-sénia et d'Arzew.

Cette étude nous a permis de distinguer une lame d'eau comprise entre : 400-500mm.

La visualisation graphique des paramètres et les calculs des indices climatiques a permis de préciser la position et l'importance des périodes sèches et humides ; ce qui conduit à considérer que la région jouit d'un climat semi- aride.

II. Hydrogéologie

Introduction

Les différentes études hydrogéologiques établies au niveau des piémonts des monts d'Arzew sont basées sur

- L'étude géologique de surface.
- les logs des puits, sondages et forages réalisés dans la région qui permettent d'évaluer la potentialité hydraulique des formations litho- stratigraphiques et de préciser les niveaux aquifères.

1. Aperçu hydrogéologique

Nous examinerons ici les principales caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations :

a).Le substratum

a₁.Le Trias

Les formations du Trias paraissent ne représenter aucun intérêt hydrogéologique du fait que la salinité est probablement très élevée à cause de la présence des diapirs.

a₂.Les formations Jurassico- Crétacées

En raison des complications liées aussi bien à la structurale qu'à la datation, on réunit la série stratigraphique du Jurassique du Djebel Ourousse et du Crétacé sous une même entité pour faciliter la phase d'interprétation.

Ce faciès essentiellement schisteux, très puissant, avec des intercalations de calcaires, de calcaires dolomitiques, de conglomérats et de grès est présent dans l'ensemble de l'allochtone du massif d'Arzew.

Les formations Jurassico - Crétacé apparaissent comme un aquifère potentiel, vu que le forage implanté à Hassi Mefssoukh, produit à partir de cette formation un débit estimé à 35l/s

b).La couverture

b₁.Miocène

Il s'étend sur toute la région, il est peu tectonisé mais érodé à sa partie supérieure qui a été recouverte par le Pliocène marin transgressif. Ces dépôts peu épais, ont été en partie érodés et remaniés avant d'être surmontés par (le Pliocène supérieur, Gardie et Bellon, 1985). Parmi les formations du Miocène qui se trouve dans notre région :

b_{1.1}.les marnes bleues

Elles sont pratiquement imperméables sur tout le secteur. Elles assurent l'étanchéité en profondeur du mur des aquifères sus-jacents. Celles-ci jouent un rôle hydrogéologique en servant de mur imperméable aux différentes nappes de la région.

b_{1.2}.les tripolis du miocène

Leur imperméabilité n'est pas absolue, elles sont semi-perméables. Cette formation peut constituer avec les calcaires récifaux un aquifère assez important.

b₂.Le Pliocène

Les formations du Pliocène supérieur composées essentiellement de grès d'une épaisseur de 100 à 150 mètres, peuvent constituer un ensemble aquifère intéressant dont le mur est représenté soit par les marnes sous-jacentes du Pliocène inférieur (100 à 150 m) soit par les marnes et gypses du Miocène supérieur. Cet ensemble du Pliocène se termine en biseau à l'aplomb des crêtes de Djebel Khar et les monts d'Arzew pour laisser place aux affleurements du Calabrien qui prend une grande extension au niveau de la zone des plateaux.

b₃.Le Quaternaire

Les lumachelles très consolidées du Calabrien (néanmoins ils peuvent correspondre au Plio-Pléistocène), ne représentent qu'un faible potentiel aquifère dans le secteur étudié. Cependant leur impluvium de bonne perméabilité peut jouer un rôle dans l'alimentation de l'aquifère du Pliocène du fait qu'elles sont largement répandues sur le plateau de Boufatis (Saint Louis).

Ils sont généralement en continuité hydraulique avec des alluvions quaternaires constituant ainsi une seule nappe. Les eaux de cette nappe Plio- Quaternaire sont minéralisées chlorurées sodiques avec un résidu sec de 2 à 4 g/l.

En définitive, on peut considérer que les sables et grés du Pliocène forment avec les sables limoneux quaternaires, un seul système hydrogéologique.

Le mur de l'aquifère Plio- Quaternaire est constitué soit par les marnes du Pliocène soit par les marnes gypseuses du Miocène.

Les teneurs assez élevées en sulfates dans les eaux du Plio- Quaternaire (pouvant atteindre plus de 700mg/l) témoignent de l'influence des gypses sur la nature chimique des eaux.

Dans le sondage de Hassiane Ettoual (Fleurus) ; une nappe a été rencontrée au niveau des gypses Miocènes, sous le Calabrien calcaire, à une profondeur de 101mètres (d'après ANRH).

2. Présentation des coupes

Les coupes lithologiques des sondages et forages ont permis de préciser les limites et la profondeur des aquifères qui se trouvent dans la région.

2.1. Sondage de Gdyel (G1-fig.19)

Le quaternaire

- ✓ 0-3m : Grés rouge ferrugineux.
- ✓ 3-7.5m : Marnes brunâtres et schistes beiges jaunes.
- ✓ 7.5-11m : Schistes beiges à jaune (éléments schisteux (galets)).
- ✓ 11-13m : Calcaire brun à beige gréseux.

Le pliocène

- ✓ 13-21m : Argile jaune à beige.
- ✓ 21-23m : Calcaire brun gréseux.
- ✓ 23-32m : Argiles jaune à beige.
- ✓ 32-70m : Alternances : calcaires brun gréseux et argiles jaune à beige.

Jurassique

- ✓ 70-113m : Calcaires gris dolomitique avec passages de marnes grises indurées
 - Feuilletées et veines de quartz.
- ✓ 113-128m : Marnes avec petits passages de calcaire.
- ✓ 128-173m : Calcaires grises dolomitiques avec un passage de veines de quartz et Marnes grises.
- ✓ 173-200m : Marnes grises, sombres indurées feuilletées avec passages de Schiste grises sombres et calcaires dolomitiques avec traces de Gypse et d'anhydrite.

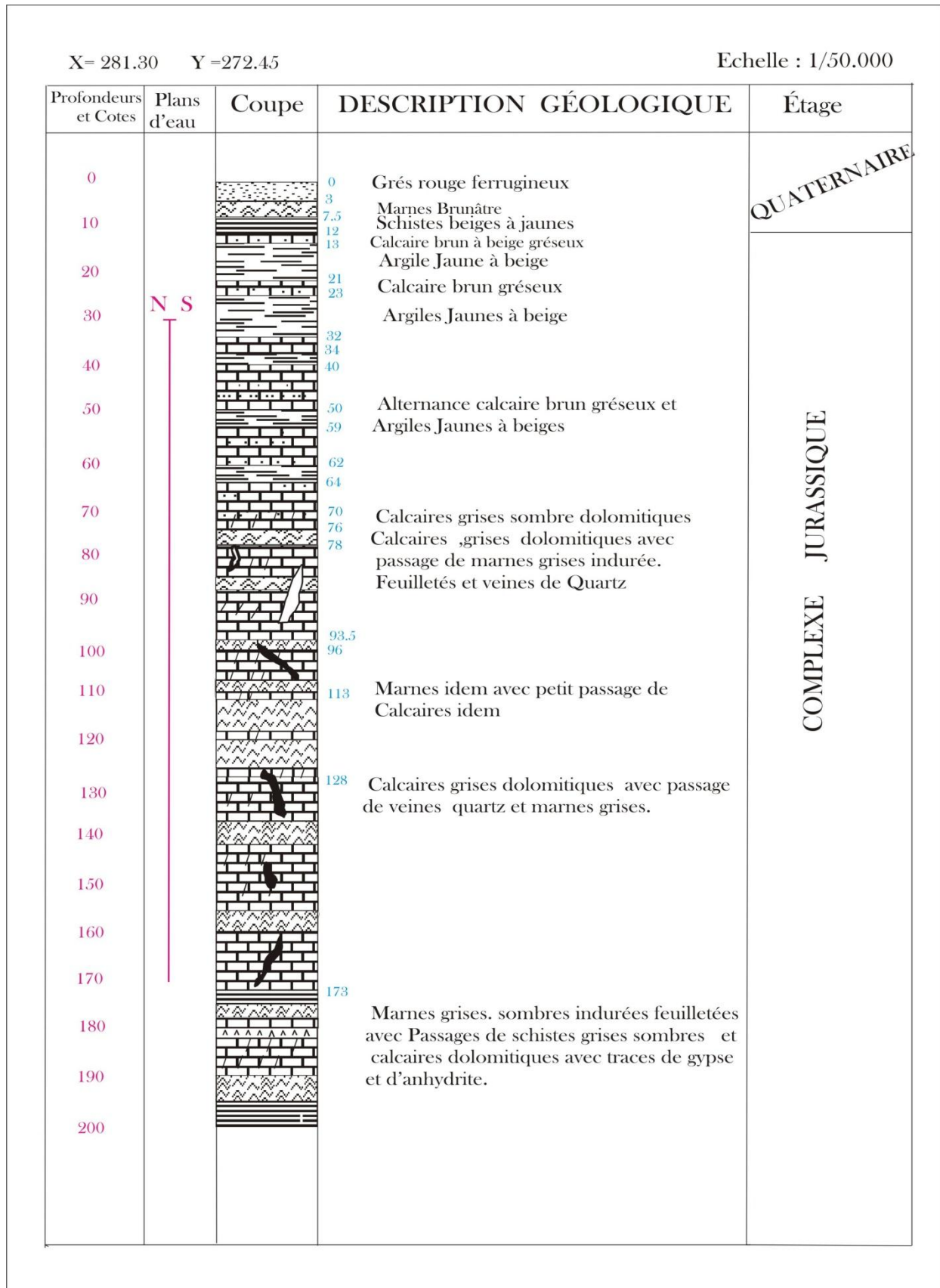


Fig.19 : Sondage de Gdyl (D'après ANRH)

2.2. Sondage de Sidi Benyebka (fig.20)

- 0-6m : Argiles briques carbonatées.
- 6-17m : Grés sombres, rose siliceux dolomitique.
- 7-30m : Schistes violacés avec intercalation de grés et veine de calcite.
- 30-45m : Marnes accompagnées de veine de quartz et calcite.
- 45-52m : Intercalation de marnes grises.
- 52-75m : Grés sombre avec intercalation de marnes
- 75-80m : Veines de calcite et quartz.
- 80-112m : Alternance de : grés gris, rose (dolomitique, argileux), marnes grises indurées et feuilletées.
- 12-170m : Intercalation de grés, sables, marnes.
- 170-200m : Grés gris, rose pyriteux avec intercalations de sable, marnes et Schistes noirs.
- 200-225m : Intercalation de calcaire siliceux, grés pyriteux et argile brique Plastique.
- 225-245m : Accumulation bréchiq millimétrique (polygéniques).
- 245-270 m : Argile brune, brique parfois plastique avec traces de brèche.

2.3. Sondage de Hassian-Ettoual (fig.21)

- 0-7.5m : Encroûtement calcaire.
- 7.5-22m : Argile sableux et grés tendre.
- 22-76 m : Calcaire gréseux avec des passées de marnes.
- 76-183m : Gypse massif avec des passées marneuses au delà de 140m.

2.4. Sondage de Hassi Mefsoukh (fig.22)

- 0-3m : Argiles beiges brune carbonatées.
- 3-12m : Calcaires blancs beiges, siliceux parfois argileux.
- 12-20m : Grés à ciment siliceux.
- 20-40m : Calcaire dolomitique avec intercalations de marnes grises feuilletées et Schistes violets roses.
- 40-50m : Grés siliceux, quartzite.
- 50-70m : Intercalation de dolomies noire siliceux et schiste noire quartzite.

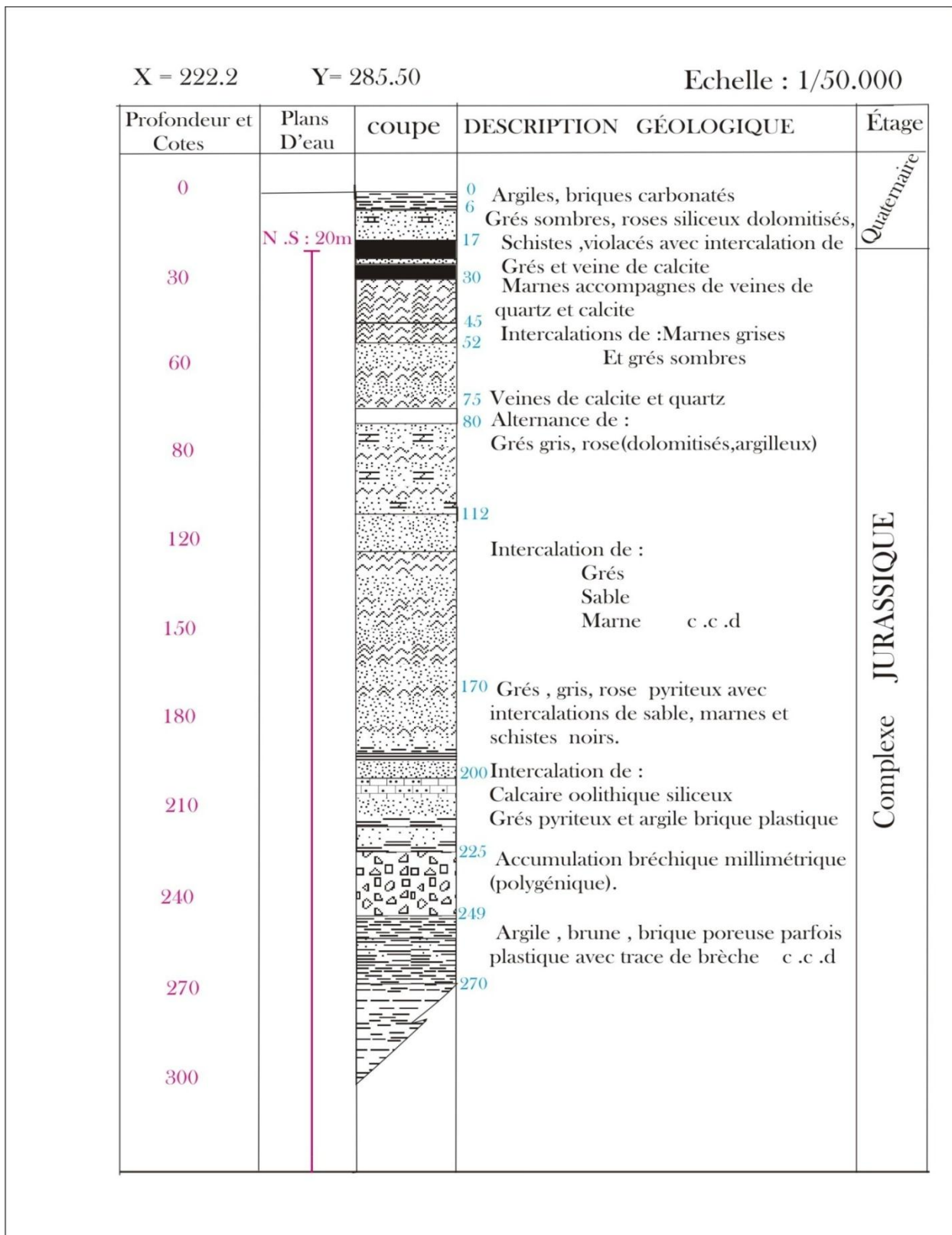


Fig.20: Sondage de Hassi Benyebka (D'après ANRH)

X = 143.55 Y = 240.150

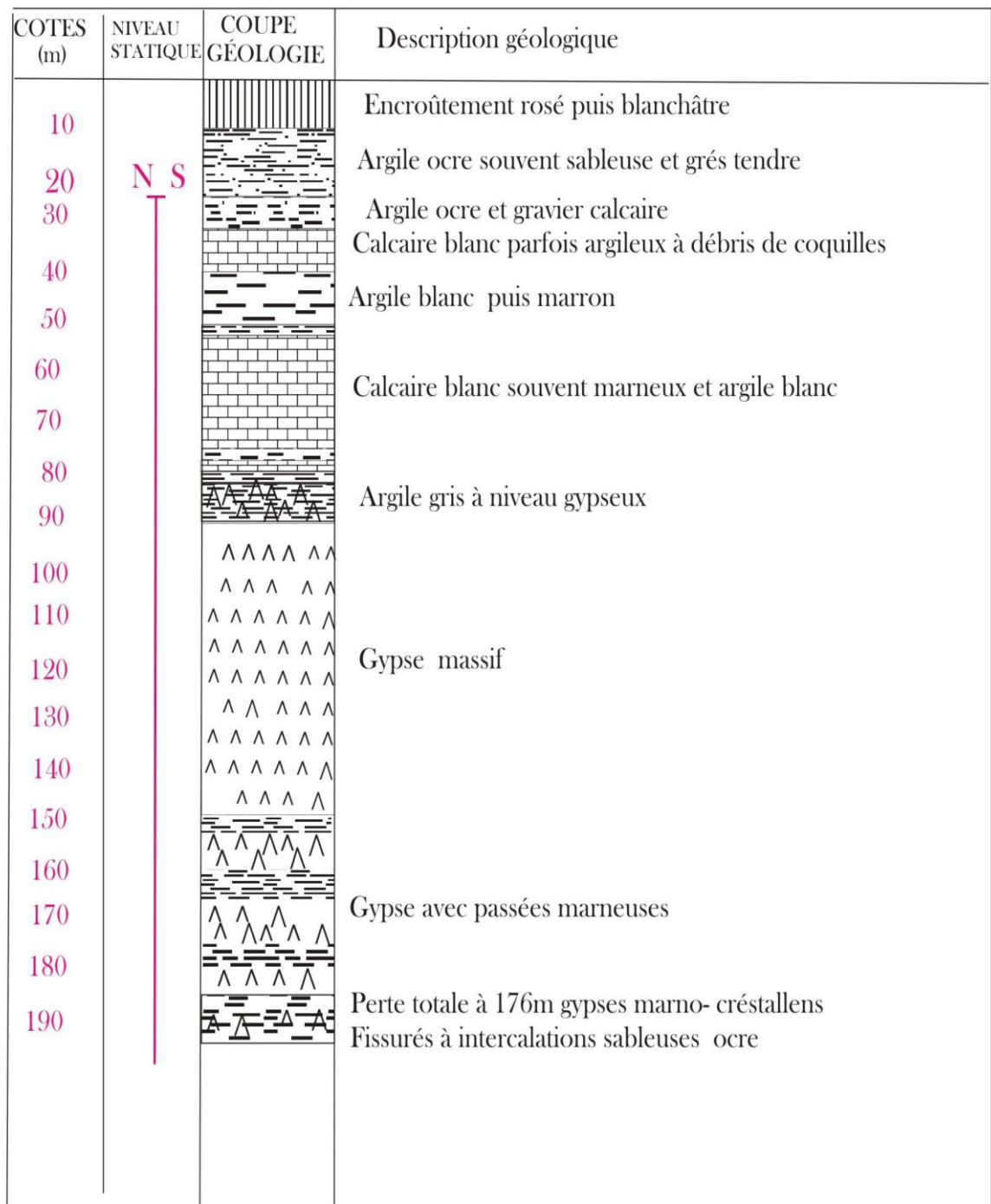


Fig.21 : Sondage de Hassian Ettoual (Fleurus), (D'après ANRH).

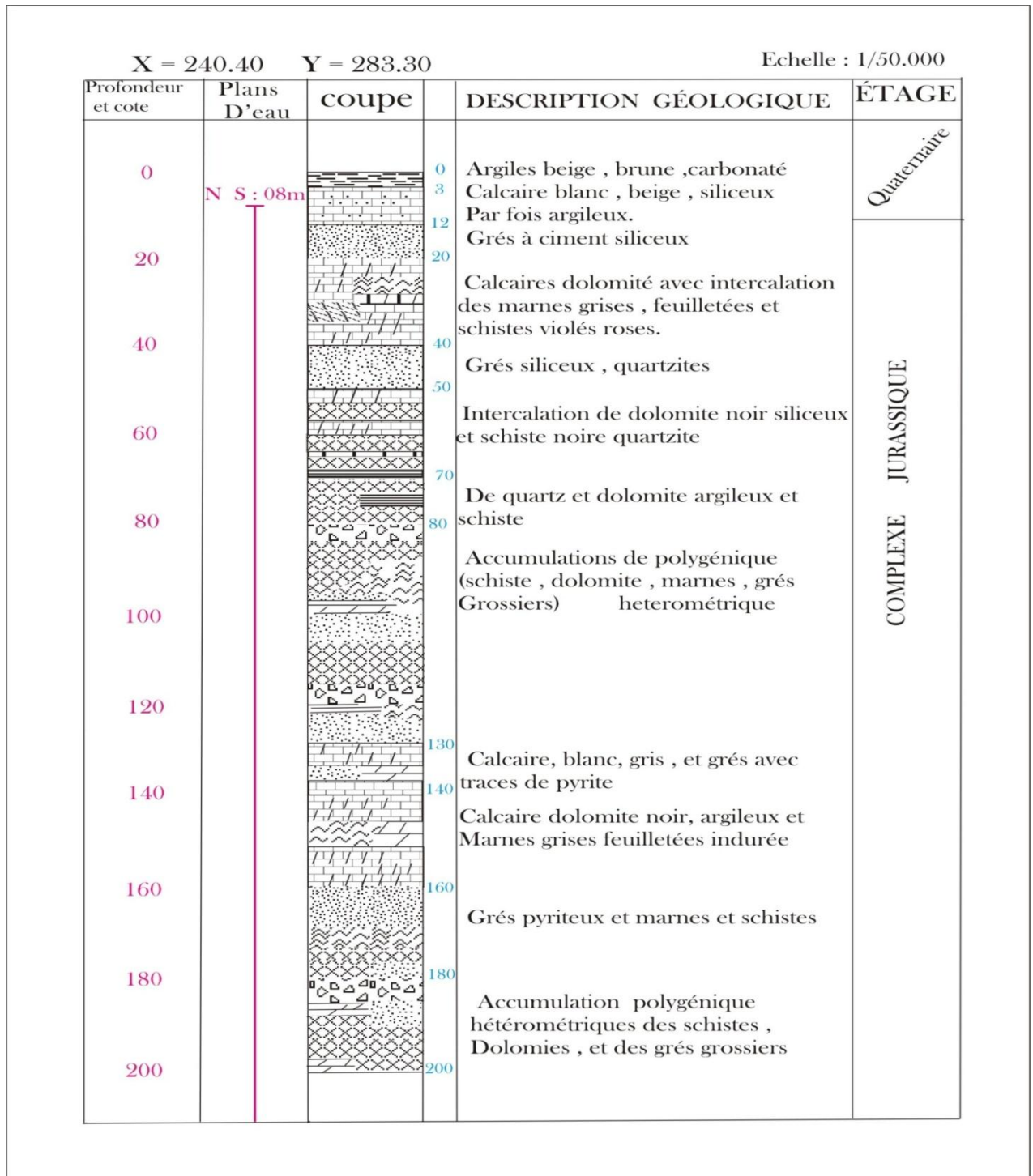


Fig.22 : Sondage de Hassi Mefsoukh (D'après ANRH).

- 70-80m : Quartzite et dolomite argileuse et schiste.
- 80-130m : Accumulation polygéniques hétérométrique (schistes, dolomies Marne, grés grossiers)
- 130-140m : Calcaire blanc, gris et grés avec traces de pyrite.
- 140-160m : Calcaire, dolomite noire, argileux et marnes grises feuilletées Indurées.
- 160-180m : Grés pyriteuses ; marnes et schistes.
- 180-200m : Accumulation polygénique hétérométriques des schistes, dolomies et des grés grossiers.

2.5. Forage de Hassi Mefsoukh (fig.23)

D'une profondeur de 320m, ce forage recoupe trois étages :

-Le Quaternaire (0-20m) – le Miocène (20-172m) –le Jurassique (172-320m et plus).

- Le Quaternaire comporte la succession lithologique suivante :

0-10m : Carapace calcaire.

10-20m : Argiles jaunâtre, grises, verdâtres et sableuses.

- Le Miocène comporte la succession lithologique suivante :

20-72m : Marnes grises sombres tendres et gonflantes.

72-150m : Marnes parfois indurées avec passages de grés gris.

- Le Jurassique comporte la succession lithologique suivante :

172-220m : schistes noirs, sombres et marnes grises indurées avec intercalation de calcaires noirs oolitique siliceux et rarement des veines de quartzites.

295-320m : schistes noirs avec intercalations de grés.

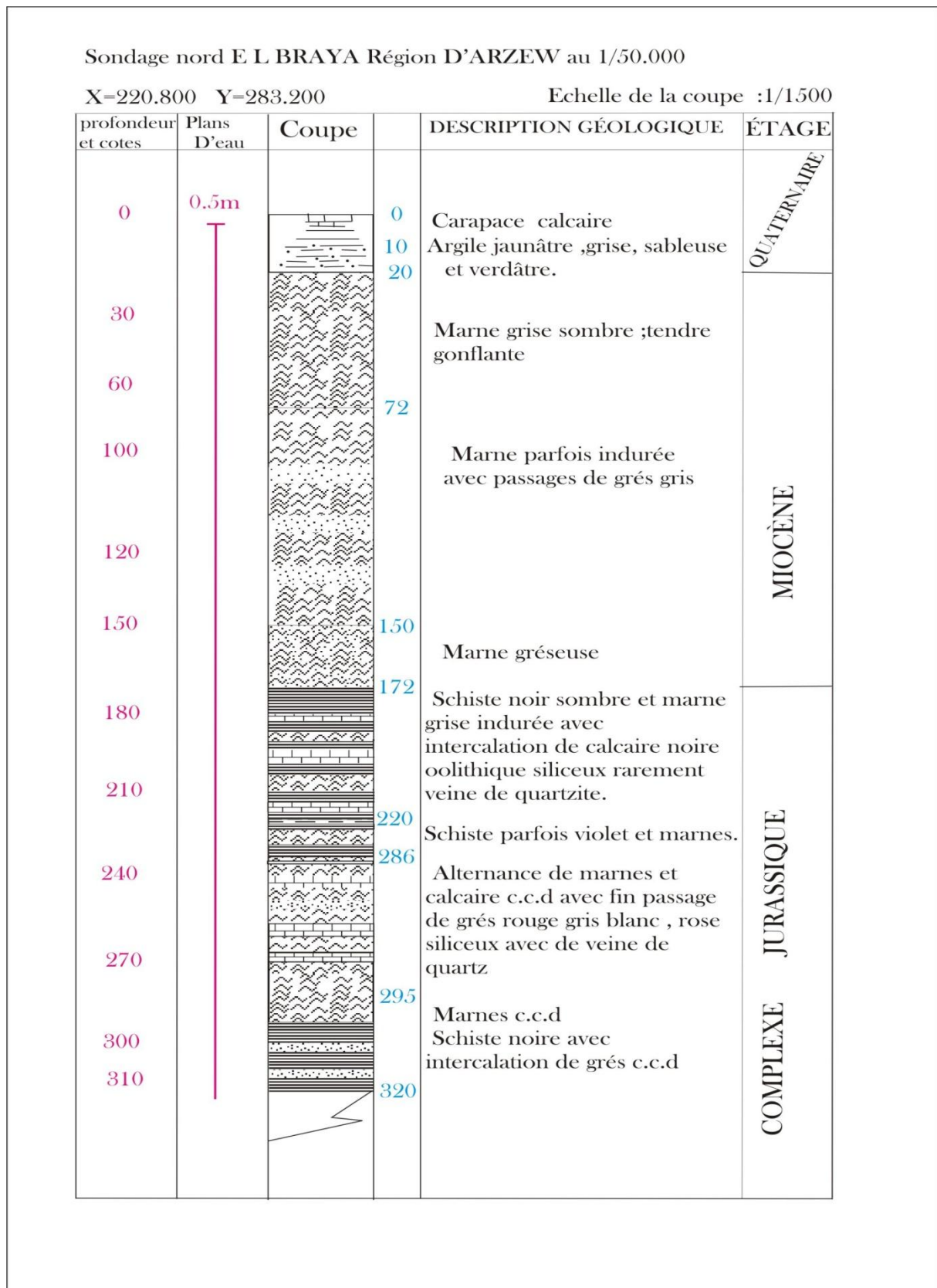


Fig.23 : forage de Hassi Mefsoukh (D'après ANRH).

3. Etude des aquifères

Les coupes des puits, sondages et forages de la région étudiée (Gdyel-sidi Ben yebka) et quelques régions qui se trouvent à proximité, nous ont permis de mettre en évidence plusieurs niveaux aquifères constituant deux principaux réservoirs :

- L'aquifère multicouche à nappe libre : formé par les formations de recouvrement Plio-Quaternaire.
- La zone fissurée des calcaires dolomitiques du Lias.

3.1. Les formations Plio-Quaternaires

L'aquifère plio-quaternaire constitué par la superposition des 03 niveaux d'aquifères forment un seul système aquifère multicouche à nappe libre.

Elle est limitée latéralement par les schistes imperméables du Djebel Khar et des monts d'Arzew. Cet aquifère se termine en biseau au contact des schistes qui constituent une limite étanche.

Les trois niveaux sont :

3.1.1. La formation alluvionnaire

Formés par le Quaternaire laguno-lacustre du sillon médian, il est peu profond comportant à la base des alluvions quaternaires, qui s'étendent de l'Est du Village de Hassi Bounif, au Sud des trois Hassi jusqu'en bordure du lac Télamine.

Cet aquifère est formé par des alluvions de nature très variées : argile, croûte calcaire, limons et gypse, éléments de schiste et calcaire.

L'eau y est saumâtre, la majeure partie des puits qui alimentent la région captent ce niveau à une profondeur ne dépassant pas généralement les 30m.

3.1.2. Les grés coquilliers et sable jaunes

Cet ensemble forme l'aquifère le plus important ; il présente une grande extension dans la région entre Bir El Djir et Gdyel et le zone des Hassis. Cette formation montre une épaisseur moyenne de 20m.

La matrice est formée par un ensemble de coquilles de lamellibranches présentant une perméabilité d'interstices.

Le substratum est constitué au Nord par les marnes miocènes et au Sud par les marnes sableuses du Pliocène. Le toit est variable ; il est constitué soit par des argiles rouges qui rendent la nappe captive, soit par les alluvions perméables donnant ainsi une nappe libre.

Vers le Nord, la nappe est libre ; un forage exécuté à ce niveau a 60m de profondeur, et traverse 40m de marnes grises et bleues et 1m de terre cultivable ; l'épaisseur des grès coquilliers rencontrés ne dépasse pas 10m.

3.1.3. Les calcaires gréseux

Ils constituent des bancs assez résistants qui se marquent bien dans la topographie de la région. Les niveaux inférieurs sont plus tendres. Cette formation est bien visible à l'affleurement au niveau de Hassi Ben-okba et Hassien Ettoual ; son épaisseur peut atteindre une cinquantaine de mètres environ. La nappe des calcaires gréseux est importante, elle est captée au niveau des villages de Fleurus et de Hassi Ben-okba, surtout vers le sud où elle recèle une ressource en eau très intéressante. Le mur de la nappe des calcaires gréseux est constitué par les marnes bleues du Pliocène.

3.1.4. Corrélation entre les niveaux aquifères

Les schémas des coupes (fig.24-25) établies par Foukrache M. à partir d'une cartographie géologique de la feuille de Gdyl au 1/25000 réalisée par L.Haddar, permettent de mettre en évidence la position des différents horizons aquifères.

Fig.24 : Aquifère bicouche : éboulis – Alluvions et grés

Cet aquifère formé par les grés et les sables, est recouvert vers l'Est par les alluvions. L'ensemble formant un aquifère bicouche.

Les marnes sableuses constituent le mur de la nappe. On note ici l'absence des calcaires gréseux.

Fig.25 : Aquifère bicouche : éboulis – Alluvions et calcaires gréseux

On constate vers le sud, une large extension de la nappe des calcaires gréseux dont le mur est formé par les marnes bleues. Le niveau grés-sableux est de moindre importance.

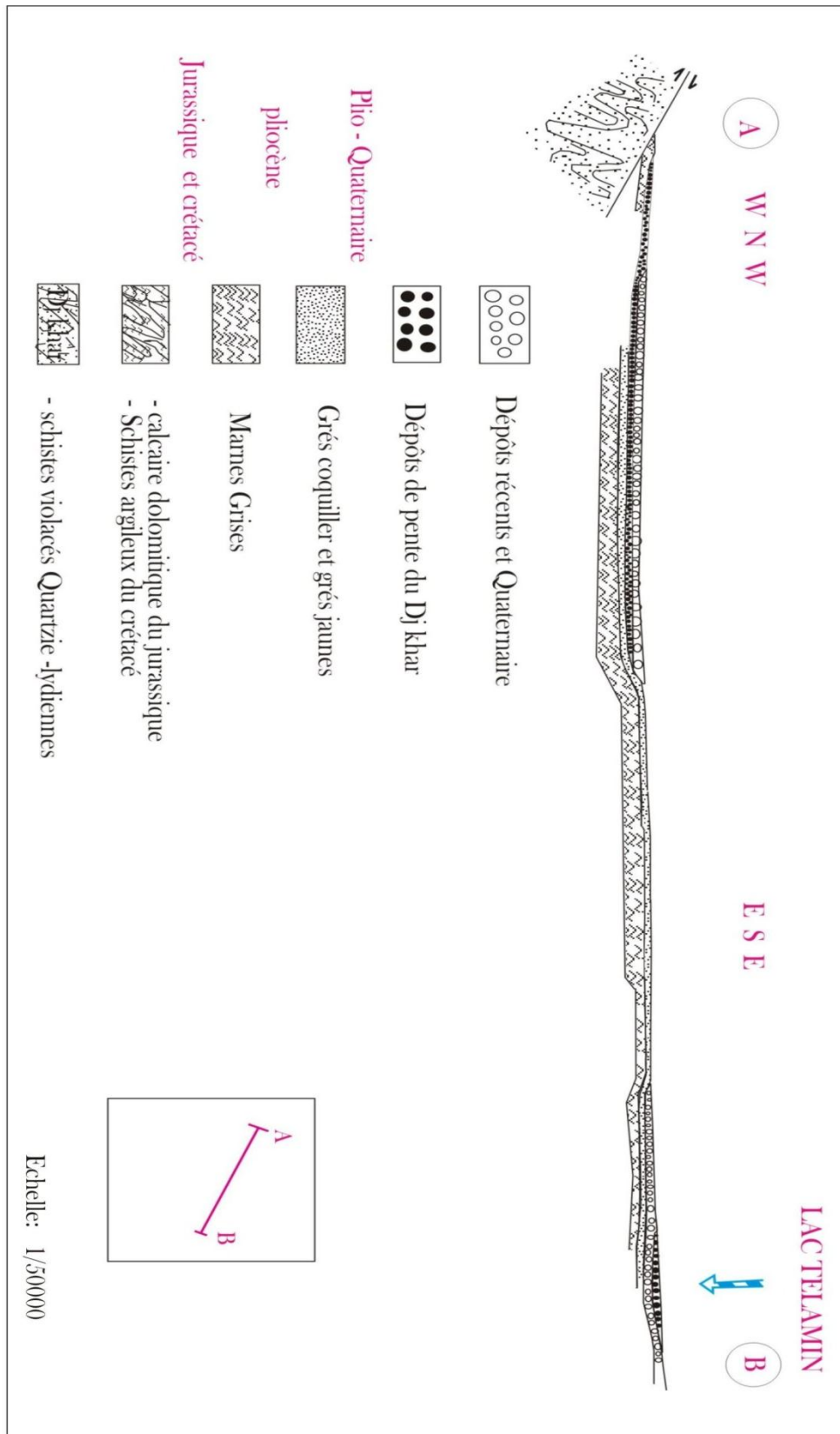


Fig.24 : aquifère bicouche ; éboulis-Alluvions et Grés (d’après M. Foukrache).

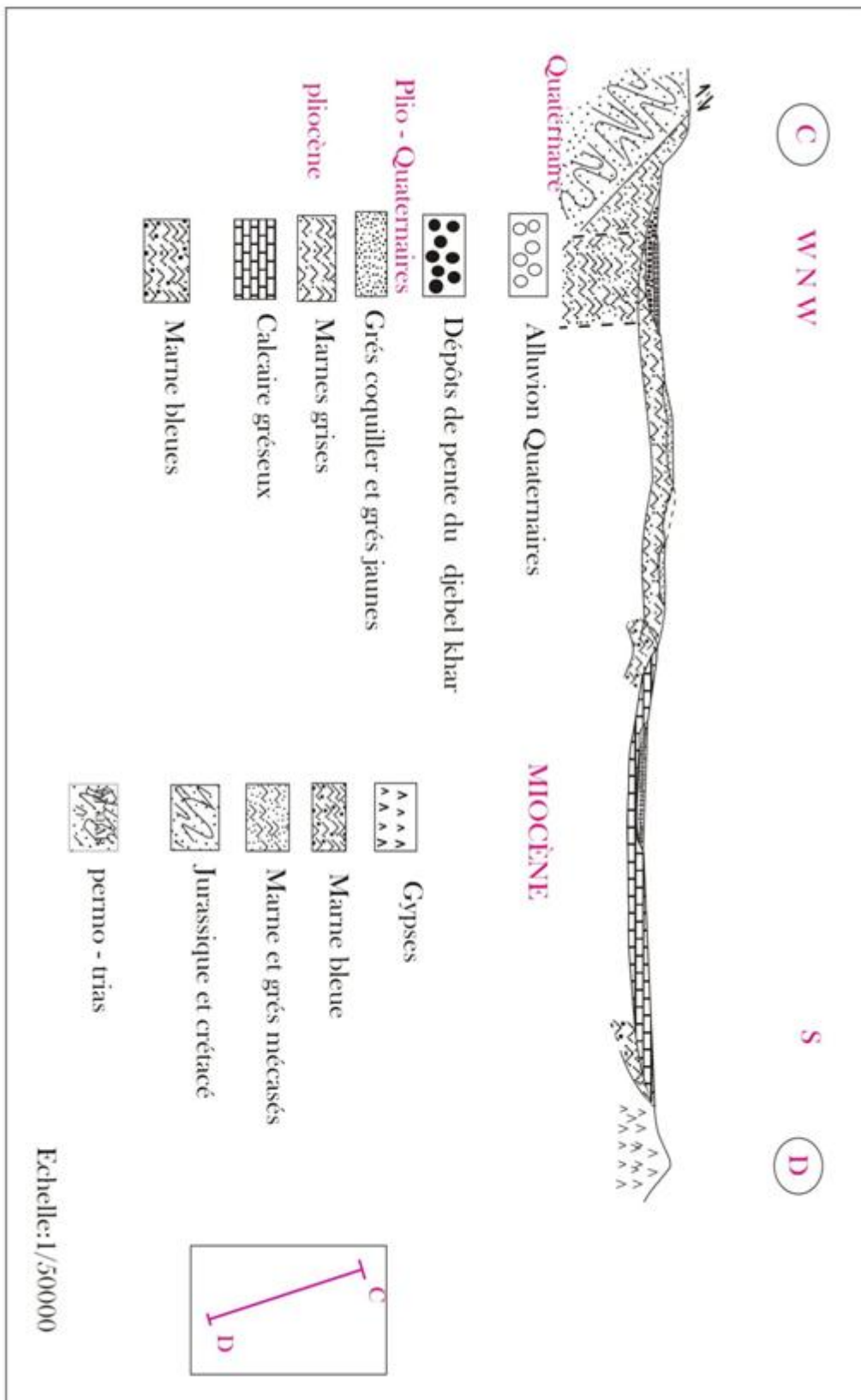


Fig.25 : Aquifère bicouche ; Alluvions-calcaire gréseux (d’après M. Foukrache)

3-2. l'aquifère des calcaires dolomitiques

Dans notre zone d'étude, nous avons mis en évidence l'importance de la formation des calcaires dolomitiques du Lias, qui affleure largement aux Djebels Orousse et Borousse.

Cette formation douée d'une très bonne perméabilité de fissure, offre une ressource en eau importante dans la région. Cet aquifère est à l'origine de la source de Kristel qui constitue un point de débordement de la nappe. Cet aquifère se prolonge plus au Sud en profondeur sous le recouvrement Plio-quadernaire.

L'aquifère des calcaires dolomitiques du Lias constitue une réserve en eau très importante dans la région étudiée (la bande comprise entre Gdyel et Sidi Benyebka) où l'on remarque l'existence de zones favorables pour le captage des eaux souterraines.

En effet, 03 forages captent actuellement à trois endroits différents : Gdyel- Sidi Ben Yebka- Hassi Mefsoukh (fig.19 -20-23) les formations calcaires du Complexe Jurassique.

4. Interprétation de la carte de piézométrie

La carte piézométrique, en courbes hydroisohypes, synthèse essentielle de l'étude hydrogéologique, schématise la fonction conduite du réservoir et le comportement hydrodynamique de l'aquifère avec la configuration des conditions aux limites.

M^f : M. Foukrache : a procédé à une réactualisation des données piézométriques de la région entre les plateaux d'Oran et d'Arzew, dont nous présentons un extrait (fig.26)

Au niveau de notre secteur, la direction des lignes de courant et les axes principaux du flux, indique que l'écoulement général se fait du nord-ouest au Sud-Est en direction des dépressions

(lac Telamine). Une partie des eaux est déviée vers la baie d'Arzew (mer).

Dans la partie nord-est de notre secteur, les courbes hydroisohypes sont perpendiculaires à la limite des formations carbonatées (calcaires liasiques fissurés des Djebels Borousse et Orousse) ; donc on a un débit entrant, ce qui permet de constater que l'alimentation de notre secteur s'opère essentiellement sur la bande s'étalant entre Kristel et le nord de Sidi Benyebka (Kleber). Les lentilles de calcaires marmoréens se révèlent de bons drains, pour la collecte des eaux souterraines alimentant la nappe plio-quadernaire.

On note aussi l'importance des grès et sables qui assurent l'alimentation de cet aquifère par la surface de son propre impluvium qui est très étendue sur la région.

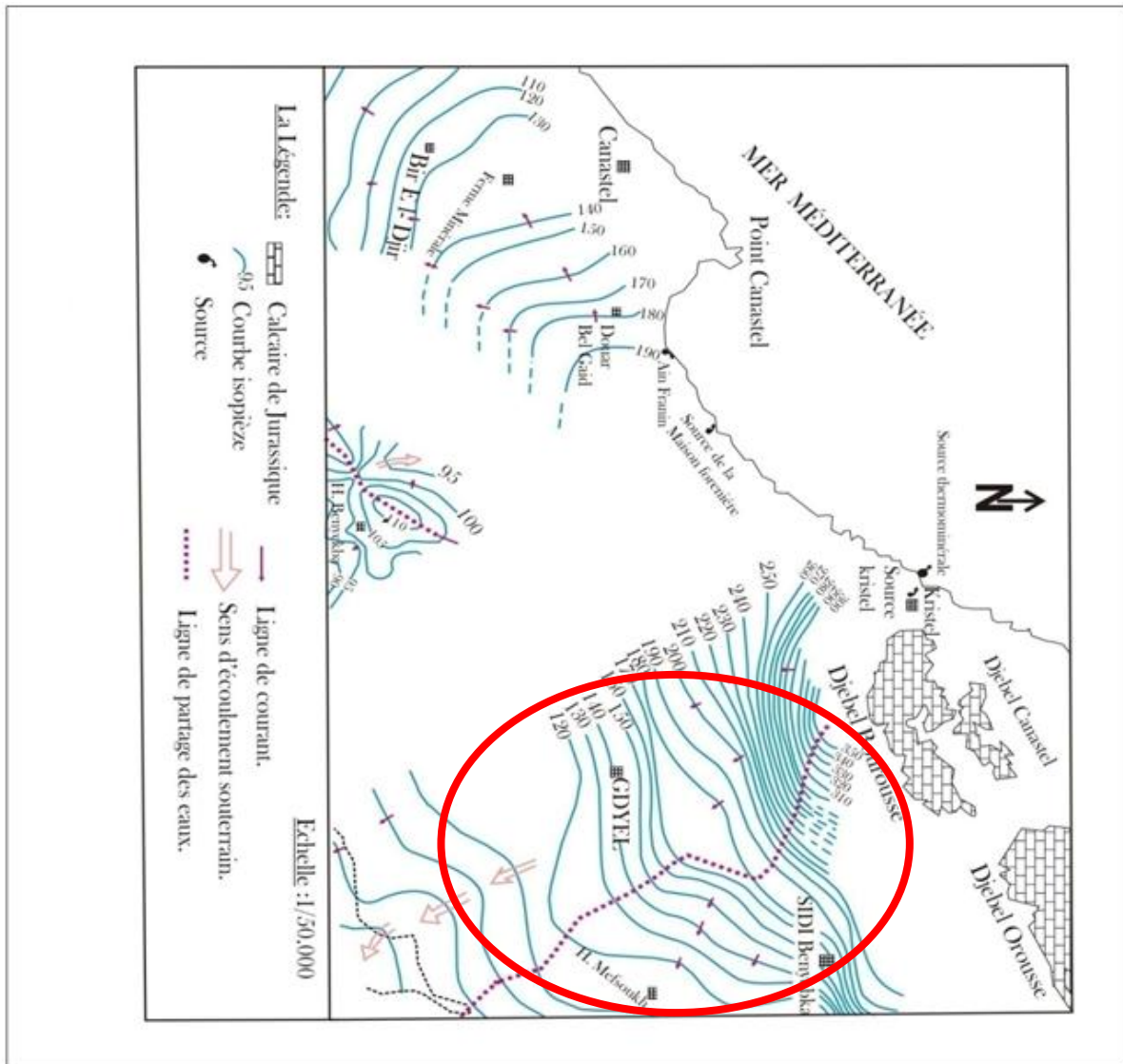


Fig.26 : extrait de la carte piézomètre de la région d'Arzew (D'après M. Foukrache, 1996)

Chapitre

III

Chapitre III. Utilisation de la Géophysique électrique

I). Traitement des mesures Géophysique de surface

Cette partie va exposer les techniques modernes d'interprétation des courbes de mesures obtenues sur le terrain à savoir les courbes de Sondages électriques verticaux (S.E.V)

Deux approches seront présentées

- Par résolution du problème direct en faisant l'hypothèse sur un modèle de terrain dont la courbe calculée sera approchée successivement de l'originale (méthode de modélisation).
- Par résolution du problème Inverse, c'est-à-dire en partant des mesures elles même, en déduire par une méthode directe le modèle qui en est la cause (méthode Inversion).

Des exemples sur modèles théorique seront présentés pour tester l'efficacité des programmes informatiques de résolution ; puis nous traiterons des courbes réelles obtenues dans la région d'étude.

a). Expression de la résistivité apparente causée par un milieu stratifié

a₁. Théorie

La courbe de sondage électrique représente la variation de résistivité apparente mesurée sur le terrain par un dispositif Schlumberger en fonction de l'élongation des électrodes de courant AB.

La même courbe peut d'autre part être calculée théoriquement, causée par une succession de paramètres (résistivités, épaisseurs) grâce à l'expression

$$\rho_a(r) = \rho_1 [1 + 2r^2 \int_0^\infty \Theta_1(\lambda, h_i, \rho_i) J_1(\lambda \cdot r) \lambda d\lambda] \quad (1)$$

avec $J_1(\lambda \cdot r)$: fonction de Bessel d'ordre 1.

$r = AB/2$: demi élongation.

$\Theta_1(\lambda, h_i, \rho_i)$: fonction noyau rassemblant les paramètre des couches.

ρ_1 : résistivité du premier terrain de surface.

λ : variable d'intégration.

a₂. Application

L'intégrale précédente, complexe, a permis de calculer dans le passé des courbes pour des modèles fixés de paramètres de couches : ce sont les catalogues d'abaques pour la résolution manuelle des courbes de sondage électrique. Cependant l'éventail des valeurs de paramètre offert par les divers catalogues et qui sont relatifs à un nombre maximum de quatre (4) couches, sont loin d'englober tous les cas pouvant se présenter sur le terrain ; de plus la procédure manque de précision et de rapidité.

Aussi au fur et à mesure de la généralisation de l'emploi de l'outil informatique, il a été fait de plus en plus appel à l'automatisation du traitement pour le rendre plus précis et plus rapide.

b). bases du traitement automatique

Définissons la fonction transformée de résistivité par

$$T(\lambda, h_i, k_i) = \rho_1 [1 + 2\Theta_1(\lambda, h_i, k_i)] \dots \dots \dots (2).$$

Avec $k_i = (\rho_{i+1} - \rho_1) / (\rho_{i+1} + \rho_1)$: coefficient de réflexion.

Donc (1) peut s'écrire

$$\rho_a(r) = r^2 \int_0^\infty T(\lambda, h_i, k_i) J_1(\lambda \cdot r) \lambda d\lambda \dots \dots \dots (3).$$

La transformée de résistivité $T(\lambda, h_i, k_i)$ définie par (2) contient toute l'information nécessaire pour définir la section géoélectrique (épaisseur et résistivités des couches) et réciproquement. Suivant le rôle à attribuer à cette transformée T nous aurons deux types d'interprétation

b₁. Interprétation indirecte : (Problème Direct)

A partir de l'hypothèse faite sur les paramètres d'une section géoélectrique, nous pouvons calculer grâce à une relation récurrence (O.Koefoed, 1970 in Mahammed, 1992) la transformée T et aboutir grâce à l'intégration de (3) aux valeurs de résistivité apparente en fonction de la demi élancement (r) du dispositif.

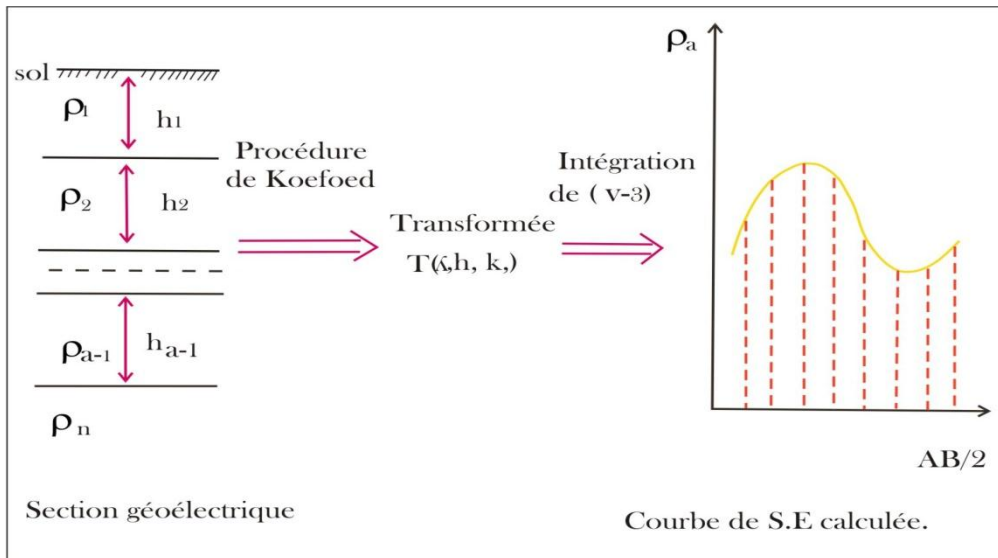


Fig.27 : Etapes de l'Interprétation Indirecte.

La précision de la courbe du sondage électrique dépendra de l'échantillonnage des points par décale logarithmique, sur lesquels elle sera calculée. En considérant trois points par décale ceci nécessite un filtre de discrétisation l'intégrale (3) de neuf coefficients.

Cependant en choisissant dix points par décale, on utilise un filtre de 139 coefficients (Johansen, 1975 in Mahammed, 1992). C'est ce dernier procédé plus précis que nous adoptons pour le calcul de toutes nos courbes de sondage électrique et dont voici l'expression :

$$\rho_a(i.\Delta x) \cong \rho_n.C^{-100} + \sum_{-99}^{+39} T[(i-j).\Delta x + S].C(j.\Delta x - S) + \rho_1.C^{40} \dots\dots\dots(4).$$

avec : -i=0,1,2,...

$$\Delta x = \log 10/10$$

$$C(j.\Delta x - S) = C^j \dots\dots\dots \text{Coefficient du filtre.}$$

$$C^{-100} = 6,1740.10^{-5} \quad C^{40} = 6.0905.10^{-4} \quad S = -1.7239458$$

ρ_1, ρ_n : résistivité de la première et la dernière couche.

T : Transformée de résistivité obtenue par récurrence.

b₂. Interprétation directe : (Problème Inverse)

En reprenant l'expression (3) nous pouvons l'inverser et obtenir :

$$T(\lambda, h_i, k_i) = \int_0^{\infty} \rho a(r) \cdot J_1\left(\frac{\lambda r}{r}\right) dr \dots \dots \dots (5)$$

Autrement dit, la connaissance des valeurs de résistivité apparente en fonction de r (c'est à dire la courbe de sondage électrique), permet à l'aide de (5) de calculer la transformée T et ainsi d'évaluer les paramètres de la section, grâce à une procédure de gradient.

Une programme informatique suivant cette procédure a été écrit (Mahammed, 1992), il s'agit pratiquement d'introduire suivant un certain échantillonnage les résistivités apparentes de la courbe de sondage. Ce programme va alors exécuter automatiquement la recherche du modèle géoélectrique responsable de la courbe.

Nous pouvons illustrer ceci par l'exemple théorique d'une courbe empruntée à un catalogue d'abaques et correspondant à la succession :

$$\begin{array}{ll} \rho_1 = 10 \text{ ohm.m} & h_1 = 1 \text{ m} \\ \rho_2 = 100 & h_2 = 2 \\ \rho_3 = 2 & h_3 = 25 \\ \rho_4 = 10 & \end{array} \quad \text{(I).}$$

L'opération s'articule ainsi (fig.28)

1 - introduction des valeurs échantillonnées des résistivités apparentes.

2 - introduction d'une solution approximative de la courbe de S.E, en termes de résistivités vrais et d'épaisseur des couches.

Elle peut être obtenue en utilisant le catalogue d'abaque.

Dans notre cas, ce sera :

$$\begin{array}{ll} \rho_1 = 10 \text{ ohm.m} & h_1 = 1,2 \text{ m} \\ \rho_2 = 120 & h_2 = 3 \\ \rho_3 = 3 & h_3 = 30 \\ \rho_4 = 10 & \end{array} \quad \text{(II).}$$

3 - le programme calcule alors la meilleure solution au sens d'un critère prédéfini on obtient finalement au bout de 65 itération la solution :

$$\rho_1 = 10 \text{ ohm.m} \qquad h_1 = 0.996 \text{ m}$$

$$\rho_2 = 119.95 \qquad h_2 = 1.63$$

$$\rho_3 = 2.41 \qquad h_3 = 29.95$$

$$\rho_4 = 10 \qquad \text{(III).}$$

Qui est une solution équivalente à la solution cherchée(I) selon le principe d'équivalence.

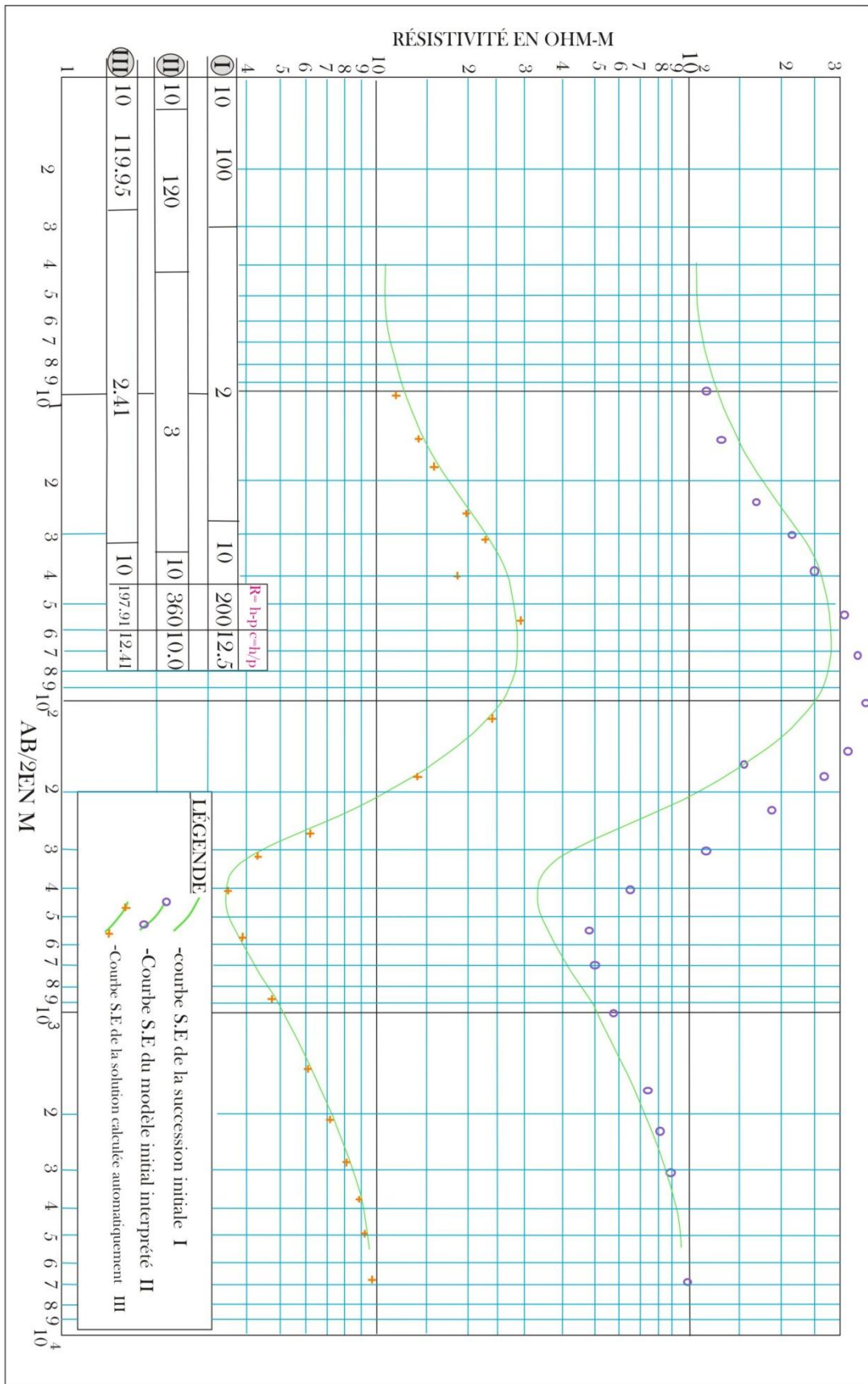
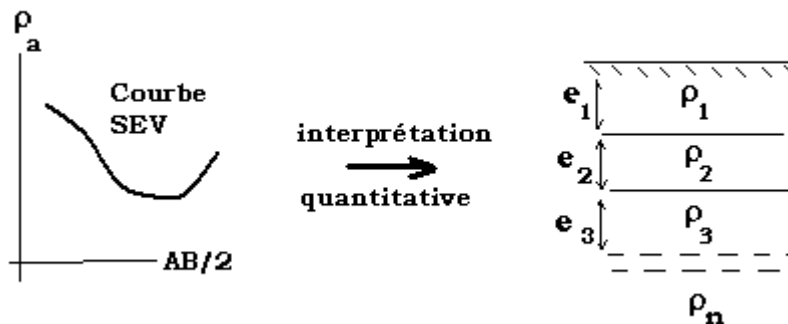


Fig.28 : étapes de résolution automatique, et recherche du modèle géoélectrique responsable de sondage électrique (Mahammed, 1992).

II). Présentation des logiciels récents de traitement automatique

Objet : nous avons vu dans la partie théorique précédente les principes mathématiques guidant le processus de calcul de la solution (en terme de résistivités et d'épaisseurs d'une succession de couches géologiques) pour une courbe SEV . Un programme informatique robuste permet ensuite d'exécuter les calculs itératifs afin de parvenir à un traitement rapide et précis.



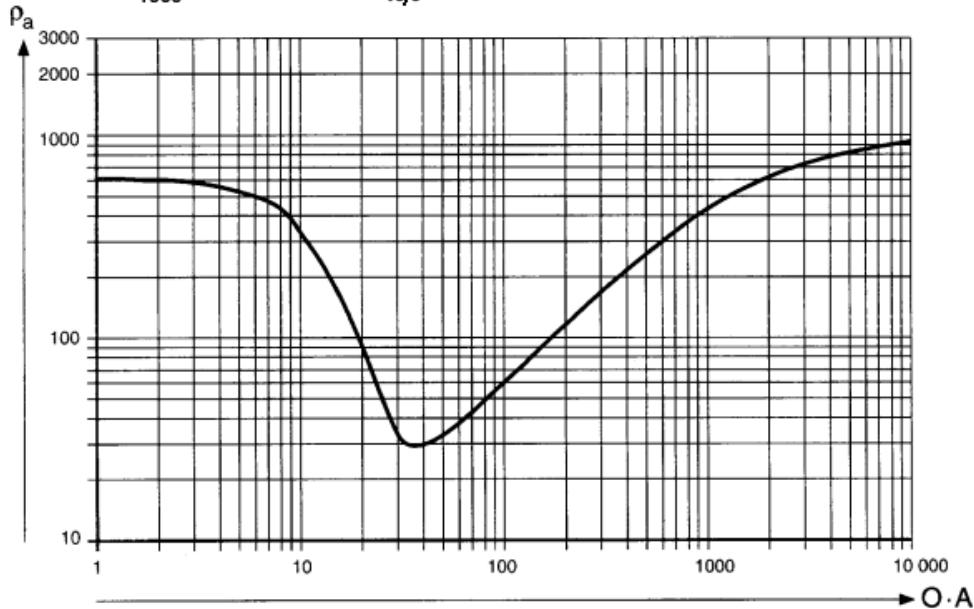
Rappelons qu'il y a quelques décennies cette recherche de solution s'exécutait à l'aide de catalogues d'abaques de courbes précalculées.

Tous les logiciels présentés se basent sur le principe de l'Interprétation Indirecte : il faut préalablement introduire une solution approximative (paramètres résistivités et épaisseurs), puis le programme calcule la courbe SEV correspondante et la superpose sur la courbe SEV de terrain. Il suffit alors de faire varier les paramètres introduits précédemment jusqu'à obtenir un écart minimale entre les deux courbes.

Rappelons d'abord le **Principe de suppression** qui est une contrainte dans le travail de recherche, au vu d'une courbe, de sa meilleure solution. Ce principe est relatif à des couches dont la résistivité est intermédiaire entre celle de couches encaissantes. Exemple sur l'exemple théorique ci-dessous : l'introduction de deux couches de résistivités 200 et 400 ohm.m et de faibles épaisseurs dans le modèle B, satisfait également la solution.

L'utilisation de ce principe va nous permettre de trouver de meilleures solutions plus proches de solutions réelles de succession de résistivités et épaisseurs, car il intègrera plus les données fournies par d'autres sources telles les logs géologiques ainsi que les diagraphies. (voir § 4 suivant).

	Résistivité (ohms-m)	Epaisseur (m)	Profondeur (m)	
A	600	6,0	0,0	Altérites sableuses
	20	30,0	6,0	Altérites argileuses
	1000		36,0	Socle
	Résistivité (ohms-m)	Epaisseur (m)	Profondeur (m)	
B	600	6,0	0,0	Arènes d'altération
	20	26,0	6,0	Altérites argileuses
	200	3,0	32,0	Socle altéré
	400	5,0	35,0	Socle altéré
	1000		40,0	Socle



Un autre principe important pour l'interprétation des courbes SEV, est le **Principe d'Equivalence**. Prenons le cas d'un terrain résistant (de résistivité ρ et d'épaisseur h) compris entre deux terrains conducteurs. Tant que le produit $R = \rho \cdot h$ reste constant, la courbe de SEV reste inchangée. D'une façon analogue pour une couche conductrice, si le rapport h/ρ reste le même, la courbe de SEV reste inchangée.

a-Logiciel WinSev 3.0 élaboré par J.Jenny et al (Université Lausanne, Suisse, 1993). Appliquons ce programme pour résoudre le SEV d'étalonnage exécuté au Forage F3 de Gdyl. En reprenant le traitement de la courbe SEV d'étalonnage du forage Gdyl F3, nous pouvons obtenir une solution à 6 couches (rapport Soc. IFES, 2003), mais nous pouvons améliorer la solution avec une succession de 8 couches. La comparaison avec le log géologique du forage conforte plutôt cette dernière solution.

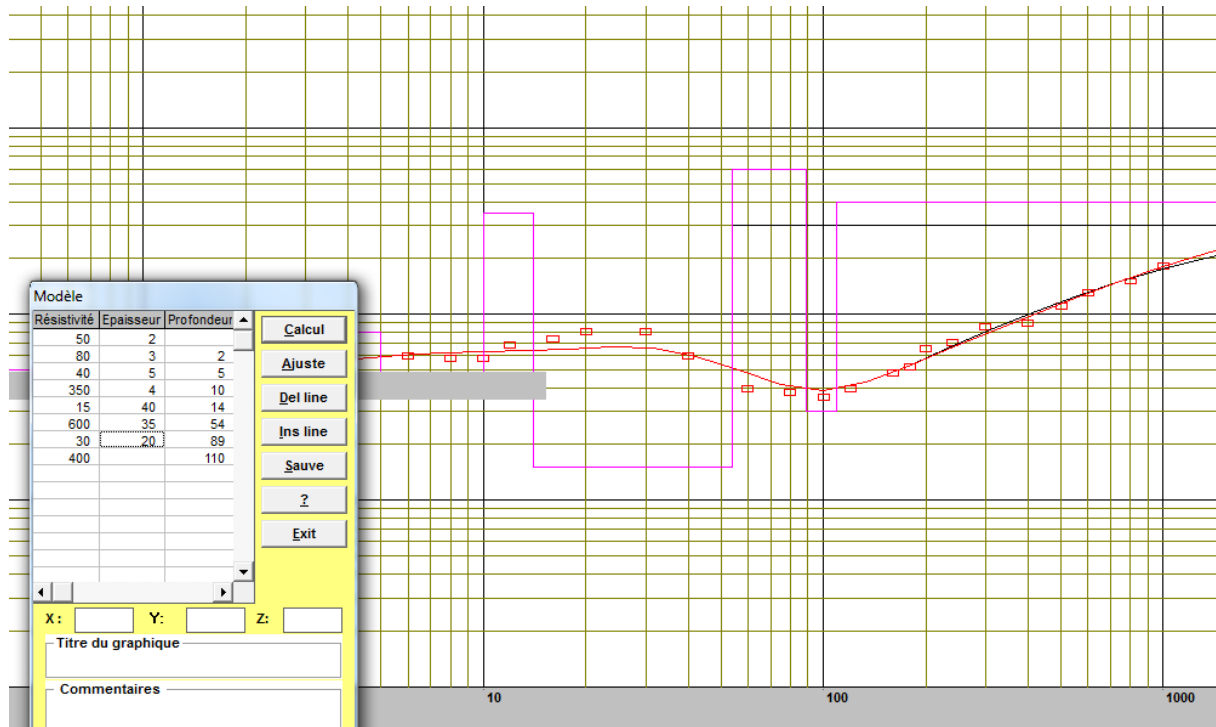


Fig.29 : Nouvelle interprétation SEV étalonnage du forage F3 Gdyl.

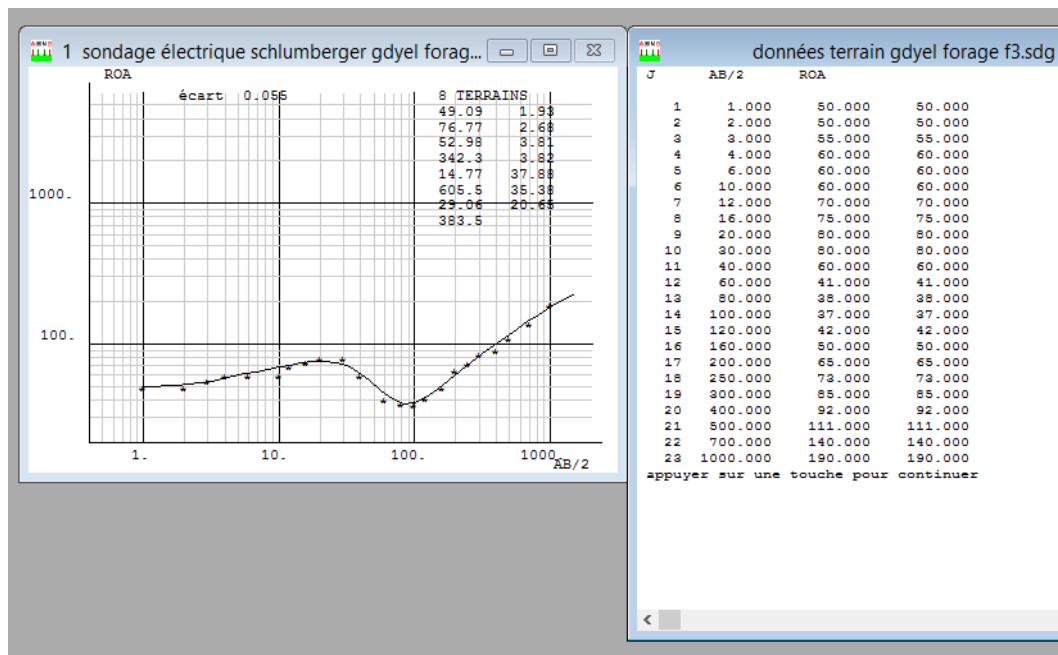
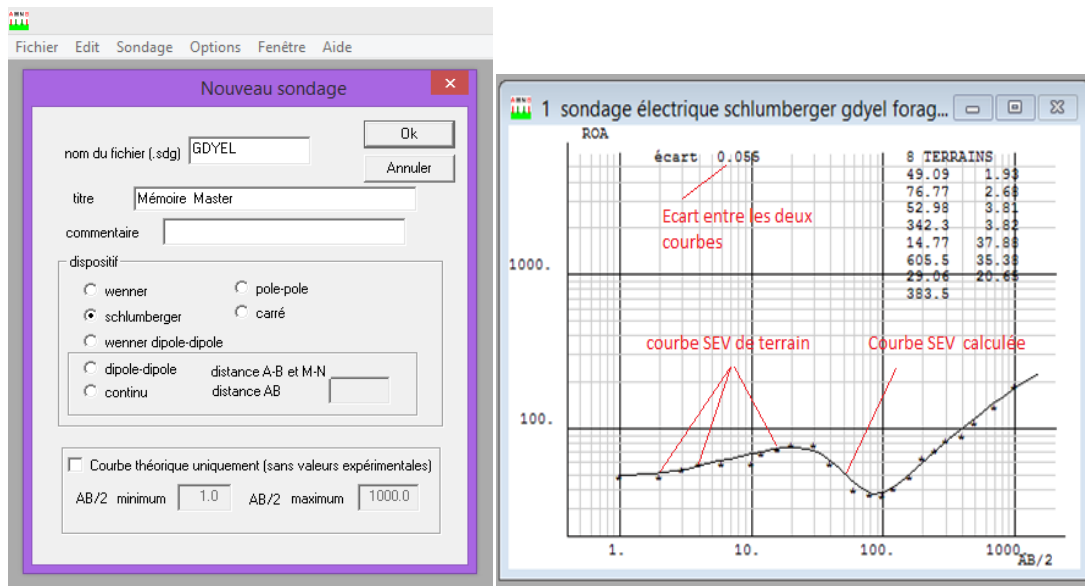
Résistivités	Epaisseurs	Résistivités	Epaisseurs	Log géologique
<i>(Rapport IFES)</i>		<i>(Nouvelle interprétation)</i>		forage F3
50 ohm.m	_2 m	50 ohm.m	2 m	grès
80	3	80	3	calcaire
40	5	40	5	argile
350	4	350	4	argile
15	40	15	40	argile
300		<u>600</u>	<u>35</u>	calcaire
		<u>30</u>	<u>20</u>	marne
		400		calcaire

b. Logiciel Qwseln élaboré par J. Tabbagh (Université Paris 6, 2004).

Ce programme permet d'effectuer le traitement pour 6 dispositifs de terrain différents : Schlumberger, Wenner, dipôle, carré, etc... Ce n'est pas le seul avantage par rapport au

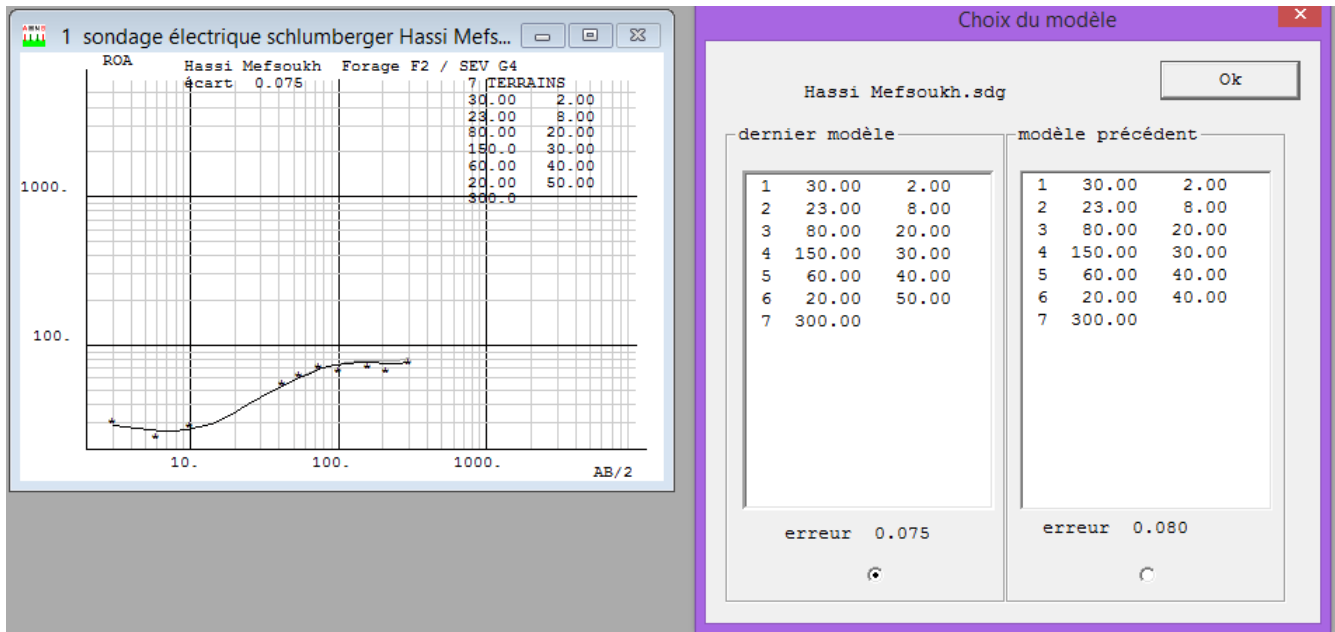
Winsev qui ne traite que les SEV Schlumberger. En effet , il est également possible d'afficher l'écart chiffré entre les deux courbes, courbe de terrain et courbe calculée, dans le processus de recherche de la meilleure solution.

b1. Application au SEV étalonnage du forage F3 Gdyel (fig19)



Cette interprétation est quasi identique à celle effectuée à l'aide du logiciel précédent WinSev, mais elle permet cette fois de chiffrer l'écart entre les deux courbes.

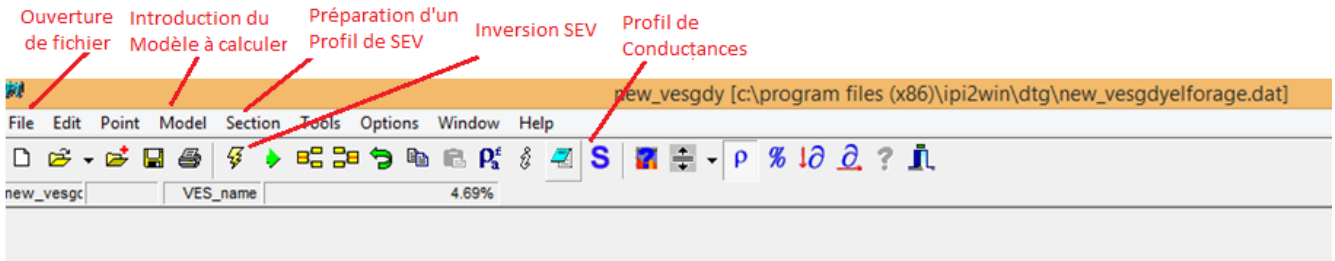
b₂. Application au SEV G4 d'étalonnage du forage F2 HassiMefsoukh



L'interprétation de ce sondage concorde bien avec les résultats du log de forage Hassi Mefsoukh F2 (fig.22). En effet le forage indique un recouvrement miocène de 100-150m, constitué essentiellement de marnes représentées par les résistivités de 20 à 80 ohm.m dans l'interprétation du SEV, avec des passages plus gréseux allant jusqu'à 150 ohm.m et probablement secs ; puis en profondeur à 150- 170 m, apparaissent les schistes avec intercalations de calcaires, du complexe jurassique, et atteignant 300 ohm.m.

Remarque : on note que l'interprétation de ce SEV ne donne que les résistivités des couches jusqu'à une profondeur maximale de 150m, alors que le forage F2 a été creusé jusqu'à 320m. Il a donc nécessité ultérieurement l'exécution d'un autre SEV d'élongation AB = 1500m pour la corrélation (voir § IV, plus bas).

c. Logiciel IPI-2 élaboré par A. Bobachev (Université de Moscou ,2003)



Ce logiciel permet en plus de faire la résolution de la courbe SEV sur le mode d'Interprétation Directe ou Inversion. Un profil de SEV peut être également construit (coupe géoélectrique) ainsi qu'un profil de Conductances.

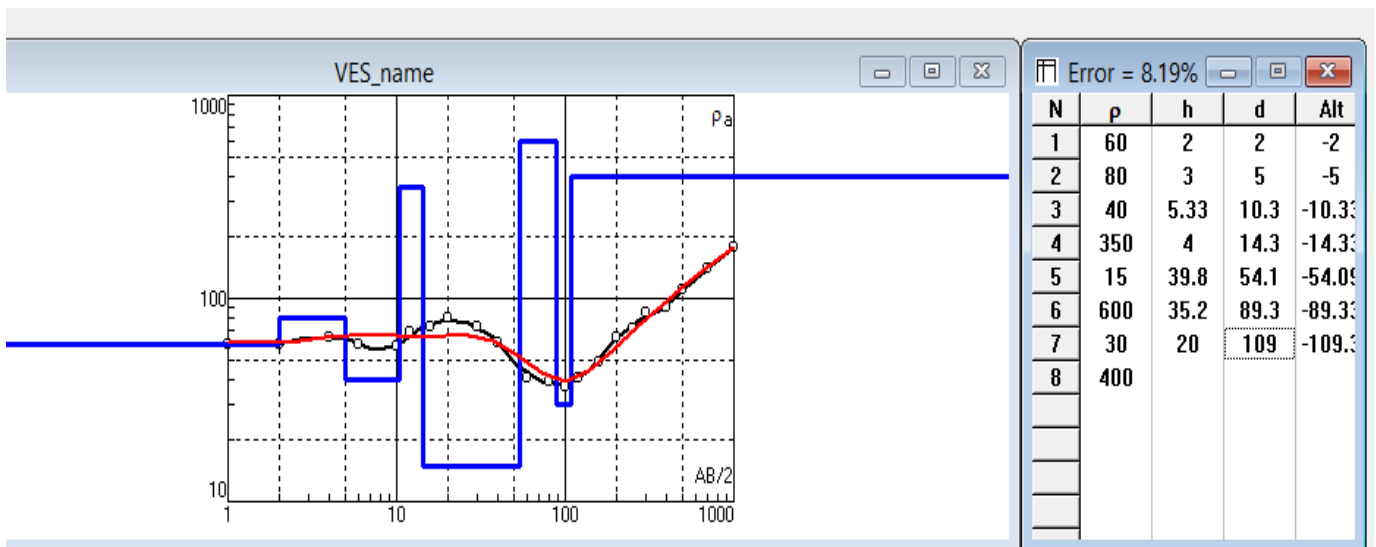
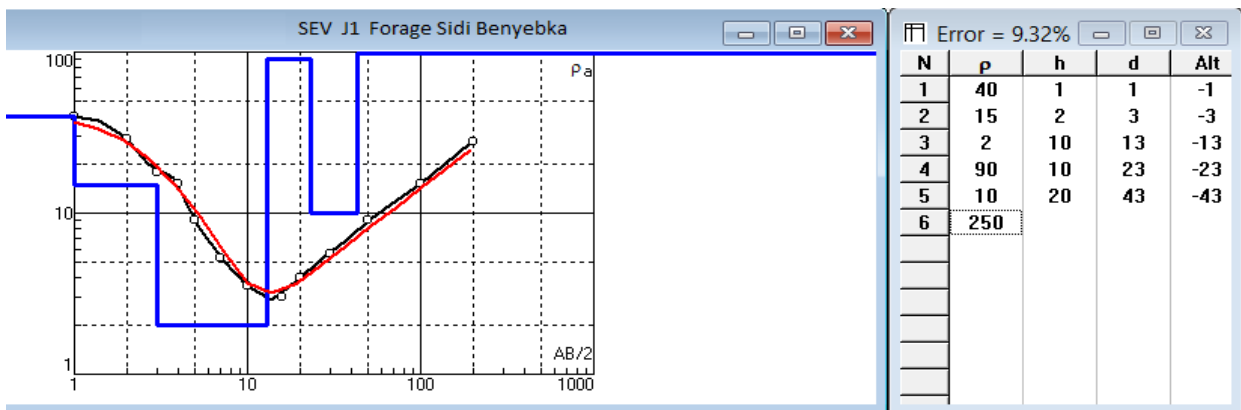


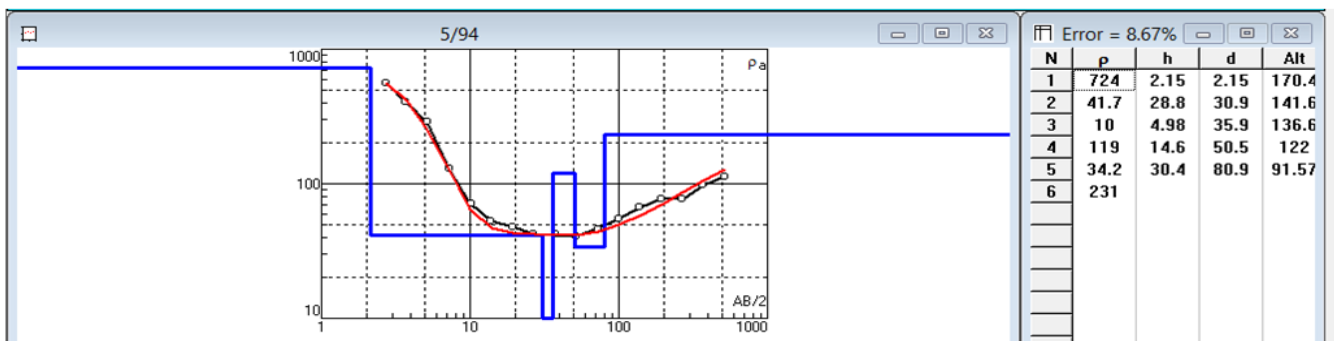
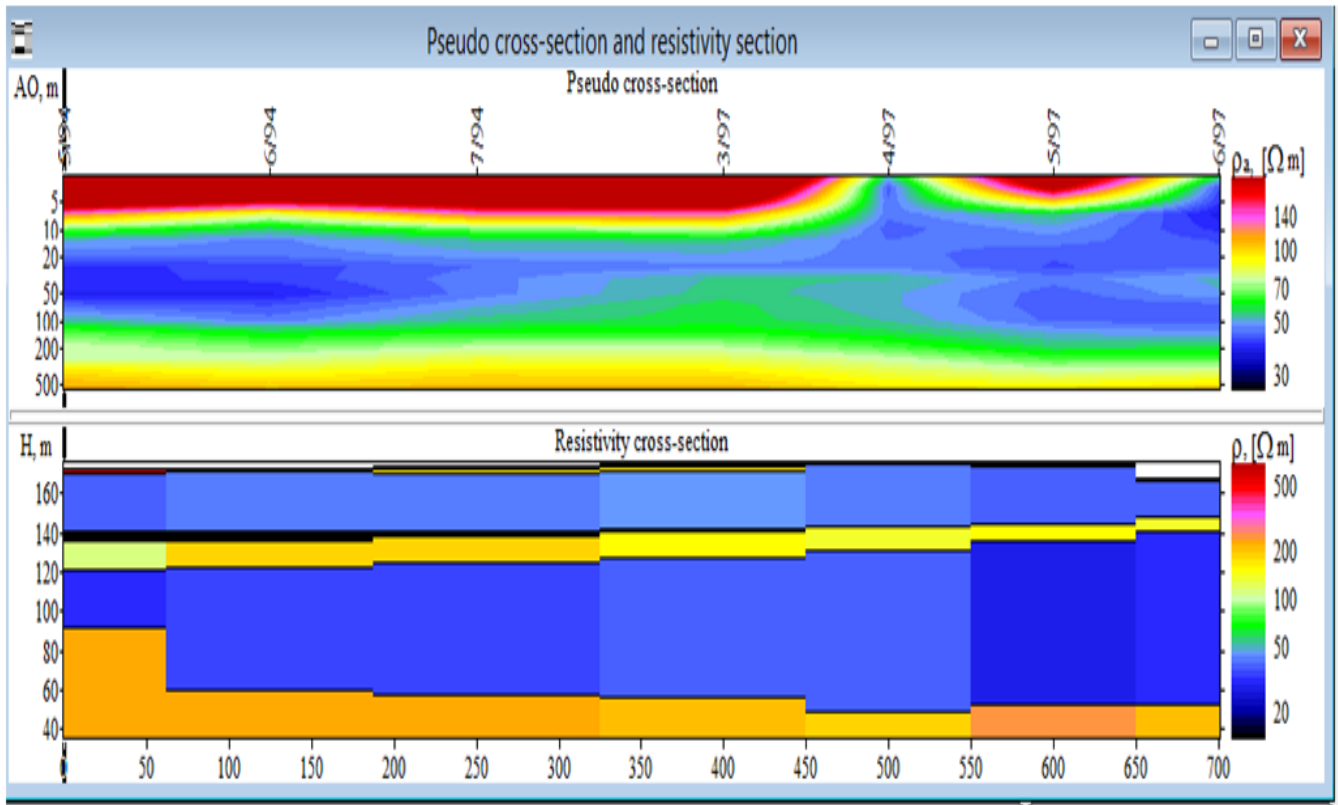
Fig.30 : Interprétation du SEV étalonnage Gdyl Forage F3.



Interprétation du SEV étalonnage J1 du Forage F1 Sidi Ben Yebka.

La comparaison entre l'interprétation du SEV et les résultats du log géologique du forage F1 (fig.20) montre une concordance : le recouvrement quaternaire d'argiles, grès de résistivités allant de 2 à 40 Ohm.m, surmonte les schistes du complexe jurassique qui sont peu profonds à une quinzaine de mètres. Les résistivités de ce dernier ensemble sont variables.

Rappelons que les SEV étalons que nous venons d'interpréter vont servir plus bas à établir l'échelle de résistivités. (Voir tab.12).



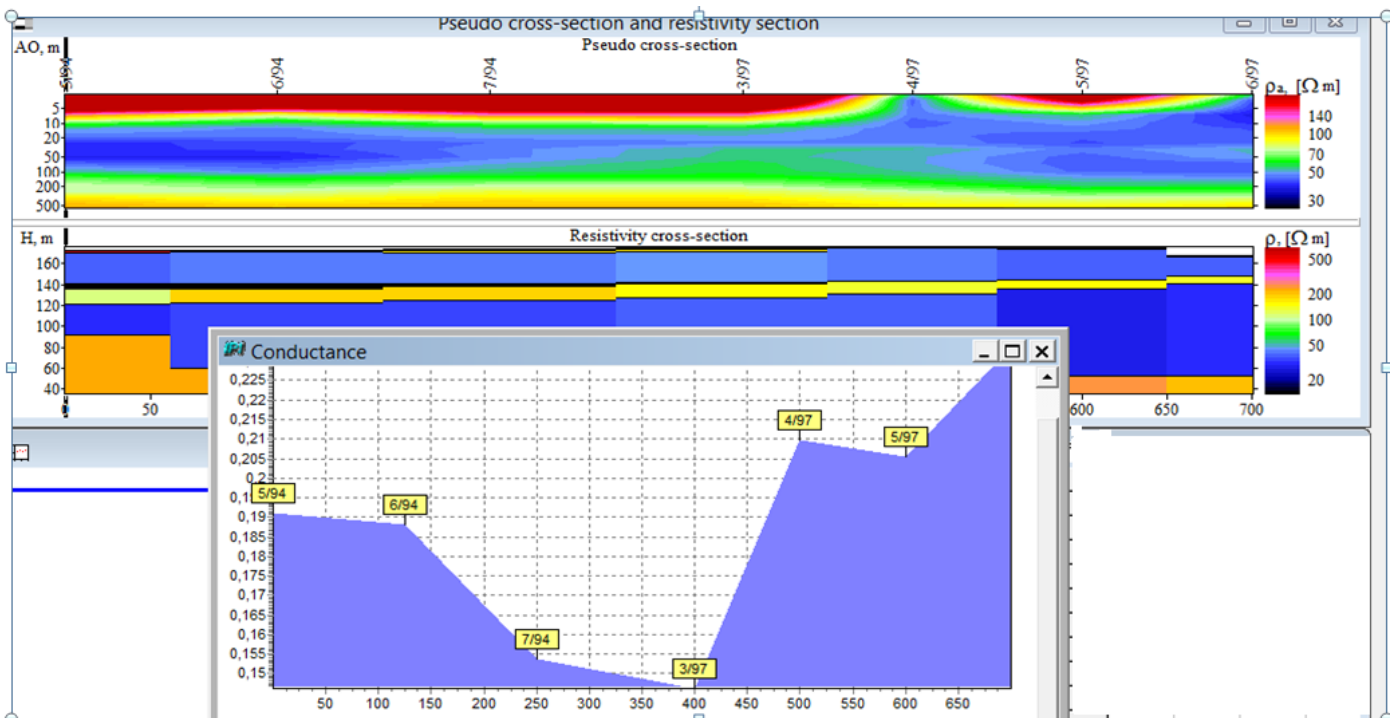
La Pseudo-section (fig. du haut) est une présentation qualitative d'un profil de SEV. Elle ne nécessite pas de calcul d'interprétation donc elle reflète des valeurs brutes des résistivités

mesurées. Au contraire de la section de résistivités (ou coupe géoélectrique, fig. Intermédiaire) qui présente la juxtaposition des logs géoélectriques issus de l'interprétation quantitative des SEV. Les variations de résistivités sont exposées suivant une palette de couleurs et son échelle (à droite des sections).

Un des SEV de la section est présenté (fig. du bas) avec son interprétation.

Profil des Conductances

La conductance d'une couche étant définie ainsi : $S = e / \rho$ avec e son épaisseur et ρ sa résistivité. On peut ainsi suivre le long d'une section, son évolution, ainsi que les capacités hydrogéologiques d'une couche en fonction de ses paramètres e et ρ .



d. Application à quelques profils construits à partir des résultats de la campagne géophysique (voir §III suivant)

Nous présentons le profil F qui est caractéristique de la zone d'étude après application du logiciel IPI2. Cette image est meilleure que la coupe géoélectrique F, présentée par la représentation classique (fig.42) En effet, elle montre clairement à gauche, un ensemble de couches résistantes d'environ 40 à 170 Ohm.m représentant les calcaires schisteux ; alors qu'à droite, le paquet de couches séparées par une faille, de résistivités très inférieures correspond aux formations essentiellement marneuses.

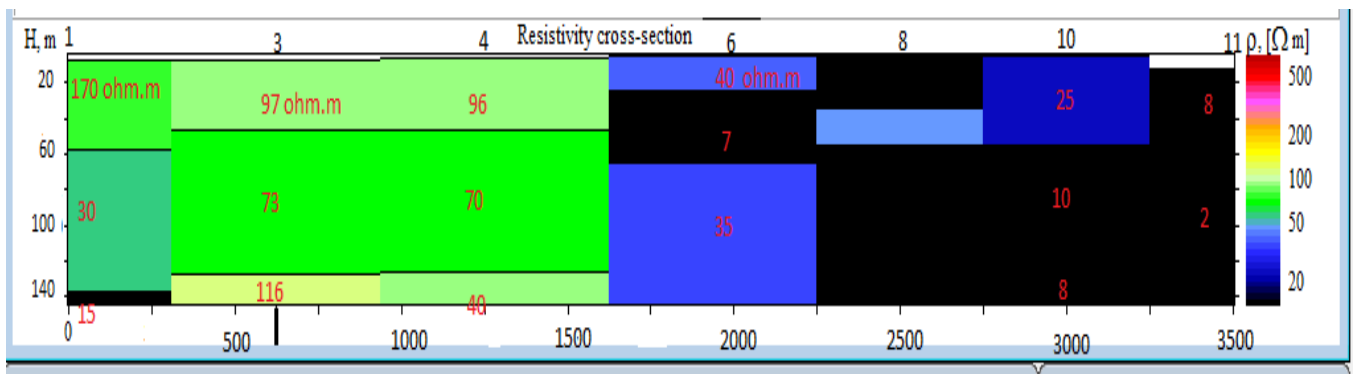


Fig.31 : Profil F – Coupe géoélectrique avec la présentation IPI2.

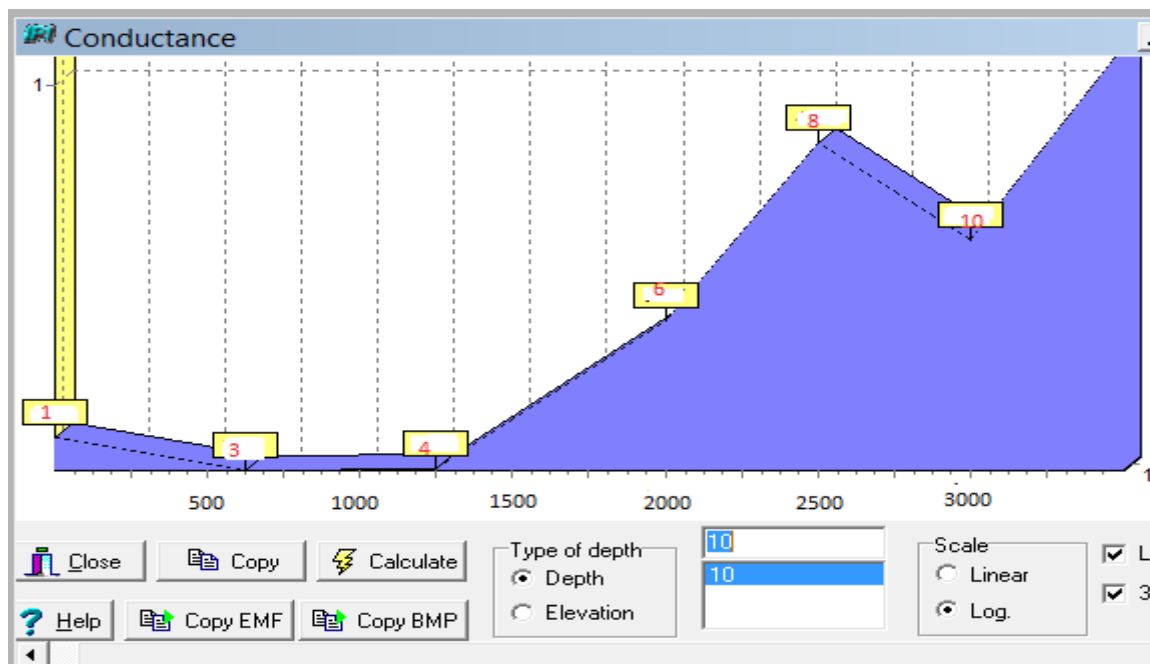


Fig.32 : Profil F de Conductances.

Ces valeurs semblent influencées par la variation drastique des résistivités entre les SEV 4 et 6, par l'effet de faille. Les hautes conductances à droite reflètent les faibles résistivités de couches.

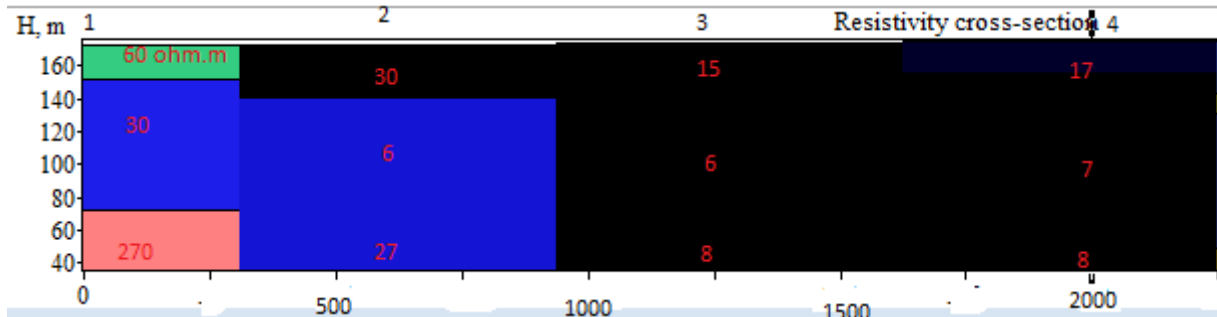


Fig.33 : Profil E – Coupe géoélectrique avec la présentation IPI2.

A comparer cette présentation de la coupe géoélectrique E avec celle de la figure (fig.41) La variation latérale de résistivités est plus indiquée, montrant deux compartiments distincts représentant à gauche les grès, calcaires schisteux et à droite le compartiment de marnes et argiles.

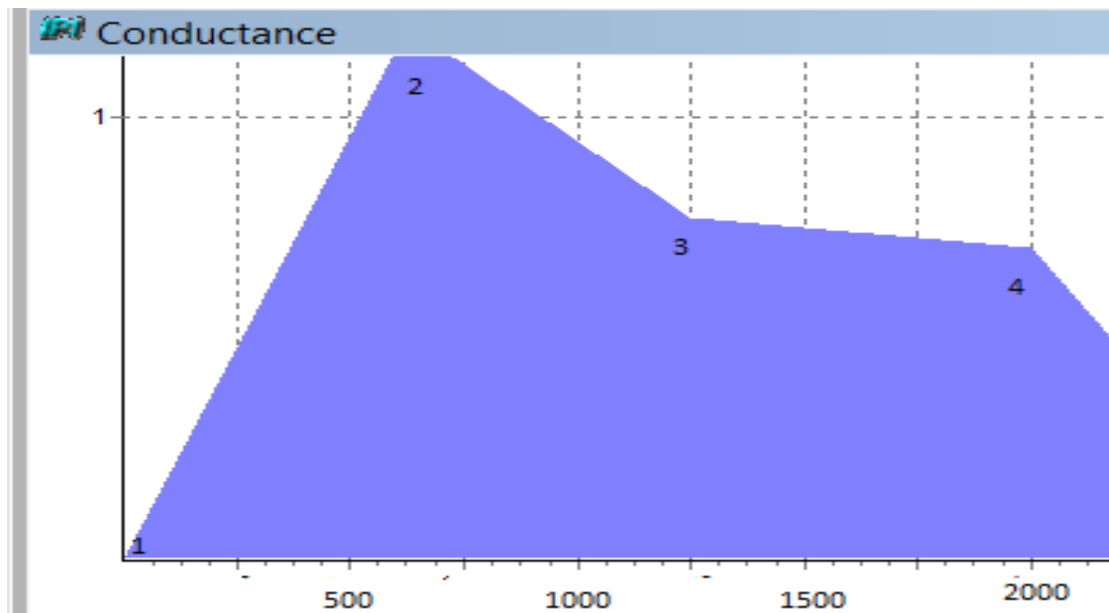


Fig.34 : Profil E - Conductances.

La différence des blocs est bien rendue sur ce profil entre les SEV 1 d'une part et SEV 2,3 et 4 d'autre part.

Conclusion sur les trois Logiciels d'interprétation

Les logiciels informatiques sont incontestablement un grand progrès par rapport à l'utilisation des abaques de courbes précalculées, utilisées il y a quelques décennies. Un avantage en gain de temps et de précision. Le programme *WinSev 3.0* a été suivi par une version améliorée *WinSev 6.0* permettant le traçage de profils de SEV. Cependant le *Qwseln* est plus diversifié car il permet l'exploitation des mesures avec plusieurs types de quadripôles et la visualisation d'un écart chiffré entre les courbes. Le troisième logiciel *IPI2* semble cependant le plus puissant puisqu'il permet en plus des performances des précédents, le traçage de pseudo-section ainsi que le profil des conductances. En outre, l'inversion de la courbe SEV peut être exécutée c'est-à-dire son *interprétation directe*. Malgré cela, ces interprétations automatiques ne peuvent pas seules se substituer à l'appréciation de l'interpréteur qui peut éliminer les solutions ne remplissant pas les conditions géologiques locales.

III) résultats d'une campagne Géophysique de la zone d'étude

1. Disposition

Une campagne géophysique exécutée en 2003 par la société IFES a permis l'exécution de 65 sondages électriques à l'aide d'une ligne d'émission AB=1000m, 105 sondages électriques en AB = 2000m, répartis sur 15 profils orientés en général selon une direction Nord-Sud. Le tableau dans la page suivante montre le volume des travaux :

Prospection électrique	Nombre de sondages	Ligne d'émission AB
Sondage électrique	65	1000m
	60	2000m
	40	3000m

Tab.11 : volume des travaux.

2. Etalonnage des sondages électriques à l'aide des forages

Toute interprétation des sondages électriques doit se faire sur la base d'une échelle des résistivités fiable ; l'étalonnage des résultats de la prospection électrique s'est effectué à l'aide des données relatives aux sondages paramétriques exécutés directement sur les formations, et des logs de forages existants dans le secteur étudié.

Une fois les valeurs de résistivité réelles déterminées, cartes et coupes géoélectriques devront être établies.

2.1 Etalonnage des sondages électriques

a. Etalonnage du sondage électrique « E₁ » a l'aide du forage de Gdyl (F3)

Le sondage électrique « E₁ » (fig.35) réalisé a proximité du forage Gdyl (F3) aux coordonnées Lambert (X=218.000km, Y=281.300km, Z=315m) de 200m de profondeur et un débit de 35 L/S.

Voir la nouvelle interprétation de ce SEV que nous avons effectuée avec un logiciel plus performant. (Chap.3, §II).

b. Etalonnage du sondage électrique « M4 » a l'aide du forage EL Ayaida (F5)

Le sondage électrique « M4 » (fig.36) réalisé a proximité du forage sec d'EL Ayaida (F5) situé aux coordonnées Lambert (X=226, 3000 km, Y=280,400km,Z=55m) et de 162,53m de profondeur .

c. Etalonnage du sondage électrique a l'aide du forage Sidi Benyebka (F1)

Le sondages électrique J1 (fig.37) de direction E-W et N-S réalisé au niveau du piézomètre de Sidi Benyebka (F1) implanté aux coordonnées Lambert (X=222,700km, Y=285, 500km, Z=125m) de 270m de profondeur et d'un débit de 14 L/S (le RS=4,2 g/l) .

Voir la nouvelle interprétation que nous avons effectuée (Chap.3, § II)

d. Etalonnage du sondage électrique « G4 »a l'aide du forage Hassi Mefsoukh (F2)

Le forage de Hassi Mefsoukh (fig.38) réalisé aux coordonnées Lambert (X=220,400, Y=283,300km, Z=170m) d'une profondeur de 270m et un débit de 35L/S (le RS=1.6g /l) .

Voir la nouvelle interprétation de ce SEV effectuée précédemment (Chap.3, § II)

2.2. Etalonnage à l'aide des sondages paramétriques

Pour la détermination des résistivités réelles des différentes formations, on s'est basé sur les résultats des sondages paramétriques qui nous ont permis d'adopter l'échelle des résistivités à l'aide du tableau suivant

Age	Formation	Résistivité en ohm.m
Quaternaire	- Alluvions	16 – 790
	- Croûte calcaire	26 – 340
pliocène	- Grés et calcaires du calabrien	53 – 220
	- Argiles	1 – 67
	- marnes bleues	1 – 48

Miocène supérieur	<ul style="list-style-type: none"> - Argiles parfois sableuses - Marnes - Marnes gypsifères - Gypse massif 	<p>5 – 36</p> <p>5 – 22</p> <p>1 – 6</p>
Complexe secondaire	<ul style="list-style-type: none"> - grés - calcaires dolomitiques siliceux parfois pyriteux - marnes - conglomérats polygéniques 	<p>3-30</p> <p>37-250</p> <p>2-22</p> <p>40-380</p>

Tab.12 : Echelle de résistivités adoptée par les sondages paramétriques.

Conclusion

L'étalonnage des sondages électriques à l'aide des logs de forages et des sondages paramétriques montre qu'il est assez difficile, du fait du chevauchement des différentes plages de résistivité dû à la géologie chaotique du secteur d'étude, d'opérer une différenciation physique nette entre les formations du Quaternaire, du Pliocène, du Miocène et du Complexe Secondaire il n'existe aucun contraste tranché entre les résistivités des différentes formations.

Un étalonnage plus précis nécessite la réalisation de forage de reconnaissance qui permettra une interprétation plus fine des données géophysiques.

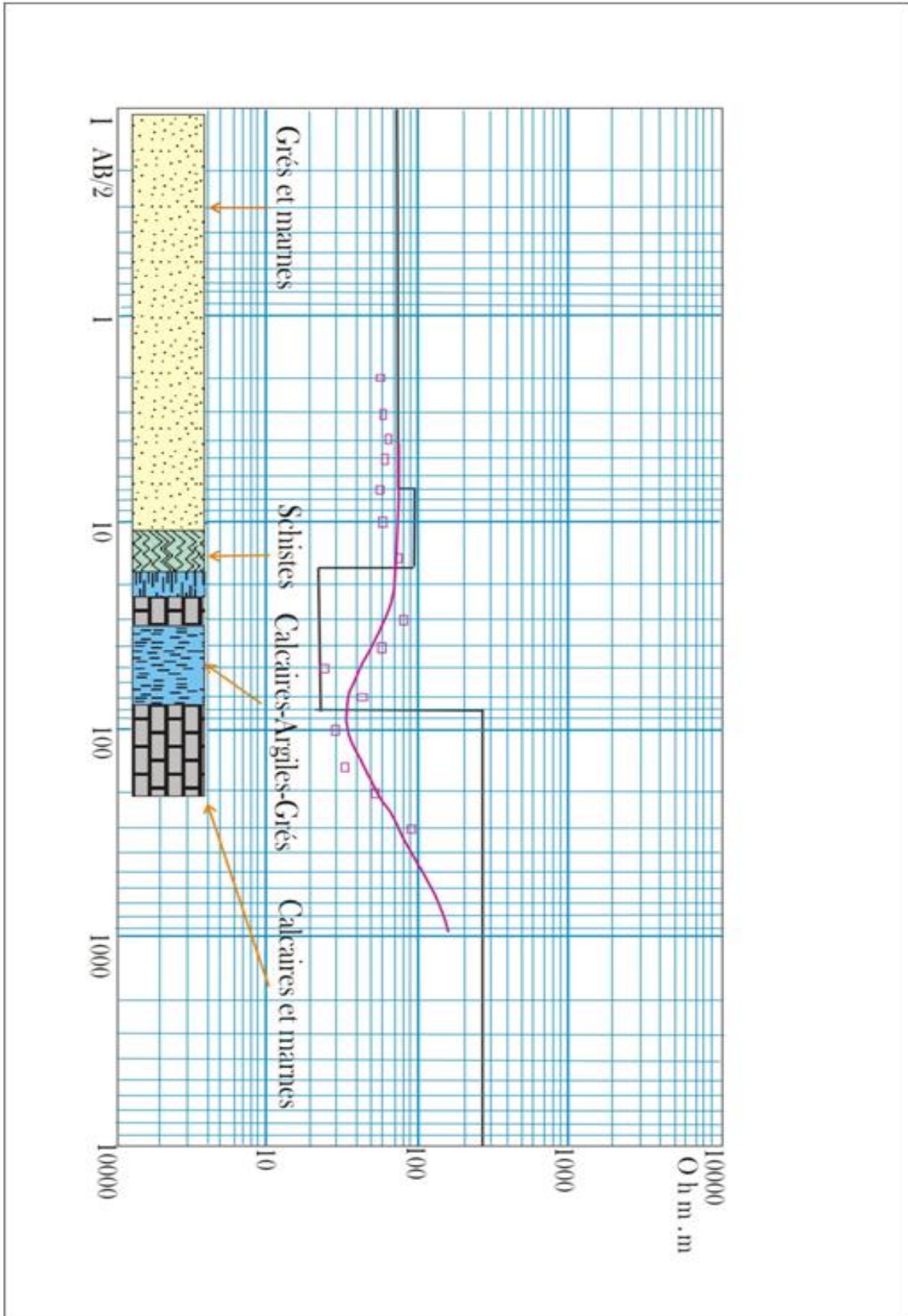


Fig.35 : Etalonnage du sondage électrique EL al'aide du forage du GDYEL F3.

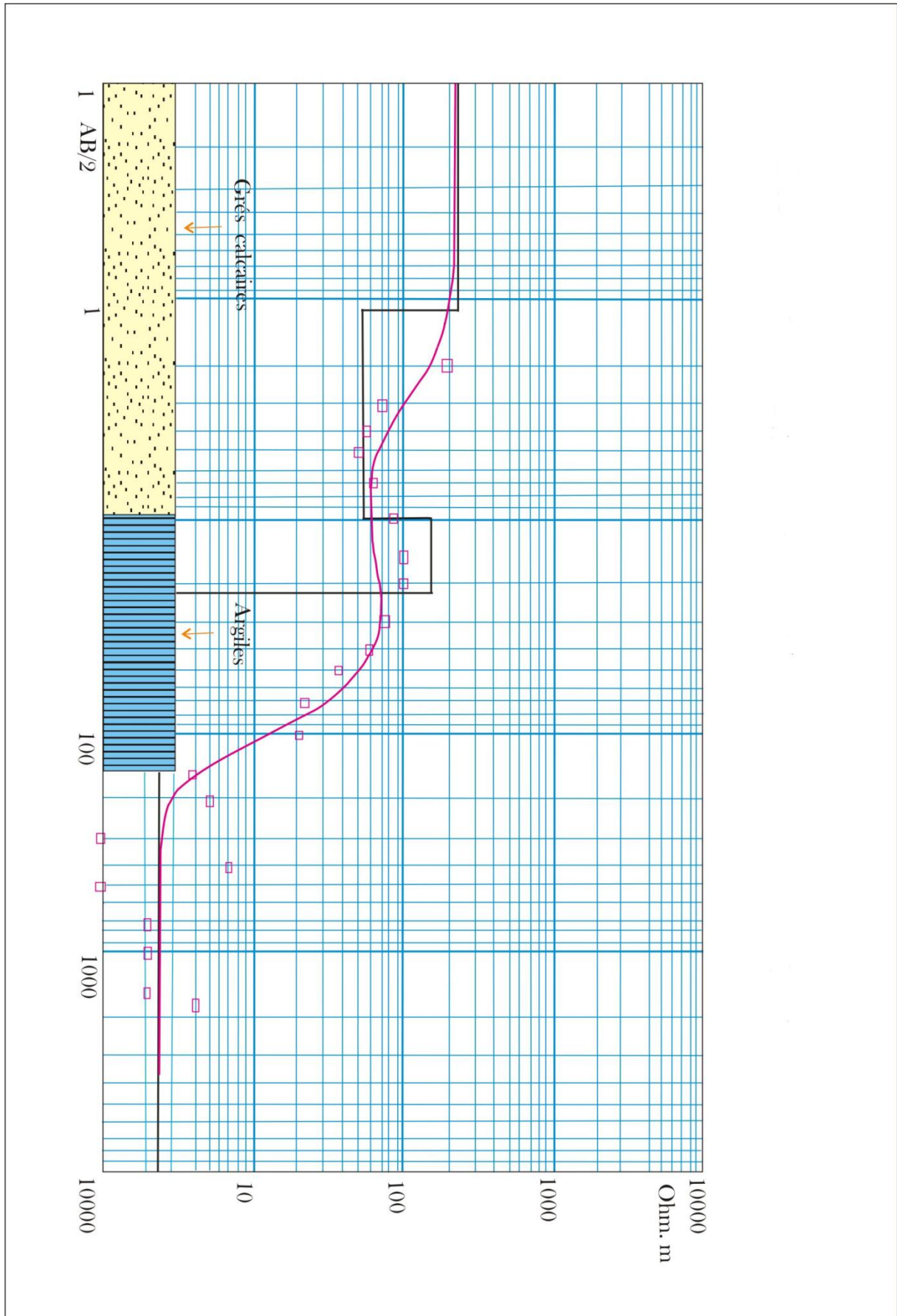


Fig.36 : Etalonnage du sondage électrique « M4 » à l'aide du forage ELAYAIDA (F5).

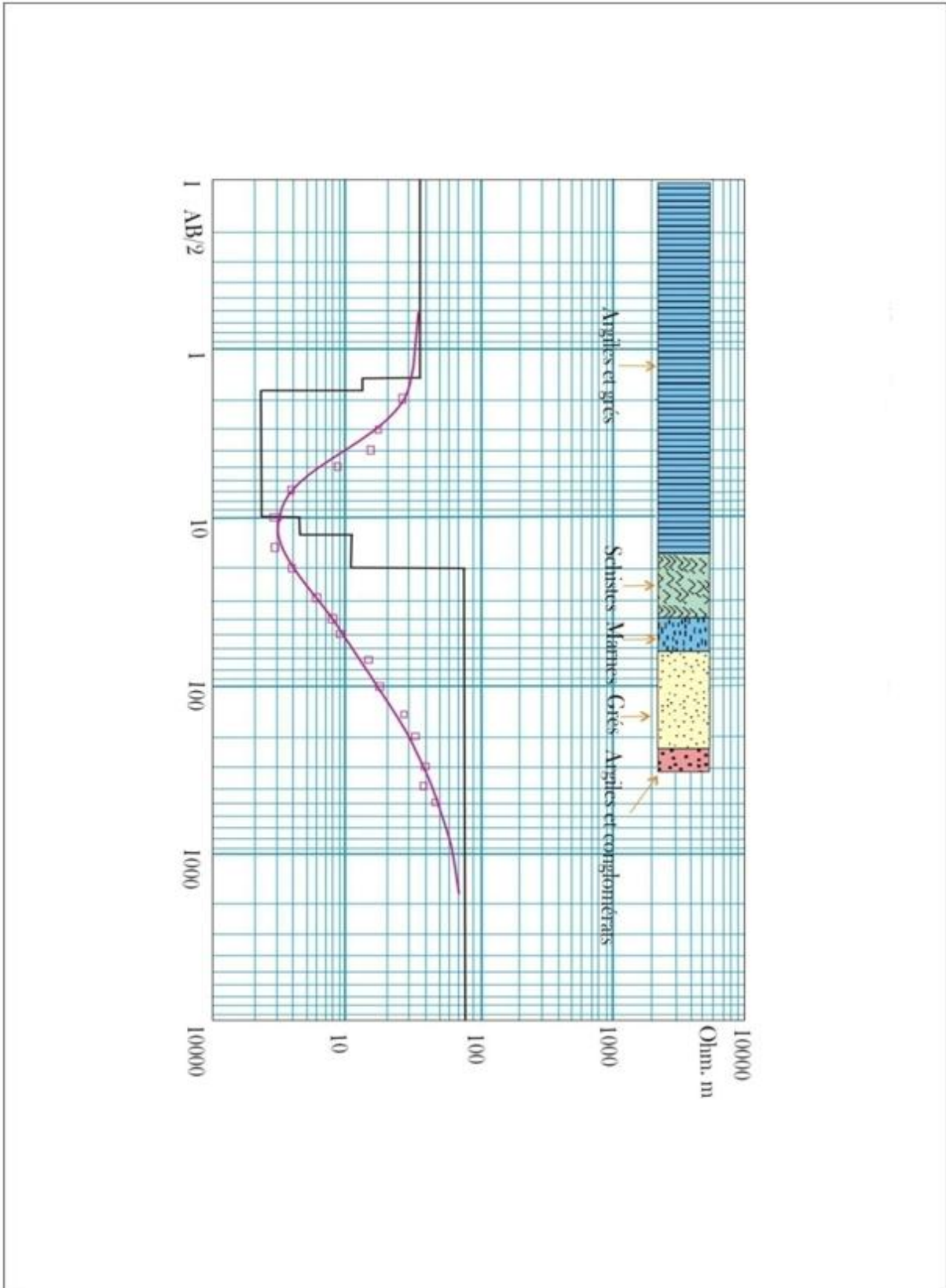


Fig.37 : Etalonnage du sondage électrique « J1 » a l'aide de forage Sidi Ben Yebka (F1).

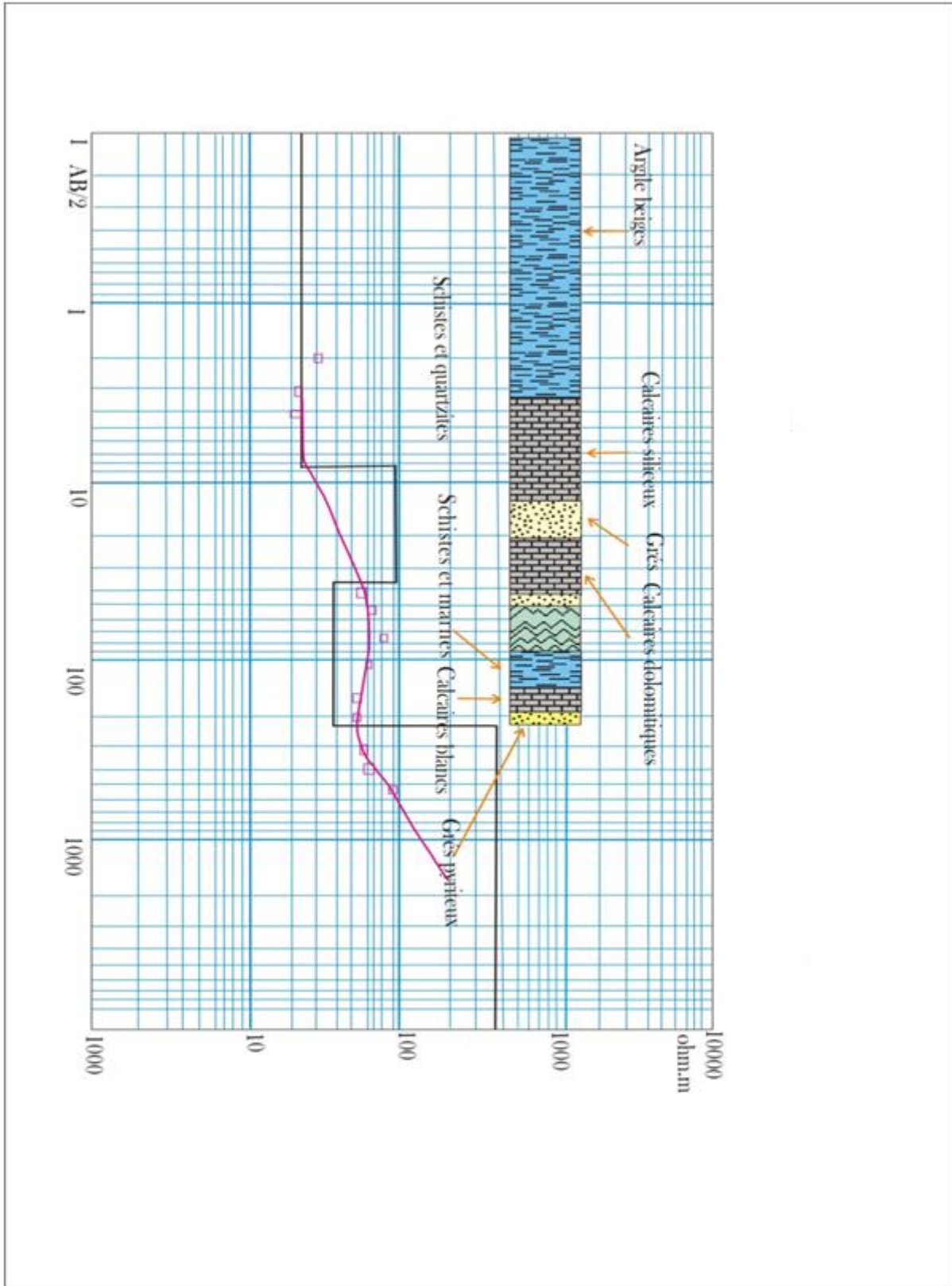


Fig.38 : Etalonnage du sondage électrique « G4 » à l'aide du forage Hassi Mefsoukh (F2).

3. Interprétation des coupes géoélectriques

Les profils notés A à N sont portés sur la carte. Les positions des failles ou des contacts géologiques sur les coupes géoélectriques sont basées entre autres sur les changements brusques des valeurs de résistivité.

L'interprétation de l'ensemble des coupes géoélectriques indique que la région des piedmonts d'Arzew est affectée par un ensemble d'accidents tectoniques qui a donné naissance à une structure cassante en horst et graben où la surélévation des formations attribuées au Complexe Secondaire constitue un trait du paysage bien visible.

Ces coupes montrent aussi les zones d'effondrement et les chevauchements entre les différentes formations géologiques accusant les différents mouvements tectoniques qu'a subis la zone d'étude.

3.1. Coupes géoélectriques A, B, C, D et E (fig.39, 40, 41)

Les (5) premières coupes qui représentent la partie Ouest de la zone d'étude montre d'une façon générale les principaux niveaux reconnus qui sont

- la formation permo- triasique où on peut rencontrer les formations suivantes : Argilites, gypses, dolomies, conglomérats, schistes violacés, roches vertes et sel gemme d'une résistivité très variable (de 7.9 à 260 ohm.m). Elle est affleurante entre les SEV A₁ et A₂s'étendant jusqu'au SEV C₂ ; à ce niveau, cette formation entre en contact anormal avec le Complexe secondaire à la faveur d'une faille apparemment de glissement, elle peut atteindre une épaisseur variable supérieure à 500 mètres au niveau des SEV B₂, C₂ et entre A₁et A₂.
- Les marnes grises et le gypse du Miocène supérieur présentes dans la partie sud des coupes varient d'une résistivité allant de 3.8 à 20 ohm.m et d'une épaisseur dépassant la centaine de mètres, affleurent au niveau des SEV A₃ et C₃, alors que les marnes à tripolis (11 à 20 ohm.m) affleurent quant à elles aux alentours immédiats du SEV A₄.

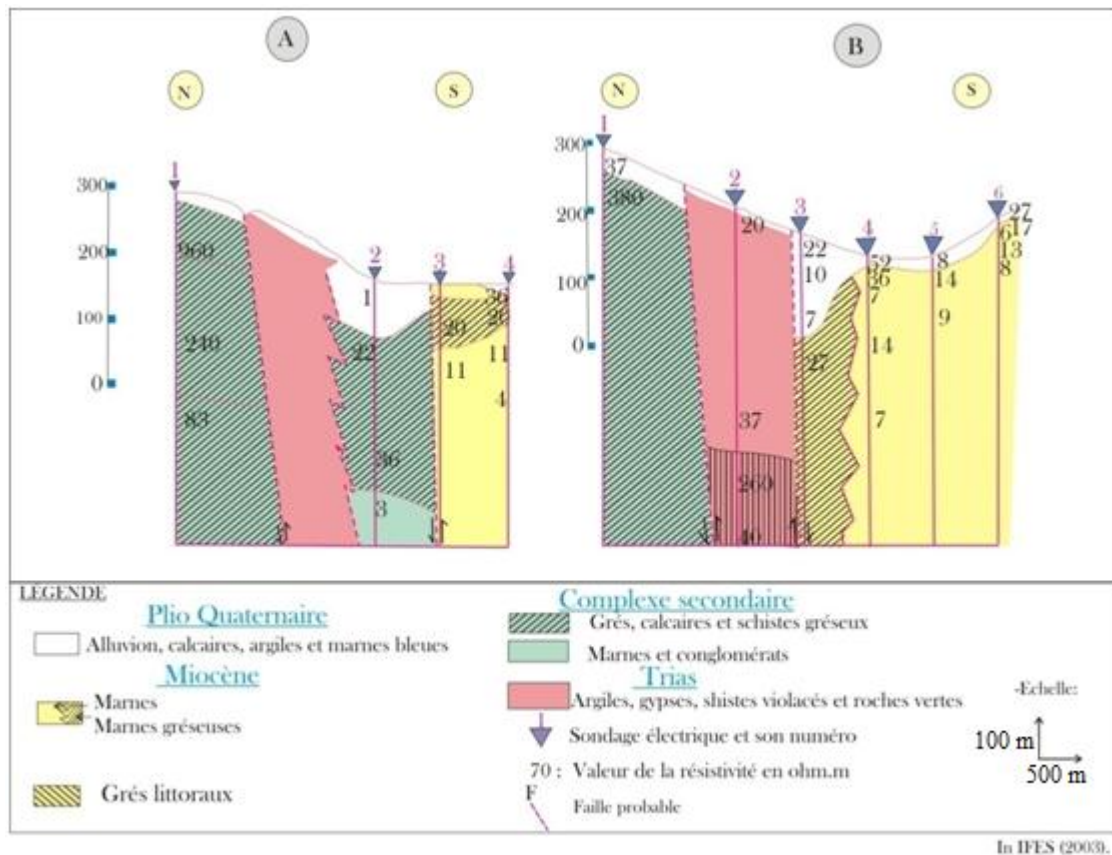


Fig.39 : Coupes géoélectriques (profils A et B).

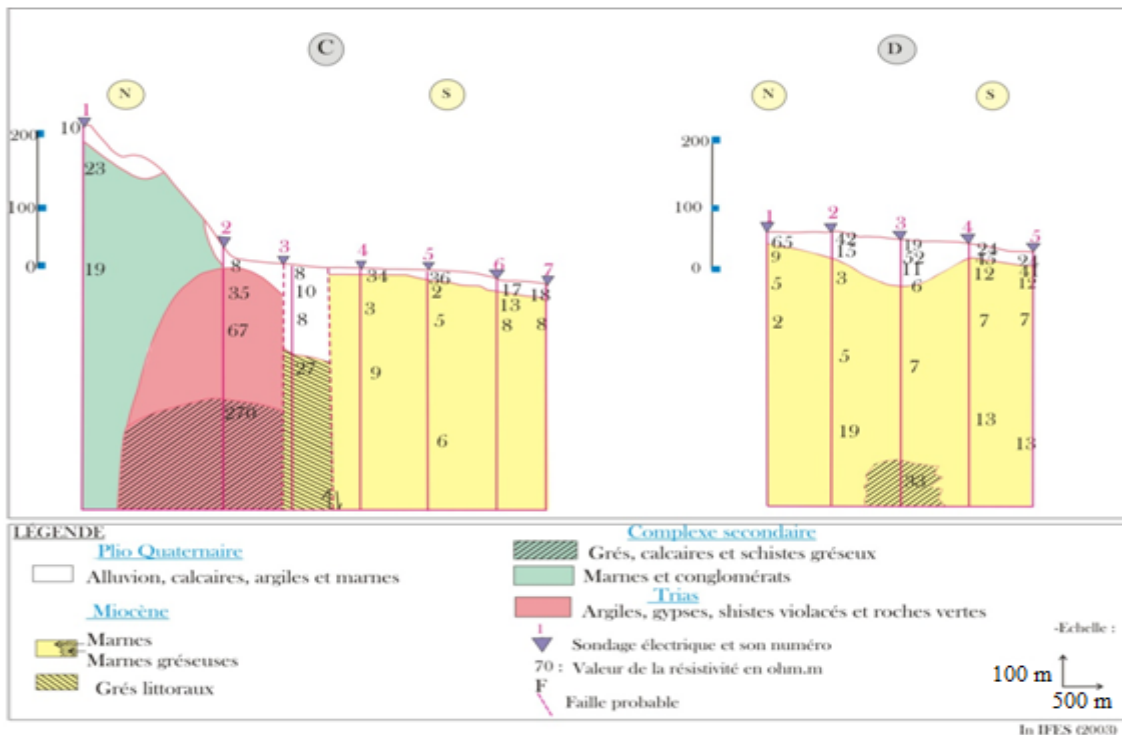


Fig.40 : Coupes géoélectriques (profils C et D).

- Une alternance d'argiles schisteuses grises de marnes noires dures, calcaires avec des veines de gypse et de silt- stone sableux d'une résistivité comprise entre 1 et 27 ohm.m est attribuée au Pliocène continental dont l'épaisseur dépasserait les 160 mètres au niveau des SEV B₃, C₃ et D₁.
- Des lumachelles très consolidées de grés grossiers avec des passées calcaires du Calabrien (néanmoins ils peuvent être attribuées au Pliocène) et les alluvions quaternaires (pouvant être formées par une carapace calcaire, des argiles parfois sableuses à très sableuses) présentent une résistivité qui se situe entre 6.9 et 69 ohm.m.
- Les formations du Complexe Secondaire :
Constituées de calcaire siliceux, des grés, de grés pyriteux, de calcaires dolomitiques, de calcschistes, de marnes indurées, de schistes, de quartzites, d'argiles sableuses et de conglomérats polygéniques ont une résistivité qui varie entre 27 et 380 ohm.m au niveau de la plupart des SEV des cinq coupes géoélectriques.

Cette formation captée par un certain nombre de forages, renfermerait par endroit une eau chargée, la minéralisation de l'eau expliquerait en partie certaines faibles résistivités obtenues (24 – 89 ohm.m). Sous l'effet des contraintes tectoniques importantes, les coupes montrent en général une structure cassante en horst et graben.

La faille qu'on appellera (FA) d'une orientation générale NW- SE passe entre les SEV (A₁-A₂), (B₁-B₂) et (C₁-C₂). Elle aurait joué un rôle prépondérant dans la remontée du Permo-Trias et serait rattachée aux structures tectoniques de la phase tabianienne.

Dans la partie centrale des coupes A, B et C, au niveau des SEV A₃, B₃ et C₃ on constate qu'il s'agit d'un compartiment effondré dont les formations correspondraient d'après le forage (F₄) au Pliocène continental dépassant les 160 mètres d'épaisseur.

Au point de vue sédimentologique, le Pliocène dans la zone d'étude est le résultat d'un système fortement perturbé par la tectonique.

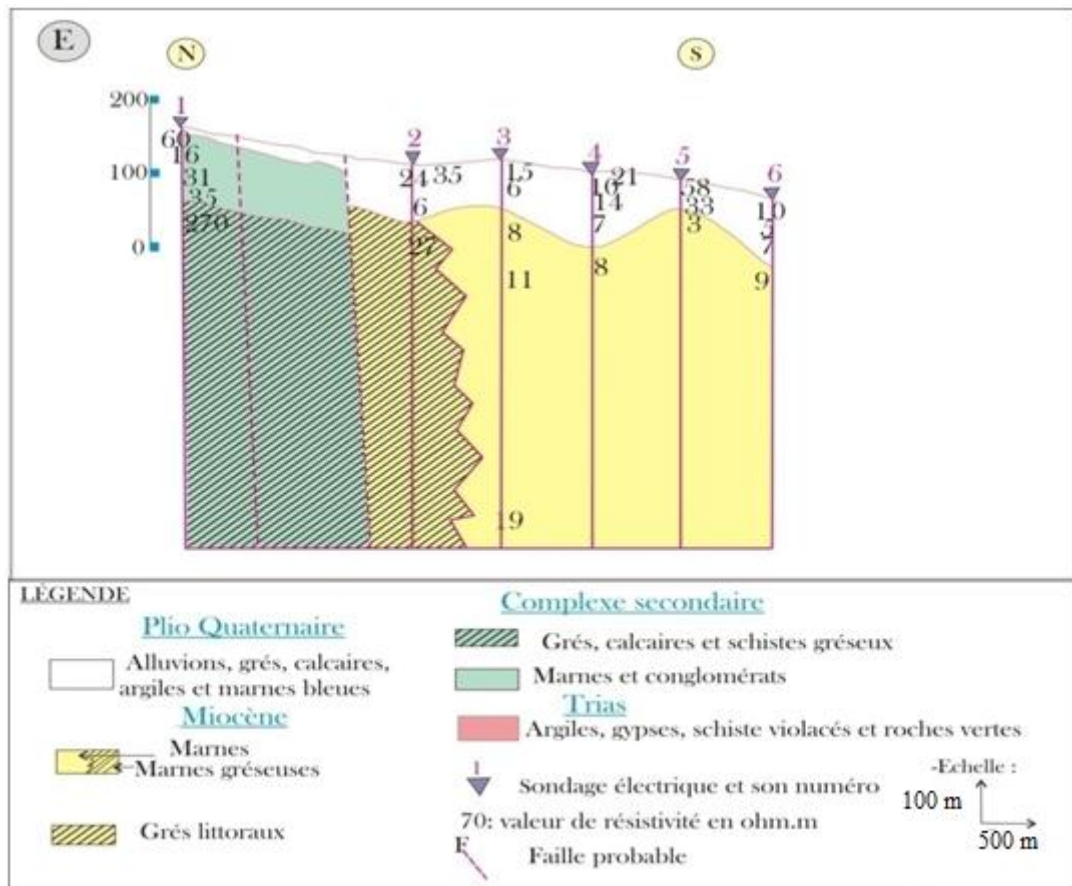


fig.41 : coupe géoélectrique (profil E).

3.2. Coupes géoélectriques F, G (fig.42, 43)

Les coupes F et G montrent que la structure est affectée par deux failles importantes à savoir (FA) et (FB) qui pourraient remonter à la tectonique tabianienne.

Ces deux failles favorisent la remontée du bloc qui est situé entre elles : l'une que l'on appellerait (FB) presque parallèle à (FA) passerait entre les SEV (F₁-F₂) et (G₂-G₃) suivant une direction orientée NW-SE, l'autre (FA) passerait entre les SEV (F₄-F₅), (G₅-G₆).

Les formations mises en évidence au niveau des SEV F₅-F₆-F₇-F₈-F₉- F₁₀-F₁₁-F₁₂-G₆-G₇-G₈-G₉-G₁₀, G₁₁, G₁₂ pourraient être rattachées aussi bien au Pliocène inférieur qu'au Miocène supérieur.

Ces coupes présentant la partie centrale de la région d'étude montrent

- Les dépôts plio- quaternaires (contenant souvent une eau chargée) reposent sur les formations conductrices du Miocène supérieur et sur les différents faciès du Complexe Secondaire.

Dans les parties gauches des coupes le Complexe Secondaire est disloqué en plusieurs blocs

- Dans les parties gauches des coupes le Complexe Secondaire est disloqué en plusieurs blocs surélevés et/ou affaissés sous l'effet de la tectonique cassante et chevauchante qui caractérise la région des piedmonts d'Arzew.

Ce basculement crée des conditions hydrogéologiques très complexes.

Le Complexe Secondaire affleure au niveau des SEV F_2 , F_3 , F_4 , G_3 et G_4 .

La faille qui existerait entre les SEV (F_4 - F_5) et (G_5 - G_6) serait une faille chevauchante sur des formations de même âge géologique (Complexe Secondaire).

Le forage de Hassi Mefsoukh (F_2) projeté sur le profil G entre les SEV G_4 - G_5 et captant le Complexe Secondaire sur une profondeur de 200m traverse des calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes grises et schistes violacées, de grés siliceux et quartzitiques (de 3.6 à 12ohm.m) de conglomérats polygéniques hétérométriques de calcaires noirs et de gris pyriteux

(de 40 à 64 ohm.m).

Ces résistivités apparentes faibles seraient dues au faciès chloruré sodique de l'eau et de son résidu sec de l'ordre de 1.6 g/l emprisonnée par ces formations géologiques.

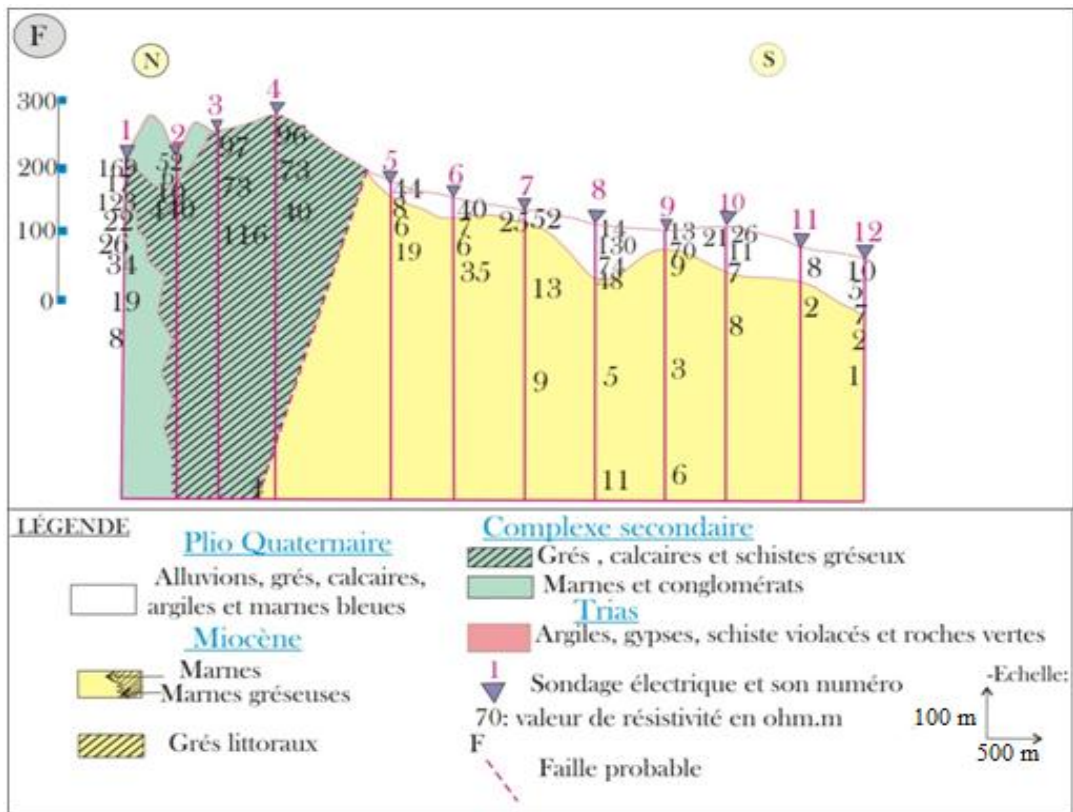


Fig.42 : coupe géoélectrique (profil F).

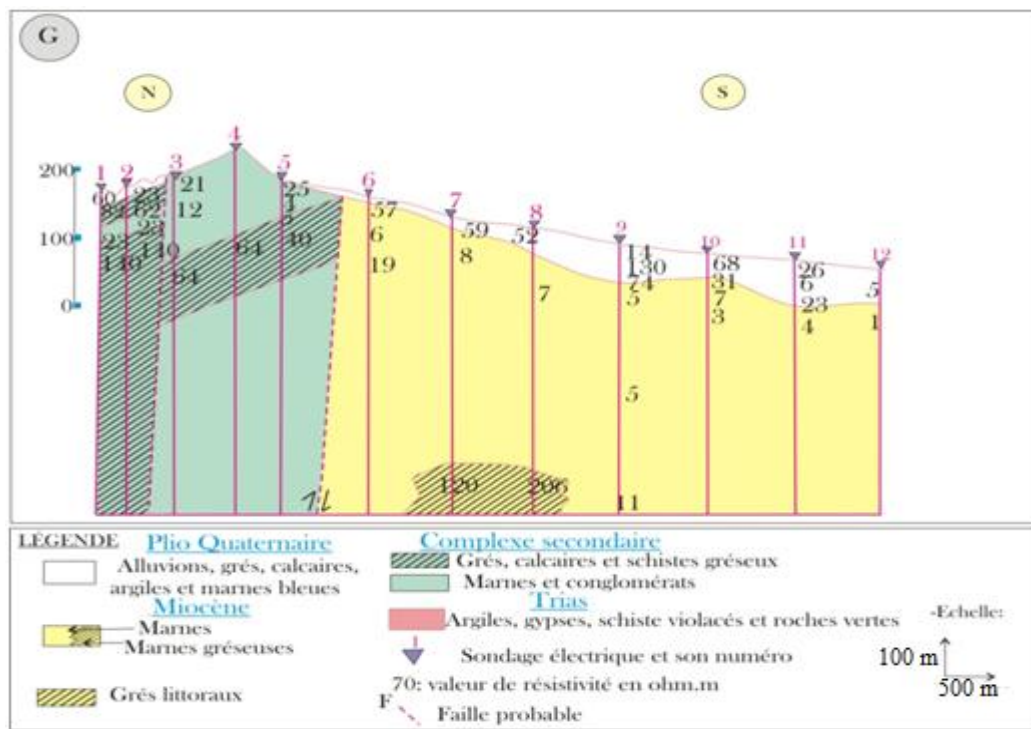


Fig.43 : coupe géoélectrique (profil G).

4. Interprétation des cartes de résistivités

Deux cartes de résistivité apparente en ligne AB =1000m, 2000m, ont été établies afin de suivre l'évolution latérale et verticale des résistivités puis de refléter les variations lithologiques pour chaque ligne d'émission.

4.1. Carte de résistivité apparente en AB=1000m (fig.45)

Cette carte montre, vers une profondeur de 250m, une zone relativement résistante localisée dans le NNW de la zone d'étude et dont la résistivité atteint respectivement au niveau du début du profil A des valeurs supérieures à 150 ohm.m. Le reste de la carte, surtout dans sa partie sud est caractérisé par des horizons conducteurs dont la résistivité est largement inférieure à 20 ohm.m.

Les formations conductrices correspondraient à des marnes parfois gréseuses et/ou gypsifères d'âge pouvant remonter soit au Miocène supérieur soit au Pliocène inférieur, décrite par plusieurs auteurs comme étant argileux et épais (1ohm.m au niveau de Ayaida).

Les formations résistantes peuvent être attribuées à des conglomérats polygéniques comme à HassiMafsoukh de résistivité vraie atteignant (75ohm.m), à des calcaires dolomitiques au niveau de la région de Gdyel (89ohm.m) ou à des argiles et des brèches dans la région de Hassi Ben yebka (47ohm.m).

4.2. Carte de résistivité apparente en AB =2000m (fig.45)

A une profondeur d'environ 500mètres, on constate que les formations considérées comme résistantes disparaissent laissant le champ libre aux formations conductrices (< 50 ohm.m).

Cet état de fait est conforté par les résultats des différentes études sédimentologiques réalisées dans la région par plusieurs auteurs. Ces derniers supposent que le mur du Pliocène inférieur pourrait atteindre au pied des Monts d'Arzew une profondeur de 500 mètres et plus. La subdivision des formations résistantes en blocs séparés serait l'oeuvre d'une tectonique cassante (failles).

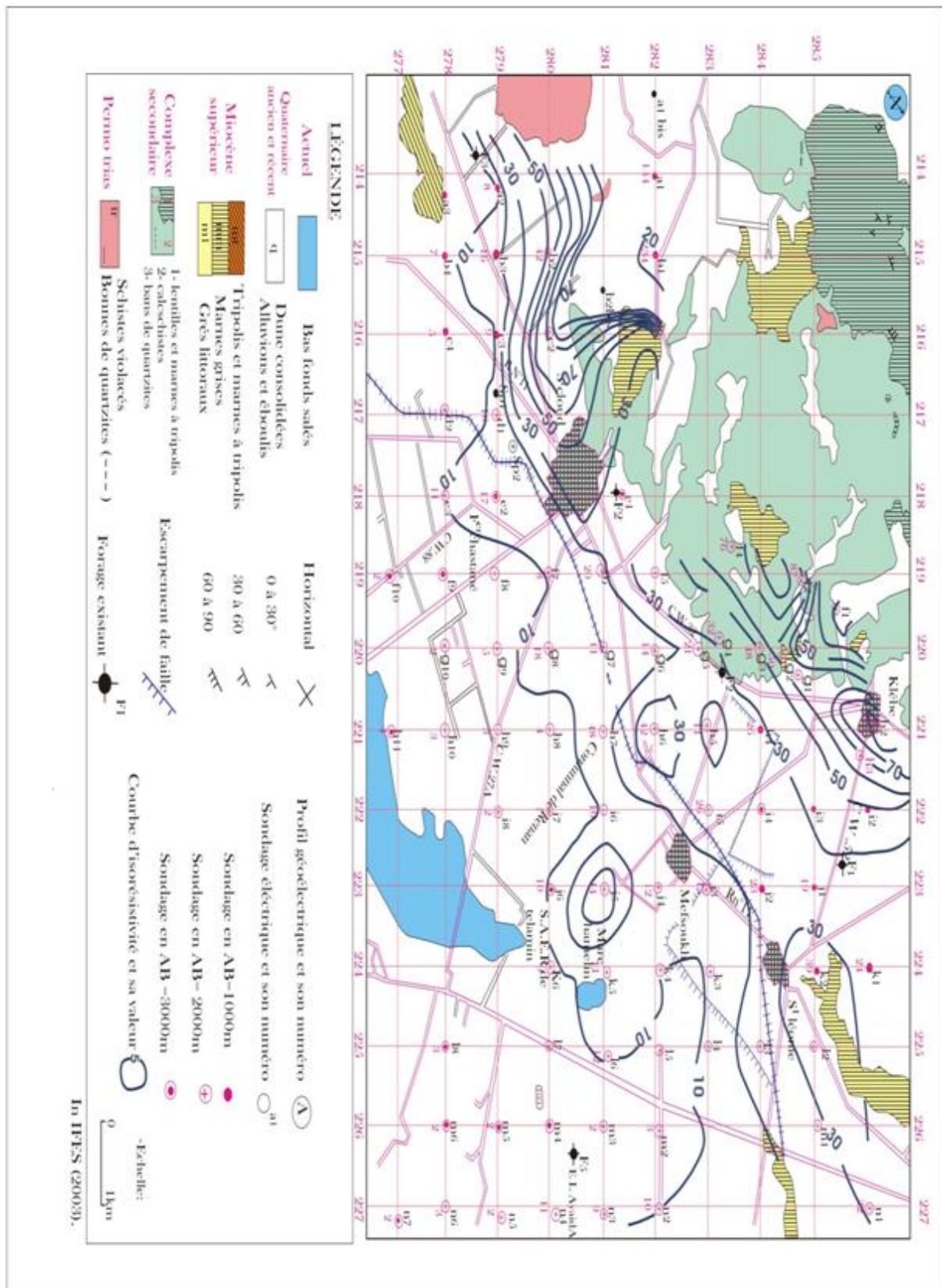


Fig.44 : carte de résistivité apparente (AB = 1000m)

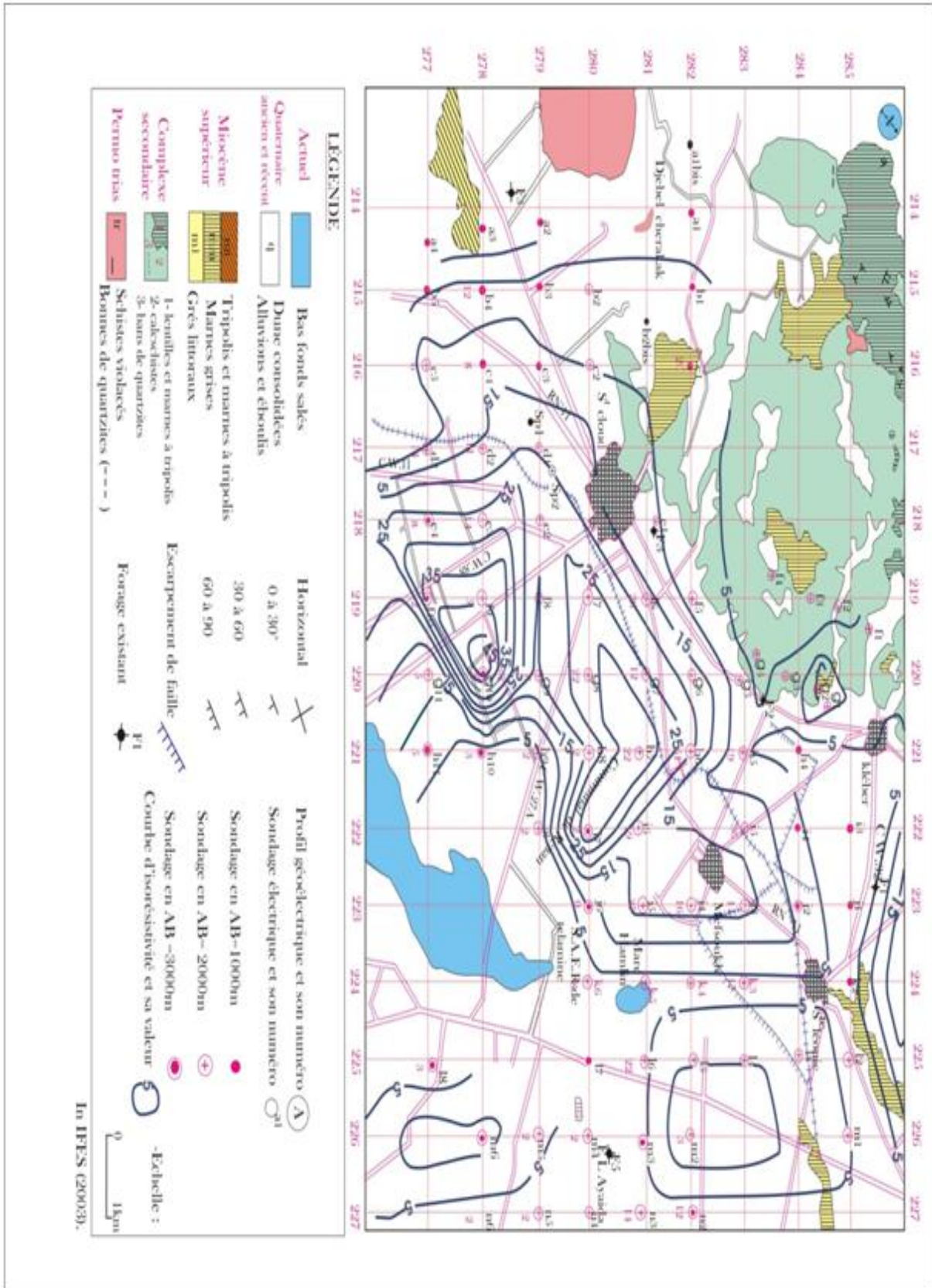


Fig.45 : carte de résistivité apparente (AB = 2000m)

IV). Relation entre les SEV étalons, les Logs géologiques et les Diagraphies

Pour cette analyse, nous allons considérer trois forages exécutés dans la zone d'étude pourvus de leur coupe géologique et dont deux de ces forages ont été l'objet de diagraphies.

Il s'agit

- du forage F2HassiMefsoukh (X= 220,800 Y= 283,200) de profondeur 320m avec diagraphie (fig.23).
- le forage F3 Gdyel (X= 218,000 Y= 281,300) de profondeur de 200m sans Diagraphie.
- du forage Hassi Ben Yebka III (X= 221,100 Y= 286,100) de profondeur 250m avec diagraphie, (2010).

Un essai de relation a été effectué dans le rapport de la Société IFES (2003) lors de l'étude géophysique accomplie dans la région. L'analyse a considéré les deux premiers forages cités mais sans tenir compte des résultats de diagraphie. En outre, le logiciel d'interprétation de SEV utilisé n'a pas été exploité à fond puisqu'aucune corrélation n'a été faite avec la diagraphie. Une échelle de résistivité est extraite à partir de cette première étude, que nous essayerons de corriger.

En effet, nous nous proposons dans cette étude de pallier à cette lacune en interprétant les diagraphies en corrélation avec les résultats de nouveaux SEV exécutés dans une campagne postérieure (G-Eau-Sol, 2010) et interprétés avec les logiciels plus performants Qwseln et IPI2.

1. Diagraphie de forage de Hassi Mefsoukh (F2) (fig.46)

Le site a été choisi au niveau des piedmonts d'Arzew de coordonnées X=220.800, Y=283.200et Z=170m. La profondeur prévue est de 320m. C'est une zone qui est sensée collecter les eaux d'infiltration et de ruissellement provenant des massifs littoraux d'Arzew.

1.1. Interprétation des résultats de diagraphie

a). le gamma -ray

Il nous a permis la reconstitution de la lithologie

- De 0-10m correspond à une carapace argileuse avec une moyenne de 15 unités A.P.I.
- De 10-172m le signal de gamma –ray est important et uniforme et correspond à des marnes (35 unité A.P.I) avec des fins passages gréseux (30unités A.P.I)
- A partir de 172 à 190m le gamma-ray est plus faible à cause de la présence des calcaires noirs oolithiques (environs 21 unités A.P.I)
- jusqu'à 220m on à une augmentation de gamma-ray dû à la prédominance des marnes.
- De 220à 236m il y a des schistes (environ 21 unités A.P.I) qui abaissent le gamma-ray.
- De 250 à 270m la baisse de gamma-ray est due à des intercalations de grés rouges et fins passages des quartz (d'environ 30 à 32 unités A.P.I)
- De 270 à 295m prédominance marneuse.
- De 295 à 305m diminution de gamma-ray à cause des schistes avec des passages marneux.

b). la Sonde normale de Résistivité

La résistivité est très basse de l'ordre 15 Ω .m jusqu'à 172m, et correspond à des marnes. Puis la résistivité augmente jusqu'à une valeur de 260 Ω .m qui correspond à des calcaires oolithiques siliceux.

- De 225m à 230m la résistivité diminue à cause des intercalations des schistes et marnes dans les calcaires.
- à partir de 240m à 280m on a des calcaires avec des passages de grés (alternances de marnes) qui augmentent la résistivité.
- au delà, jusqu'à la fin de sondage il y a la réapparition des marnes avec des schistes, de ce fait la résistivité est moyenne.

c). Le Potentiel Spontané (SP)

L'enregistrement de SP donne un signal uniforme jusqu'à une profondeur de 170m.

A partir de 175m, il y a un décrochement de signal de PS qui correspond bien à l'apparition des calcaires noirs oolithiques. Le SP nous permet de détecter les niveaux perméables qui commencent à partir de 120m (déflexion vers la gauche) jusqu'à 320m.

Toutefois nous pouvons remarquer 03 niveaux

1- plus perméables avec des épaisseurs de 46m (180 à 226m).

2- le deuxième niveau et de 56m (234 à 290m).

3- la troisième niveau et de 20m (300 à 320m).

A partir du décrochement à la profondeur de 200m on peut calculer la minéralisation des eaux.

La température $T = 25^\circ$ à 200m. Donc le coefficient de température est :

$K = 70$ $PS = 15 \text{ mv}$ La résistivité de la boue : $R_m = 3 \Omega.m$, R_w
résistivité de l'eau

$$R_m / R_w = 0.7 \quad R_w = 3 / 0.7$$

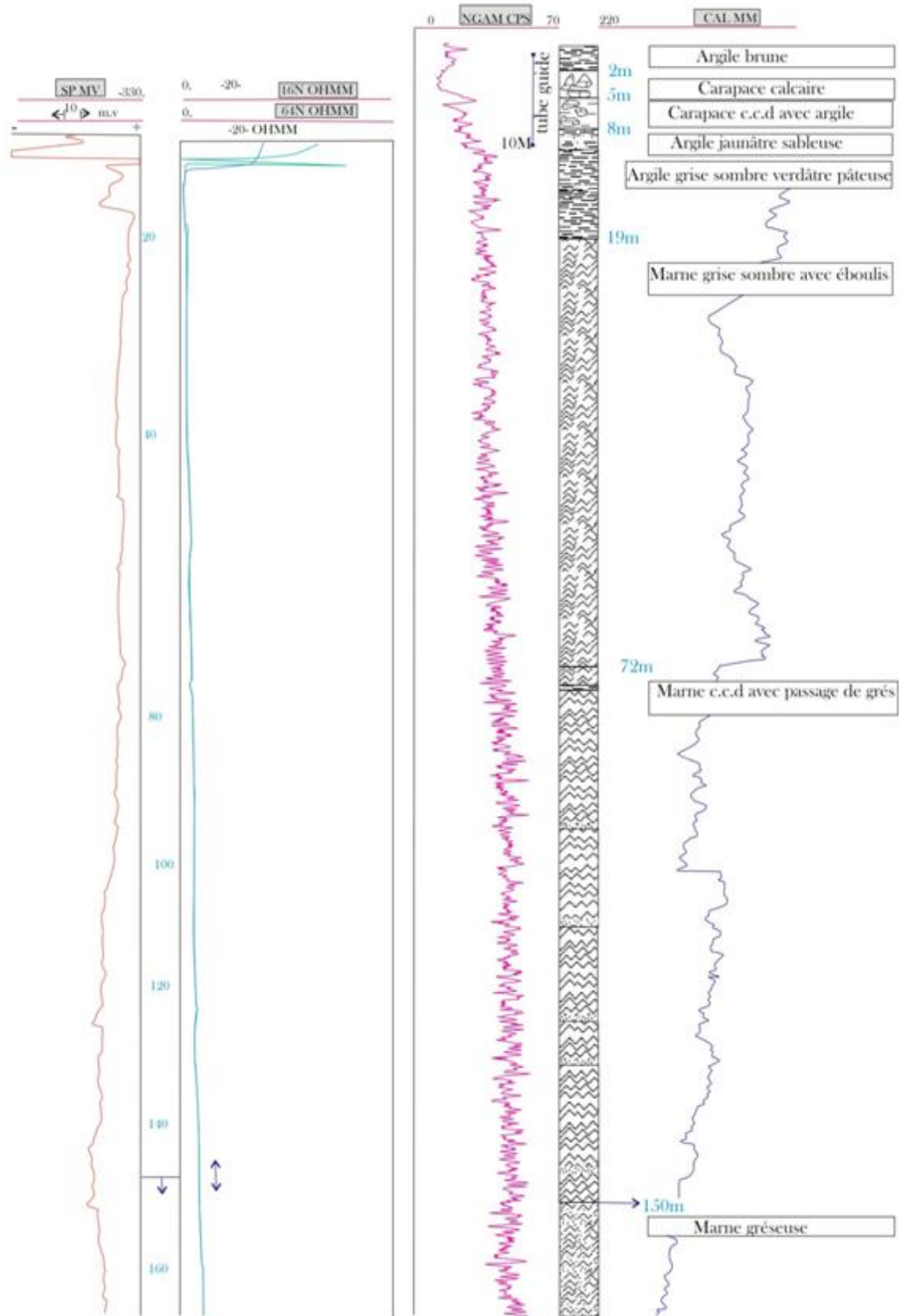
Soit : $R_w = 4.28 \Omega.m$ Donc la minéralisation est égale à 1200 ppm = 1.2 g/l

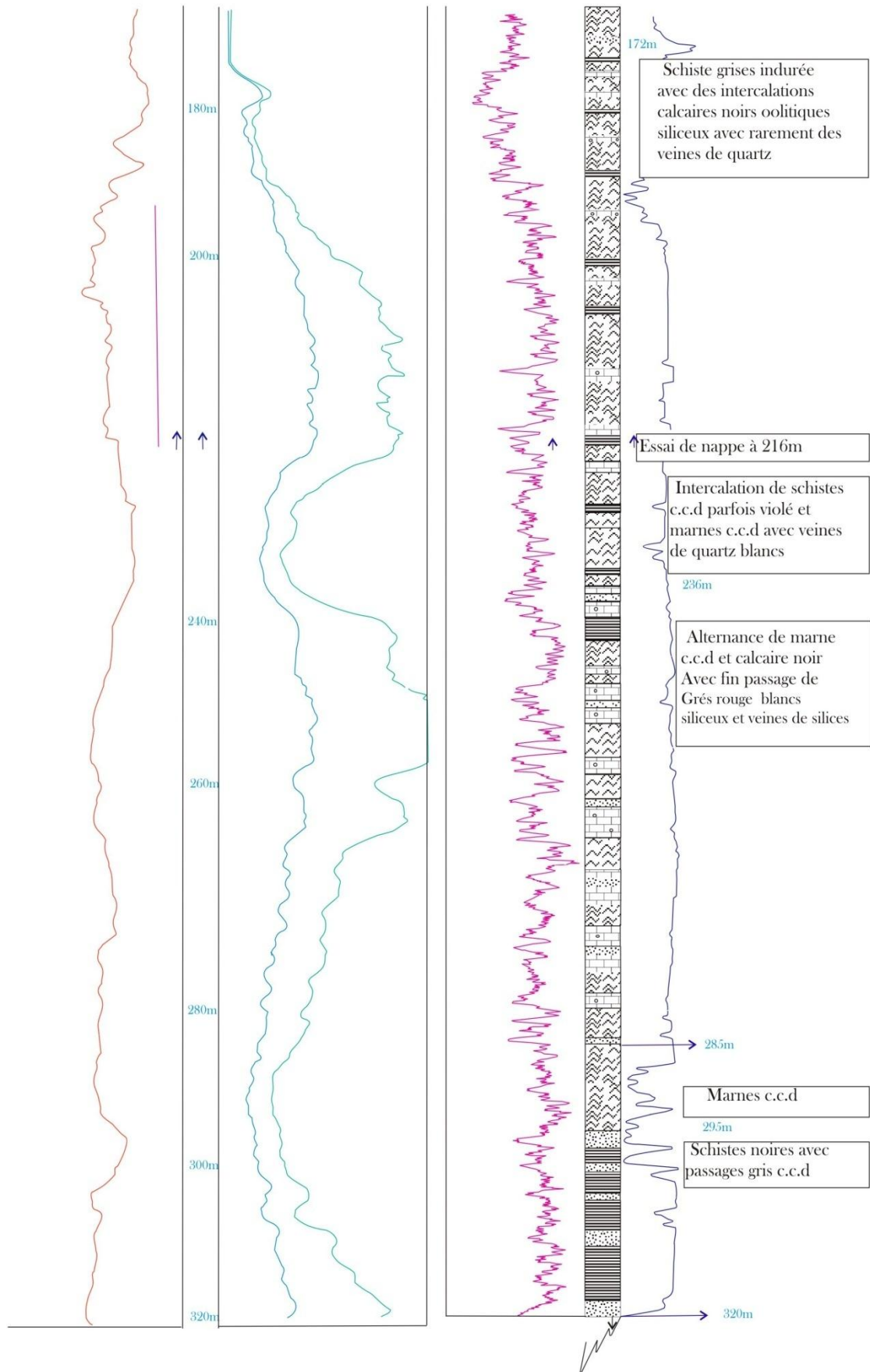
- La qualité de l'eau de ce forage est assez minéralisée due au lessivage des gypses et marnes sus jacentes au niveau capté . Le résidu sec R_s mesuré est 1.6 g/l valeur proche de la valeur obtenue par la PS.

Conclusion

Les résultats des diagraphies ont permis la localisation avec précision des niveaux perméables et l'estimation de la minéralisation, la reconstitution de la lithologie et l'équipement du forage.

Fig.46 : enregistrement des Diagraphie





2. Diagraphie dans le forage Hassi Ben Yebka III

Coupe géologique – Diagraphies (fig.47)

La coupe lithologique et stratigraphique des terrains traversés a été établie à partir de l'observation des déblais de forage (cutting) et des diagraphies réalisées après le creusement du sondage de reconnaissance. Le forage de Sidi Benyebka III a permis de distinguer la lithologie suivante

Profondeur en m	Lithologie	Stratigraphique
0 à 2m	Terre végétale et remblai	Complexe Jurassique
De 2 à 20m	Calcschistes	
De 21 à 27 m	Argiles sableuses beiges	
De 28 à 40 m	Calcschistes	
De 41 à 45 m	Argiles avec présence de calcschistes	
De 46 à 51 m	Calcschistes	
De 52 à 60m	Schistes noir avec présence de calcschistes	
De 61 à 114 m	Schistes noir avec présence d'argiles noires	
De 115 à 132 m	Argiles noires schisteuses	
De 133 à 157 m	Schistes noir	
De 158 à 190 m	Calcaires gréseux	
De 191 à 209 m	Calcaires gréseux avec présence d'argiles	
De 210 à 250 m	Calcaires gréseux avec forte présence de calcite	

Tab.13 : Coupe lithologique et stratigraphique du forage de Sidi benyebka III

2.1. Interprétation des résultats de diagraphie

Pour ce travail les mesures prises en carottage géophysique sont

- Les mesures de la polarisation spontanée (P.S) et les sondes Normales.

Dans le cas du carottage radioactif les mesures effectuées sont

- Les mesures de gamma- ray ainsi que celle de diamètre (caliper).

a). Le gamma -ray

Il nous a permis la reconstitution de la lithologie

- De 0 à 2 m correspond à une carapace argileuse avec un faible signal de 24 unités A.P.I.

- De 3 à 20 m le signal de gamma –ray est important a cause de la présence des calcschistes (56 unité A.P.I).

- A partir de 21 m jusqu'a 170m le gamma –ray est moyen et uniforme et correspond à des alternances argilo-schisteuses (25 unité A.P.I) et des schistes (50 unités A.P.I).

- De 171 à 250 m une diminution de gamma-ray dû à la prédominance des calcaire avec présence de calcite.

b). La sonde normale

- De 10 à 140 m la résistivité est faible à cause des présences des schistes et des argiles.

- A partir de 141 m à 180 m la résistivité augmente jusqu'à une valeur de 230Ω cela correspond à des schistes et des calcaires.

- De 180 m à 210 m on distingue des calcaires avec présence des argiles ce qui signifie la rechute de la résistivité jusqu'à 85Ω .

- Au delà, jusqu'à la fin de sondage, on remarque une légère augmentation (140Ω) à cause des présences des calcaires calcitiques.

c). La Potentiel Spontané (SP) à cause d'une panne au niveau l'appareillage qui mesure le PS, nous n'avons pas pu calculer la porosité.

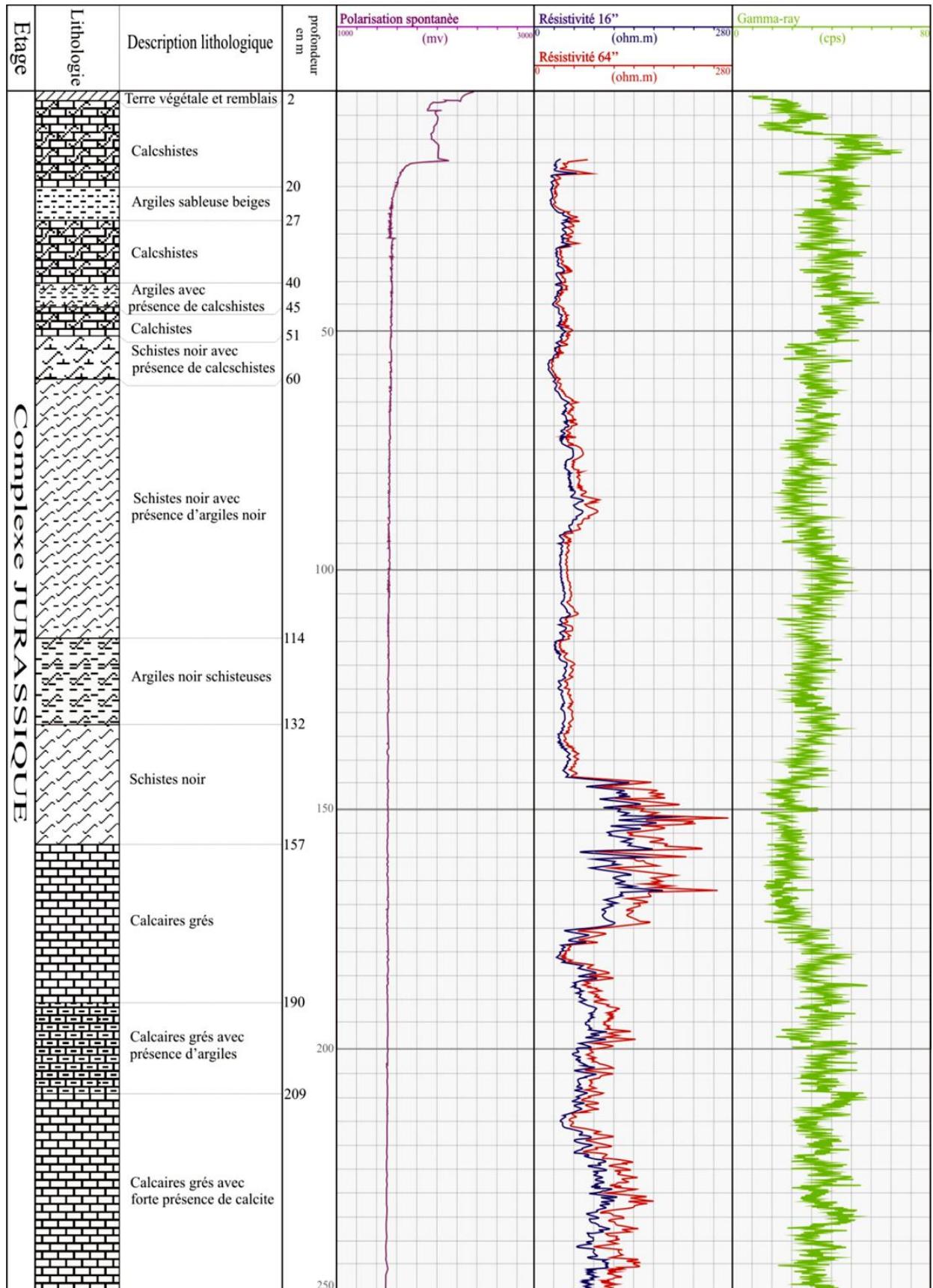


Fig.47 : coupe géologique et Diagraphie du forage de sidi benyebka III.

3. Résultats de la réinterprétation des SEV étalons

On considérera dans cette réinterprétation, en collant le plus aux résultats des logs géologiques, un nombre de couches plus grand, à savoir 8 couches. La correspondance entre les résultats permettra d'extraire les résistivités les plus probables des différents terrains de la coupe.

- Considérons le premier forage F2 Hassi Mefsoukh .

Dans l'étude G-Eau –Sol, le SEV étalon (nouveau) exécuté a eu une élongation maximale de AB=2000m, supérieure à celle de l'étude IFES précédente (1000m). Ceci afin d'avoir les résistivités dans les couches plus en profondeur.

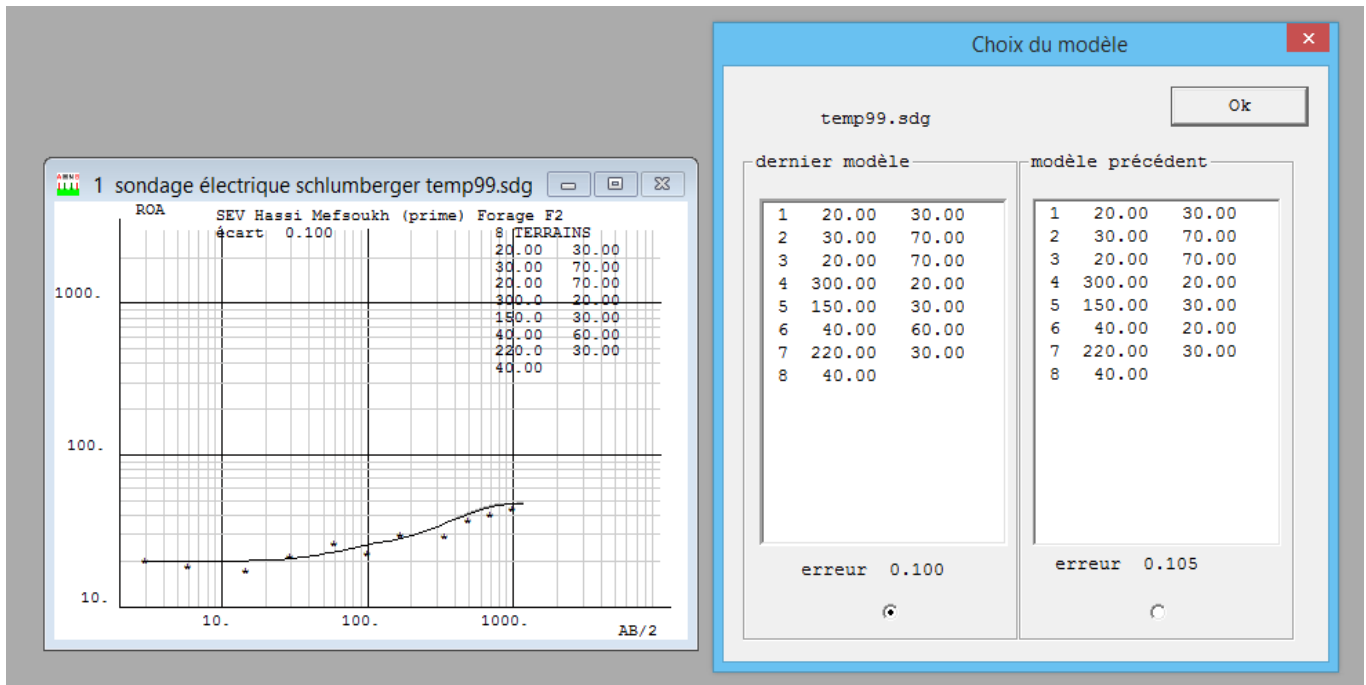


Fig.48 : Interprétation du SEV étalon (nouveau) du forage F2 Hassi Mefsoukh

Le résultat du SEV en 8 couches, est

Résistivités	Profondeurs	Forage F2HassiMefsoukh	Diagraphie	Résistivité.
20 ohm.m	0-30m	argile, marnes	0 -	
30	30-100	marnes, grès	-	15ohm.m
20	100-170	marnes	- 172 m	
300	170-190	schistes-		260ohm.m

150	190-220	schistes, calcaires	- 225 m	
40	220-240	schistes, marnes	- 230 m	30ohm.m
220	240-270	calcaires, grès	-	280ohm.m
40	270-	marnes	-280 m	

Les deux premières colonnes représentent l'interprétation du SEV étalon du forage, alors que la troisième colonne correspond à son log géologique. Les quatrième et cinquième colonnes indiquent les résultats de la diagraphie, avec les profondeurs des couches successives et leurs résistivités. Nous constatons qu'il existe une bonne concordance entre les résultats des colonnes, en particulier entre la première et dernière colonne c'est-à-dire les résistivités des couches géologiques.

- Deuxième SEV étalon Forage Hassi Ben Yebka III:(débit 25 l/sec)

Ce SEV a été exécuté lors de la campagne G-Eau-Sol (2010) avec une elongation AB = 1500m, permettant d'atteindre les couches profondes de ce forage creusé jusqu'à 250 m.

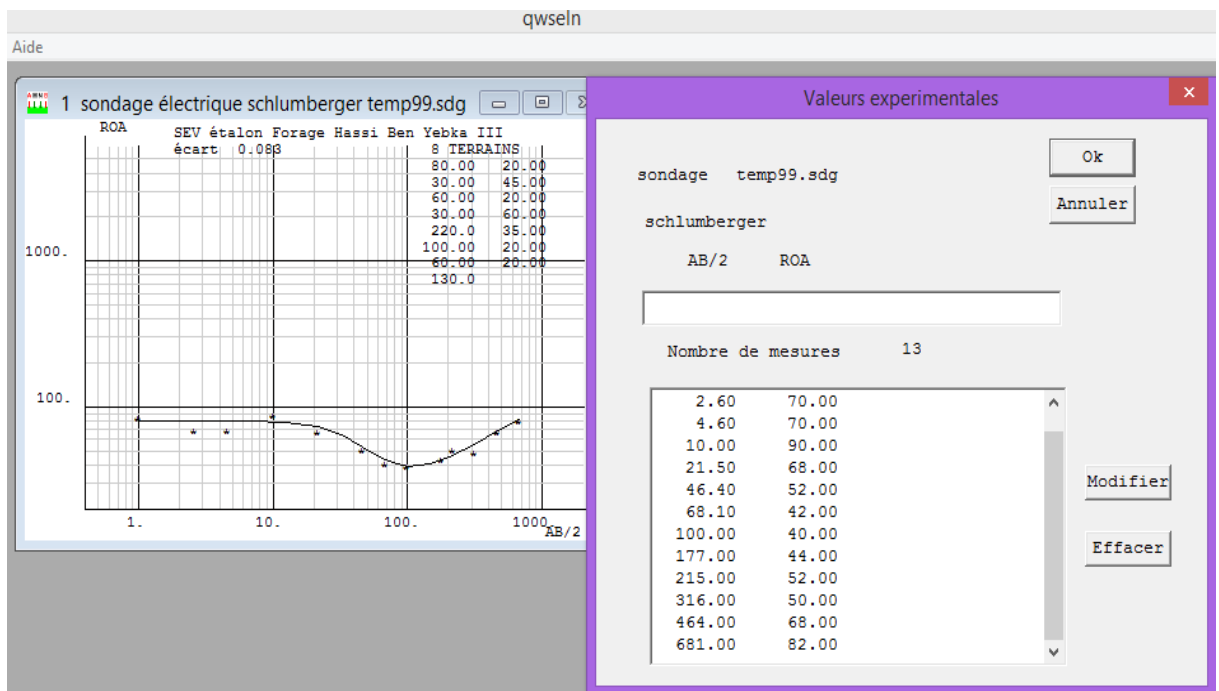


Fig.49 : Interprétation du SEV étalon Forage Hassi Ben Yebka III.

Le résultat du Sev est, en corrélation avec le log du forage et la diagraphie,

Résistivités	Profondeurs	Forage Sidi Ben Yebka (log)	Diagraphie	Résistiv.
80 ohm.m	0 – 20 m	0 – 20 m calschistes	0 -	
30	20 – 65	20 – 60 calschistes et argiles	-	40ohm.m
60	65 – 85	60 – 114 schistes et argiles	-	
30	85 – 145	114 – 157 schistes, argiles	-140m	
220	145 – 180	157 – 190 calcaires gréseux	-180m	230
100	180 – 200	190 – 209 calcaires gréseux, argiles	-	
60	200 – 220	209 - calcaires gréseux avec	-210m	85
130	220 – 250	- 250 présence de calcite	-250m	140

Comme pour le SEV précédent, on constate une bonne concordance des différentes colonnes de ce tableau.

En conclusion, des deux tableaux précédents nous pourrions en extraire les véritables résistivités des différentes couches géologiques présentes dans la zone d'étude. Ce résultat est important, en fonction du Principe d'Equivalence (voir § II), car il cautionne tous les résultats sur les épaisseurs les plus proches de la réalité dans l'interprétation de tous les SEV de la campagne géophysique.

Tab.14 : Tableau synthétique final à adopter comme échelle de résistivités la plus probable

<u>Pliocène</u>	Grès, calcaires	50 – 220 ohm.m
<u>Miocène</u>	Argiles, marnes	15 – 30 ohm.m
<u>Complexe</u>	Schistes, calcaires	150 – 300 ohm.m
	Schistes, marnes	30 - 40 ohm.m
	Calcaires, grès	220 - 280ohm.m
<u>Jurassique</u>	Calcaires gréseux, présence de calcite	60 – 140 ohm.m
	Calcschistes, argiles	30 – 40 ohm.m
	Marnes	20 - 40ohm.m

Conclusion générale

La méthode géophysique électrique est probablement celle qui est la plus facile à mettre en œuvre sur le terrain et son intérêt supplémentaire est que, par rapport aux autres méthodes elle est la moins coûteuse économiquement parlant. Cependant, dans l'interprétation de ses données, c'est elle qui présente le plus de difficultés et d'ambiguïté dans les solutions. Il est donc nécessaire de pallier à ce défaut en disposant le plus d'informations géologiques pour retenir la solution qui « colle » le mieux à la réalité du terrain. Les outils pour résoudre les données à savoir les logiciels d'interprétation quantitative sont nombreux, mais il faut savoir bien les utiliser.

Nous avons présenté dans ce travail quelques logiciels relativement parmi les plus récents et les plus abordables dans leur utilisation, en particulier ceux qui permettent également de présenter les coupes géoélectriques, dans le souci de traiter la solution plus réelle en deux dimensions 2D.

Dans le contexte de l'étude hydrogéologique, cette région des piémonts d'Arzew, avait déjà fait antérieurement l'objet de quelques rapports après avoir constaté par le premier forage de Gdyel que les calcschistes jurassiques renfermaient un potentiel aquifère.

L'application de ces logiciels plus performants a permis d'améliorer les solutions géoélectriques en augmentant le nombre de couches à résoudre après l'information donnée par les logs de forage. De plus les diagraphies ont fourni les profondeurs qui ont été exploitées pour extraire les meilleures résistivités et lever les ambiguïtés introduites par le principe d'Equivalence.

L'intérêt de cette procédure est qu'elle permet en fin de compte, de déduire les profondeurs les plus probables des couches lors d'une campagne électrique, et de planifier les meilleurs et plus justes programmes prévisionnels de futurs forages.

Cette méthodologie peut être ainsi généralisée à toute zone ayant fait l'objet d'une campagne géophysique et dont on veut améliorer la connaissance de profondeurs de couches productives.

BIBLIOGRAPHIE

Bourrega W. (2008) Apport de la Géophysique à l'étude hydrogéologique de la région comprise entre Gdyel et Sidi Ben Yebka(Wilaya d'Oran) *Mém. Ing.d'Etat en Hydrogéol., Univ.Oran*

Douila A. (2010) Implantation et suivi d'un forage de reconnaissance au niveau des piémonts d'Arzew et Sidi Ben Yebka (Wilaya d'Oran) *Mém. Ing.d'Etat en Hydrogéol., Univ.Oran*

Fenet B. (1975) Recherche sur l'Alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir d'un élément de l'orogénèse nord maghrébine ; les monts de Djebel Tessala et les massifs du littoral oranais. *Thèse de Doctorat es sciences. Univ. de Nice*

Foukrache M. (2000) Hydrogéologie des massifs côtiers oranais (Arzew – Béni- Saf). *Thèse de Magister. Univ. Oran*

Gourinard Y. (1952) Le littoral oranais (mouvements verticaux et anomalies gravimétriques) *Publ. XIX Cong. Géol. Intern. Alger. Monographies régionales*

IFES. (2003) Prospection électrique dans la région d'Arzew (W. d'Oran) *Rapport ANRH*

Lihida-Souleymane-Mahamat. (2004) Implantation et suivi d'un forage de reconnaissance au niveau des piémonts d'Arzew (Wilaya d'Oran)*Mém. Ing.d'Etat en Hydrogéol., Univ.Oran*

Mahammed D. (1992) Recherche de modèles de traitement automatique des données de Géophysique. Applications à la connaissance de la structure des aquifères souterrains et à l'estimation de leurs réserves. *Thèse de Magister ,Univ. d'Oran*

Thomas G. (1985) Géodynamique d'un bassin du bas Chéelif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. *Thèse de Doctorat ès Sciences Univ.de Pau et Pays de l'Adour*

Zahaf H. (2004) Hydrogéologie des piémonts du massif d'Arzew et son appendice le Djebel Khar(Bir el Djir – Arzew, Wilaya d'Oran) *Mém. Ing.d'Etat en Hydrogéol., Univ.Oran*