

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche SCIENTIFIQUE

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia -Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : des Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option : Eau et Environnement

Thème

**Approche géophysique appliquée à la caractérisation
hydrogéologique du Complexe Terminal de Hassi R'Mel
(Wilaya de Laghouat)**

Membres de Jury

Président : H.KINIOUAR

Examineur: S.CHEDAD

Encadrant : Farés KESSASRA

Présenté par :

Fatima SAIFI

Kenza ZERROUKI

Année Universitaire 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :



Remerciements

Quelques mots en préambule de cette étude, qui met un point d'orgue à une année riche et intense

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

La première personne que nous tenons à saisir notre profond remerciement est notre encadrant Mr : KESSASRA Farés Pour nous avoir orienté tout au long de ce travail, pour sa compréhension, sa compétence, et ses remarques qui nous ont été précieuses.

Nos vifs remerciements aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont prêté à cette étude en acceptant de juger ce travail.

Nous désirons aussi, exprimer nos remerciements à M^{lle} Asma BOUHCHICHA, ingénieur hydrogéologue à l'ENAGEO (L'Entreprise National de Géophysique) à Hassi Messaoud pour son assistance et son aide.

Nos remerciements vont à Mr Mohamed BEDROUNE, ingénieur hydrogéologue et chef de service d'hydrogéologie et environnement à SONATRACH, pour nous avoir permis d'accéder au documents et diagraphie de SONATRACH.

Nos remerciements vont aussi à Mr Yacine YAICH. Responsable de HSE (Health, Safety and Environment) et Mr Slimane BEN HAMIDA, ingénieur hydrogéologue de l'ANRH de Ouargla (Agence Nationale des Ressources Hydraulique) pour leur soutien administratif et technique.

Sans oublier M^{me}: Souad BOUBENDIR secrétaire principal de SONATRACH à Hassi Messaoud.

Un merci tout spécial à Mr : SAADI Belkacem ingénieur en géologie.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail

Kenza et Fatima

DÉDICACE

*Par habitude, on oublie qu'ils sont précieux
Comme des diamants, ils brillent de mille feux
Ils resteront à jamais sertis dans mon cœur, mes parents*

A mon très cher père

A ma très chère mère

A mes frères Ahmed et Tahar

A mes sœurs Bouchra et Sara

A toute la famille Saifi

A ma grand-mère Cherifa

*A mes amis (es): Nouh, Yasmin, Rym, Zeyneb, Kenza, Khawla, Fatima et
Wahida.*

A tous mes collègues de promotion de master

A vous tous, je dédie avec joie cette mémoire.

« Que DIEU nous garde unis et heureux »

Si le passé ne s'oublie pas, c'est le présent qu'il

Faut vivre et l'avenir qu'il faut construire...

Fatima.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents

A mes sœurs : Massika, Ghafia et Lamia

A mes frères : Anter et Bassem

Aux enfants de mes sœurs : Melek, Mouia, Meysoun,

Rimes et moundir

A tous mes collègues de promotion de master et mes amis,

spécialement :

Chahrazed, Widad, Khaoula , Randa, Wahida, Fatima

, Meriem, Sara et Selma.

A tous ceux qui j'aime et qui m'aiment.

Kenza.

Table des Matières

<i>Résumé et Abstract</i>	I
<i>Liste des figures</i>	III
<i>Liste des tableaux</i>	VI
<i>Liste d'abréviations</i>	VII
Introduction Générale	1
1. Etude et présentation du milieu	3
1.1 Localisation géographique.....	3
1.2 Climat et végétation.....	3
1.2.1 Les précipitations.....	4
• Moyennes annuelles des précipitations.....	4
1.2.2 Température moyenne.....	5
• Température moyenne mensuelle	5
• Température extrême.....	6
1.2.3. Le bilan hydrique.....	7
• Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	7
1.3 Hydrologie.....	9
1.4 Aperçu socio-économique.....	9
2. Caractérisation Géologique et Hydrogéologique	11
2.1. Caractérisation géologique.....	11
2.1.1 Description litho-stratigraphique.....	14
2.1.1.1 Paléozoïque.....	14
2.1.1.1.1 Cambrien	14
2.1.1.1.2 Ordovicien.....	14
2.1.1.1.3 Silurien.....	14
2.1.1.1.4 Dévonien	14
2.1.1.1.5 Carbonifère	15
2.1.1.2 Mésozoïque.....	15
2.1.1.2.1 Trias	15
2.1.1.2.2 Jurassique.....	15
• Lias	15
• Dogger	15
• Malm.....	15
2.1.1.2.3 Crétacé	16
• Néocomien	16
• Barrémien.....	16
• Aptien	16
• Albien	16
• Cénomanién.....	16
• Turonien	16
• Sénonien.....	17
2.1.1.3 Cénozoïque.....	17
2.2.1.3.1 L'Eocène	17

2.2.1.3.2 Mio-pliocène.....	17
2.2. Caractérisation hydrogéologique.....	20
2.3.1 Aquifère du Complexe terminal	20
2.3.2 Aquifère du Continental intercalaire	22
2.3 Cadre structural	23
3. Etude Géophysique.....	27
3.1 Principe et méthode	27
3.2. Description de la campagne géophysique.....	28
3.3. Résultats et discussions	35
3.3.1. Présentation des résultats	35
3.3.1.1. Courbes des sondages électriques verticaux.....	35
3.3.1.1.1. Site d'Oued Enssa.....	35
3.3.1.1.1.1 Profil A.....	35
3.3.1.1.1.2 Profil C.....	38
3.3.1.1.1.3 Profil E.....	41
3.3.1.1.1.4 Le profil G.....	42
3.3.1.1.1.5 Profil I.....	46
3.3.1.1.1.6 Profil K.....	49
3.3.1.1.2 Site d'Oued Zeghrir.....	53
3.3.1.1.2.1 Profil A.....	53
3.3.1.1.2.2 Profil D.....	55
3.3.1.1.2.3 Profil G.....	58
3.3.1.1.2.4 Profil J.....	61
3.3.1.2 Coupes géo-électriques.....	62
3.3.1.2.1 Coupe géo-électrique du profil E	62
3.3.1.2.2 Coupe géo-électrique du profil F	64
3.3.1.2.3 Coupe géo-électrique du profil G	65
3.3.1.3 Cartes des résistivités apparentes.....	66
3.3.1.3.1 Site Oued Enssa.....	66
• Carte des résistivités apparentes en AB=100 m.....	66
• Carte des résistivités apparentes en AB=600 m.....	69
• Carte des résistivités apparentes en AB=1000 m.....	71
• Carte des résistivités apparentes en AB=2000 m.....	73
3.3.1.3.2 Site d'Oued Zeghrir.....	75
• Carte des résistivités apparentes en AB=100 m.....	76
• Carte des résistivités apparentes en AB=600 m.....	78
• Carte des résistivités apparentes en AB=1000 m.....	80
• Carte des résistivités apparentes en AB=2000 m.....	82
4. Caractérisation Hydrogéologique et Hydrodynamique du Complexe Terminal	86
4.1 Hydrogéologie de Hassi R'Mel	86
4.2 Piézométrie du Complexe Terminal.....	86
4.3 Inventaire des forages	88
4.4 Carte piézométrique: interprétation et corrélation avec la géophysique.....	90

Conclusion Générale.....	.97
Références Bibliographiques.....	
Annexe.....	

Résumé

Hassi R'Mel fait partie de la zone septentrionale de la plateforme saharienne, elle est soumise à un climat de type saharien aride, à une précipitation moyenne annuelle de 115.5 mm. Aucun excédent en eau n'est enregistré et le déficit agricole annuel est important avec 891.6 mm. Le réseau hydrographique est très peu développé, présenté par deux principaux Oueds ; oued Ennsa et oued Zeghrir. Hassi R'Mel apparaît comme un grand anticlinal ondulé, de direction SSW-NNE et affecté par un réseau de failles directionnelles et transverses. Notre étude se focalise sur l'application de l'approche géophysique par la méthode électrique afin d'identifier les formations géologiques du complexe terminal et les structures tectoniques susceptibles de constituer des réservoirs d'eau, ces données ont été fournies pour l'ENAGEO. En effet, les cartes de résistivités apparentes établies à Oued Ennsa nous permettent d'identifier en surface, des formations de calcaire et dolomie d'âge Sénonien, fracturées et épaisses de 140 m et en profondeur, les formations dolomitiques et calcareuses fissurées qui forment la nappe turonienne épaisse de 70 m. A Oued Zeghrir, la présence des formations résistantes carbonatées épaisses de 20 m en surface, que surmonte des formations calcaro-dolomitiques et calcareuses Mio-Pliocènes, formant la nappe libre du même âge. Les calcaires fracturés du Turonien semblent avoir un intérêt hydrogéologique majeur, il est épais de 77 m et repose sur les argiles cénomaniennes formant le substratum imperméable de notre aquifère. La piézométrie de la nappe turonienne montre que l'écoulement des eaux souterraines forme deux zones hydrogéologiquement différentes ; en l'occurrence, deux dépressions piézométriques où les lignes de courant sont convergentes, l'une située à l'Est et l'autre à l'Ouest, et deux dômes piézométriques qui apparaissent où les lignes d'écoulement divergent, l'une située au Nord et l'autre au Sud-Est. Le gradient hydraulique montre des valeurs variables entre 2.1 et 4.5 %, cela confirme que les formations constituant la nappe sont favorables aux circulations d'eaux. Cependant, la corrélation entre la géophysique et la piézométrie n'a pas été possible en raison du manque des données piézométriques sur les sites d'investigation géophysique.

Mots clés : géophysique, hydrogéologie, Complexe Terminal, Hassi R'Mel.

Abstract

Hassi R'Mel is part of the northern zone of the Saharian platform, characterized by an arid Saharan type climate, at an average annual precipitation of 115.5 mm. No surplus water is recorded and the annual agricultural deficit is high with 891.6 mm. The hydrographic network is very undeveloped, presented by two main wadis; Oued Ennsa and oued Zeghrir. Hassi R'Mel appears as a large corrugated anticlinal, of direction SSW-NNE and affected by a network of directional and transverse faults. Our study focuses on the application of the geophysical approach by the electrical method in order to identify the geological formations of the terminal complex and the tectonic structures likely to constitute water reservoirs. These data were provided for ENAGEO. Indeed, the maps of apparent resistivities established at Oued Ennsa allow us to identify on the surface, formations of limestone and dolomite of Senonian age, fractured and thick of 140 m and in depth, the dolomitic and calcareous formations cracked which form the 70 m thick turonic sheet. At Oued Zeghrir, the presence of heavy carbonate resistant formations 20 m in surface area, surmounted by calcareous Mio-Pliocene formations forming the groundwater table of the same age. The fractured limestones of the Turonian seem to have a major hydrogeological interest, it is 77 m thick and rest on the Cenomanian clays forming the impermeable substratum of our aquifer. The piezometry of the Turonian aquifer shows that the flow of groundwater forms two hydrogeologically different zones; In this case, two piezometric depressions in which the current lines are convergent, one east and one west, and two piezometric domes which appear where the flow lines diverge, one Situated to the north and the other to the south-east. The hydraulic gradient shows variable values between 2.1 and 4.5%, confirming that the formations constituting the water table are favorable to water circulation. However, the correlation between geophysics and piezometry was not possible due to the lack of piezometric data at the geophysical investigation sites.

Keywords: geophysics, hydrogeology, Terminal Complex, Hassi R'Mel.

Liste des figures

Figure 1 : Localisation géographique de la région de Hassi R'Mel.....	3
Figure 2 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Hassi R'Mel.....	5
Figure 3 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Hassi R'Mel.....	6
Figure 4 : Variation des températures extrêmes moyennes mensuelles à la station de Hassi R'Mel.....	7
Figure 5 : Carte du chevelu hydrographique de la région de Hassi R'Mel.....	9
Figure 6 : Carte géologique du Sahara oriental.....	12
Figure 7 : Coupe géologique orientée Ouest-Est à travers le champ de Hassi R'Mel.....	13
Figure 8 : Coupe géologique Sud-Est Nord-Ouest.....	18
Figure 9 : Colonne litho-stratigraphique synthétique de Hassi R'Mel.....	19
Figure 10 : Limites et extension du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire.....	21
Figure 11 : Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrionale.....	23
Figure 12 : Sections simplifiées à travers la plate-forme Saharienne.....	25
Figure13 : Mise en œuvre des sondages électrique.....	28
Figure 14 : Localisation des sites de prospection géophysique ; site d'Oued Ennsa et celui d'Oued Zeghrir.....	29
Figure15 : Localisation des SEV dans la région de Hassi R'Mel ; site Oued Ennsa et Oued Zeghrir.....	32
Figure 16 : Logs des forages dans la région de Hassi R'Mel.....	34
Figure 17 : Courbe des résistivités électriques du sondage A2 et son interprétation.....	36
Figure 18 : Courbe des résistivités électriques du sondage A3 et son interprétation.....	36
Figure 19 : Courbe des résistivités électriques du sondage A4 et son interprétation.....	37
Figure 20 : Courbe des résistivités électriques du sondage A5 et son interprétation.....	37
Figure 21 : Courbe des résistivités électriques du sondage A6 et son interprétation.....	38
Figure 22 : Courbe des résistivités électriques du sondage A7 et son interprétation.....	38
Figure 23 : Courbe des résistivités électriques du sondage C4 et son interprétation.....	39
Figure 24 : Courbe des résistivités électriques du sondage C5 et son interprétation.....	39
Figure 25 : Courbe des résistivités électriques du sondage C6 et son interprétation.....	40
Figure 26 : Courbe des résistivités électriques du sondage C7 et son interprétation.....	40
Figure 27 : Courbe des résistivités électriques du sondage C8 et son interprétation.....	41
Figure 28 : Courbe des résistivités électriques du sondage E4 et son interprétation.....	41
Figure 29 : Courbe des résistivités électriques du sondage E5 et son interprétation.....	42
Figure 30 : Courbe des résistivités électriques du sondage E6 et son interprétation.....	42
Figure 31 : Courbe des résistivités électriques du sondage G1 et son interprétation.....	43
Figure 32 : Courbe des résistivités électriques du sondage G2 et son interprétation.....	43
Figure 33 : Courbe des résistivités électriques du sondage G3 et son interprétation.....	44
Figure 34 : Courbe des résistivités électriques du sondage G4 et son interprétation.....	44
Figure 35 : Courbe des résistivités électriques du sondage G5 et son interprétation.....	45
Figure 36 : Courbe des résistivités électriques du sondage G6 et son interprétation.....	45
Figure 37 : Courbe des résistivités électriques du sondage G7 et son interprétation.....	46
Figure 38 : Courbe des résistivités électriques du sondage G8 et son interprétation.....	46

Figure 39 : Courbe des résistivités électriques du sondage I3 et son interprétation.	47
Figure 40 : Courbe des résistivités électriques du sondage I4 et son interprétation.	47
Figure 41 : Courbe des résistivités électriques du sondage I5 et son interprétation.	48
Figure 42 : Courbe des résistivités électriques du sondage I6 et son interprétation.	48
Figure 43 : Courbe des résistivités électriques du sondage I7 et son interprétation.....	49
Figure 44 : Courbe des résistivités électriques du sondage I8 et son interprétation.....	49
Figure 45 : Courbe des résistivités électriques du sondage K1 et son interprétation.	50
Figure 46 : Courbe des résistivités électriques du sondage K2 et son interprétation.	50
Figure 47 : Courbe des résistivités électriques du sondage K3 et son interprétation.	51
Figure 48 : Courbe des résistivités électriques du sondage K4 et son interprétation.	51
Figure 49 : Courbe des résistivités électriques du sondage K5 et son interprétation.	52
Figure 50 : Courbe des résistivités électriques du sondage K6 et son interprétation.	52
Figure 51 : Courbe des résistivités électriques du sondage K7 et son interprétation.	53
Figure 52 : Courbe des résistivités électriques du sondage A1 et son interprétation.	53
Figure 53 : Courbe des résistivités électriques du sondage A2 et son interprétation.	54
Figure 54 : Courbe des résistivités électriques du sondage A3 et son interprétation.	54
Figure 55 : Courbe des résistivités électriques du sondage A4 et son interprétation.	55
Figure 56 : Courbe des résistivités électriques du sondage A5 et son interprétation.	55
Figure 57 : Courbe des résistivités électriques du sondage D1 et son interprétation.	56
Figure 58 : Courbe des résistivités électriques du sondage D2 et son interprétation.	56
Figure 59 : Courbe des résistivités électriques du sondage D3 et son interprétation.	57
Figure 60 : Courbe des résistivités électriques du sondage D4 et son interprétation.	57
Figure 61 : Courbe des résistivités électriques du sondage D5 et son interprétation.	58
Figure 62 : Courbe des résistivités électriques du sondage D6 et son interprétation.	58
Figure 63 : Courbe des résistivités électriques du sondage G1 et son interprétation.	59
Figure 64 : Courbe des résistivités électriques du sondage G2 et son interprétation.	59
Figure 65 : Courbe des résistivités électriques du sondage G3 et son interprétation.	60
Figure 66 : Courbe des résistivités électriques du sondage G4 et son interprétation.	60
Figure 67 : Courbe des résistivités électriques du sondage G11 et son interprétation.	61
Figure 68 : Courbe des résistivités électriques du sondage G12 et son interprétation.	61
Figure 69 : Courbe des résistivités électriques du sondage J13 et son interprétation.	62
Figure 70 : Courbe des résistivités électriques du sondage J 14 et son interprétation.	62
Figure 71 : la coupe géo-électrique E ; site d'Oued Ennsa.	63
Figure 72 : la coupe géo-électrique F ; site d'Oued Ennsa.....	64
Figure 73 : Coupe géo-électrique G ; site d'Oued Ennsa.....	65
Figure 74 : Carte des résistivités apparentes du site d'oued Enssa pour AB =100 m.....	68
Figure 75 : Carte des résistivités apparentes en AB =600 m ; site d'Oued Enssa.....	70
Figure 76 : Carte des résistivités apparentes en AB =1000 m ; site d'Oued Enssa.....	72
Figure 77 : Carte des résistivités apparentes en AB =2000 m ; site d'Oued Enssa.....	74
Figure 78 : représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs ; site Oued Enssa.....	75
Figure 79 : Carte des résistivités apparentes en AB =100 m ; site d'Oued Zeghrir.....	77
Figure 80 : Carte des résistivités apparentes en AB =600 m ; site d'Oued Zeghrir.....	79
Figure 81 : Carte des résistivités apparentes en AB =1000 mètre ; site de Oued Zeghrir.....	81
Figure 82 : Carte des résistivités apparentes en AB =2000 m ; site d'oued Zeghrir.....	83

Figure 83 : représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs d'oued Zeghrir84

Figure 84 : Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal88

Figure 85 : Carte d'inventaire des forages d'eau de la région de Hassi R'Mel.....90

Figure 86 : la carte de profondeur de l'eau de la région de Hassi R'Mel.....93

Figure 87 : Carte piézométrique du Complexe Terminal de la région de Hassi R'Mel en 2012..94

Figure 88 : Carte piézométrique du Complexe Terminal de la région de Hassi R'Mel en 1998..95

Figure 89 : Carte piézométrique du Complexe Terminal de la région de Hassi R'Mel en 1993..95

Liste des tableaux

Tableau 1 : Variation de précipitations moyennes mensuelles à la station de Hassi R'Mel.....	4
Tableau 2 : Température moyenne mensuelle.....	5
Tableau 3 : Températures moyennes extrêmes.....	6
Tableau 4 : Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station de Hassi R'Mel.....	7
Tableau 5 : Tableau récapitulatif sur les profils électriques réalisés par ENAGEO, en 2000 ; site Oued Ennsa.....	30
Tableau 6 : Tableau récapitulatif sur les profils électriques réalisés par ENAGEO, en 2000 ; site Oued Zeghrir.....	31
Tableau 7 : Tableau récapitulatif des données de forages utilisées dans la caractérisation géologique et géophysique.....	33
Tableau 8 : Tableau récapitulatif des données utilisées dans l'établissement des cartes de résistivités apparentes ; site Oued Ennsa.....	66
Tableau 9 : Tableau récapitulatif des données utilisées dans l'établissement des cartes des Résistivités apparentes ; site Oued Zeghrir.....	75

Liste d'abréviations

AEP	Alimentation en eau potable
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe Terminal
Da	Déficit agricole
ENAGEO	Entreprise National de Géophysique
ETP	Evapotranspiration Potentiel
ETR	Evaporation Réelle Annuelle
HSE	Health, Safety and Enivrement
OMN	l'Office National Météorologique
OSS	Observation du Sahara et du Sahel
SASS	Système Aquifère du Sahara Septentrional
SEV	Sondage électrique vertical
SONATRACH	Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures
UNESCO	United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization

Introduction Générale

Introduction Générale

Le Sahara algérien renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines. Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara (Complexe Terminal et Continental Intercalaire) (Burdon, 1977 ; Margat et Saad, 1982 et 1984 ; Margat, 1990) se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire, par infiltration sur les affleurements des couches perméables (Pizzi et Sartoli, 1988). Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes, cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (Dubief, 1953) et d'autres sont allés à modéliser ces nappes, afin d'identifier leurs caractéristiques et comportements hydrodynamiques, vis-à-vis de leur exploitation, afin d'assurer une meilleure gestion (Baba Sy, 2011 et Baba Sy. M et Besbes. M, (2006)).

Hassi R'Mel dans le Sahara algérien est connu pour son immense gisement de gaz naturel exploité depuis 1956, c'est l'un des plus grands pôles industriels du pays. L'eau peut être captée à partir de ces deux systèmes aquifères bien distincts: le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire.

D'une part, le Complexe Terminal, constituant une nappe libre considérée généralement comme la nappe la plus exploitée dans la région et joue un rôle important par rapport aux eaux superficielles, qui sont quasiment inexistantes. D'autre part, le Continental Intercalaire, est relativement plus profonde, et son exploitation demande un équipement onéreux, d'autant plus qu'il présente une eau d'une potabilité médiocre pour la consommation humaine mais peut contribuer à l'irrigation et l'approvisionnement des chantiers et unités industrielles gazières. Tout l'intérêt repose donc sur les formations aquifères du CT.

Ce travail de recherche a été mené dans le cadre d'une convention signée entre la SONATRACH et l'Université de Jijel. Elle nous a permis d'accéder à Hassi Messaoud aux documents, forages et diagraphies réalisés par SONATRACH. De son côté, l'Entreprise Nationale de Géophysique (ENAGEO) nous a fourni les mesures géophysiques acquises sur terrain en 2000 et l'ANRH d'Ouargla les différents documents ayant trait à la région de Hassi R'Mel.

Le projet se focalise sur l'étude, la caractérisation, et la qualification des formations géologiques et structures tectoniques favorables à une accumulation des eaux souterraines dans les calcaires aquifères du Turonien, et cela en vue d'une éventuelle hausse des capacités et dispositifs d'exploitation par forages d'eau. Nous avons fixé comme but de contribuer à la reconnaissance des formations géologiques et structures tectoniques du sous-sol qui sont

susceptibles de constituer des aquifères à l'aide de l'approche géophysique par prospection électrique. En effet, ces accidents offrent des possibilités de circulation d'eau souterraine à travers les fractures qui lui sont induites et leur localisation en profondeur est extrêmement utile pour un hydrogéologue.

A cet égard, nous avons divisé notre manuscrit en quatre chapitres, ils abordent successivement les thèmes suivants:

- **Chapitre 1** consiste à présenter les caractéristiques physiques, climatiques, hydrologiques et socio-économiques de Hassi R'Mel ;
- **Chapitre 2** consiste à étudier et caractériser les différentes formations qui constituent le sous-sol de Hassi R'Mel ;
- **Chapitre 3** consiste à appliquer une approche géophysique par prospection électrique dans le but de pouvoir caractériser les formations et structures tectoniques qui affectent l'aquifère du complexe Terminal.
- **Chapitre 4** est focalisé sur l'étude de l'état des ressources en eau souterraine dans la région à travers l'établissement et l'interprétation d'une carte piézométrique des formations calcaires du Turonien, établie à partir des données de 2013. Elle nous permet de relever l'allure et la morphologie de la surface piézométrique, le sens d'écoulement, les lignes des partage des eaux et de définir l'orientation des principaux axes de drainage.

Chapitre 1

Etude et présentation du milieu

Nous présentons dans ce chapitre les facteurs physico-géographiques tels que la localisation géographique, le climat, l'hydrologie, la végétation et la population, avant de faire appel à d'autres facteurs plus explicites tels que la géologie, l'hydrogéologie et la géophysique.

1.1 Localisation géographique

La commune Hassi R'Mel s'intègre dans la partie septentrionale de la plateforme saharienne au Nord, Situé à 525 Km au sud d'Alger, et à 120 Km au Sud de la ville de Laghouat, il se trouve à une altitude moyenne de 750 m. La région d'étude est située à mi-distance entre Laghouat au Nord et Ghardaïa au Sud (Sonatrach, 2000), sur une superficie de plus de 3500 km² et un périmètre de 6392 m (Elhadi I et Mokrane H, 2014).

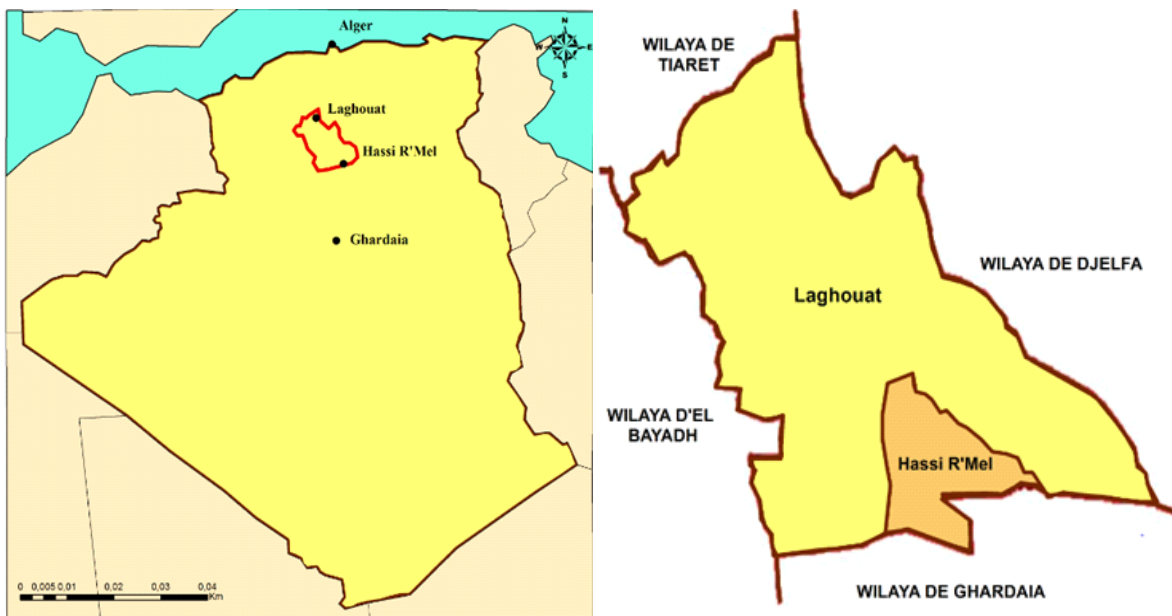


Figure 1 : Localisation géographique de la région de Hassi R'Mel.

1.2 Climat et végétation

Les paramètres hydro-climatiques ont une grande importance dans toute étude hydrogéologique car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères. Le climat de Hassi R'Mel est de type saharien, aride caractérisé par une forte température accompagnée de vent de sable (sirocco), surtout au printemps (mars-avril) et à l'automne (septembre - octobre), les précipitations sont techniquement inexistantes ou rares et

irrégulières, ces paramètres climatiques extrêmes confèrent à l'atmosphère un pouvoir évaporant très important. Une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver. (Chebli et Abbass, 2012), les vents dominants sont de direction Nord-est / Sud-ouest pouvant atteindre des vitesses de 100 km/h.

La région se présente comme un vaste plateau rocailleux où la végétation est quasi absente, seuls quelques buissons et pistachiers sauvages y poussent. Les « daïas » petites dépressions dans lesquelles s'est accumulé un peu de terre et où pousse une végétation composée essentiellement de buissons mais aussi d'arbres (pistachiers sauvages).

1.2.1 Les précipitations

La faiblesse et l'irrégularité des précipitations sont les principaux facteurs du climat saharien. Une pluie peut tomber durant toute l'année, et pendant le même mois des années de sécheresse peuvent se produire (Dubief, 1953). L'analyse des précipitations sera faite à partir des données recueillies de l'Office National Météorologique (OMN) à la station de Hassi R'Mel, haute de 764 m. ces données sont présentes une série complète de 1998 à 2008. (Achour, 2014).

- **Moyennes annuelles des précipitations**

La moyenne annuelle de la pluviométrie calculée dans la période étudiée est de 115,5 mm. La variation des précipitations moyennes mensuelles pour la période de 1998 à 2008 est présentée dans le Tableau 1 et la Figure 2. Il en ressort une irrégularité des précipitations dans la région, le mois le plus pluvieux est le mois d'Octobre avec une valeur de 21,6 mm, alors que le mois le plus sec et celui de juillet avec 1,4 mm.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Août
P (mm)	17,5	21,6	11,2	13,6	20,4	2,9	3,6	8,1	3,5	6,0	1,4	5,7

Tableau 1 : Variation de précipitations moyennes mensuelles à la station de Hassi R'Mel (1998 à 2008) (Achour, 2014).

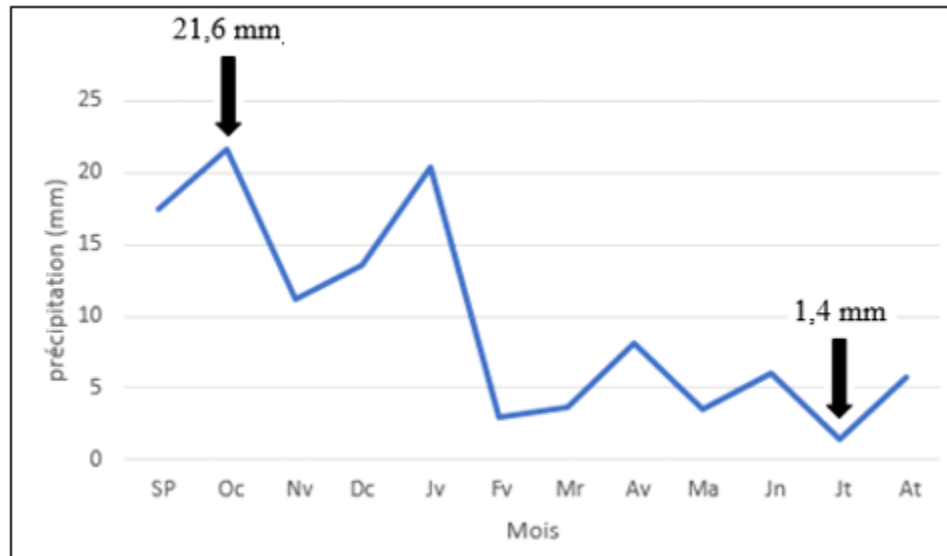


Figure 2 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Hassi R'Mel (1998 à 2008).

1.2.2 Température moyenne

- **Température moyenne mensuelle**

La température est un facteur très important dans le calcul du bilan hydrique, elle joue un rôle dans les pertes en eau par le phénomène de l'évapotranspiration. Le tableau 2 récapitule les températures moyennes mensuelles et annuelles enregistrées à Hassi R'Mel. Il en ressort que, la période froide s'étend d'octobre à mars et la période chaude débute en avril et se termine en septembre, les valeurs sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 21°C.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	An
Température (°c)	28,5	19,4	12,3	8,6	10,2	12,5	16,3	21,6	25,5	29,5	33,3	34,2	21

Tableau 2 : Température moyenne mensuelle (Achour, 2014).

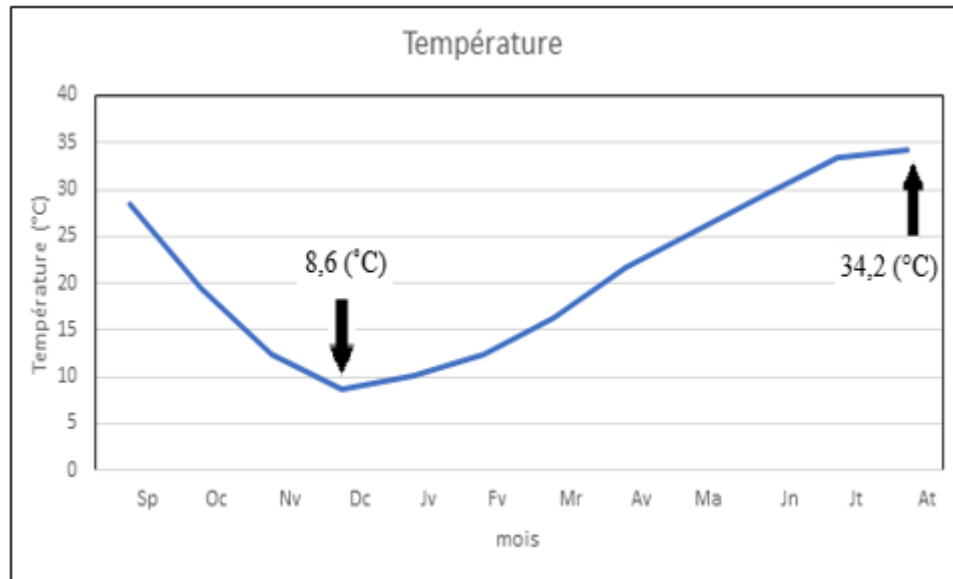


Figure 3 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station de Hassi R’Mel (1998 à 2008).

- **Température extrême**

Les écarts observés dans les valeurs de la température mensuelle sont consignés dans le tableau 3. La figure 4 représente les variations mensuelles des températures moyennes extrêmes (maximum et minimum) de Hassi R’Mel. On constate que les valeurs des températures maximales sont les plus élevées en mois de Juillet et Aout, estimées entre 38,5°C et 39,6°C. Les valeurs des températures minimales sont enregistrées en décembre et janvier, avec 1,9°C à 3,7°C. L’écart de la température enregistré varie entre 10,9 à 14,5 C°.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aout.
T max	32,6	27,4	19,0	14,6	14,0	16,6	21,7	25,4	30,7	35,8	39,6	38,5
T min	19,4	15,2	7,4	3,7	1,9	4,1	8,2	11,5	16,6	21,6	25,1	24,3
Ecart	13,2	12,2	11,6	10,9	12,1	12,5	13,5	13,9	14,1	14,2	14,5	14,2

Tableau 3 : Températures moyennes extrêmes (Achour, 2014).

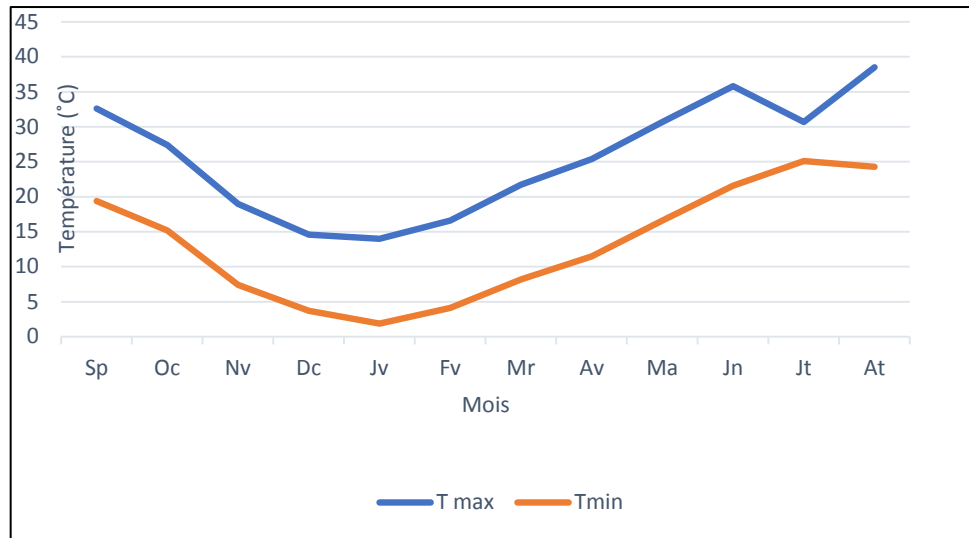


Figure 4 : Variation des températures extrêmes moyennes mensuelles à la station de Hassi R'Mel.

1.2.3 Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique est établi sur la base d'une comparaison entre les apports et les pertes en eau dans une période donnée. Il tient aussi compte de la constitution des réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration. Si on examine le bilan au niveau des continents en s'aperçoit que (Bettahar, 2013) :

$$P = ETR + R + I + W$$

P : Précipitations (mm), **ETR** : Evapotranspiration réelle (mm), **I** : Infiltration (mm), **R** : Ruissellement (mm), **W** : Variation des réserves qui peut être considéré comme négligeable (mm).

- **Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)**

Elle a pour but de quantifier les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau ces pertes peuvent représenter l'évapotranspiration des eaux de surface, du sous-sol et par transpiration des végétaux. Il existe des formules d'approximation que traduisent le phénomène sous forme analytique, parmi lesquelles : la formule de Thornthwaite (1948).

$$ETP = 16[10T/I]^a$$

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm), **T** : Température mensuelle moyenne (C°) , **I**: Indices thermique annual: $I = 112.45$, **i** : Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression : $i = (T/5)^{1,514}$, **a** : Exposant climatique calculé par la formule : $a = 0.016 * I + 0.5$; $a = 2.29$, **ETP_c** : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm), donnée par la relation suivante, **ETP_c** = ETP*K, **K** : Facteur de correction qui dépend du temps et de la latitude.

Les résultats de calcul par la méthode de C.W. Thornthwaite sont présentés dans le tableau 4. L'ETP atteint son maximum au mois d'Aout avec 204.33 mm, et sa valeur minimum est enregistrée au mois de Décembre avec 8.65 mm. L'ETR annuelle est de l'ordre de 102.94 mm, avec une valeur maximale de 21.6 mm au mois d'Octobre, et une valeur minimale au mois de juillet avec 1.4 mm. Aucun excédent n'est enregistré et le déficit agricole annuel est omniprésent avec 891.6 mm.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	Année
P (mm)	17,5	21,6	11,2	13,6	20,4	2,9	3,6	8,1	3,5	6,0	1,4	5,7	115,5
T (°c)	28,5	19,4	12,3	8,6	10,2	12,5	16,3	21,6	25,5	29,5	33,3	34,2	21
i	13,94	7,78	3,9	2,27	2,94	4,0	5,98	9,16	11,78	14,69	17,64	18,37	I=112,45
ETP	134,59	55,78	19,64	8,65	12,79	20,38	37,43	71,33	104,32	145,65	192,22	204,33	1007,11
k	1,03	0,97	0,88	0,86	0,88	0,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	/
ETP_c	138,63	54,11	17,28	7,44	11,26	17,53	38,55	77,75	124,14	174,78	234,51	234,98	/
ETR (mm)	17,5	21,6	11,2	7,44	11,26	17,53	4,27	8,1	3,5	6,0	1,4	5,7	/
Da	121,13	32,51	6,08	0	0	0	34,28	69,65	120,64	168,78	233,11	229,28	/
Ex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	/
RFU	0	0	0	6,16	15,3	0,67	0	0	0	0	0	0	/

Tableau 4 : Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station de Hassi R'Mel.

1.3 Hydrologie

Les ressources en eaux superficielles sont localisées dans l'Atlas Saharien, leur faible importance est liée à l'irrégularité du régime pluviométrique et à la forte évaporation. A Hassi R'Mel le réseau hydrographique est très peu développé, présenté par deux principaux Oueds ; oued Ennsa et oued Zeghrir comme l'illustre la figure 5, ils sont drainés par des affluents temporaires. Oued Ennsa qui selon les fréquences peut présenter des crues considérables. Le bassin versant d'oued Ennsa couvre une superficie de 7800 Km², il reçoit divers affluents dont les plus importants sont le Ballouh et le Soudou qui arrosent l'oasis de Beriane (Hammou, 2014). Quant à Oued Zeghrir, les plus importants affluents sont oued Zehafa et Oued el Merares.

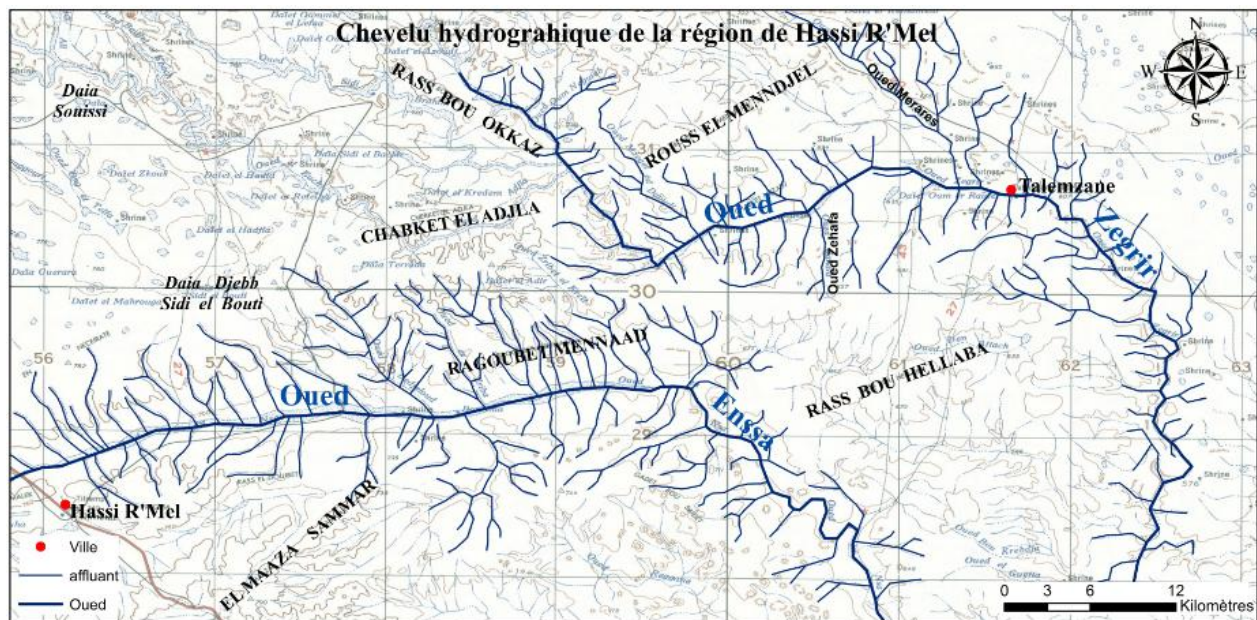


Figure 5 : Carte du chevelu hydrographique de la région de Hassi R'Mel.

1.4 Aperçu socio-économique

Plus de 22 554 habitants vivent dans la commune de Hassi R'Mel. Avec un taux d'activité de 50.34% de la population, le secteur de l'industrie occupe une grande place dans la répartition de la population active. En effet, grâce à son immense gisement de gaz naturel exploité depuis 1956, Hassi R'Mel est l'un des plus grands pôles industriels du pays aussi bien pour le nombre d'emplois qu'elle génère que par l'importance des infrastructures industrielles installées sur son

sol. Elle est également à vocation pastorale mais accuse un manque dans le secteur agricole à cause de la rareté des sols fertiles et l'ampleur de l'activité industrielle qui pollue les terrains agricoles.

Selon le Plan National de l'Eau, l'irrigation est quasiment nulle pour l'année 2008. L'élevage constitue une source fondamentale dans l'économie de la commune, généralement il est pratiqué par la population nomade résidente à Hassi R'Mel. L'élevage a connu une progression rapide grâce au réseau hydraulique et les oueds de la commune caractérisés par des précipitations irrégulières, comme oued Ennsa, oued Bouzzerab et oued Bellil.

Hassi R'Mel est connu pour son immense gisement de gaz naturel exploité depuis 1956, c'est l'un des plus grands pôles industriels du pays. Son climat est connu pour son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les températures élevées d'autre part. Il est surtout caractérisé par une période de sécheresse prolongée. L'exploitation des données disponibles a permis d'établir un bilan hydrologique global qui semble refléter convenablement le déficit en eau dont souffre Hassi R'Mel. Aucun excédent n'est enregistré et le déficit agricole annuel est omniprésent avec 891.6 mm. Le réseau hydrographique est très peu développé, présenté par deux principaux Oueds ; oued Ennsa et oued Zeghrir.

Chapitre 2

Caractérisation géologique et hydrogéologique

L'étude géologique s'intéresse à l'histoire et l'évolution des formations géologiques qui caractérisent notre zone d'étude, la compréhension et la prédiction des processus naturels est essentielle pour caractériser, découvrir et exploiter les ressources en eaux souterraines. Le rôle de la géologie est essentiel en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

L'Algérie a été structurée grâce aux processus géodynamiques en deux domaines : Au Nord l'Algérie alpine et au Sud la plateforme saharienne. Notre région d'étude appartient à la partie septentrionale de la plateforme saharienne.

2.1 Caractérisation géologique

D'une manière générale, le bassin du Sahara Septentrional est séparé par des zones montagneuses et un plateau calcaire de Tihert, qui constitue son flanc Sud. C'est une région plane de faible altitude, de 200 à 30 m dans les chotts, où sont présents les ergs (Grand Erg Oriental), les regs allochtones (Oued Righ et Oued M'Ya au Sud-Ouest de Hassi R'Mel).

Dans cette zone, le socle ancien est surmonté par les grès primaires plus ou moins plissés et érodés, qui constituent les roches réservoirs en hydrocarbures, au-dessus desquels se trouvent les grès du Continental Intercalaire. A la suite de la discordance cénomanienne s'empilent encore les couches marines du Sénonien et de l'Eocène qui se terminent par la couverture continentale du Miocène.

La région centrale est principalement constituée de plateaux grésocalcaires durs, entamés par l'érosion qui constitue une série de buttes témoins aux falaises abruptes jusqu'au plateau du Tademaït, dont la surface est une véritable hamada plane et continue.

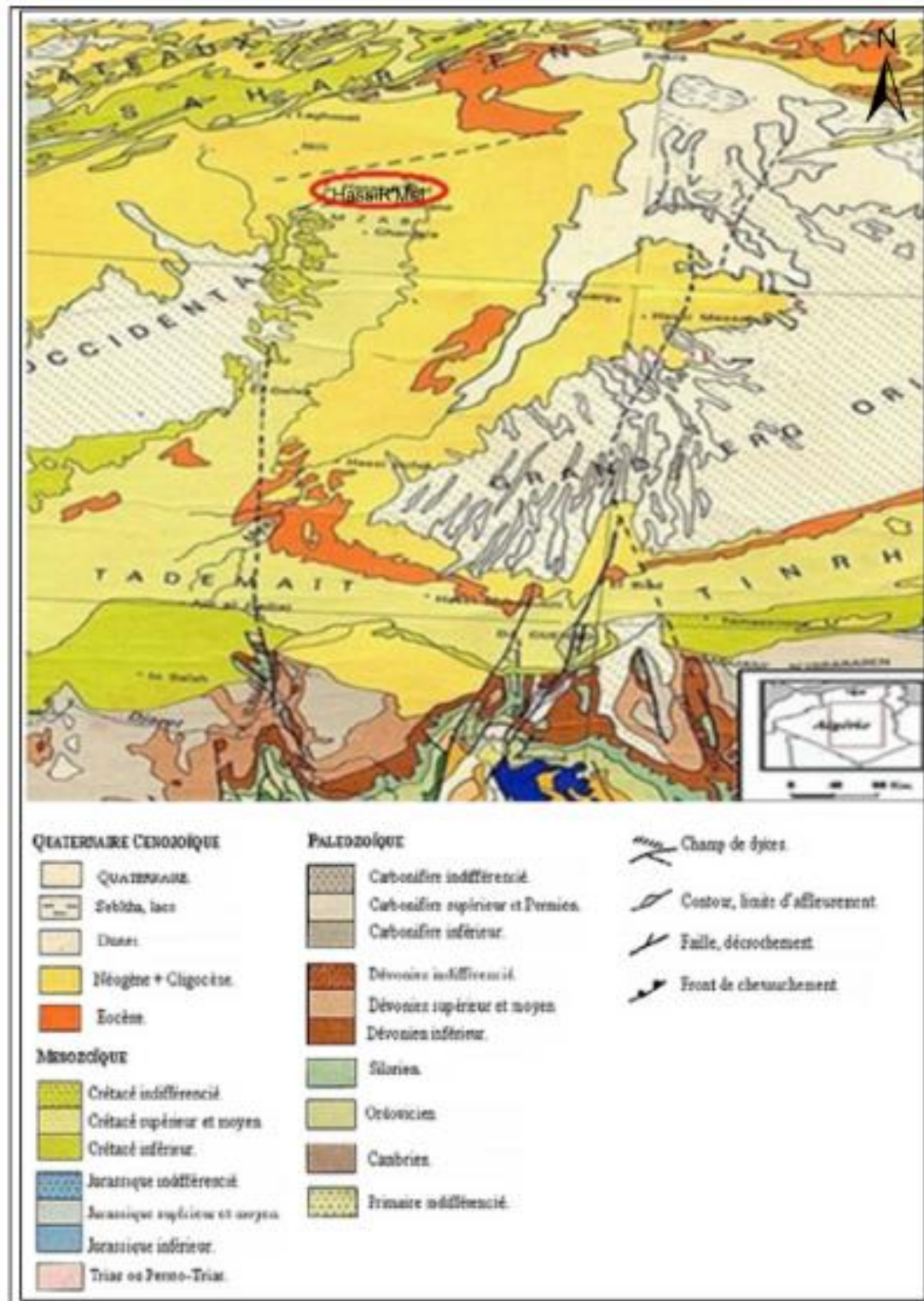


Figure 6 : Carte géologique du Sahara oriental au 1/1 000 000^e, extraite de la carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique (Bronner ; Fabre, 1976).

Dans la région de Hassi R'Mel, la couverture sédimentaire reconnue est représentée par deux grands ensembles d'âge paléozoïque et mésozoïque (Figure 7). Le paléozoïque est marqué par plusieurs discordances qui sont :

- La discordance tectonique (438 Millions d'Années) qui affecte les dépôts (grés de M'Karta) ;
- La discordance calédonienne affectant la formation du Silurien ;
- La discordance hercynienne précoce qui érode la formation paléozoïque allant du Carbonifère inférieur jusqu'au Cambrien ;
- La discordance hercynienne finale qui a érodé tout le Permien et affecté les dépôts carbonifères (Boudjemaa ,1987).

Le Paléozoïque comprend des séries allant du Cambrien au Dévonien inférieur. Le Carbonifère discordant n'est pas totalement érodé et se trouve conservé au Nord de la région Bordj Nili (Saadi et Kelouche, 2014).

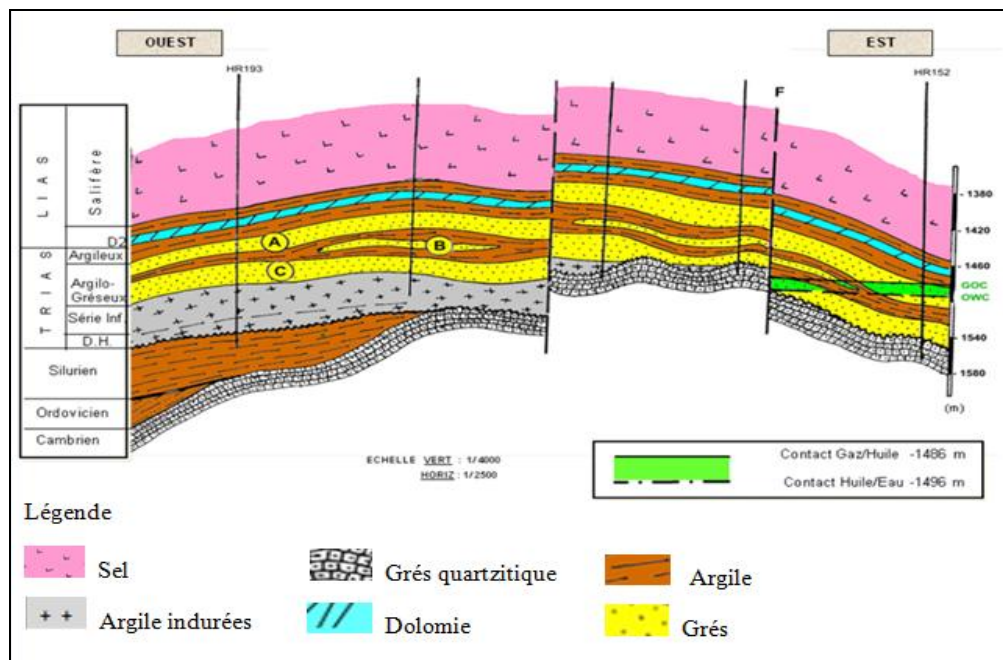


Figure 7 : Coupe géologique orientée Ouest-Est à travers le champ de Hassi R'Mel. (Sonatrach, 2007).

2.1.1 Description litho-stratigraphique

Sur l'ensemble de la structure de Hassi R'Mel, la série stratigraphique est relativement constante. Les formations traversées par les différents forages s'étalent entre le socle précambrien d'un âge dépassant les 600 Millions d'années et constitué de roches essentiellement éruptives et métamorphiques et les sables du Mio-pliocène d'un âge beaucoup plus récent (20 Millions d'années). Les formations sédimentaires du champ de Hassi R'Mel reposent sur un socle constitué essentiellement de granite fracturé rose, orange, ferromagnésien (Saadi et Klouche, 2014).

A partir des études géologiques effectuées dans la région, la série litho-stratigraphique représentée dans le log, illustrée dans la Figure 8, se présente comme suit,

2.1.1.1 Paléozoïque, de la base au sommet on distingue :

2.1.1.1.1 Cambrien : il est représenté par des grès-quartzitiques et des quartzites blancs, fins à moyens à ciment siliceux à nombreux feuillets d'argiles vertes micacées. Les tigillites et stratifications obliques sont rares. Ces grès sont surmontés par la zone des alternances argile-grès qui marque le passage du Cambrien à l'Ordovicien (Saadi et Klouche , 2014).

2.1.1.1.2 Ordovicien : l'ordovicien est composé de quartzites et de quartzite de boue (Mahjoub,Djebbar et Naadji,2012) .

2.1.1.1.3 Silurien : il n'est pas recoupé par le forage de Hassi R'Mel par contre on le trouve plus à l'Ouest du champ, il est constitué d'une alternance de grès et argile à graphites et semble constituer une excellente roche mère sur l'ensemble des bassins sahariens (Saadi et Klouche, 2014).

2.1.1.1.4 Dévonien : érodé dans sa partie supérieure, il n'est présent que dans la partie nord-ouest du champ sous le Moscovien qui est représenté par des argiles noires silteuses et quelques passées de grès fins à très fins, ce Dévonien inférieur se biseaute contre la surface de la discordance hercynienne suivant une ligne orientée globalement Nord-Sud (Saadi et Klouche, 2014).

2.1.1.1.5 Carbonifère : Il est présent seulement dans la partie nord-occidentale du champ (Bordj Nili), il n'est représenté que par le Moscovien qui forme un biseau discordant sur les séries sous-jacentes. Il est constitué de grès sombres, fins à moyens à la base et de calcaire fossilifère au sommet

2.1.1.2 Mésozoïque, il se compose de

2.1.1.2.1 Trias : formé de deux ensembles (Farbre, 1976) ; le Trias salifère et le Trias gréseux ou argilo-gréseux. Le Trias gréseux représente la première phase de la transgression et correspond au Trias inférieur et moyen. Il est essentiellement argileux, formé d'illite et de kaolinite. La sédimentation évolue ensuite, les argiles prennent plus d'importance, des carbonates apparaissent, et même parfois un peu d'anhydrite (Chettih, 2007).

Le Trias salifère est représenté d'après Busson par trois termes : sel gemme, anhydrite, dolomite et argile ; sel gemme très pur, argile, dolomite et anhydrite et sel (80 à 85 %), anhydrite et un peu d'argile. La limite supérieure du Trias salifère est un banc carbonaté bien visible sur les diagraphies (Busson, 1971).

2.1.1.2.2 Jurassique : Il constitue une épaisse série et affleure dans toute la région. Il est composé de :

- **Lias :** Son épaisseur moyenne est de 510 m. il est subdivisé en six niveaux bien distincts s'intercalant entre eux sur toute l'épaisseur, du bas au sommet on y trouve : des formations marneuses carbonatées (marnes et calcaire à passées d'argile et d'anhydrite), des formations anhydritiques (anhydrite massive à passées argileuses), des formations salifères d'une épaisseur de 300 m ; ce sont des sels massifs avec des passées dolomitiques et argileuses.
- **Dogger :** Il est représenté à sa base par des calcaires oolithiques avec passées de dolomite microcristalline, d'argiles silteuses et d'anhydrite. Il passe ensuite à des grès rosâtres, fins à moyens à ciment siliceux présentant des intercalations d'argile plastique légèrement dolomitique. (Saadi et Kelouche, 2014).
- **Malm :** Il est essentiellement détritique au centre de la région étudiée, y est représenté par

des argiles brun-chocolat parfois vertes, des grès friables beiges et des calcaires cristallins gris-bruns et argiles dolomitiques grises. Cet étage est riche en fossiles (Gastéropodes & Echinodermes) (Saadi et Kelouche, 2014).

2.1.1.2.3 Crétacé

- **Néocomien** : est constitué surtout d'argiles et de sables contenant quelques couches de lignite et de rares bancs carbonatés (Fabre, 1976).
- **Barrémien** : Il est totalement absent au Nord, il est formé d'une succession de grès fins à grossiers à ciment argileux ou carbonaté et d'argile plastique sableuse versicolore (Saadi et Klouche, 2014).
- **Aptien** : Il est caractérisé par des marnes gréseuses et des passées de grès argileux au Sud, il devient dolomitique beige ou lie-de-vin et des sables roses ou rouge vers le Nord avec des inclusions de gypse (Saadi et Klouche, 2014).
- **Albien** : Il est entièrement gréseux, et se subdivise en une série de grès fin rouge et/ou beige à ciment argilo-dolomitique admettant des intercalations d'argile versicolore et une série de grès-sable rose mal cimenté et mal classé devenant plus argileux et gypseux vers la base. (Saadi et Klouche, 2014). Son épaisseur varie de 250 à plus de 400 m. Il est communément appelé le continental intercalaire du point de vue hydrogéologique.
- **Cénomanién** : D'épaisseur oscillant entre 60 à 200 m, le cénomanién est à dominante argileuse et représente le substratum imperméable de la formation aquifère du complexe terminal. Il se présente de bas en haut comme suit : des argiles versicolores silteuses, une alternance de rares bancs de marnes et de gypse, des argiles gypseuses vertes et rouges, des calcaires dolomitiques et de dolomies et des dolomies massives en falaises (corniches) plus ou moins fissurées et cavernueuses vers le sommet (Saadi et Klouche, 2014).
- **Turonien** : Le turonien est entièrement carbonaté. Il forme les falaises et l'ossature des monts de l'Atlas saharien et même de la plateforme saharienne. Il est constitué, à la base de calcaires dolomitiques massifs surmontés par des calcaires crayeux blancs et des dolomites à patine foncée en petits bancs et en plaquettes. Son épaisseur varie de 50 à 120 m. A l'affleurement, il est plus ou moins érodé. (SONATRACH, 2000). Il est considéré

comme étant aquifère et est appelé le complexe terminal.

- **Sénonien** : son épaisseur varie de 15 à 120 m. Mais il est fortement érodé et est constitué en trois ensembles :

-Ensemble 1 : Une série argileuse plus ou moins riche en évaporite (anhydrite, sel...), avec des bancs de dolomies et de calcaires.

-Ensemble 2 : Une série dolomitique blanchâtre.

-Ensemble 3 : une série carbonatée (calcaires et dolomies) (SONATRACH, 2000).

2.1.1.3 Cénozoïque, Les terrains cénozoïques ont été affectés par une érosion intense ; ils ne sont représentés que par l'Eocène et le Mio-Pliocène. (Saadi et Klouche, 2014).

2.2.1.3.1 L'Eocène : Il est représenté par des calcaires blancs à silex à passées d'argilites. Son épaisseur ne dépasse pas 30 m.

2.2.1.3.2 Mio-pliocène : Il est discordant sur les formations antérieures sous-jacentes. Il est hétérogène et constitué d'argile, de niveaux de calcaires, de grès et de calcaires gréseux. Son épaisseur est très variable (quelques mètres environ) (Sonatrach, 2000).

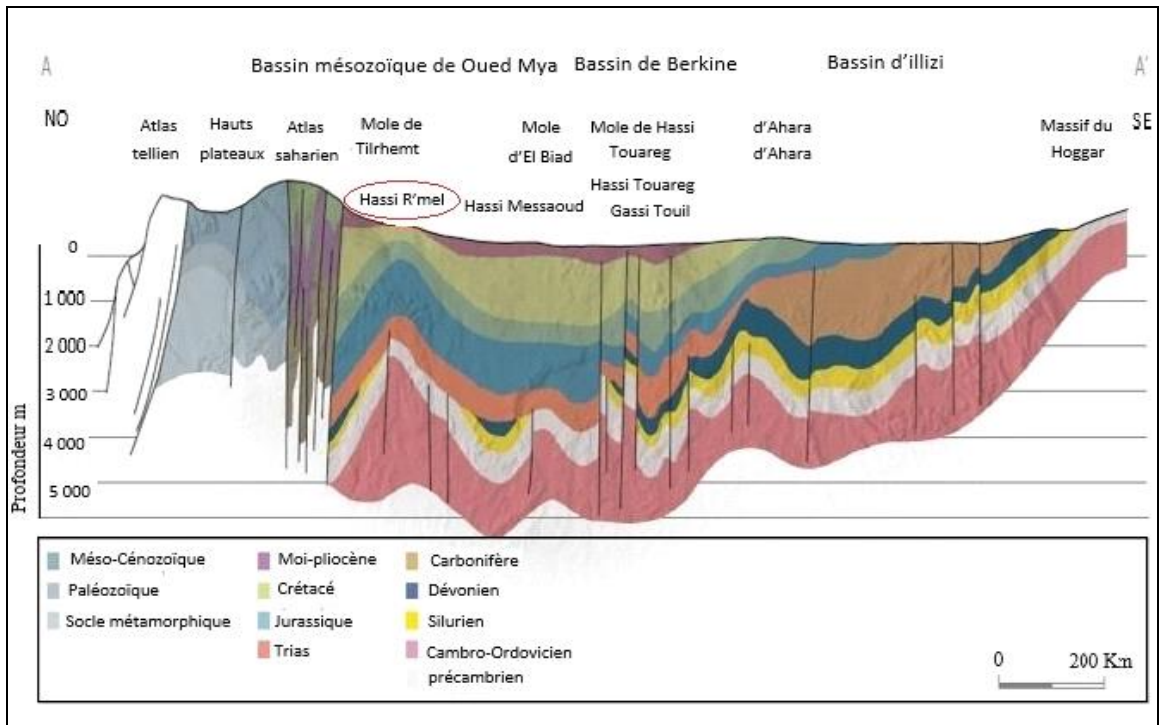


Figure 8 : Coupe géologique Sud-Est Nord-Ouest (WEC)

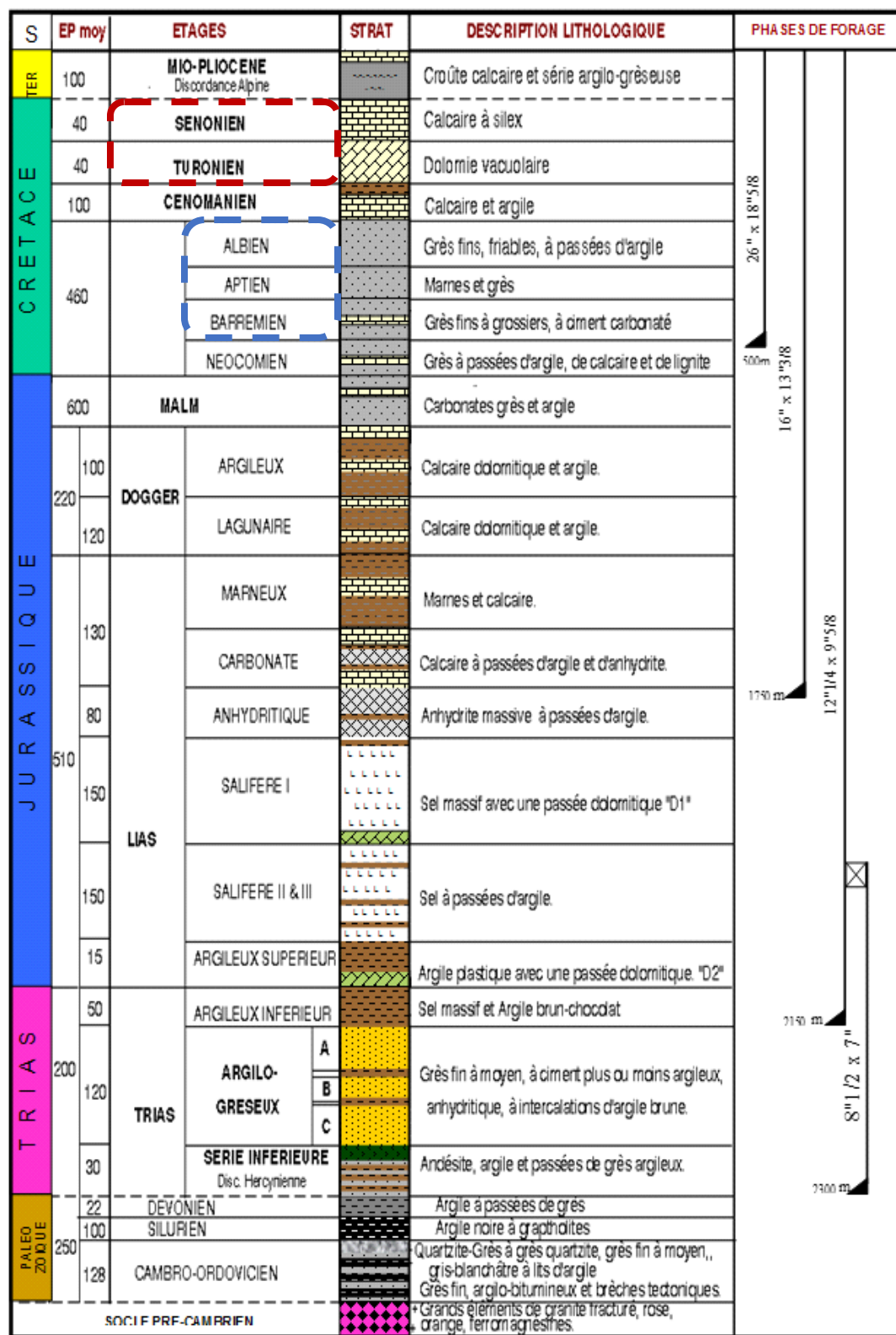


Figure 9 : Colonne litho-stratigraphique synthétique de Hassi R'Mel (Sonatrach, 2007).

2.2 Caractérisation hydrogéologique

L'étude hydrogéologique consiste à identifier les caractéristiques du système aquifère, sa géométrie, ses limites et son alimentation et de définir l'ensemble du système d'écoulement souterrain, ainsi que la variation du gradient hydraulique, et les caractéristiques hydrodynamiques.

Notre étude se focalise sur la nappe du Complexe Terminal (CT) qui se localise dans le Sahara Occidental et s'étend sur une superficie de 350 000 Km² avec une profondeur qui varie entre 100 et 500 m. Le Complexe Terminal englobe toutes les formations les plus récentes qui se trouvent au-dessus du Cénomaniens Inférieur argilo-évaporitiques, ou Tertiaire et le Quaternaire.

Dans le bassin occidental, le Complexe Terminal est en relation étroite avec le Continental Intercalaire qui lui est sous-jacent en l'absence du toit imperméable du Cénomaniens. Dans le bassin oriental, il est individualisé et ses relations avec le Continental Intercalaire sont limitées à quelques zones privilégiées telles que les zones de failles de l'Amguid et la région des Chotts (Bettaher, 2013).

2.3.1 Aquifère du Complexe terminal

Les formations du Complexe Terminal sont caractérisées par l'absence de déformations tectoniques importantes. Actuellement, les formations définissant le CT sont :

- Le Mio-pliocène à faciès sablo-argilo-gréseux, qui couvre en discordance presque l'ensemble du territoire du Sahara septentrional.

- L'Eocène moyen évaporitiques composé d'argiles avec gypse que l'on rencontre uniquement dans les régions des chotts.

- Le Sénonien Supérieur constitué de formations perméables.

- Le Sénonien Inférieur qui lui est lagunaire à faible perméabilité.

- Le Turonien carbonaté et dolomitique perméable et aquifère, et qui devient marneux et quasi-imperméable dans la limite de la bordure Nord du bassin du Bas Sahara (Bettaher, 2013).

La nappe est jaillissante au centre du bassin et libre sur les bordures. A Hassi R'Mel elle est

libre et est alimentée essentiellement par l'infiltration des pluies exceptionnelles dans les sables Mio-pliocènes, ainsi que par les fréquents ruissellements des oueds descendant de l'Atlas saharien au Nord, et de l'Ouest, par les écoulements des oueds de la chebka du M'zab. Avec une épaisseur moyenne de 342 m et une porosité efficace moyenne de 5%, les réserves du CT sont évaluées à environ de $11.000.10^9 \text{ m}^3$ (Ould Baba sy, 2005).

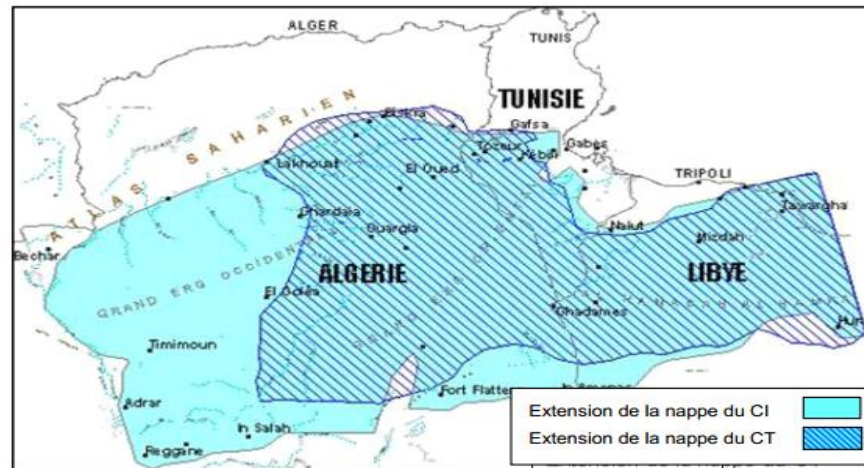


Figure 10 : Limites et extension du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire (ANRH).
(Achour, 2014).

A Hassi R'Mel, le Complexe Terminal comprend des formations du Sénono-Turonien. Le réservoir calcaro-dolomitique du Turonien, constituant une nappe libre, ne produit qu'à la faveur de manifestations karstiques, liées principalement au développement d'une fissuration et la présence de grandes fractures, pouvant facilement atteindre la surface du sol. Les dolomies massives de ce niveau sont très peu perméables. Le toit de la nappe aquifère turonienne est formé par une série argileuse avec des bancs de dolomies et de calcaires du Sénonien.

Les argiles de base du Cénomaniens constituent le substratum imperméable des dolomies et calcaires du sommet, qui seraient en relation hydraulique avec la nappe du Turonien.

Des aquifères de moindre importance que le réservoir du Turonien peut se constituer par les bancs de calcaires et les dolomies du Sénonien. Localement, le Mio-pliocène est aquifère mais ses eaux sont de qualité médiocre du point de vue chimique.

Les niveaux statiques passent de 25m au Sud à 57m au centre pour atteindre 149 m au Nord de Hassi R'Mel. L'alimentation en eau des nappes du complexe terminal ne peut se faire que selon deux hypothèses ; indirectement à partir de l'écoulement des eaux infiltrées sur les affleurements des piémonts atlasiques ou directement et localement à partir de l'impluvium qui reçoit les rares précipitations, où l'absence de litage au toit des calcaires du Turonien et l'existence de fissures et grandes fractures en surface (Sonatrach, 2000).

L'hétérogénéité de l'aquifère explique les variations importantes du débit et de la transmissivité entre les puits productifs. Cette dernière varie de $1.875 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ à $1030 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. La perméabilité présente une gamme allant de $0.28 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ à 417.35 m/s considérée comme une forte perméabilité (Benhamida, 1998).

2.3.2 Aquifère du Continental intercalaire

Cet aquifère a été décrit par Killan en 1931, « *comme l'épisode continental compris entre les formations marines du Paléozoïque et l'invasion marine du Crétacé supérieur* ». Il est aussi l'auteur de la dénomination « Continental Intercalaire ». Il a été qualifié par Savornin (1945) comme étant le « *plus grand système hydraulique du Sahara* ». Cette formation occupe pratiquement la totalité du Sahara algérien septentrional. Elle s'étend sur une superficie d'environ 600 000 Km². Elle s'étend d'Ouest en Est, depuis la ligne des monts de Béchar, au Touat jusqu'en Libye et du Nord au Sud, depuis l'accident Sud atlasique, au pied de l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements des formations primaires et du socle, au bassin d'Illizi et Tidikelt. La dorsale du M'zab (orientée Nord-Sud) divise la plate-forme en deux bassins : le bassin oriental et le bassin occidental. (Ben abdelkrim, 2015).

La nappe du Continental intercalaire est principalement exploitée en Algérie où les prélèvements sur ses ressources atteignent, l'équivalent de 29,9 m³/s, en 2000, ce qui représente 84 % de l'ensemble de son exploitation dans le bassin saharien.

A Hassi R'Mel, le continental intercalaire comprend des formations de l'Albo-barrémien. Les grés albiens présentent un intérêt hydrogéologique certain, ils constituent la nappe aquifère la plus importante mais très profonde et surmontée d'une épaisse série d'argile du Cénomanién (environ 80m). Cette nappe est de type captif et sa source d'alimentation en eau se situe au niveau de l'atlas saharien où affleurent en surface les grés de l'Albien et du Barrémien. Le

Barrémien possède une transmissivité nettement supérieure à celle de l'Albien, on note aussi que l'eau provenant de ces niveaux est de qualité passable. La Salinité est de 1.3 g/l à 1.7g/l (SONATRACH, 2000).

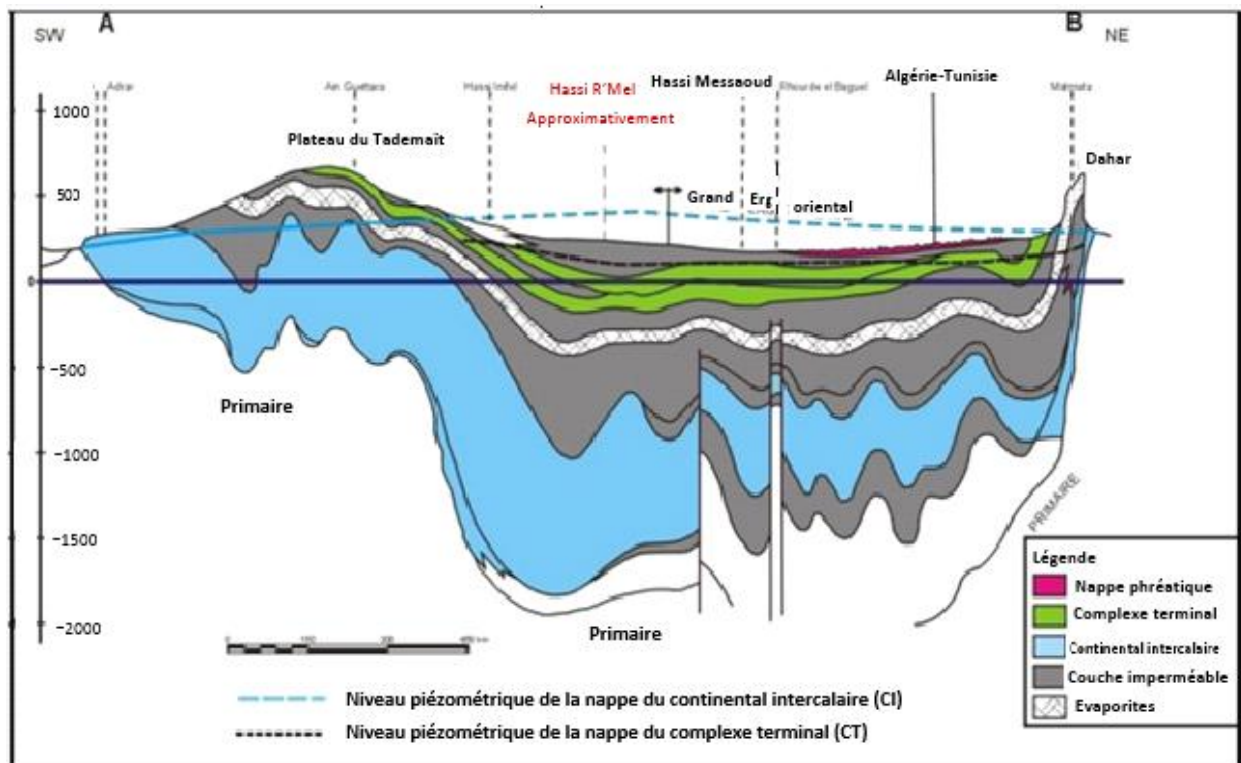


Figure 11 : Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrionale (UNESCO, 1972).

2.3 Cadre structural

La structure de Hassi R'Mel apparaît comme un grand anticlinal ondulé, de direction NNE-SSW, affecté par un réseau assez dense de failles, imprimant à celle-ci un certain compartimentage structural. Les dimensions de cette structure sont de l'ordre de 70 km du Nord au Sud et 50 km de l'Ouest vers l'Est. Cette structure est caractérisée par un réseau de failles orientées dont le rejet peut atteindre 100 m et jouant un rôle important dans le compartimentage et l'accumulation des hydrocarbures. La structure de Hassi R'Mel est caractérisée par l'individualisation de trois zones marquées par de nombreuses culminations et dépressions d'ampleurs variables.

- **Zone sud** : Formée par une série d'ondulations de dimensions notables (5x10km), de forte amplitude verticale (50m) et affectée par de nombreuses failles de rejet parfois important (100m)

- **Zone centre** : Structuralement haute, elle apparaît comme un plateau faiblement ondulé pour les formations mésozoïques. Par contre, l'importance des chutes structurales des flancs Est et Ouest lui assurent une bonne fermeture structurale.

- **Zone nord** : ou périclinal nord du champ. Cette zone est fortement affectée par les mouvements tectoniques particulièrement pour les formations post-jurassiques. Des failles assez profondes ont donné naissance à des horsts et grabens et favorisant les dépôts du Mio-pliocène (Saadi et Kalouche ,2014)

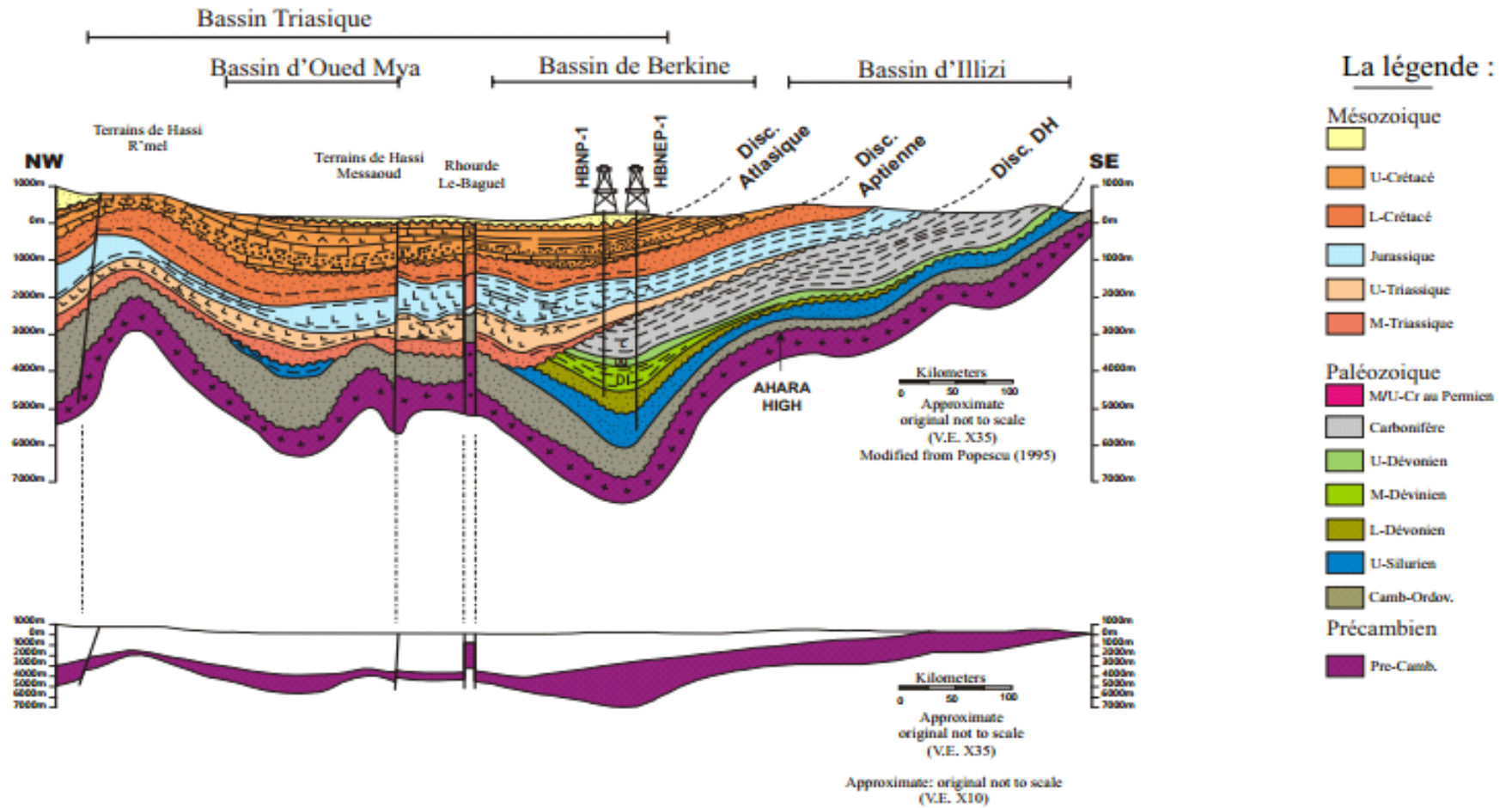


Figure 12 : Sections simplifiées à travers la plate-forme Saharienne (Ben Abdelkrim, 2015).

Hassi R'Mel apparaît comme un grand anticlinal ondulé, de direction SSW-NNE et affecté par un réseau de failles directionnelles et transverses. Géologiquement, elle est formée de deux unités structurales ; le socle précambrien composé de roches éruptives, métamorphiques, et surmonté par d'épaisses couches sédimentaires allant du Cambrien jusqu'au Mio-pliocène. Nous distinguons deux ensembles hydrogéologiques, post Paléozoïques importants : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal. A Hassi R'Mel, le Complexe terminal est libre et est lié au développement de fissurations et fracturation plus important dans les formations calcaire-dolomitiques du Sénono-Turonien, son substratum est constitué par la formation lagunaire du Cénomaniens et sa couverture est d'argiles plus ou moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène. De son côté, la nappe du continental intercalaire est constitué de grés et d'argiles albarémiens, elle est de type captif et plus profonde.

Chapitre 3

Etude Géophysique

Pour accéder à des formations géologiques situées à de grandes profondeurs, il est nécessaire d'exploiter les logs litho-stratigraphiques disponibles, mais cela s'avérerait insuffisant dans une étude de grande envergure, dès lors l'application de méthodes de prospection géophysique à grand rendement telles que la prospection électrique et les diagraphies s'impose. La géophysique est un outil indispensable pour toutes études géologiques, structurales et hydrogéologiques, parmi les méthodes utilisées, la méthode électrique qui détermine à l'aide de sondages électriques verticaux, la répartition des résistivités des terrains en profondeur. La méthode électrique pour l'étude d'un milieu non homogène comme le sous-sol a été très tôt appliquée par Maxwell (1891, in Meunier, 1976), qui suggère l'emploi de quatre électrodes, pour mesurer la résistance au flux de courant dans un milieu conducteur. Cette approche a été appliquée aux formations souterraines de Hassi R'Mel dont l'objectif est de caractériser la nature lithologique des formations investiguées à partir des mesures de résistivités et de mettre en évidence leur extension verticale et latérale.

3.1 Principe et méthode

La prospection électrique par sondage vertical est une méthode géophysique classique s'appuyant sur la mesure de la résistivité électrique du sol. Elle permet de déterminer la résistivité du sous-sol à partir de mesures effectuées en surface.

Cette méthode consiste à envoyer à partir de la surface un courant électrique continu d'intensité (I) à l'aide de deux électrodes d'injection A (+) et B (-) qu'on écarte progressivement et à mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure, M et N. Ceci permet de calculer la résistivité apparente (Mayer De Stadelhofen, 1992) du terrain.

La profondeur d'investigation dépend de la longueur d'émission AB qui n'est autre que l'écart entre les électrodes A et B d'émission du courant électrique continu. Elle reste évolutive durant les opérations d'acquisition. La distance entre les électrodes de réception M et N est variable. Toutefois, cette dernière reste très faible comparativement à l'espacement entre les électrodes d'émission A et B.

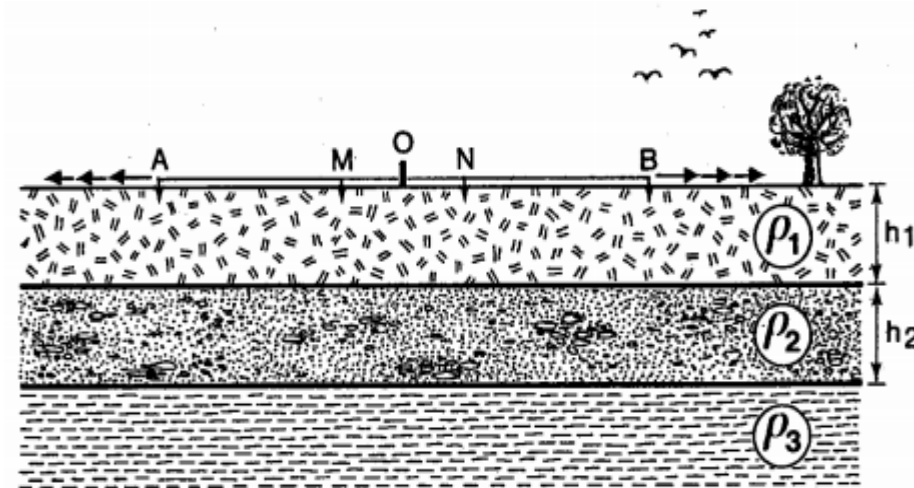


Figure13 : Mise en œuvre des sondages électrique (Meyer De Stadelhofen, 1992).

3.2 Description de la campagne géophysique

Notre étude est basée sur les résultats obtenus lors de la campagne de terrain réalisée par l'Entreprise Nationale de Géophysique (E.NA.GEO) du 23 juillet au 22 décembre 2000. La méthode électrique selon le dispositif de Schlumberger a été sélectionnée par l'opérateur. Cela consiste en la réalisation de 391 sondages électriques en ligne $AB = 2000$ m couvrant une superficie d'environ 800 Km^2 . Dans notre étude, nous avons sélectionné deux sites prospectés, celui d'Oued Ennsa et celui d'Oued Zeghrir situés tout les deux dans le Nord-Est de Hassi R'Mel, comme le montre la Figure si dessous (Figure 14).



Figure 14 : Localisation des sites de prospection géophysique : site d'Oued Enssa et celui d'Oued Zeghrir.

Les Tableaux suivants (Tableau 5 et 6) représente le nombre des SEV constituant de chaque profil, leur coordonnées, AB max, MN max et les valeurs minimum et maximum de résistivités pour les deux sites : Oued Enssa et Oued Zeghrir.

Profil	Nombre de SEV	Début Coordonnées UTM WGS84	Fin Coordonnées UTM WGS84	AB max (m) MN max(m)	ρ_a min (Ohm.m.) ρ_a max (Ohm.m.)
A	6	X: 3,42335518 Y: 33,2147203	X:3,45400856 Y: 33,1800704	AB max : 2000 MN max : 300	ρ_a min :64 ρ_a max :2352
B	4	X :3,43404828 Y :33,2328245	X :3,45050016 Y :33,2096502	AB max : 2000 MN max : 300	ρ_a min :37,8 ρ_a max :3261
C	5	X :3,47071495 Y :33,2199289	X : 3,4927559 Y :33,1894627	AB max : 2000 MN max : 300	ρ_a min :73,4 ρ_a max :474

D	8	X :3,46199731 Y :33,2492624	AB max : 2000 MN max : 300	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$:119,3 $\rho_{a\max}$:2547
E	3	X :3,50398654 Y :33,2320188	X :3,51757561 Y :33,2172362	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$:84,7 $\rho_{a\max}$:1550
F	7	X :3,51307199 Y :33,2493763	X :3,55575569 Y :33,2060256	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$:68,6 $\rho_{a\max}$:2305
G	8	X :3,52846531 Y :33,2626224	X :3,57569675 Y :33,2106334	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 57 $\rho_{a\max}$:1800,6
H	5	X :3,56905753 Y :33,2431678	X : 3,5956337 Y :33,2149881	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 66,6 $\rho_{a\max}$: 1761,5
I	6	X :3,58181934 Y : 33,252219	X :3,61740729 Y : 33,225657	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 55,3 $\rho_{a\max}$:1904,4
J	4	X :3,59104598 Y :33,2715566	X :3,63660246 Y : 33,225657	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 65,3 $\rho_{a\max}$:1576,3
K	7	X :3,61586369 Y :33,2759477	X :3,65709694 Y : 33,232492	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$:89,3 $\rho_{a\max}$:1364

Tableau 5 : Tableau récapitulatif sur les profils électriques réalisés par ENAGEO, en 2000 ; site Oued Ennsa.

profil	Nombre de SEV	Début Coordonnées UTM WGS84	Fin Coordonnées UTM WGS84	AB max (m) MN max(m)	$\rho_{a\min}$ (Ohm.m.) $\rho_{a\max}$ (Ohm.m.)
A	6	X : 3,7751751 Y :33,38277523	X :3,772387917 Y :33,31069767	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$:98.8 $\rho_{a\max}$: 845,1
B	6	X :3,785964172 Y :33,38254856	X :3,783903942 Y :33,30990489	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 116,1 $\rho_{a\max}$: 1602,1

C	6	X :3,796614183 Y :33,38226306	X :3,793785889 Y :33,31094169	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 47,1 $\rho_{a\max}$: 707
D	6	X :3,807475206 Y :33,38184168	X :3,801264939 Y :33,30830722	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 143,1 $\rho_{a\max}$:1074,8
E	5	X :3,816798717 Y :33,38139238	X :3,815195406 Y :33,30951863	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 96,1 $\rho_{a\max}$: 939,1
F	6	X :3,846849225 Y :33,38095055	X :3,843648353 Y :33,30959415	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$:85 $\rho_{a\max}$:758,8
G	5	X :3,875196542 Y :33,38006338	X :3,87400191 Y :33,3074801	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 44 $\rho_{a\max}$:1101
H	6	X :3,903993881 Y :33,37873256	X :3,900923036 Y :33,30715853	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 39,3 $\rho_{a\max}$: 547,5
I	6	X :3,932509653 Y :33,37847853	X :3,929722708 Y :33,30640818	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 41,3 $\rho_{a\max}$:1037,3
J	4	X :3,960923089 Y :33,37747885	X :3,958438953 Y :33,33992134	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 49,2 $\rho_{a\max}$:1301,2
K	4	X :3,990701539 Y :33,37648966	X :3,989345647 Y :33,34243596	AB max : 2000 MN max : 300	$\rho_{a\min}$: 43,7 $\rho_{a\max}$:952

Tableau 6 : Tableau récapitulatif sur les profils électriques réalisés par ENAGEO, en 2000 ; site Oued Zeghrir.

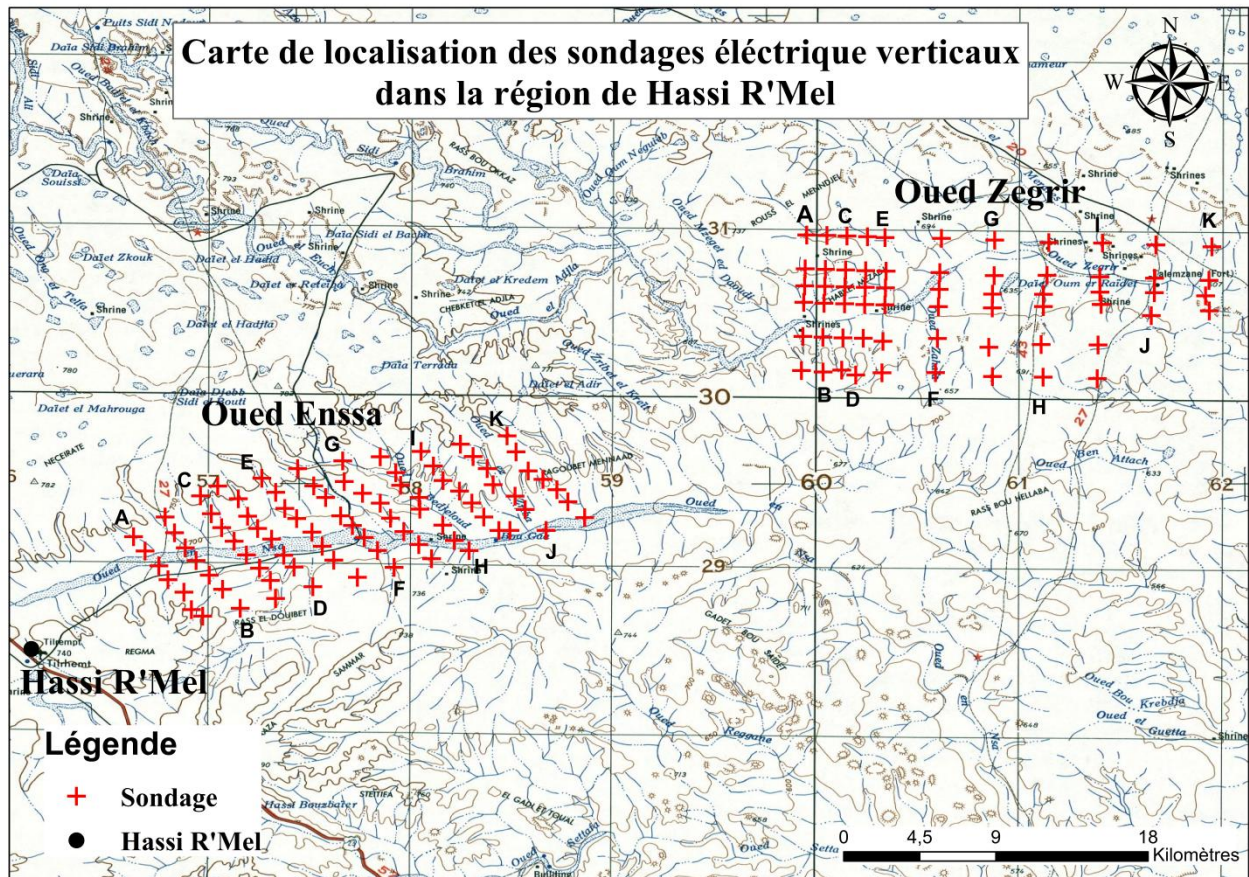


Figure15 : Localisation des SEV dans la région de Hassi R'Mel ; site Oued Ennsa et Oued Zegrir.

Les objectifs de cette campagne vise à déterminer les paramètres physiques (résistivité électrique) et les paramètres géométriques (épaisseur) des formations géologiques et de leur extension latérale ; cela aidera à mieux visualiser la structure du sous-sol ; Localiser les couches susceptibles de constituer des aquifères exploitables par forages; et déterminer les meilleurs emplacements pour l'implantation d'un dispositif de captage pour approvisionner en eau potable la commune Hassi R'Mel et les industries d'hydrocarbures qui fait la réputation de la localité.

Mais ceux-là est fortement conditionné par la présence d'un fort contraste électrique entre les diverses formations lithologiques, ces dernières doivent être caractérisées par des résistivités nettement différentes, que le courant électrique envoyé de la surface doit pénétrer en profondeur jusqu'aux cibles définies par l'étude ; et les déformations du champ électrique ou, si l'on préfère,

les perturbations apportées au cheminement du courant par les hétérogénéités du sous-sol, doivent être mesurables à partir de la surface. (Meyer de Stadlhofen, 1992).

Afin de parfaire la caractérisation géologique et hydrogéologique des formations présentes dans le sous-sol, nous avons eu recours à des logs de diagraphies et de forages que nous avons récupérés de SONATRACH à Hassi Messaoud et de l'ANRH d'Ouargla. En effet, trois diagraphies réalisées par Sonatrach en 2003, elles sont situées entre les deux sites étudiés Oued Enssa et Zeghrir sur une transversale orientée SE-NW. Parallèlement à cela, nous avons utilisé des logs de forages mécaniques au nombre de trois et réalisés en 1998, ces forages sont situés au Nord, au centre et au Sud de Hassi R'Mel.

	Nom	X	Y	Z (m)	Année	Orientation
Diagraphie	CEA	3°19'35,76''	33°19'35,76''	758,15	2003	SE-NW
	MGD-1	3°35'57,9990''	33°20'55,7434''	819,6	2003	SE-NW
	GBS-1	3°53'45,0468''	33°08'45,5081''	628,894	2003	SE-NW
Sondage	HRH N°139	3°17'11,846''	33°08'21,743''	735,5	1998	Nord de Hassi R'Mel
	HRH N° 114	3°13'51,925''	32°54'34,599''	746,66	1998	Centre de assi R'Mel
	HRH N°140	3°33'03,007''	32°47'58,49''	705	1998	Sud de Hassi R'Mel

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des données de forages utilisées dans la caractérisation géologique et géophysique.

Pour l'interprétation ont été établie l'échelle de résistivité locale propre à la région de Hassi R'Mel des formations suivantes :

- Calcaire dur : 95 ohm.m -5437 ohm.m
- Calcaire dolomitique : 92 ohm.m -2300 ohm.m
- Calcaire fissurée et dolomie : 57 ohm.m -845 ohm.m
- Calcaires fissurée : 46 ohm.m -57 ohm.m
- Anhydrite et gypse : 72 ohm.m -250 ohm.m
- Argiles : 18 ohm.m -96 ohm.m.

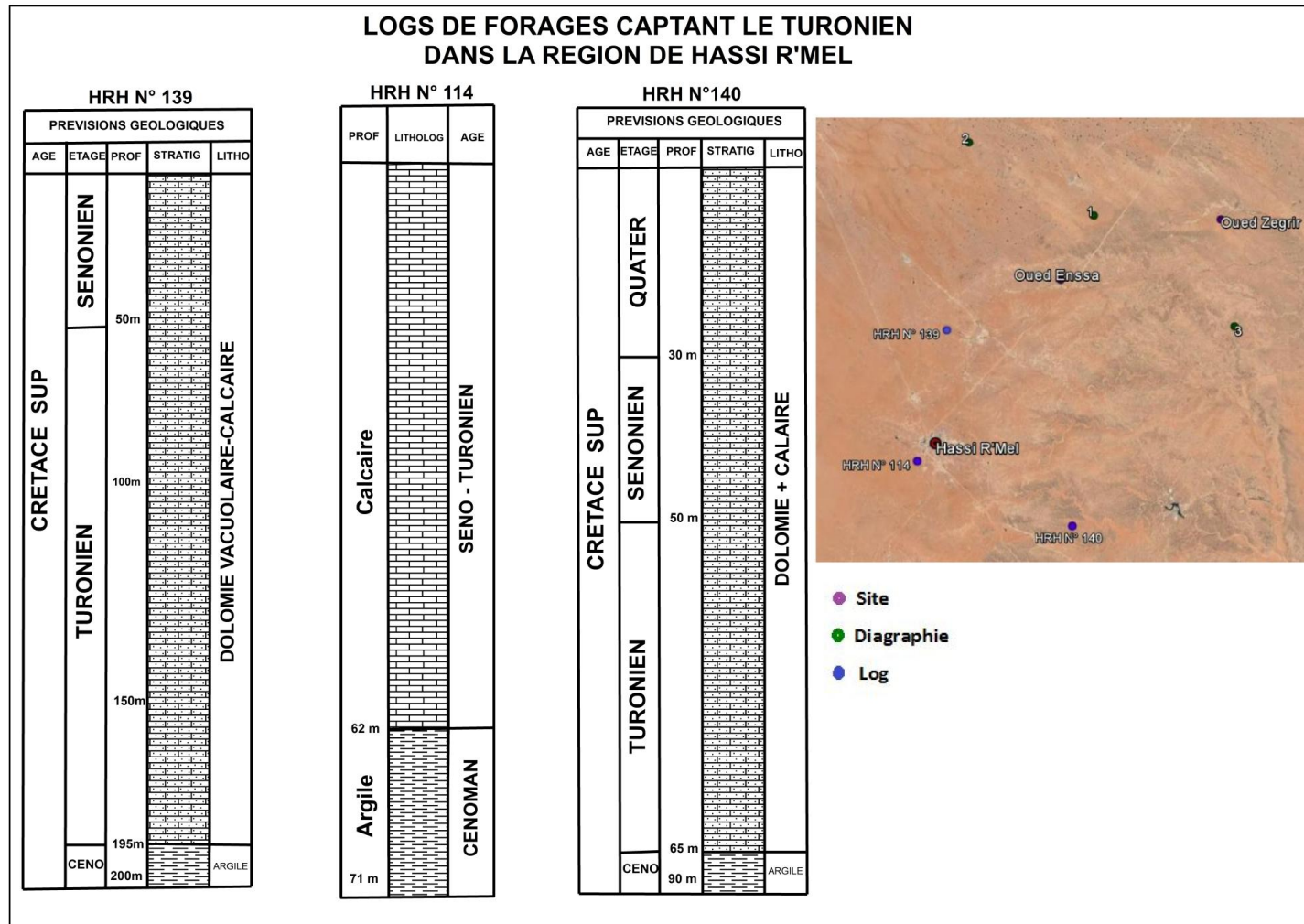


Figure 16: Logs des forages dans la région de Hassi R'Mel, ANRH d'Ouargla, 1998.

3.3 Résultats et discussions

3.3.1 Présentation des résultats

Les différentes courbes, coupes et cartes établies à l'issue de l'interprétation géophysique sont assez complémentaires les unes aux autres :

- Les courbes électriques des sondages permettant de connaître la marge de variation des résistivités pour chaque espacement AB.
- Les coupes géo-électriques permettent de visualiser les différentes structures aquifères précisant leur épaisseur selon les orientations choisies.
- Les cartes de résistivités apparentes, mettent en évidence, selon la longueur d'émission choisie, les variations latérales de faciès des formations superficielles (en AB=100 et 600 m) et profondes (en AB=1000 et 2000 m).

Pour traiter les valeurs des résistivités apparentes, nous avons utilisé le logiciel IPI2WIN, il permet d'établir les courbes électriques des sondages après une analyse statistique et fonctionne par l'optimisation de chaque modèle avec un calcul d'erreur par moindres carrés (RMS) pour chaque modèle par rapport aux mesures. Les interprétations graphiques ont abouti donc à des modèles géologiques correspondant aux courbes des sondages.

3.3.1.1 Courbes des sondages électriques verticaux

3.3.1.1.1 Site d'Oued Enssa

3.3.1.1.1.1 Profil A

- **Sondage A2**, A partir de la courbe expérimentale qui est de type Q, on peut envisager un modèle géologique à trois terrains avec des résistivités très variables. Il comprend de haut en bas les niveaux suivants :

- un niveau superficiel d'une résistivité élevée de 570 ohm.m, peu épaisse à environ 1.8 m, il peut s'agir d'une résistance de contact entre la surface du sol et l'électrode d'envoi de courant ;

- un niveau intermédiaire moins résistant que le précédent, possédant une résistivité de l'ordre de 162 ohm.m, tandis que son épaisseur se montre plus importante, environ 50 m ;

- enfin un niveau profond rencontré à environ 52 m de profondeur, à une tendance conductrice car il possède une résistivité de 70 ohm.m.

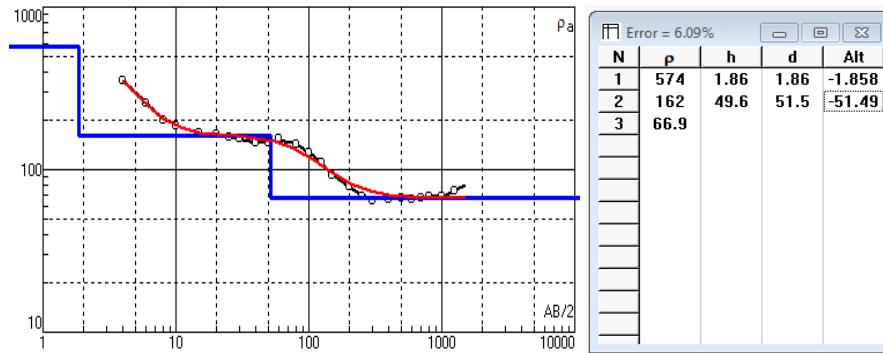


Figure 17 : Courbe des résistivités électriques du sondage A2 et son interprétation.

- Sondage A3**, La courbe expérimentale montre une succession de cinq couches. En effet, les premiers horizons superficiels et minces possèdent des résistivités allant de 95.7 à 164 ohm.m sur environ 14 m d'épaisseur, suivis d'une épaisse couche conductrice occupant le sous sol sur environ 92 m d'épaisseur, que succède une quatrième couche résistante dont la résistivité avoisine les 300 ohm.m sur plus de 500 m d'épaisseur. Ces formations reposent sur un substratum très conducteur représenté par une résistivité de 36 ohm.m, cela ne peut correspondre qu'à des couches salifères en profondeur.

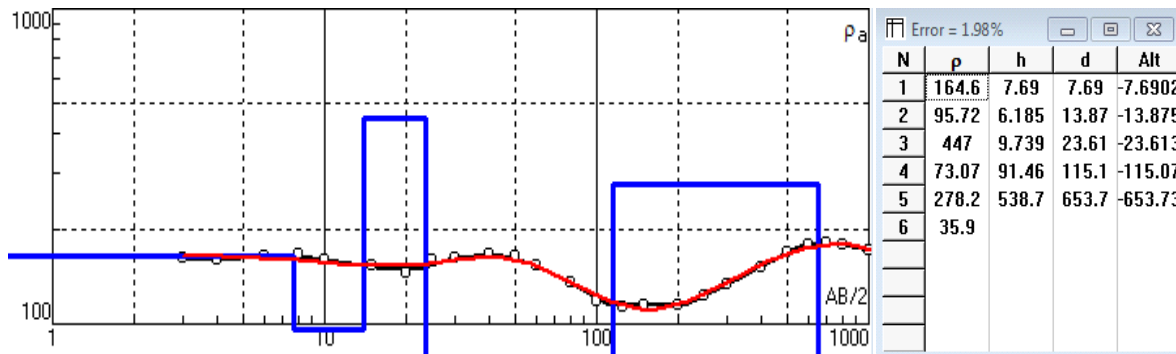


Figure 18 : Courbe des résistivités électriques du sondage A3 et son interprétation.

- Sondage A4**, Il s'agit d'une structure composée de trois couches. Elle comprend de haut en bas les niveaux suivants :
 - en surface, un niveau très mince dont la résistivité est élevée, elle est de l'ordre de 443 ohm.m sur 2,8 m d'épaisseur.
 - un niveau intermédiaire moins résistant (116 ohm.m) et épais de 27 m.

-et enfin, un niveau profond et conducteur à 46 ohm.m, il est très épais avec des centaines de mètres, le logiciel affiche 690 m mais cela ne devrait pas dépasser 400 m en réalité.

Il est à signaler que les fortes valeurs affichées ne sont que des calculs purement mathématiques de logiciel dont il incombe à son utilisateur de mieux trier et interpréter en concordance avec la répartition des formations géologiques dans le sous-sol et le tableau de mesures de chaque sondage électrique dont nous faisons usage.

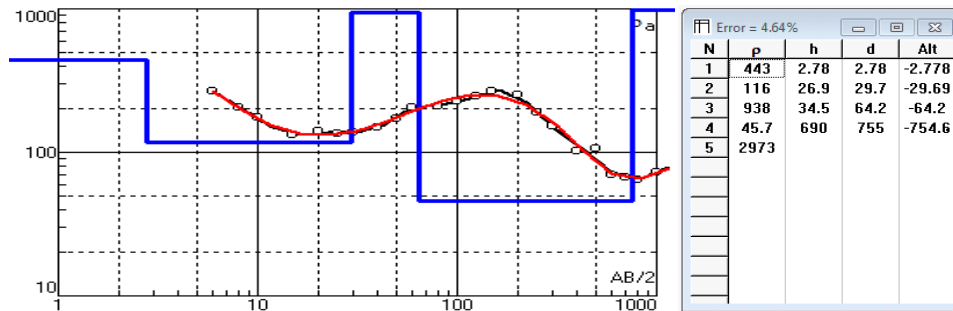


Figure 19 : Courbe des résistivités électriques du sondage A4 et son interprétation.

- **Sondage A5**, La courbe expérimentale A5 montre la présence des quatre terrains successifs, en effet, le premier est superficiel et mince, résistant à 767 ohm.m, le deuxième est moins résistant que le précédent à 369 ohm.m et 9 m d'épaisseur, suivi d'un niveau très résistant à 989 ohm.m et puissant de 40.5 m et enfin un dernier niveau très conducteur (20.4 ohm.m) qui peut être représenté par des sels et anhydrite.

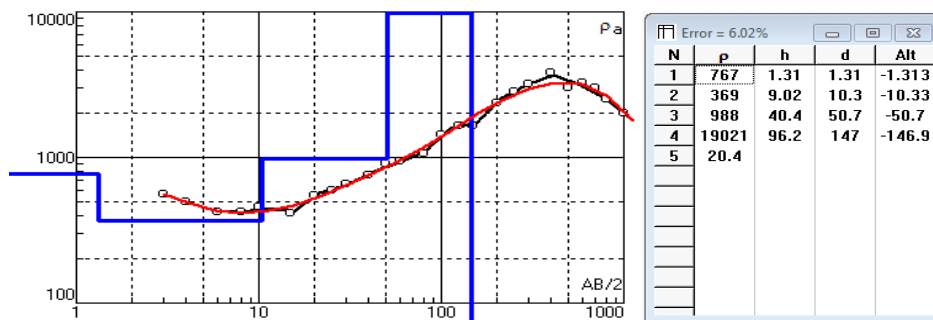


Figure 20 : Courbe des résistivités électriques du sondage A5 et son interprétation.

- **Sondage A6**, La courbe expérimentale montre la présence des quatre couches résistantes, les couches superficielles de 6 m d'épaisseur sont représentées par deux niveaux résistants de 105

ohm.m à 303 ohm.m, ils superposent une couche dont la résistivité est de 297 ohm.m et d'une épaisseur de 90 m. Cet ensemble géologique repose sur un niveau très résistant à 2644 ohm.m, représenté par des calcaires très massifs.

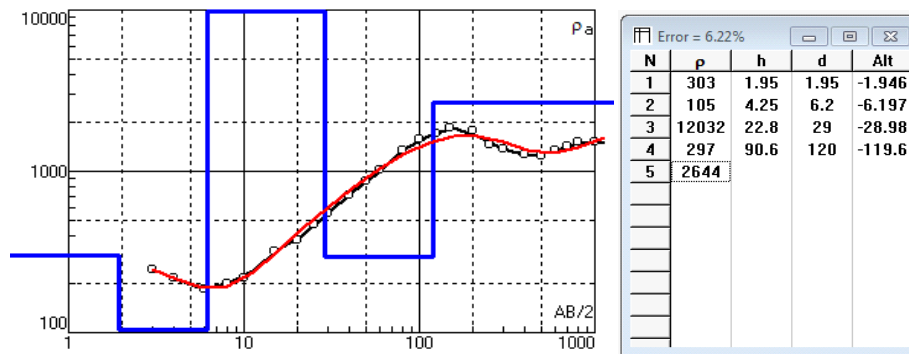


Figure 21 : Courbe des résistivités électriques du sondage A6 et son interprétation.

- **Sondage A7**, La courbe expérimentale montre la présence du trois terrains. En effet le premier résistant de 206 ohm.m et épais de 3 m, repose sur un horizon conducteur avec une faible résistivité de 50.9 ohm m avec une épaisseur de 2.7 m, ce dernier superpose un troisième terrain très résistant à 1374 ohm.m.

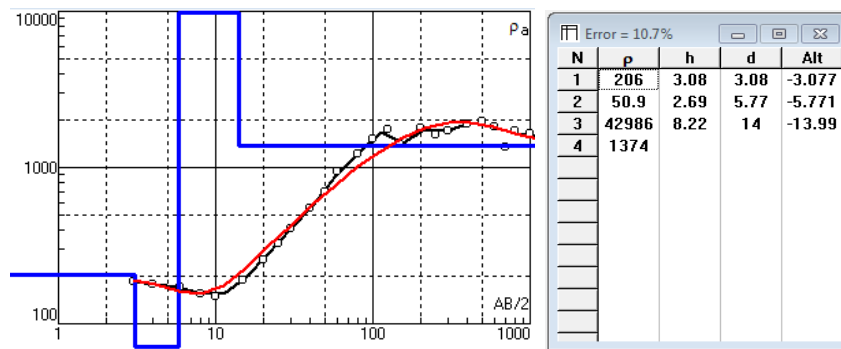


Figure 22 : Courbe des résistivités électriques du sondage A7 et son interprétation.

3.3.1.1.2 Profil C

- **Sondage C4**, La courbe expérimentale est de type H. Le sous-sol est composé de trois couches possédant des résistivités différentes avec une première valeur montrant une résistance de contact. On observe de haut en bas un niveau superficiel englobant d'une part une couche résistante à 243 ohm.m et une épaisseur d'environ 4.5 m et d'autres part, une couche intermédiaire

conductrice (39ohm.m) et mince, son épaisseur est de 6.5 m, l'ensemble surmonte une couche profonde conductrice d'une résistivité de 86 ohm.m, elle est de épaisse 38.5 m.

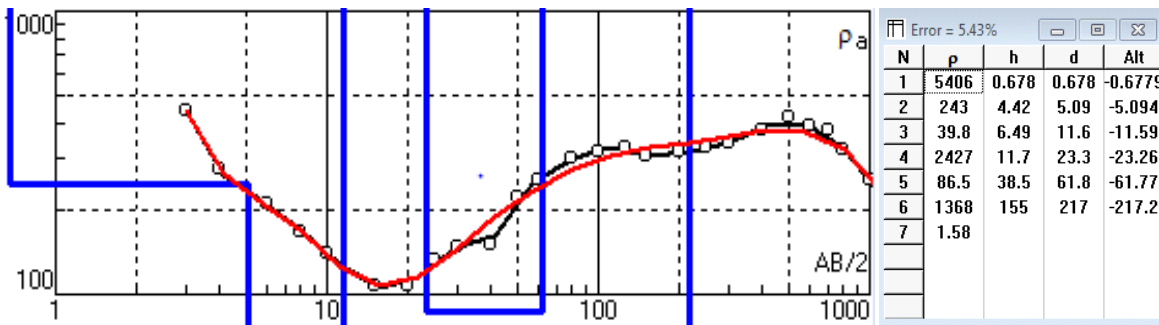


Figure 23 : Courbe des résistivités électriques du sondage C4 et son interprétation.

- Sondage C5,** La courbe expérimentale est représentée par un modèle géologique à quatre terrains dont les résistivités décroissent en profondeur. Il comprend un niveau superficiel mince, environ 2 m à 259 ohm.m de résistivité. Ce dernier superpose un deuxième niveau dont la résistivité est de 122 ohm.m avec 5.5 m d'épaisseur. Il surmonte un horizon conducteur à 51 ohm.m de résistivité, et épais d 7.5 m. l'ensemble est supporté par ce puissant niveau profond et conducteur à 28 ohm.m sur 96 m.

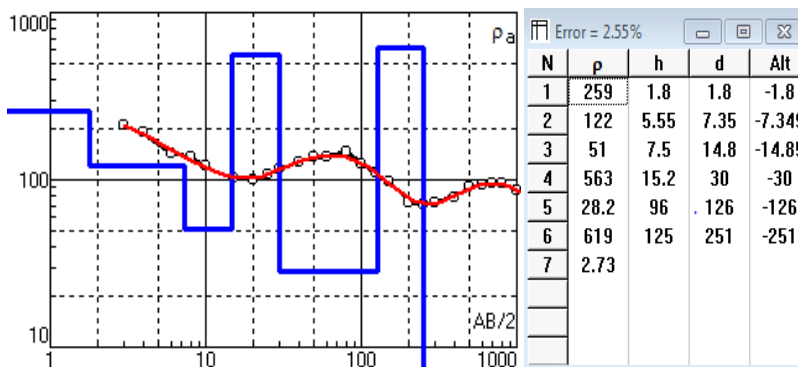


Figure 24 : Courbe des résistivités électriques du sondage C5 et son interprétation.

- Sondage C6,** On peut envisager un modèle géologique à quatre terrains avec des résistivités variables. Un niveau superficiel résistant à 327 ohm.m, d'une épaisseur de 4.5 m, ce dernier repose sur un niveau conducteur de 57 ohm.m sur une épaisseur de 17 m. Il surmonte un niveau profond et très épais, sa résistivité est de 373 ohm occupant 281 m. L'ensemble surmonte un niveau à tendance résistante.

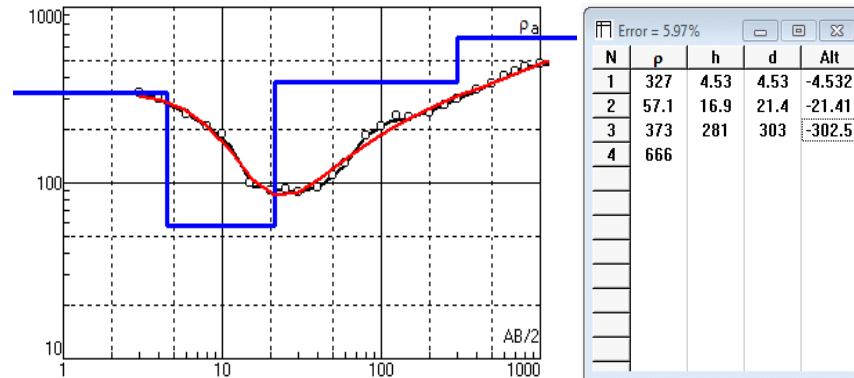


Figure 25 : Courbe des résistivités électriques du sondage C6 et son interprétation.

- Sondage C7**, Le modèle géologique proposé est composé d'une succession de séquences sédimentaires représentées par cinq terrains résistants et conducteurs avec des valeurs de résistivités très variables. Il comprend les niveaux suivants :
 - Un niveau superficiel résistant de 525 ohm.m, avec une épaisseur de 1.8 m.
 - un terrain conducteur à 34 ohm.m de résistivité et une épaisseur de 3.7 m.
 - un niveau moyennement résistant d'une résistivité de 171 ohm.m, et d'une épaisseur de 22.7 m.
 - un niveau conducteur d'une résistivité de 41 ohm.m sur 30 m.
 - et à la base un niveau profond, épais de 192 m, d'une résistivité de 177 ohm.m.

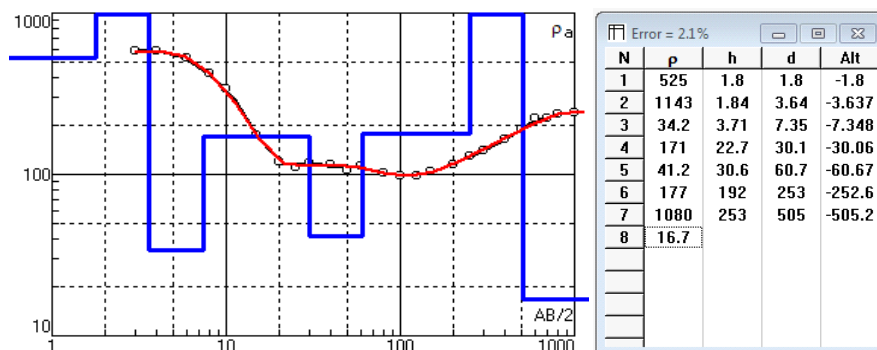


Figure 26 : Courbe des résistivités électriques du sondage C7 et son interprétation.

- Sondage C8**, L'interprétation du sondage C8 permet de distinguer une mince couche en surface de 2 m, elle est très résistante, que surmonte un horizon moins résistant que le précédent à 162 ohm.m et épais de 9 m, suivi de 96 m de terrain conducteur à 52 ohm.m, pour finir avec un terrain très épais de 140 m et résistant de 563 ohm.m.

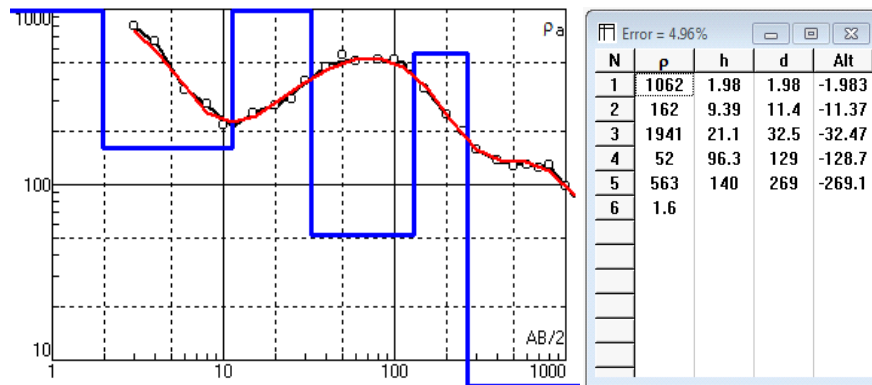


Figure 27 : Courbe des résistivités électriques du sondage C8 et son interprétation.

3.3.1.1.1.3 Profil E

- Sondage E4**, La courbe expérimentale E4 montre la présence de quatre à cinq terrains, En effet, le premier se montre très mince et résistant avec 2500 ohm.m, suivi d'un niveau de 8 m mais conducteur, la résistivité chute subitement à 212 ohm.m, ce dernier repose sur un horizon très résistant possédant une résistivité de 2172 ohm.m et une épaisseur de 7.5 m, vient ensuite un niveau moyennement résistant à 513 ohm.m mais d'une puissance de 178 m, l'ensemble se termine avec un horizon très résistant à 2946 ohm.m.

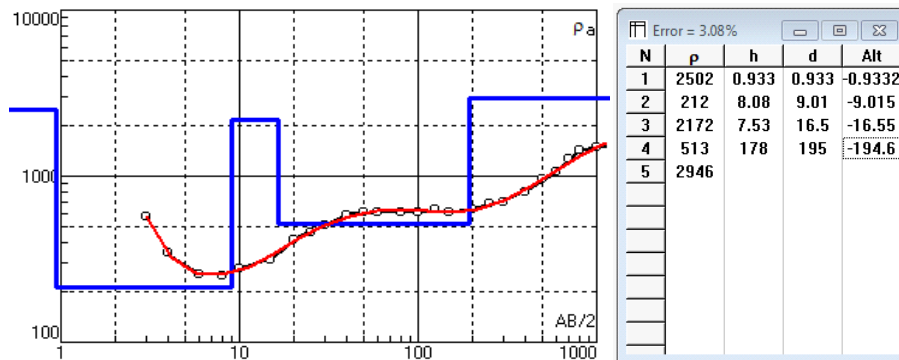


Figure 28 : Courbe des résistivités électriques du sondage E4 et son interprétation.

- Sondage E5**, Les niveaux superficiels sont représentés par deux couches minces, l'une résistante avec 1987 ohm.m sous forme de résistivité de contact et l'autre conductrice avec 210 ohm.m, celles-ci surmonte une troisième couche de 14.6 m dont la résistivité diminue jusqu'à 117 ohm.m, cette dernière superpose un horizon moyennement résistant de 593 ohm.m et épais de 151 m.

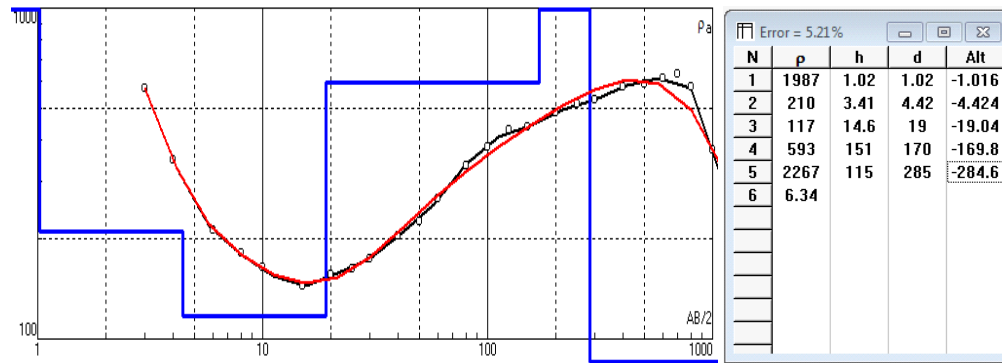


Figure 29 : Courbe des résistivités électriques du sondage E5 et son interprétation.

- Sondage E6**, La courbe expérimentale E6 montre la présence des trois horizons, il s'agit ;
 - un horizon superficiel moyennement résistant avec une résistivité de 304 ohm.m avec une épaisseur d'environ 3 m ;
 - un horizon intermédiaire conducteur avec 92 ohm.m et une épaisseur de 13 m ;
 - un troisième de plus en plus conducteur avec 27 ohm.m et épais d'environ 79 m.

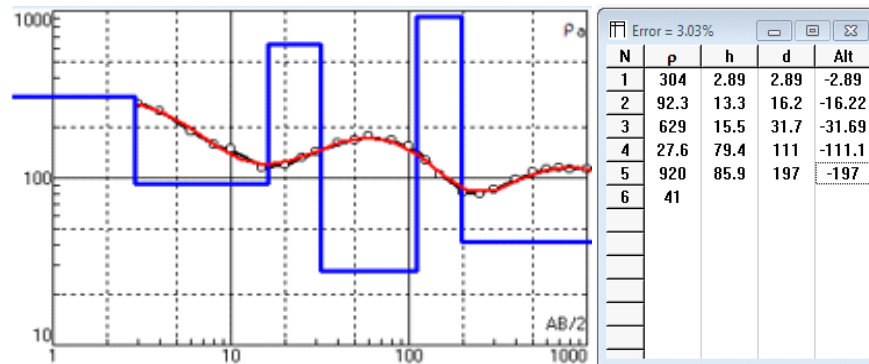


Figure 30 : Courbe des résistivités électriques du sondage E6 et son interprétation.

3.3.1.1.4 Le profil G

- Sondage G1**, On peut envisager un modèle géologique à quatre terrains essentiellement résistants. Il comprend un niveau superficiel d'une résistivité moyenne de l'ordre de 158 ohm.m, celui-ci surmonte un deuxième niveau dont la résistivité monte à 389 ohm.m, il fait environ 16 m d'épaisseur. Ce dernier superpose un troisième niveau épais et caractérisé par une résistivité en chute libre, elle est de 196 ohm, son épaisseur est de 48 m. Enfin, la résistivité de la formation

amorce une hausse importante avec l'apparition à 65 m de profondeur, d'un dernier niveau résistant de 1983 ohm.m.

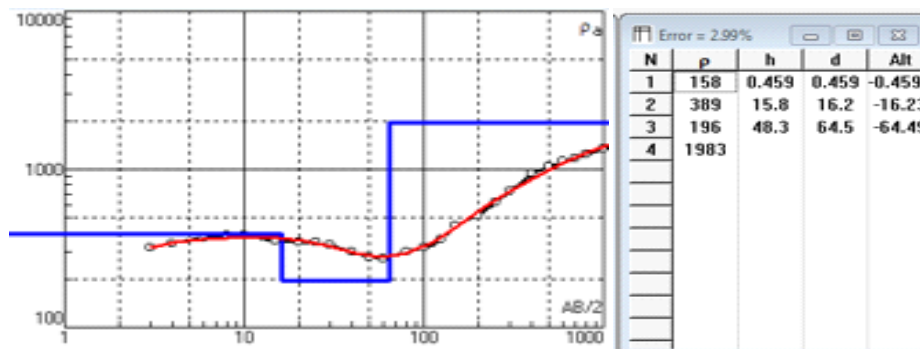


Figure 31 : Courbe des résistivités électriques du sondage G1 et son interprétation.

- **Sondage G2**, La courbe expérimentale du sondage G2 montre la présence du trois terrains superposés, de haut en bas, nous avons :

- un premier terrain résistant à 334 ohm.m.

- un deuxième terrain très mince mais de plus en plus résistant à environ 1731 ohm.m

- un troisième terrain dont la résistivité chute jusqu' à atteindre 118 ohm m son épaisseur est de 34 m.

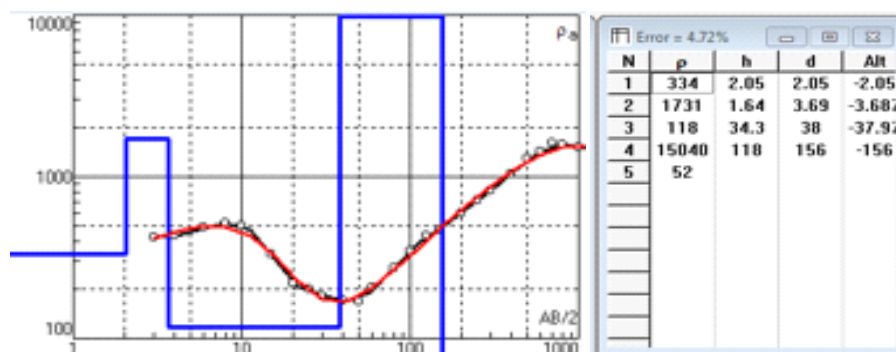


Figure 32 : Courbe des résistivités électriques du sondage G2 et son interprétation.

- **Sondage G3**, Le modèle est composé de trois couches essentiellement résistantes.la première mince avec une épaisseur d'environ 2 m à 273 ohm m de résistivité, elle surmonte une couche à 108 ohm.m et une épaisseur d'environ 16 m. Cette dernière superpose une troisième couche très résistante avec 1559ohm.m, rencontré à 20 m de profondeur.

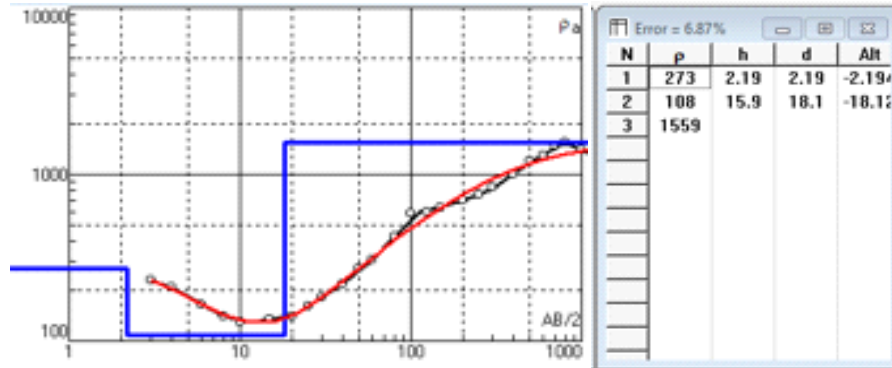


Figure 33 : Courbe des résistivités électriques du sondage G3 et son interprétation.

- Sondage G4**, La courbe expérimentale du sondage G4 montre la présence de cinq terrains. En effet, le premier terrain présente une résistivité de 986 ohm.m et une épaisseur environ de 2 m. il superpose un deuxième terrain résistant de 137 ohm.m et une épaisseur voisine de 14 m, la structure se termine avec un niveau résistant et très imposant en épaisseur, sa résistivité monte à 723 ohm.m et son épaisseur est de 294 m.

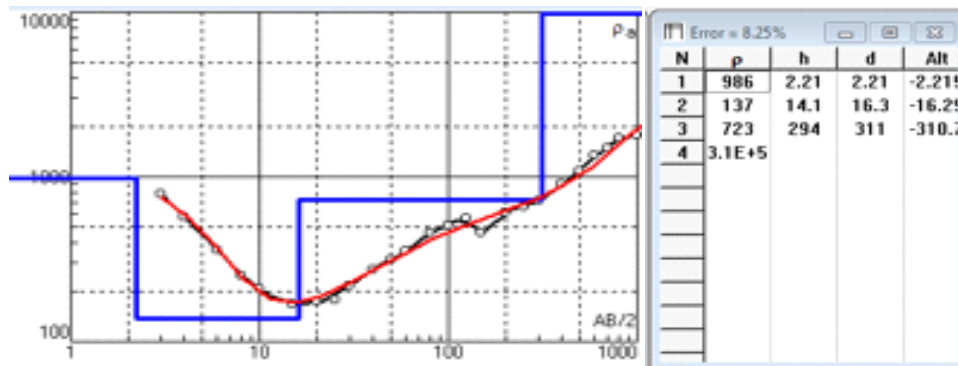


Figure 34 : Courbe des résistivités électriques du sondage G4 et son interprétation.

- Sondage G5**, La courbe expérimentale du sondage G5 montre la présence de trois terrains plus ou moins résistants. En effet le premier à 476 ohm.m avec une épaisseur de 3.5 m, vient ensuite une deuxième couche caractérisée par une résistivité en baisse, elle est enregistrée à 217 ohm m sur 10.5 m d'épaisseur, cette dernière superpose une troisième couche épaisse et très résistante, sa résistivité augmente jusqu'à atteindre 1052 ohm.m, elle est marquée par une imposante épaisseur de 719 m.

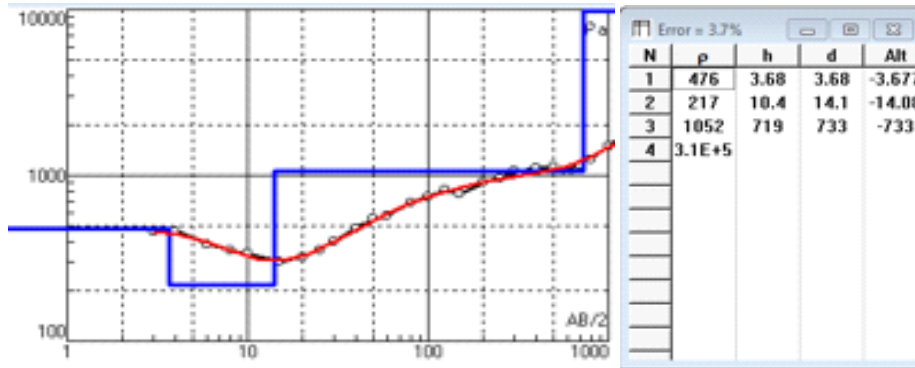


Figure 35 : Courbe des résistivités électriques du sondage G5 et son interprétation.

- **Sondage G6**, On peut envisager un modèle géologique à cinq terrains essentiellement résistants. Le premier terrain conducteur à 123 ohm.m, suivi d'un deuxième niveau moyennement résistant à 425 ohm.m, il fait environ 15 m d'épaisseur, une troisième couche dont la résistivité est de 302 ohm.m avec une épaisseur de 107 m. L'ensemble repose sur un horizon conducteur de 51 ohm.m.

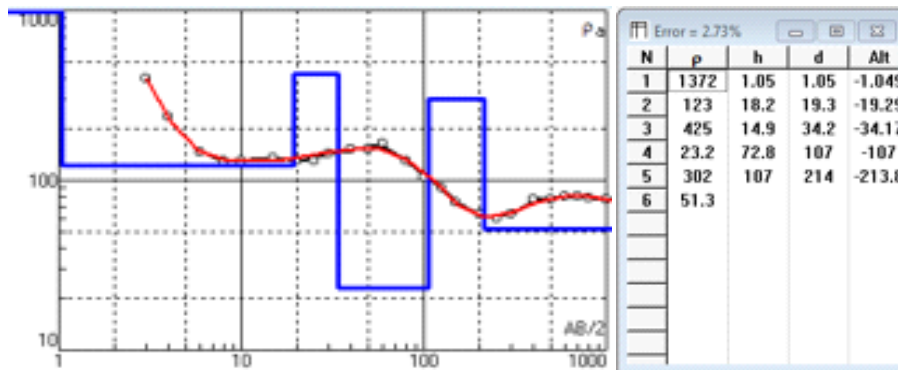


Figure 36 : Courbe des résistivités électriques du sondage G6 et son interprétation.

- **Sondage G7**, La courbe expérimentale du sondage G7 montre la présence de cinq terrains. En effet le premier terrain représente une terre végétale dont sa résistivité est de 358 ohm.m, d'une épaisseur inférieure à 4 m. Elle surmonte une deuxième couche conductrice d'environ 39 ohm.m et épaisse de 6 m, cette dernière superpose une troisième couche moyennement résistante dont la résistivité augmente jusqu' à atteindre environ 371 ohm.m, son épaisseur est d'environ 13 m. la série se termine en profondeur avec deux horizons l'un conducteur à 38.5 ohm.m et épais de 154 m, et l'autre est moyennement résistant de 144.5 ohm.m.

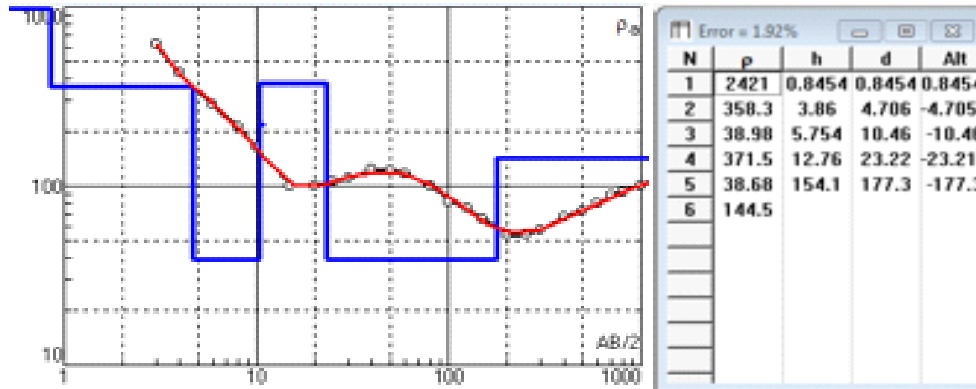


Figure 37 : Courbe des résistivités électriques du sondage G7 et son interprétation.

- **Sondage G8**, La courbe expérimentale du sondage G8 montre la présence de trois terrains. En effet le premier terrain représente une terre végétale dont sa résistivité est de 1334 ohm.m avec une épaisseur d'environ 2 m. Elle surmonte une deuxième couche mince de 152 ohm m de résistivité, la série repose sur un horizon conducteur à 96.4 ohm.m

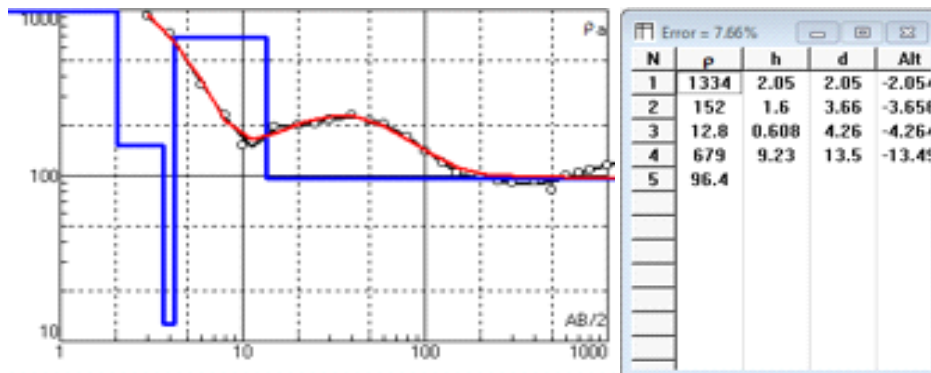


Figure 38 : Courbe des résistivités électriques du sondage G8 et son interprétation.

3.3.1.1.1.5 Profil I

- **Sondage I3**, La courbe expérimentale du sondage I3 montre la présence de quatre terrains, un premier terrain mince et résistant à 499 ohm.m, que surmonte un deuxième horizon conducteur de 20 ohm.m moins épais (3 m), ce dernier superpose un troisième horizon avec une épaisse couche de 101 m représentée par une formation de résistivité de l'ordre de 151 ohm.m. la série se termine avec une couche très résistante.

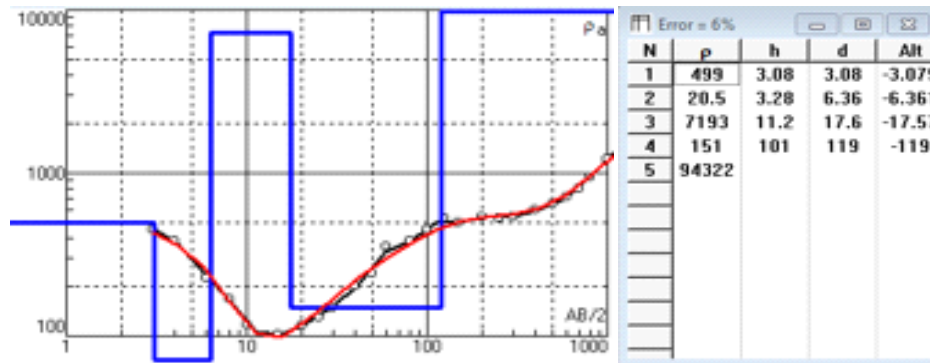


Figure 39 : Courbe des résistivités électriques du sondage I3 et son interprétation.

- **Sondage I4,** La courbe expérimentale du sondage I4 montre la présence de trois terrains. Le premier terrain résistant dont la résistivité est de 119 ohm.m avec une épaisseur d'environ 2 m. Elle surmonte une deuxième couche très conductrice avec 17.5 ohm.m, pour finir la série avec une couche épaisse de 78 m et ont la résistivité augmente à 163 ohm m.

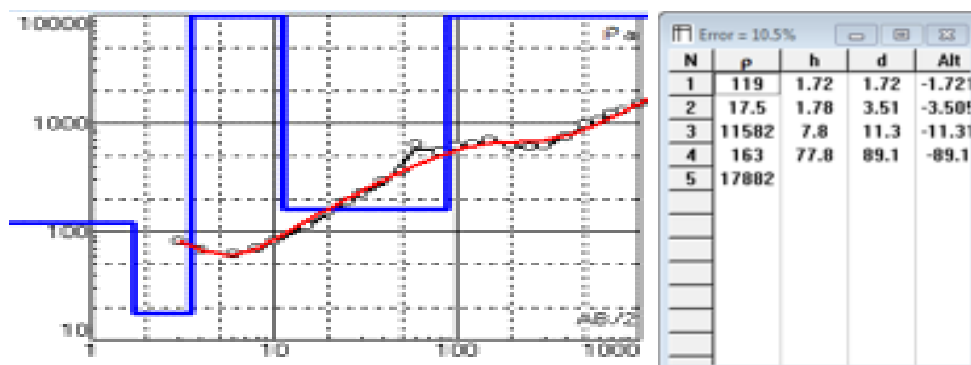


Figure 40 : Courbe des résistivités électriques du sondage I4 et son interprétation.

- **Sondage I5,** La courbe expérimentale I5 montre que le terrain est composé de quatre couches résistantes ; la première couche représente une terre végétale de 564 ohm.m de résistivité et une épaisseur de 5 m, elle surmonte une deuxième couche mince dont la résistivité est de 348 ohm.m, cette dernière superpose sur une troisième couche moyennement résistante, sa résistivité est de 508 ohm m sur une épaisseur de 12 m. la séries sédimentaire se termine avec une dernière couche très résistante dont la résistivité monte à 1966 ohm m.

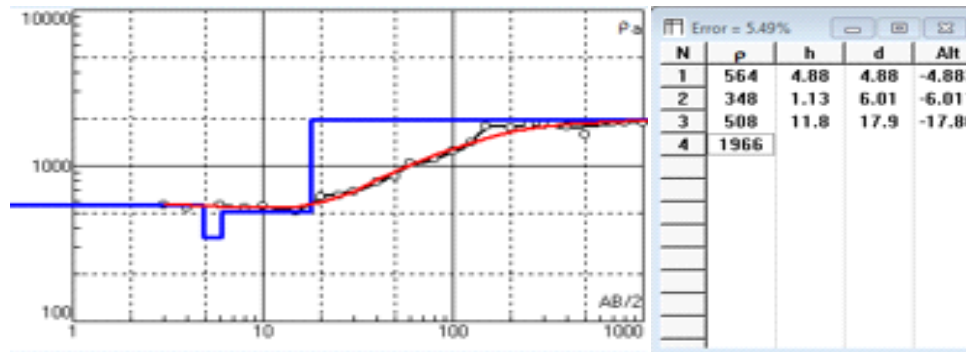


Figure 41 : Courbe des résistivités électriques du sondage I5 et son interprétation.

- **Sondage I6**, La courbe expérimentale I6 montre que le terrain est composé de trois couches ; la première couche représentée par une résistivité de 1021 ohm m, elle surmonte une troisième couche dont la résistivité chute à 122 ohm m sur une épaisseur de 48 m. pour finir avec un banc conducteur à seulement 61.5 ohm m.

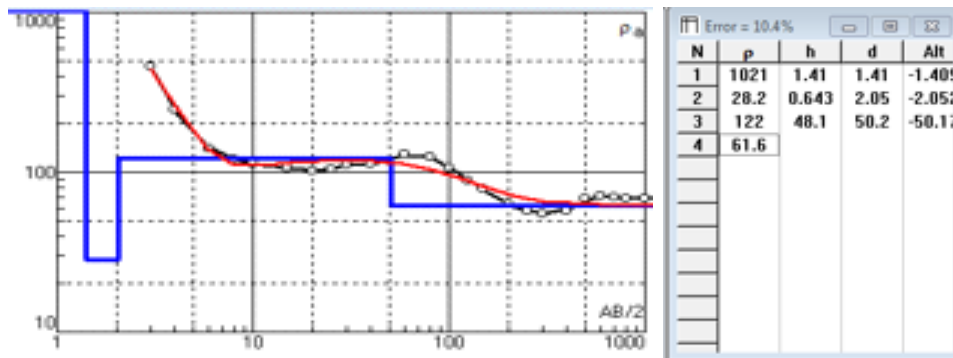


Figure 42 : Courbe des résistivités électriques du sondage I6 et son interprétation.

- **Sondage I7**, La courbe expérimentale I7 montre que le terrain est composé de trois couches résistantes ; la première couche possède une résistivité de 119 ohm.m sur une épaisseur d'environ 2 m, elle surmonte une deuxième couche dont la résistivité est de l'ordre de 578 ohm.m sur une épaisseur de 4 m, la série se termine avec un horizon, sur 10 m d'épaisseur avec une résistivité de 127 ohm.m.

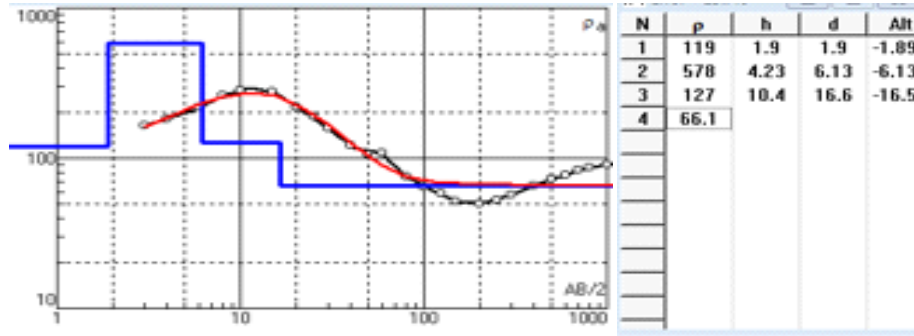


Figure 43 : Courbe des résistivités électriques du sondage I7 et son interprétation.

- **Sondage I8,** La courbe expérimentale I8 montre que le terrain est composé également de quatre couches résistantes ; la première couche représente une terre végétale possédant une résistivité de 1557 ohm.m, elle surmonte une deuxième couche dont la résistivité chute à 148 ohm.m sur une épaisseur d'environ 7 m, cette dernière superpose une troisième couche de 30 m est d'une résistivité de 271 ohm.m qui chute en profondeur jusqu' à atteindre 60.5 ohm.m.

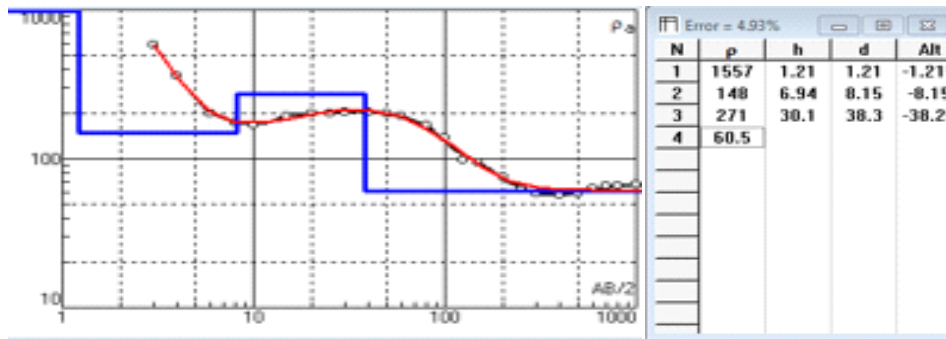


Figure 44 : Courbe des résistivités électriques du sondage I8 et son interprétation.

3.3.1.1.6 Profil K

- **Sondage K1,** On peut envisager un modèle composé de quatre couches, la première représente une terre végétale peu épaisse avec une résistivité de l'ordre de 777 ohm.m, une deuxième couche conductrice à 30 ohm.m. Cette dernière superpose une troisième couche très résistante dont la résistivité dépasse les 2000 ohm.m et épaisse d'environ 11 m. A partir de 35 m de profondeur, l'ensemble géologique surmonte un substratum très résistant à 1994 ohm.m.

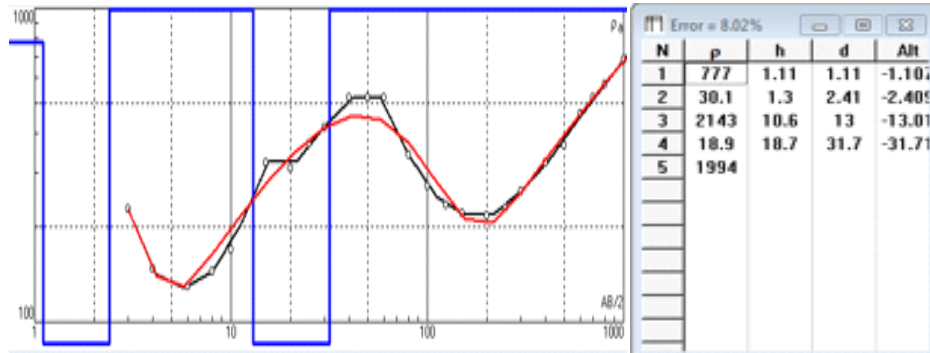


Figure 45 : Courbe des résistivités électriques du sondage K1 et son interprétation.

- Sondage K2**, La courbe expérimentale K2 montre que le terrain est composé de quatre couches ; les niveaux superficiels en possède deux, l'une très résistante (927 ohm.m) et l'autre très conductrice (39 ohm.m) dont l'épaisseur ne dépasse pas 5 m, vient ensuite une troisième couche très résistante ayant une résistivité de 5231 ohm.m et une épaisseur de 10 m. Enfin une quatrième couche conductrice avec une résistivité de 36 ohm m et une épaisseur de 32 m.

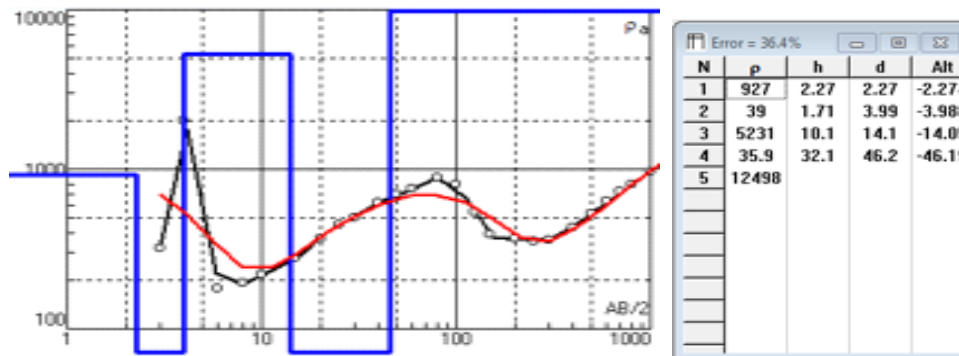


Figure 46 : Courbe des résistivités électriques du sondage K2 et son interprétation.

- Sondage K3**, La courbe expérimentale k3 montre que le terrain est composé de trois couches ; les niveaux superficiels sont représentés par de minces couches, l'une résistante possédant une résistivité de 374 ohm.m, et l'autre conductrice dont la résistivité est de 42 ohm.m , cette dernière surmonte une troisième couche mince et très résistante de 2543 ohm.m. A 25 m de profondeur, apparaît un puissant niveau résistant dont la résistivité avoisine les 850 ohm.m et son épaisseur calculée dépasse les 200 m. La succession de ces niveaux montre la complexité de la géologie de Hassi R'Mel dont les passages minces et conducteurs, des couches résistantes et

massives, et une structure plissée et fracturée se traduisent par des enregistrements électriques très disparates et de larges gammes de résistivités allant de 11 à plus de 3000 ohm.m.

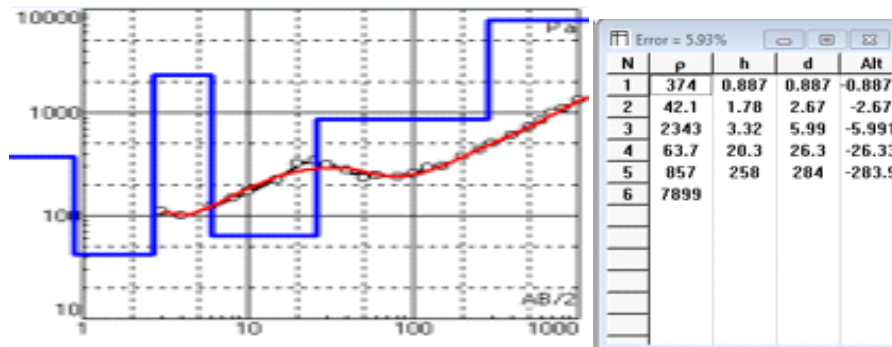


Figure 47 : Courbe des résistivités électriques du sondage K3 et son interprétation.

- **Sondage K4**, La courbe expérimentale k4 montre que le sous-sol est composé d'une succession de trois couches résistantes ; la première possède une résistivité de 351 ohm.m avec une épaisseur d'environ 3 m, elle surmonte une deuxième couche dont la résistivité et de 208 ohm.m avec une épaisseur d'environ 36 m, qui elle, superpose une troisième couche très résistante possédant une résistivité de 1515 ohm.m et montrant une épaisseur bien importante.

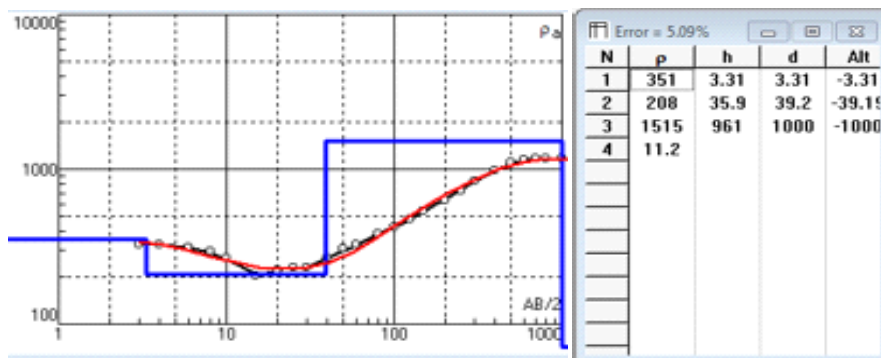


Figure 48 : Courbe des résistivités électriques du sondage K4 et son interprétation.

- **Sondage K5**, Il en ressort une structure composée de trois couches, le premier est résistant avec une résistivité de l'ordre de 899 ohm.m et une épaisseur de 1.5 m, cette dernière surmonte une deuxième couche très conductrice, dont les résistivités chutent en profondeur de 67 ohm.m à 11.2 ohm.m.

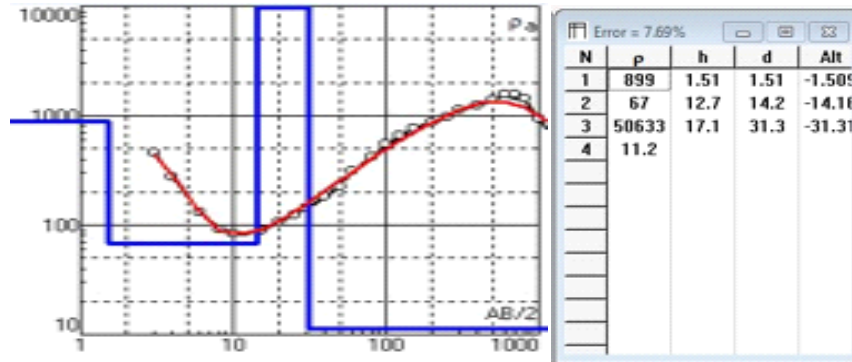


Figure 49 : Courbe des résistivités électriques du sondage K5 et son interprétation.

- **Sondage K6**, Nous avons obtenue une structure composée de trois couches. Le premier est superficiel et conducteur avec une résistivité de 36 ohm.m, cette dernière surmonte une deuxième couche ayant une résistivité de 189 ohm.m, sur une épaisseur de 42.3 m, L'ensemble repose une troisième couche très résistante et bien épaisse, de 703 ohm.m avec une épaisseur de 341 m.

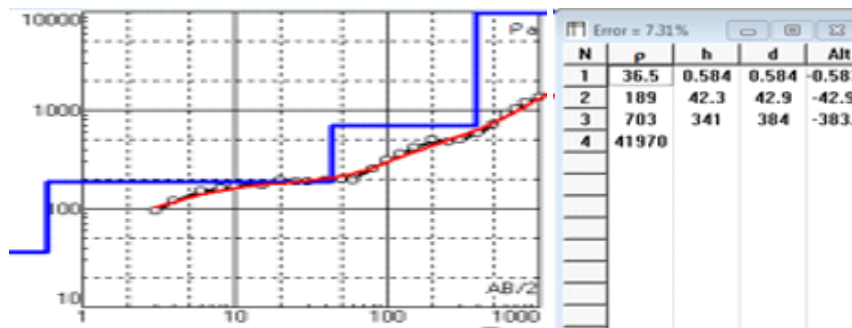


Figure 50 : Courbe des résistivités électriques du sondage K6 et son interprétation.

- **Sondage K7**, On peut envisager un modèle géologique à quatre terrains. Il comprend de haut en bas les niveaux suivants :
 - un niveau superficiel résistant d'une résistivité moyenne de l'ordre de 763 ohm.m, peu épais avec une épaisseur d'environ 4 m.
 - le deuxième niveau possédant une faible résistivité de l'ordre de 123 ohm.m, avec une épaisseur moyenne d'environ 15 m.
 - un troisième niveau puissant de 180 m, à très faible résistivité (74 ohm m).
 L'ensemble géologique repose sur un horizon résistant de 290 ohm.m

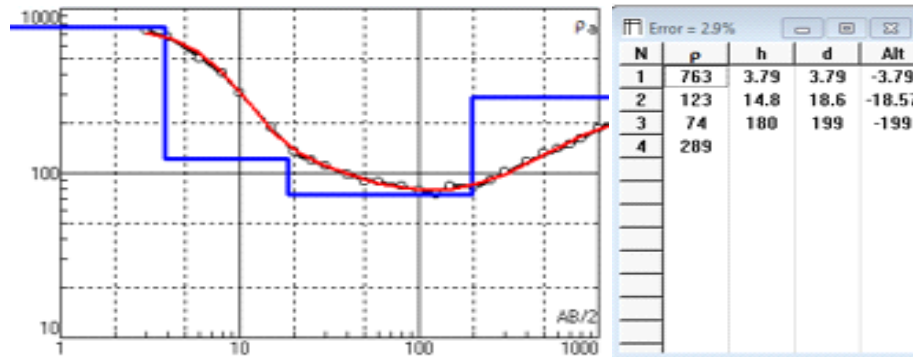


Figure 51 : Courbe des résistivités électriques du sondage K7 et son interprétation.

3.3.1.1.2 Site d'Oued Zeghrir

3.3.1.1.2.1 Profil A

- **Sondage A1**, L'interprétation donne une succession de trois couches, une première superficielle, mince et conductrice dont la résistivité est de 14 ohm.m, reposant sur une couche très épaisse de 477 m à 140 ohm.m de résistivité. En dessous de ces formations, on retrouve une formation extrêmement résistante à 8342 ohm.m.

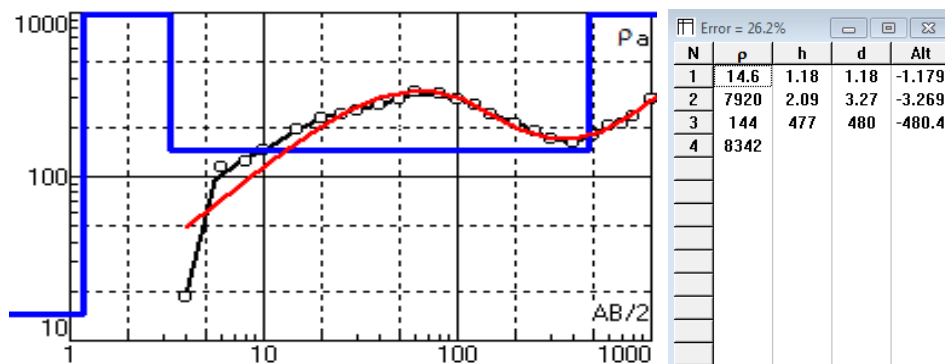


Figure 52 : Courbe des résistivités électriques du sondage A1 et son interprétation.

- **Sondage A2**, La couverture superficielle du sol est représentée par deux minces couches de 8 m d'épaisseur, l'une extrêmement résistante de 8967 ohm.m (résistivité de contact) et l'autre beaucoup moins résistante à 179 ohm.m. En dessous, on retrouve un horizon résistant à 495 ohm.m, et épais de 64 m, mais à partir de 78 m de profondeur, la résistivité des formations grimpe subitement à 3400 ohm.m, cet horizon résistant est épais de 100 m environ.

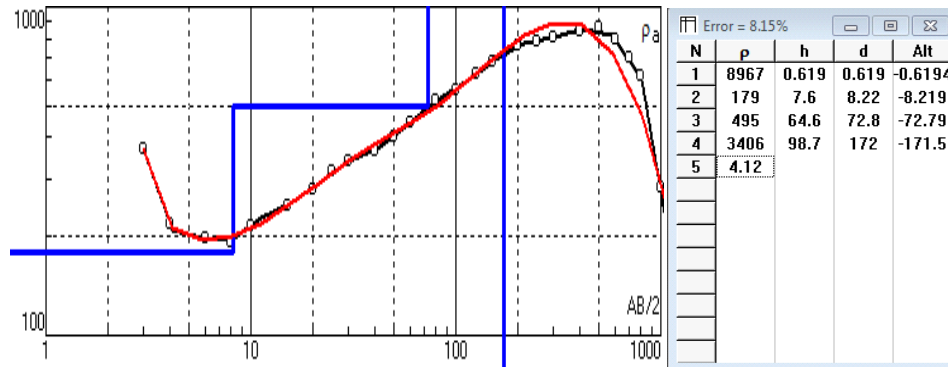


Figure 53 : Courbe des résistivités électriques du sondage A2 et son interprétation.

- **Sondage A3**, on rencontre de haut en bas : une mince couche superficielle composée de deux niveaux de 3 m d'épaisseur, l'un résistant à 559 ohm.m de résistivité, et l'autre conducteur avec 70.7 ohm.m, cette dernière surmonte une troisième couche épaisse d'environ 33 m à 396 ohm.m, puis une puissante couche conductrice de 187 m d'épaisseur à une résistivité de 93ohm.m.

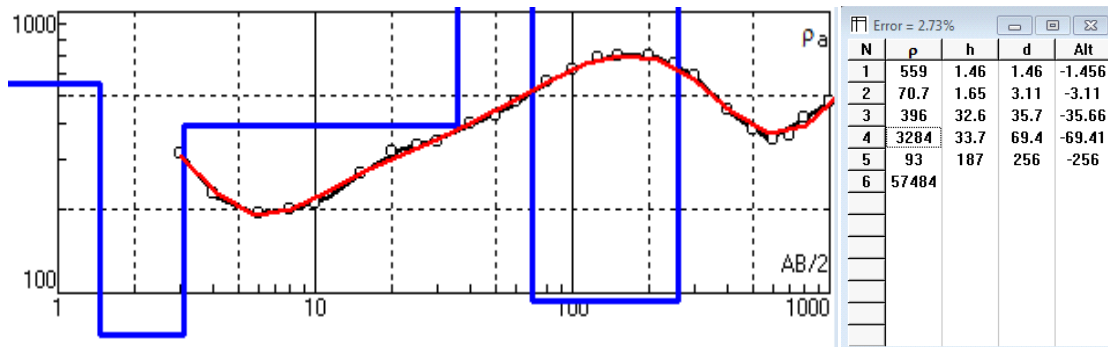


Figure 54 : Courbe des résistivités électriques du sondage A3 et son interprétation.

- **Sondage A4**, L'interprétation du sondage électrique A4 fournit le modèle géologique suivant, après la mince couche superficielle, on rencontre une couche résistante de 1757 ohm.m et épaisse de 14 m comprise en sandwich entre deux couches conductrices de 106 à 113 Ohm.ml'une est épaisse de 8 m et l'autre de 15 m. La série sédimentaire se termine avec un horizon résistant de 567 Ohm.m.

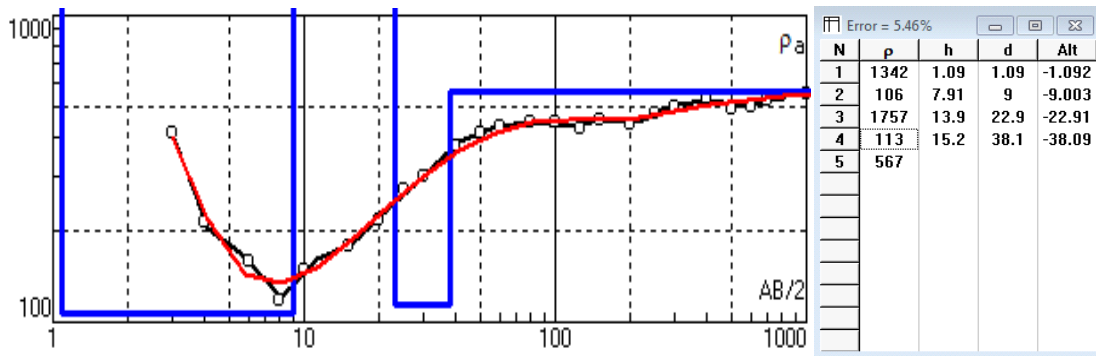


Figure 55 : Courbe des résistivités électriques du sondage A4 et son interprétation.

- **Sondage A5**, La courbe expérimentale montre la présence de quatre terrains ; la couverture est formée d'une mince couche de sol d'une résistivité électrique de 5233 Ohm.m reposant sur un horizon faiblement résistant de 163 Ohm.m sur environ 13 m, en dessous, on rencontre une couche conductrice de 81 m à 79.7 Ohm.m et une épaisse couche résistante de 172 Ohm.m sur 508 m pour finir la notre modèle.

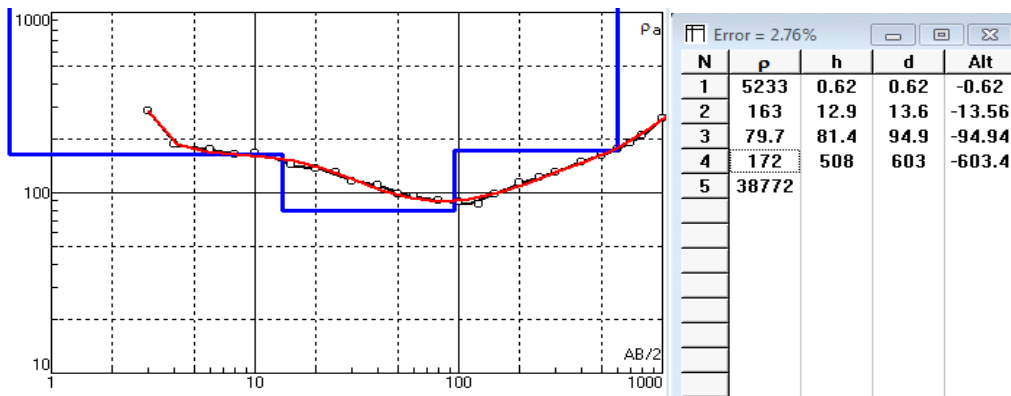


Figure 56 : Courbe des résistivités électriques du sondage A5 et son interprétation.

3.3.1.1.2.2 Profil D

- **Sondage D1**, La courbe expérimentale montre la présence d'une mince couche résistante de 3 m à 352 ohm.m, celle-ci repose sur une couche plus ou moins conductrice de 17 m d'épaisseur à 79 Ohm.m de résistivité, vient ensuite un horizon résistant à 1867 Ohm.m épais d'environ 22 m, le modèle se termine avec un niveau conducteur de 40 Ohm.m et 90 m d'épaisseur (Figure 57).

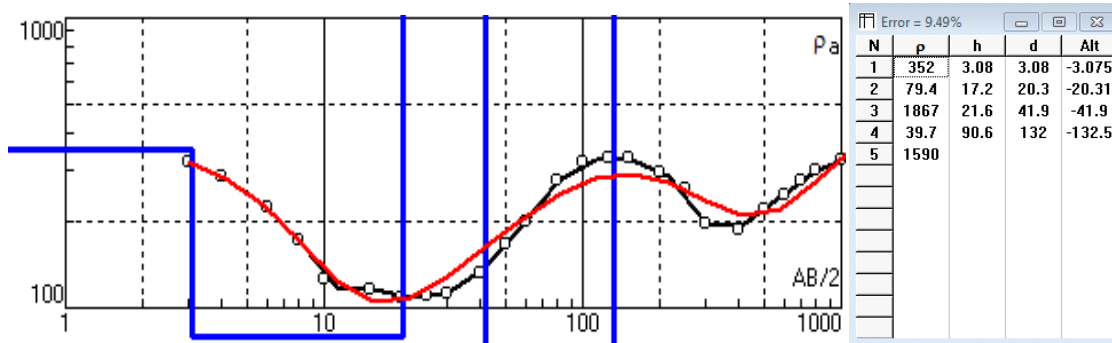


Figure 57 : Courbe des résistivités électriques du sondage D1 et son interprétation.

- Sondage D2**, La courbe expérimentale montre que le sous-sol est formé de cinq couches successives ; la première mince, reposant sur un horizon résistant de 5.7 m à 1018 ohm.m de résistivité, la résistivité chute ensuite à 442 ohm.m sur 22.6 m d'épaisseur, cette dernière superpose une autre couche épaisse de 118 m mais moins résistante, elle est enregistrée à 108 ohm.m. En dessous de ces formations, on retrouve un niveau très résistant à 8418 Ohm.m et 185 m d'épaisseur.

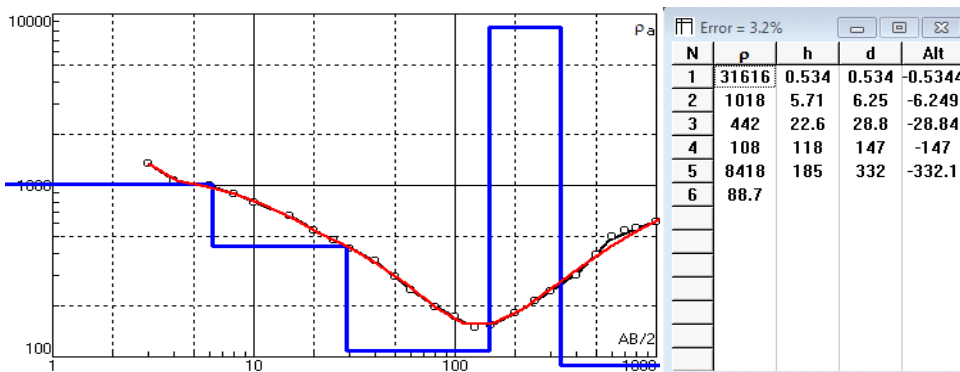


Figure 58 : Courbe des résistivités électriques du sondage D2 et son interprétation.

- Sondage D3**, À partir de la courbe expérimentale, on peut envisager une succession de quatre couches. À savoir de haut en bas : une mince couche de 5.6 m à 306 ohm.m de résistivité, suivie d'une deuxième couche moins résistante à tendance conductrice de 101.8 ohm.m et épaisse d'environ 10 m, cette dernière repose sur un horizon détecté résistant de 327 ohm.m de résistivité et épais de 305 m, l'ensemble finit par une couche très résistante de 616.6 ohm.m.

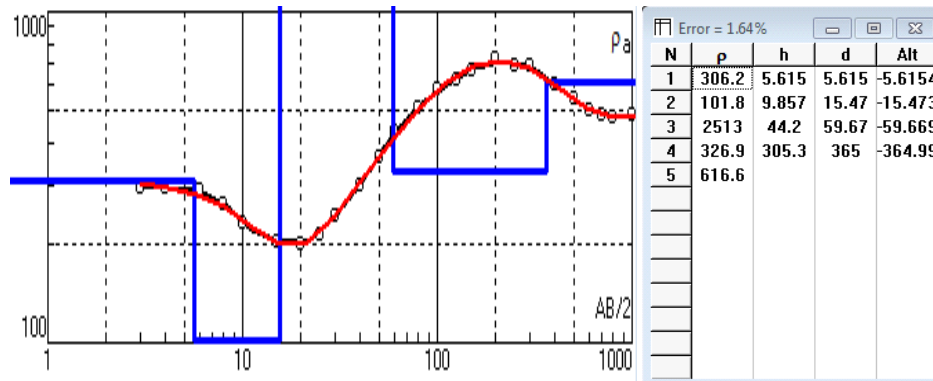


Figure 59 : Courbe des résistivités électriques du sondage D3 et son interprétation.

- **Sondage D4**, L'interprétation du sondage D4 fournit un modèle avec en surface une mince couche relativement résistante de 212 Ohm.m sur 12 m d'épaisseur, une deuxième couche conductrice à 92 Ohm.m, cette dernière repose sur un horizon très résistant de 2400 ohm.m et une épaisseur de 19.6 m. Elle surmonte une couche relativement résistante de 353 ohm.m.

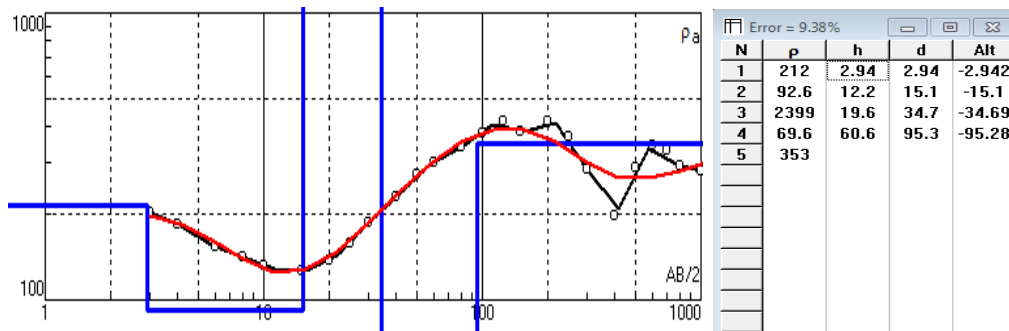


Figure 60 : Courbe des résistivités électriques du sondage D4 et son interprétation.

- **Sondage D5**, La courbe illustre la présence des trois couches. En effet, la première mince très résistante (2597 Ohm.m), elle surmonte une deuxième couche à tendance conductrice de 134 Ohm.m sur 10 m d'épaisseur. Cette dernière repose sur un dernier horizon relativement résistant à 278 Ohm.m.

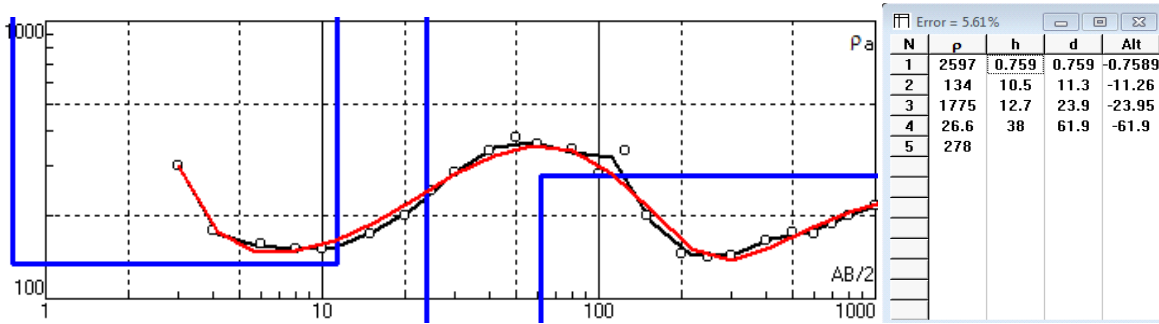


Figure 61 : Courbe des résistivités électriques du sondage D5 et son interprétation.

- **Sondage D6**, La courbe montre la présence de trois terrains ; le premier avec une résistivité de l'ordre de 290 Ohm.m, reposant sur une mince couche conductrice de 47.6 Ohm.m, cette dernière superpose une troisième couche très épaisse de 300 m à 146 Ohm.m de résistivité.

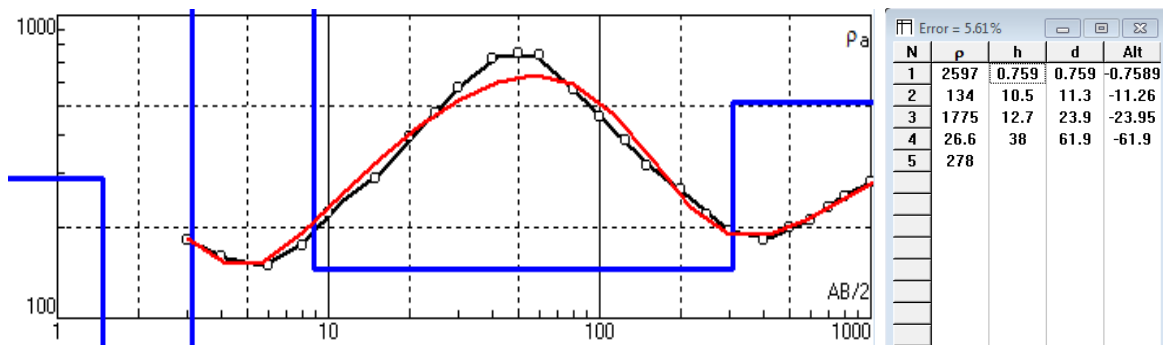


Figure 62 : Courbe des résistivités électriques du sondage D6 et son interprétation.

3.3.1.1.2.3 Profil G

- **Sondage G1**, la courbe expérimentale montre la présence de trois terrains, en effet ; le premier superficiel, mince et très résistant à 1006 ohm.m, il surmonte un horizon conducteur à 16.8 ohm.m et 1.5 m d'épaisseur et un imposant niveau de 191 m d'épaisseur, relativement résistant dont la résistivité est de l'ordre de 304ohm.m.

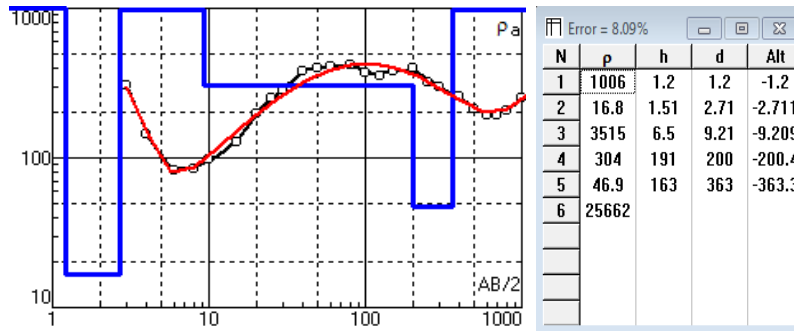


Figure 63 : Courbe des résistivités électriques du sondage G1 et son interprétation.

- **Sondage G2**, on peut envisager une succession des cinq couches, qui sont de haut en bas : une mince couche de 2.3 m à 179 ohm.m de résistivité, suivie d’une deuxième couche conductrice de 79.4 ohm.m et épaisse d’environ 15 m, cette dernière repose sur deux niveaux conducteurs, l’un de 16.6 ohm.m de résistivité et 10.6 m d’épaisseur et, l’autre de 86.7 ohm.m et épais de 97 m, le modèle se termine avec un horizon résistant de 398 ohm.m.

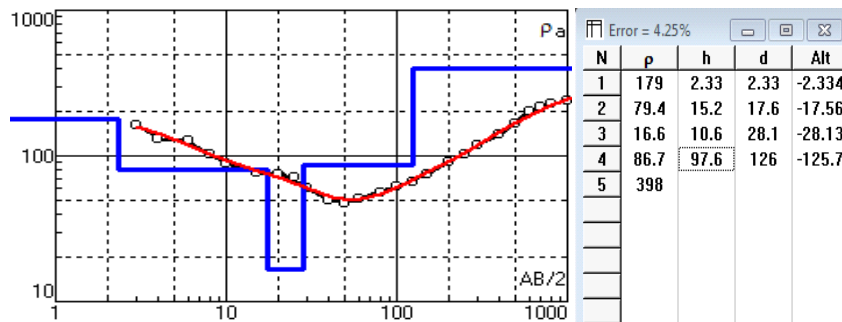


Figure 64 : Courbe des résistivités électriques du sondage G2 et son interprétation.

- **Sondage G3**, La courbe expérimentale montre la présence des trois terrains
 - le première superficielle et résistante à 542 ohm.m et 1.85 m d’épaisseur;
 - le deuxième intermédiaire et imposant par son épaisseur, elle est de 92 m et se montre relativement résistant à 115 ohm.m;
 - le troisième terrain est profond, il est enregistré comme conducteur avec 57.5 ohm.m.

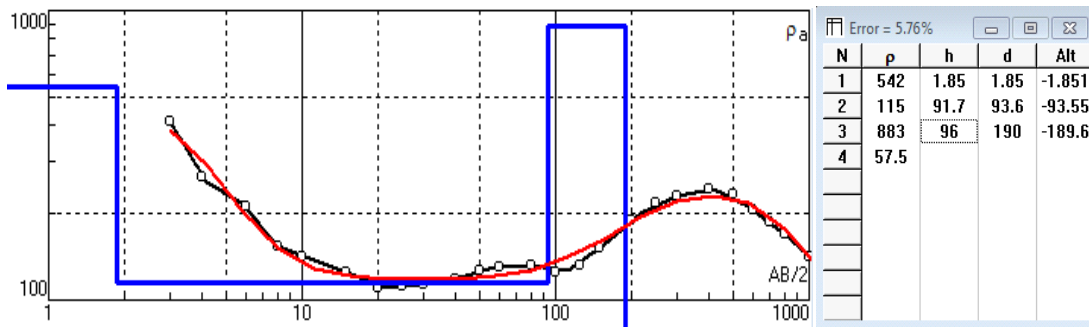


Figure 65 : Courbe des résistivités électriques du sondage G3 et son interprétation.

• **Sondage G4**, On relève l'existence d'une structure composée de quatre couches. Elle comprend de haut en bas les niveaux suivants :

- un niveau superficiel ayant une résistivité moyenne de 320 ohm.m et 2.4 m d'épaisseur ;
- un niveau très conducteur de 23.5 ohm.m et 2.5 m d'épaisseur,
- un niveau résistant avec une résistivité de 430 ohm.m, et une épaisseur de 8 m ;
- en enfin, un niveau profond et relativement résistant, il présente une résistivité de 144 ohm.m.

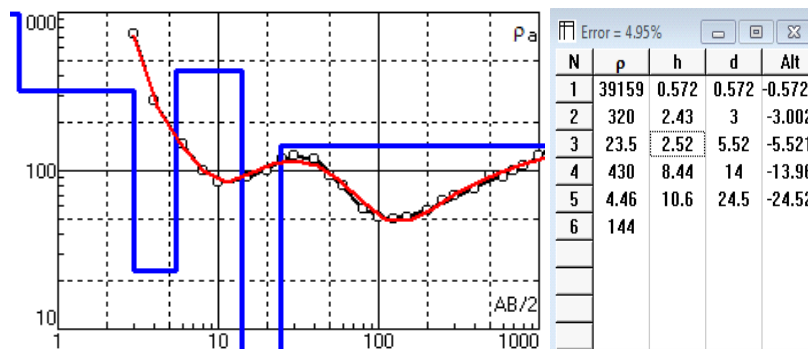


Figure 66 : Courbe des résistivités électriques du sondage G4 et son interprétation.

• **Sondage G11**, Il s'agit d'une structure composée de cinq couches de résistivités différentes. Elle comprend de haut en bas les niveaux suivants :

- en surface, un niveau mince dont la résistivité moyenne est de 271 ohm.m,
 - un niveau conducteur avec une résistivité moyenne de 81.7 ohm.m, épais de 7 m,
 - un niveau très conducteur de 10.5 ohm.m et une épaisseur d'environ 6 m,
 - un puissant niveau conducteur de 67.2 ohm.m, il est épais d'environ 94 m
- Ces quatre niveaux reposent sur un terrain résistant de 418 ohm.m.

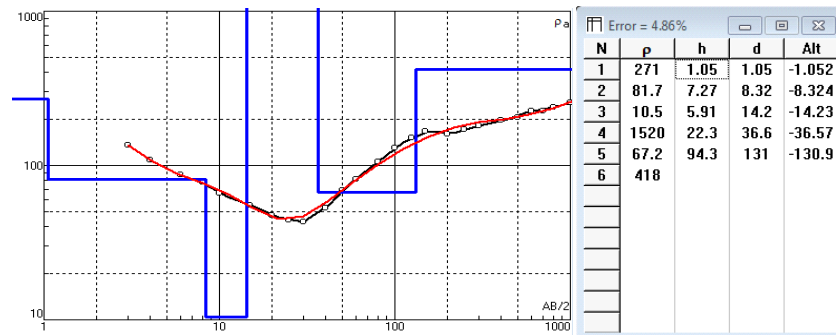


Figure 67 : Courbe des résistivités électriques du sondage G11 et son interprétation.

• **Sondage G12**, Le modèle est composé de trois couches. Il comprend successivement de haut en bas les niveaux suivants :

-un niveau superficiel très résistant, il présente une résistivité de 816 ohm.m et une épaisseur d'environ 4 m,

- un niveau intermédiaire épais de 176 m, mais très conducteur, sa résistivité est de 59.6 ohm.m,

- un niveau profond et résistant à 607 ohm.m, épais de 97 m.

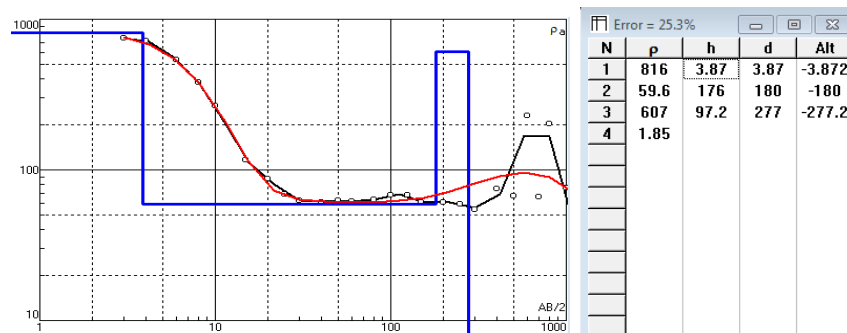


Figure 68 : Courbe des résistivités électriques du sondage G12 et son interprétation.

3.3.1.1.2.4 Profil J

• **Sondage J13**, La courbe expérimentale est de type H, elle montre la présence des trois terrains ; le premier est un horizon mince et relativement résistant de 202 ohm.m, puis une couche conductrice à 48 ohm.m de résistivité et 79 m d'épaisseur, cette dernière superpose une dernière couche plus résistante de 124 ohm.m.

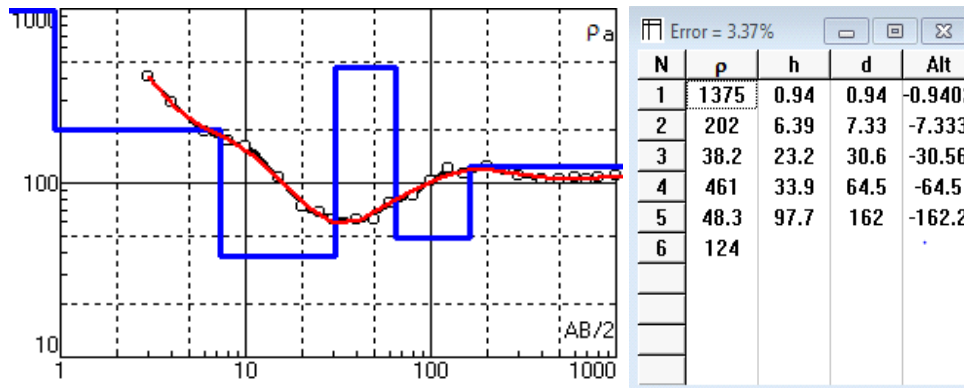


Figure 69 : Courbe des résistivités électriques du sondage J13 et son interprétation.

- **Sondage J14**, La courbe montre la présence des trois terrains ; le premier mince avec une résistivité de l'ordre de 244 ohm.m, reposant sur une couche résistante à 1027 ohm.m et une épaisseur de 19 m. cette dernière superpose une troisième couche moins résistante à 228 ohm.m.

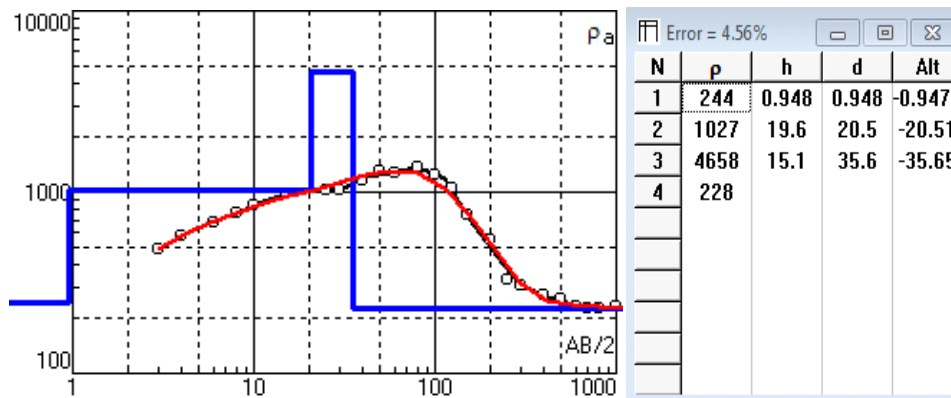


Figure 70 : Courbe des résistivités électriques du sondage J 14 et son interprétation.

3.3.1.2 Coupes géo-électriques

Pour compléter notre interprétation, nous avons établi trois coupes géo-électriques représentatives, elles sont illustrées dans les figures 71, 72 et 73. Ces coupes ont été réalisées à partir des sondages électriques composant les profils E, F et G, elles sont orientées NW-SE.

3.3.1.2.1 Coupe géo-électrique du profil E

La coupe E est orientée NW-SE, comportant 3 sondages électriques comme le montre la figure 71. Elle illustre la disposition de 4 couches, la première est superficielle et mince,

représentée par des formations continues, correspondant à des grés sénoniens moyennement résistants, entre 212 et 304 ohm.m, son épaisseur varie de 2.9 à 15 m. Elle vient superposer des calcaires dolomitiques du Sénonien épais de 13 à 14.6 m et dont les résistivités sont comprises entre 92 et 117 ohm.m, celle-ci s'interrompt à la faveur d'une première faille affectant la coupe, située entre les sondages E4 et E5. Le troisième horizon est représenté par des calcaires, très résistants du turonien situés en profondeur, les résistivités sont de l'ordre 500 ohm.m, ces calcaires sont affecté par deux failles. Cette formation horizon disparaît entièrement vers le Sud-Est. Le dernier horizon est représenté par une formation très conductrice inférieure à 30 ohm.m, montre la présence d'argiles du cénonanien, cette formation est coupée en deux compartiments par la deuxième faille située entre E5 et E6.

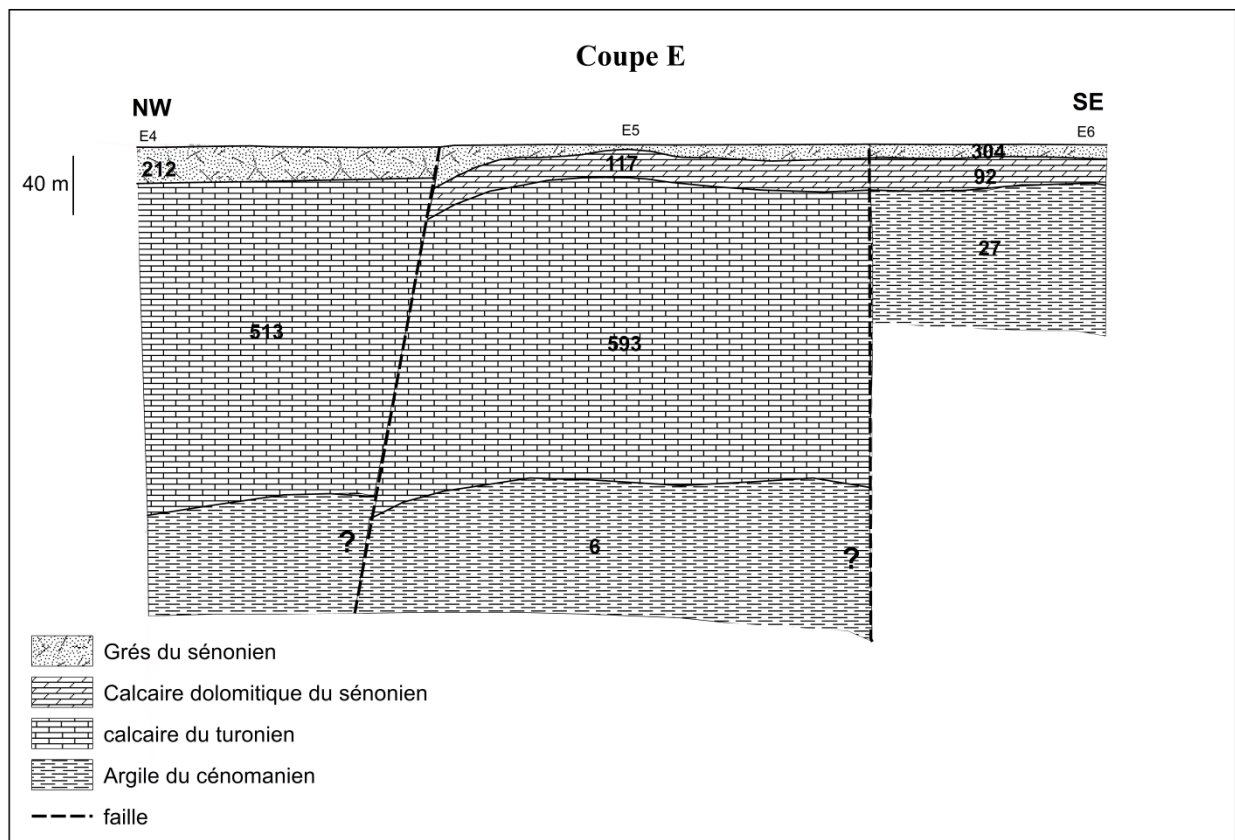
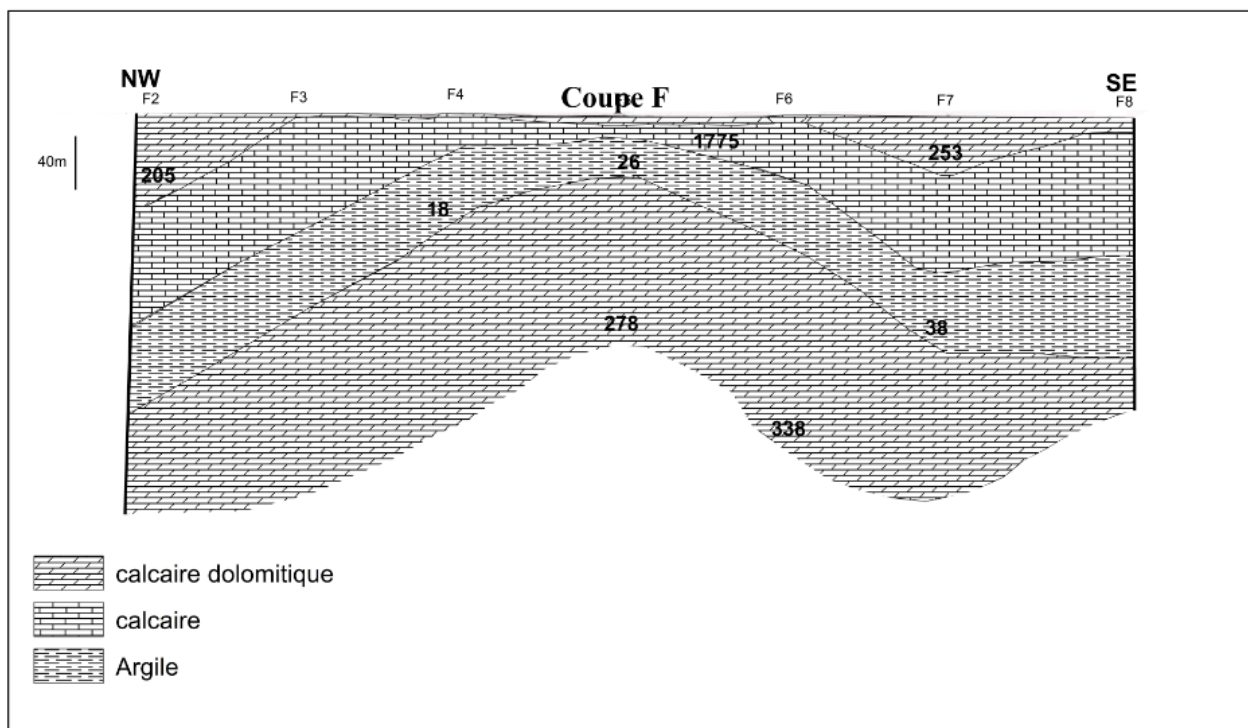


Figure 71 : la coupe géo-électrique E ; site d'Oued Ennsa.

3.3.1.2.2 Coupe géo-électrique du profil F

La coupe F est orientée NW-SE, comportant 7 sondages électriques comme le montre la figure 72. Elle illustre la disposition de 4 couches, la première superficielle et mince, représentée par des formations continues de calcaire dolomitique du sénonien, moyennement résistant, entre 134 et 253 ohm.m, son épaisseur varie de 1.5 à 82 m. Elle repose sur un horizon très résistant épais de 13 à 38 m et dont les résistivités sont comprises entre 1775 et 5437 ohm.m représenté par des calcaires durs du sénonien . Le troisième horizon est conducteur et situé en profondeur, il est constitué d'argile du cénonanien. Les résistivités sont comprises entre 18 et 39 ohm.m dont l'épaisseur est comprise entre 26 et 128 m. Enfin, le dernier horizon est représenté par une formation plus résistante que la précédente formé par des calcaires dolomitiques du cénonanien, ses résistivités oscillent entre 140 et 338 ohm.m.



3.3.1.2.3 Coupe géo-électrique du profil G :

La coupe G orientée NW-SE, comporte 8 sondages électriques (figure73). Elle montre la présence de 4 couches, la première résistante, entre 273 et 389 ohm.m son épaisseur varie de 2 à 16 m, elle montre la présence des grès du sénonien. Elle surmonte un horizon moyennement résistant de calcaire dolomitique de même âge, les résistivités sont comprises entre 108 et 196 ohm.m et épais de 16 à 48 m. Celle-ci s'interrompt à la faveur d'une faille affectant la structure géologique et située entre les sondages G5 et G6. Le troisième horizon est très résistant situé en profondeur montre une structure de calcaire dur du turonien, les résistivités oscillent largement entre 723 et 1989 ohm.m, il est affecté également par des failles, cet horizon disparaît entièrement vers le Sud-Est. Le dernier horizon est représenté par une formation argileuse du cénomaniens (de 38 à 96 ohm.m) qui s'éclipse à son tour vers le Nord-Ouest.

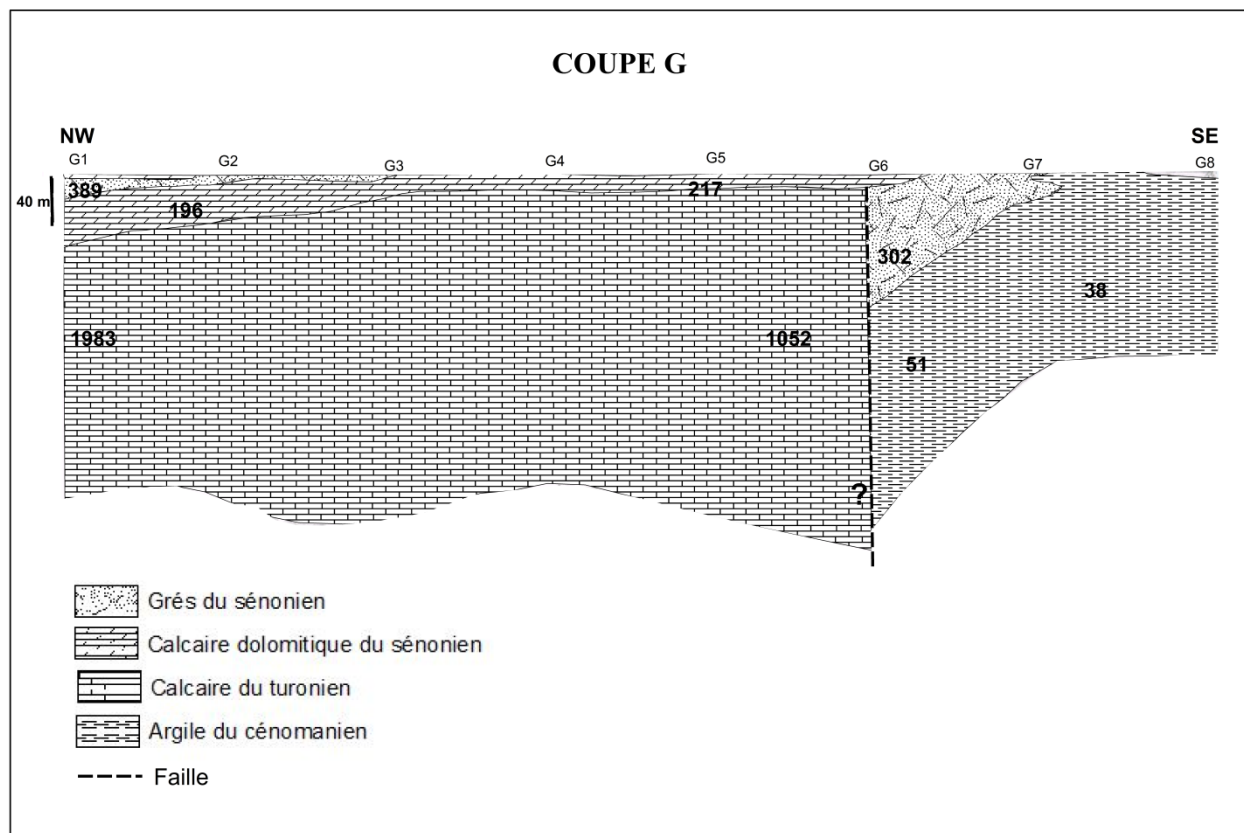


Figure 73 : Coupe géo-électrique G ; site d'Oued Ennsa.

3.3.1.3 Cartes des résistivités apparentes

Les cartes des résistivités sont utilisées dans le but de caractériser la structure du sous-sol. Ces cartes de résistivités apparentes ont des longueurs de lignes croissantes en AB=100 m, 600 m, 1000 m et 2000 m. Elles sont établies à l'aide du logiciel Surfer, en utilisant la méthode d'interpolation par krigeage, transférées ensuite et traités sur ArcGIS et représentées en 3D sur Autocad. Pour la région d'Oued Ennsa, les cartes ont été élaborées à partir de 66 sondages électriques verticaux comme le montre le tableau 8.

AB(m)	MN(m)	N° SEV	ρ_{\min} (ohm.m)	ρ_{\max} (ohm.m)	ρ_{moy} (ohm.m)
100	10	66	89,3	1671,2	880,25
600	100	66	52	3261	1656,5
1000	300	66	52,2	2772	1412,1
2000	300	66	37,8	2305	1171,4

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des données utilisées dans l'établissement des cartes de résistivités apparentes ; site Oued Ennsa.

3.3.1.3.1 Site Oued Ennsa

- **Carte des résistivités apparentes en AB=100 m**

Cette carte des résistivités apparentes (Figure74) montre une distribution des terrains superficiels. La ligne d'émission de courant en AB=100 m permet la pénétration du courant électrique à des profondeurs d'investigation allant de 12.5 m selon Roy (1971) à 19 m selon Barker (1989). La carte montre la présence d'une anomalie résistante située au centre du site d'Oued Ennsa au Nord-Est de la localité de Hassi R'Mel, elle est essentiellement axée sur les sondages électriques G4 et G5, orientée NW-SE. Les résistivités des formations correspondent à une gamme variant de 300 à plus de 500 ohm.m. Elle correspond la présence des calcaires qui contient de l'eau est forment la nappe sénonienne. Dans la partie gauche de la carte s'étend depuis le profil A (A2, A3 et A4) jusqu'au Profil F (F1, F2 et F3) une anomalie résistante présentant une résistivité moyenne de l'ordre de 880 ohm.m avec des valeurs allant de 600 à 900

ohm.m, ces derniers caractérisant une série carbonatée constituée de calcaire et de dolomie, probablement massifs.

Sur le reste de la carte, les terrains superficiels prospectés correspondent à des formations conductrices, leurs résistivités avoisinent 89,3 ohm.m, d'après la description litho-stratigraphique, cela indique clairement la présence d'évaporites composés essentiellement de sel et d'anhydrite du Sénonien, ces faciès font considérablement chuter les résistivités.

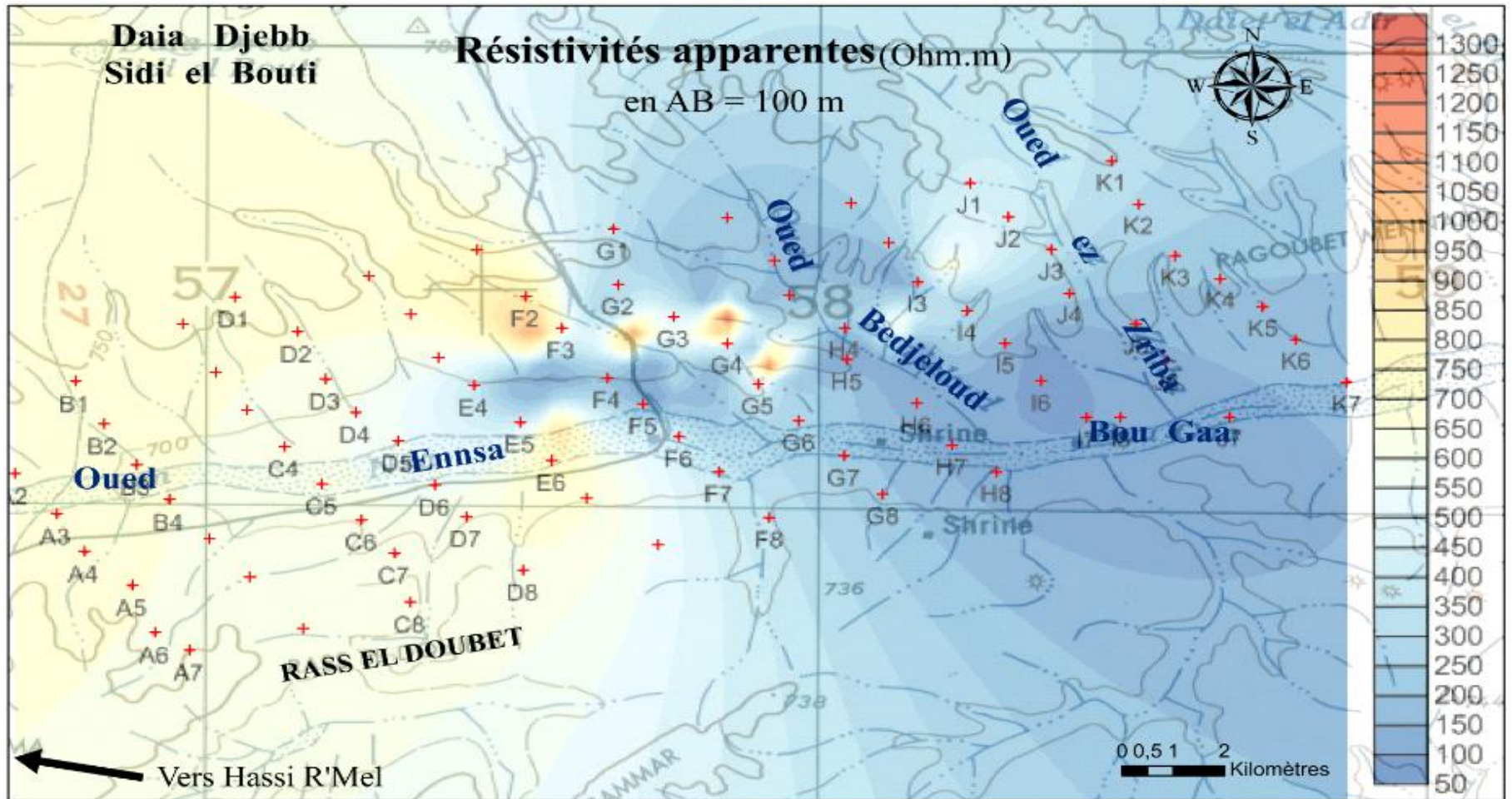


Figure 74 : Carte des résistivités apparentes du site d'oued Ennsa pour AB = 100 m.

- **Carte des résistivités apparentes en AB=600 m**

Cette carte (Figure 75), établie à partir de 66 points de mesure, met en évidence des terrains peu profonds. La ligne d'émission de courant AB est égale à 600 mètre et MN est de 100 m, permet l'investigation des terrains profonds de 75 m selon Roy (1971) et de 114 m selon Barker (1989). Cette carte des résistivités dont les gammes sont comprises entre 52 et 3200 ohm.m, nous renseigne sur la continuité en profondeur des anomalies résistantes détectées précédemment en sub-surface. En premier lieu, au centre de la carte apparaît une anomalie résistante centrée sur les sondages F2 et F3, les résistivités mesurées enregistrent une hausse considérable atteignant les 2100 ohm.m, cette plage résistante est de plus en plus étendue et s'étire vers la gauche, accompagnée d'une baisse graduelle des résistivités. En second lieu, une autre anomalie centrée autour des sondages H4 et I5 de résistivité moyenne de 1400 ohm.m, elle s'étire également vers la gauche jusqu'aux sondages A5, A6, A7 et B1. On remarque que ces anomalies correspondent selon la diagraphie utilisée dans cette interprétation à des calcaires, calcaires dolomitiques et des dolomies du Sénonien carbonaté, ce dernier est puissant de 140 m près du site d'oued Enssa.

Par tout ailleurs, la carte est occupée par des terrains conducteurs, un axe s'individualise allant du sondage E5 jusqu'au sondage I7 séparant ainsi les deux anomalies résistantes.

Sur un plan structural et en tenant compte de la géologie décrite en chapitre 2, il s'agirait de deux anticlinaux parallèles orientés NNE-SSW et représentés par les deux anomalies résistantes, séparés par une dépression remplie de dépôt plus ou moins conducteurs influencées par la présence de sels et de gypse du Sénonien.

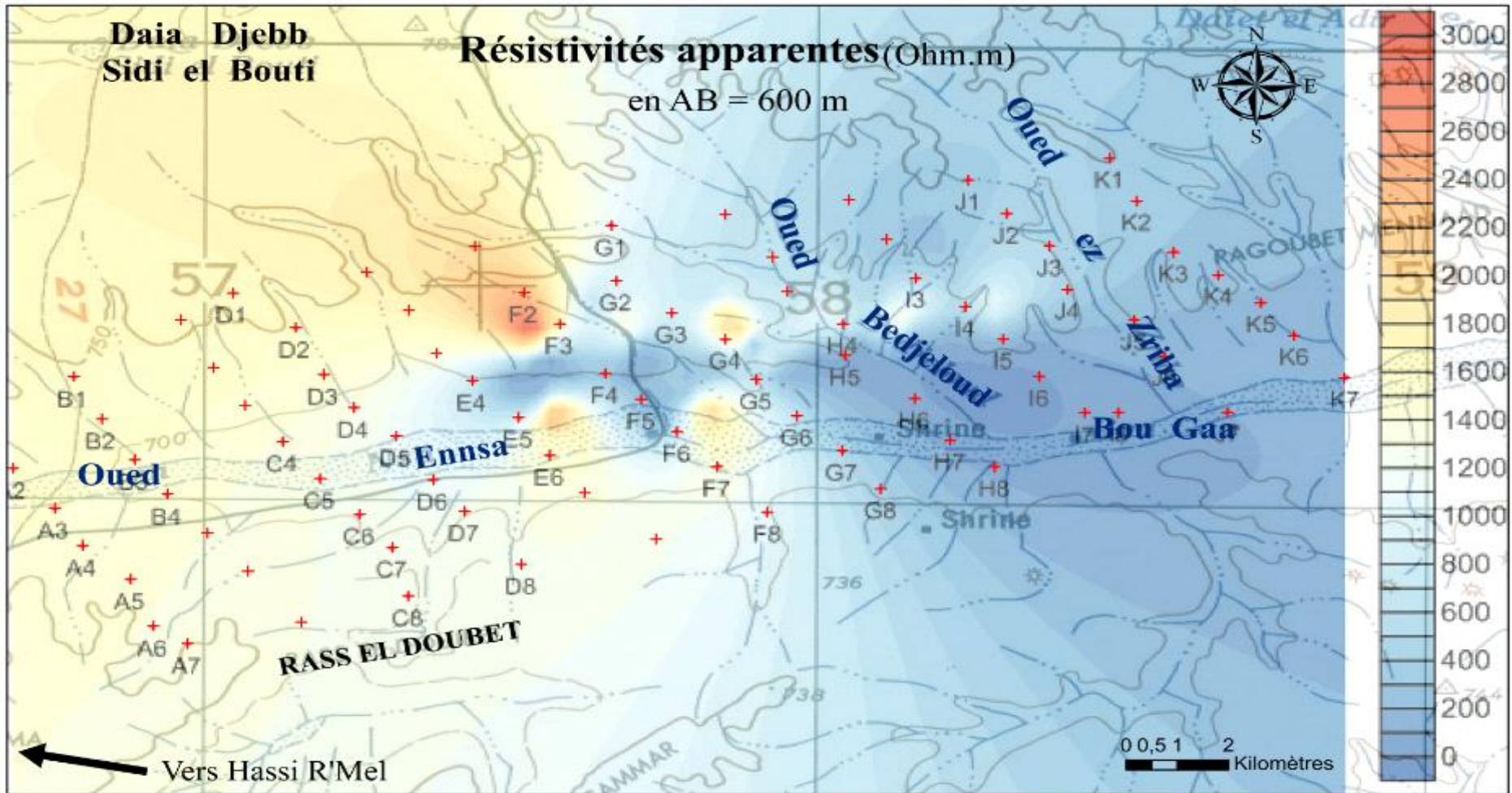


Figure 75 : Carte des résistivités apparentes en AB =600 m ; site d'Oued Enssa.

- **Carte des résistivités apparentes en AB=1000 m**

La carte ci-dessous (Figure 76) visualise les valeurs de résistivité apparente qui sont distribuées en trois plages établies à partir de 66 points de mesure, met en évidence des terrains profonds. La ligne d'émission de courant AB égale à 1000 mètre et MN est de 300 m, touche des terrains profonds de 125 mètre selon Roy (1971) et de 190 mètre selon Barker (1989). Cette carte des résistivités dont les gammes sont comprises entre 52 et 2770 ohm.m illustre la même forme en profondeur. En effet, les deux anomalies résistantes ont tendance à s'étendre de plus en plus vers la droite de la carte jusqu'au profil I (I4 et I5). Il en est de même pour la deuxième anomalie qui s'élargit au détriment du couloir conducteur, ce dernier indique la présence d'argiles. A cet égard, les terrains conducteurs coincés entre ces deux plages résistantes ont tendance à se rétrécir légèrement.

Les profils retenus montrent des résistivités comprises entre 710 ohm.m au F2 jusqu'à atteindre 2300 ohm.m au A5, elles nous renseignent sur la présence de dolomies, de calcaires durs et localement tendres ainsi que de la calcite d'âge turonien. Ce dernier se montre, d'après les diagraphies, épais de 70m. La hausse des résistivités nous renseigne sur l'étendue de la base de l'anticlinal.

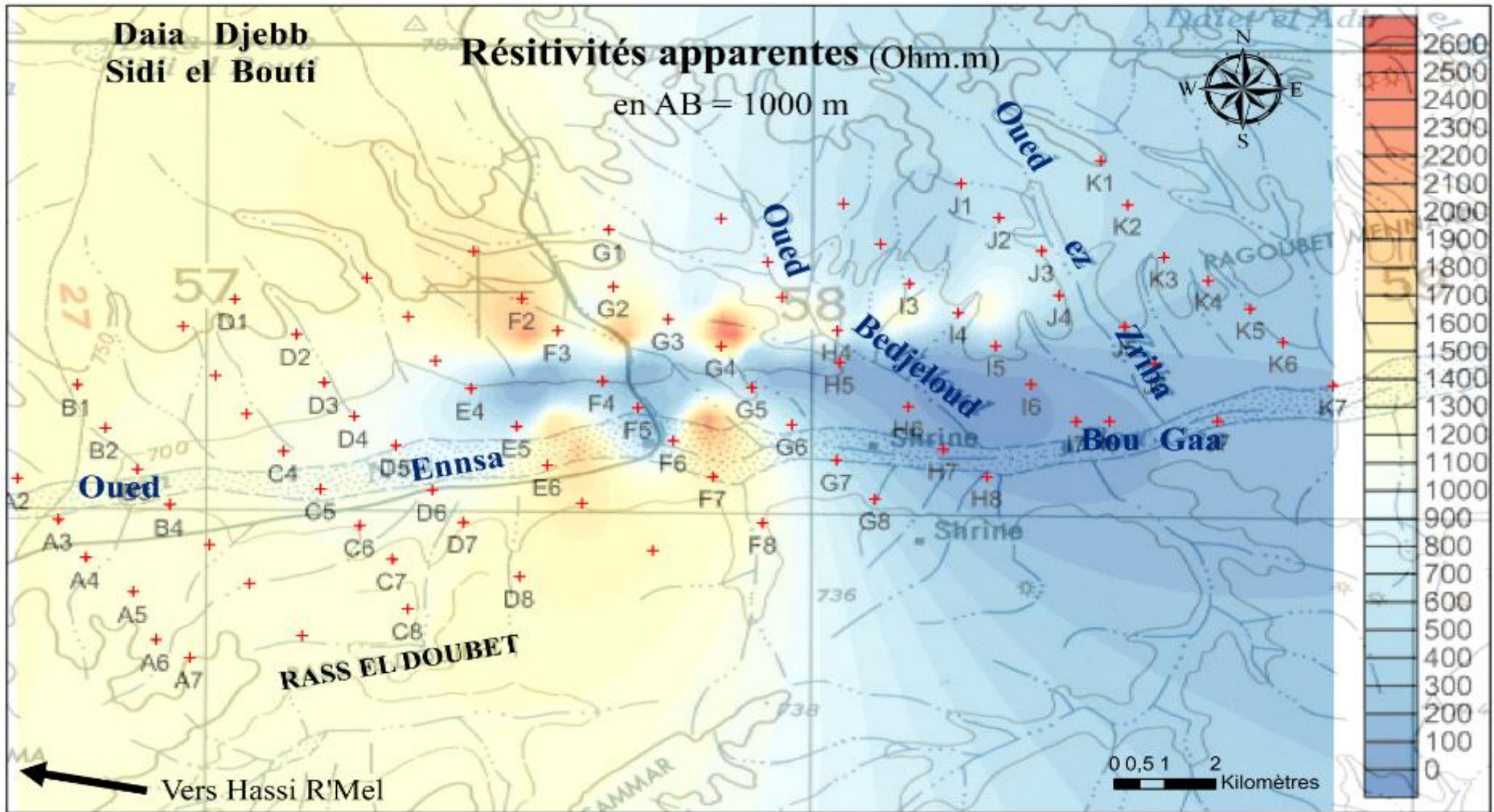


Figure 76 : Carte des résistivités apparentes en AB =1000 m ; site d'Oued Enssa

- **Carte des résistivités apparentes d'oued Enssa AB=2000 m**

La carte reprend la même allure que les précédentes (figure 77). Elle a été établie à partir de 66 points de mesure, et met en évidence des terrains plus profonds. La profondeur atteinte par une ligne d'émission AB égale à 2000 m et MN à 300 m, est de 250 m selon Roy (1971) et de 380 mètre selon Barker (1989). Les gammes comprises entre 37 et 2305 ohm.m.

Deux anomalies résistantes se déplacent vers la droite de la carte et se trouvent autour des sondages G2, G3, G4, H4 et H5, l'anomalie d'en bas est centrée autour des sondages D8 et F7 avec une valeur une moyenne de résistivité de 1000 ohm.m, elles représentent les dolomies, dolomies argileuses et calcaires durs du Cénomaniens mais il peut s'agir également d'anhydrite blanche massive, cette formation est marquée également par de fines passées argileuses qui peuvent faire chuter localement les résistivités du Cénomaniens.

Parallèlement à cela, le dépôt conducteur se rétrécit de plus en plus surtout au niveau de F5 et G5 mais a tendance à s'élargir sur ses côtés. Vers la gauche montre des plages de très basses résistivités de l'ordre de 72 ohm.m au niveau de A4, 171 ohm.m au B4, 250 ohm.m au C4, et 178 ohm.m au D4, mais aussi vers la droite avec des résistivités de 95 ohm.m au H6, 111 ohm.m au H7 et 140 ohm.m au H8. Ces valeurs de résistivités correspondent la présence des formations du Cénomaniens constituées d'anhydrite blanche, de gypse et de passées argileuses, elles forment le substratum imperméable supportant les dolomies et calcaires aquifères du Turonien.

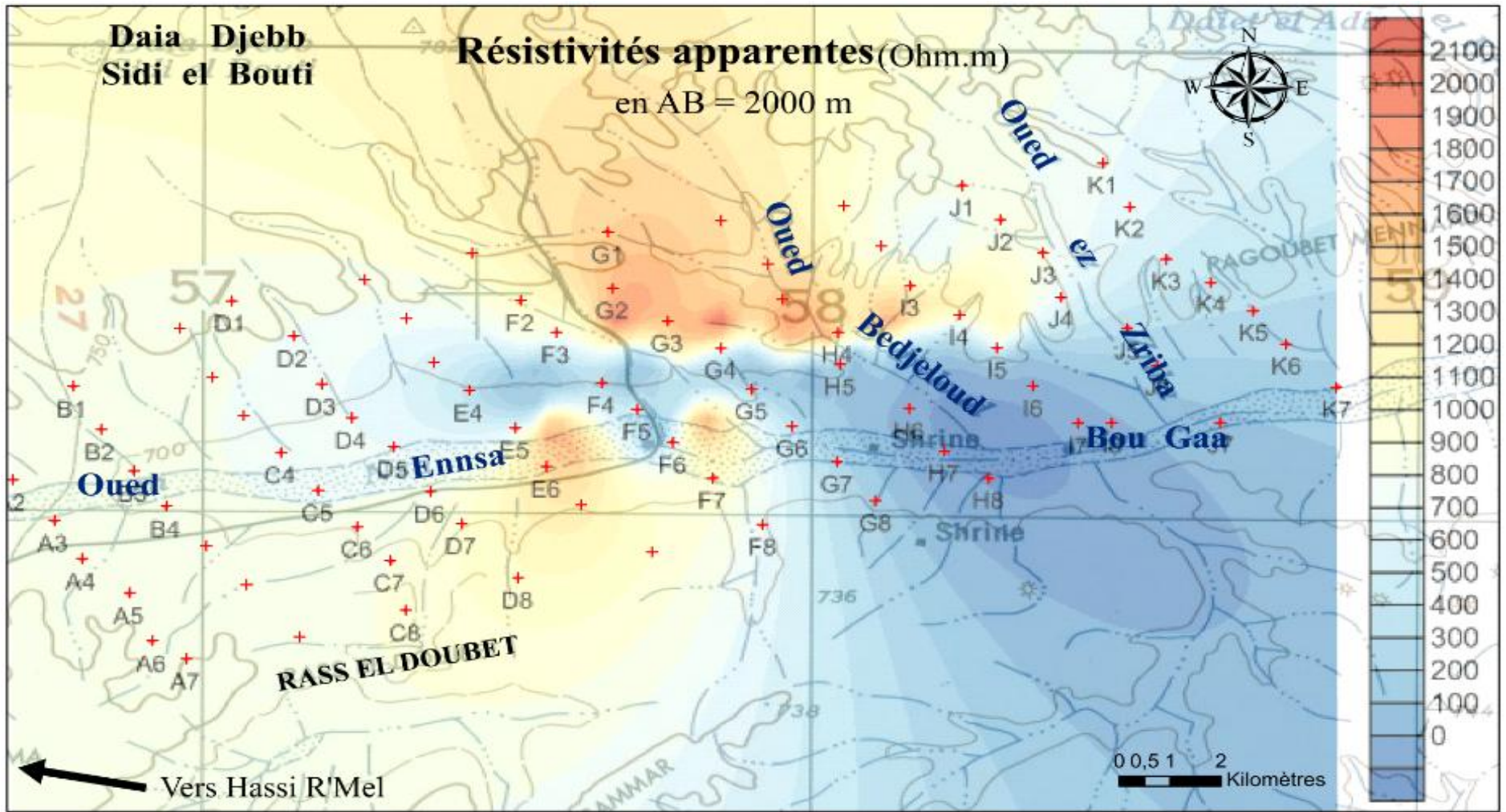


Figure 77 : Carte des résistivités apparentes en AB =2000 m ; site d'Oued Enssa.

Représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs

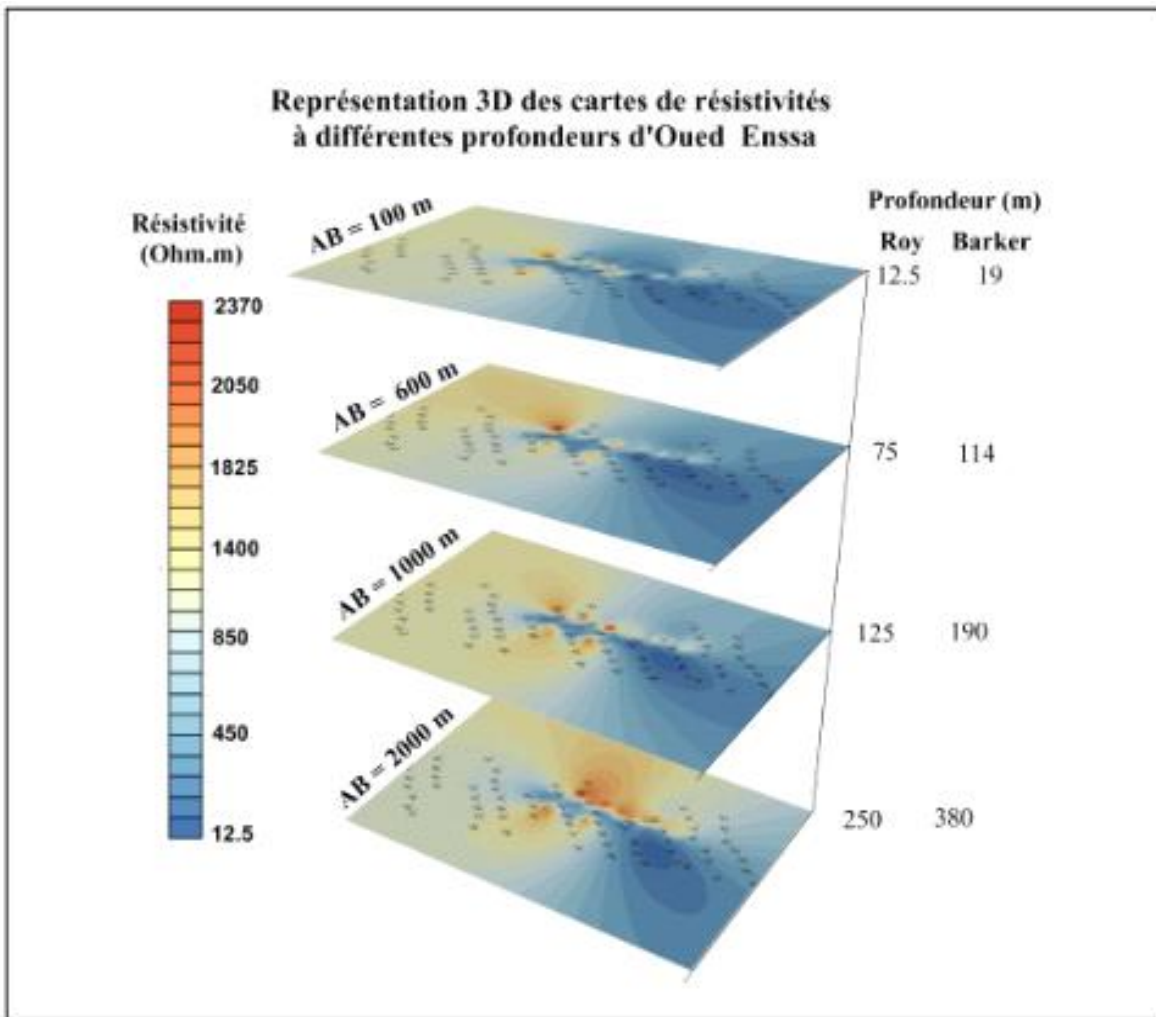


Figure 78 : représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs ; site Oued Enssa.

3.3.1.3.2 Site d'Oued Zeghrir

AB(m)	MN(m)	N° SEV	ρ_{\min} (ohm.m)	ρ_{\max} (ohm.m)	ρ_{moy} (ohm.m)
100	10	60	44	1602,1	823,05
600	100	59	39,3	812,3	425,8
1000	300	60	47,3	845,1	446,2
2000	300	60	71,4	741,5	406,45

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des données utilisées dans l'établissement des cartes des Résistivités apparentes ; site Oued Zeghrir.

- **Carte des résistivités apparentes en AB=100 m**

La carte des résistivités apparentes a été établie à partir de 11 profils de direction Nord-Sud sur un total de 60 points de mesure. Avec une longueur de ligne en AB à 100 m, la profondeur d'investigation atteinte est comprise entre 12.5 m et 19 m, dont la gamme des résistivités apparentes se situe entre 44 et 1602.1 ohm.m.

En effet, la carte illustre la présence d'une anomalie résistante qui occupe la partie sud du site de Zeghrir, en bas de la carte (Figure 79). Cette plage est centrée sur une première anomalie très résistante, autour des sondages G15 avec 1238 ohm.m, G16 avec 1101 ohm.m, I16 avec 1037 ohm.m et J14 avec 1301ohm.m ces valeurs mesurées ici caractérisent les formations dolomitiques, calcaro-dolomitiques et calcareuses du Mio-Pliocène. Ensuite, elle s'étend timidement vers le Nord jusqu'à sa disparition dans les formations conductrices représentées en bleues sur la carte, sa résistivité chute progressivement vers les régions de Talemzane où l'on retrouve au niveau des sondages K11 avec 159 ohm.m, au K12 avec 109 ohm.m et K14 d'une valeur de 435 ohm.m.

On note également que le reste de la carte est occupée par une vaste plage conductrice avec des valeurs de résistivités oscillant entre 44 ohm.m et 95.3 ohm.m, ces valeurs indiquent la présence des formations argileuses et de la calcite.

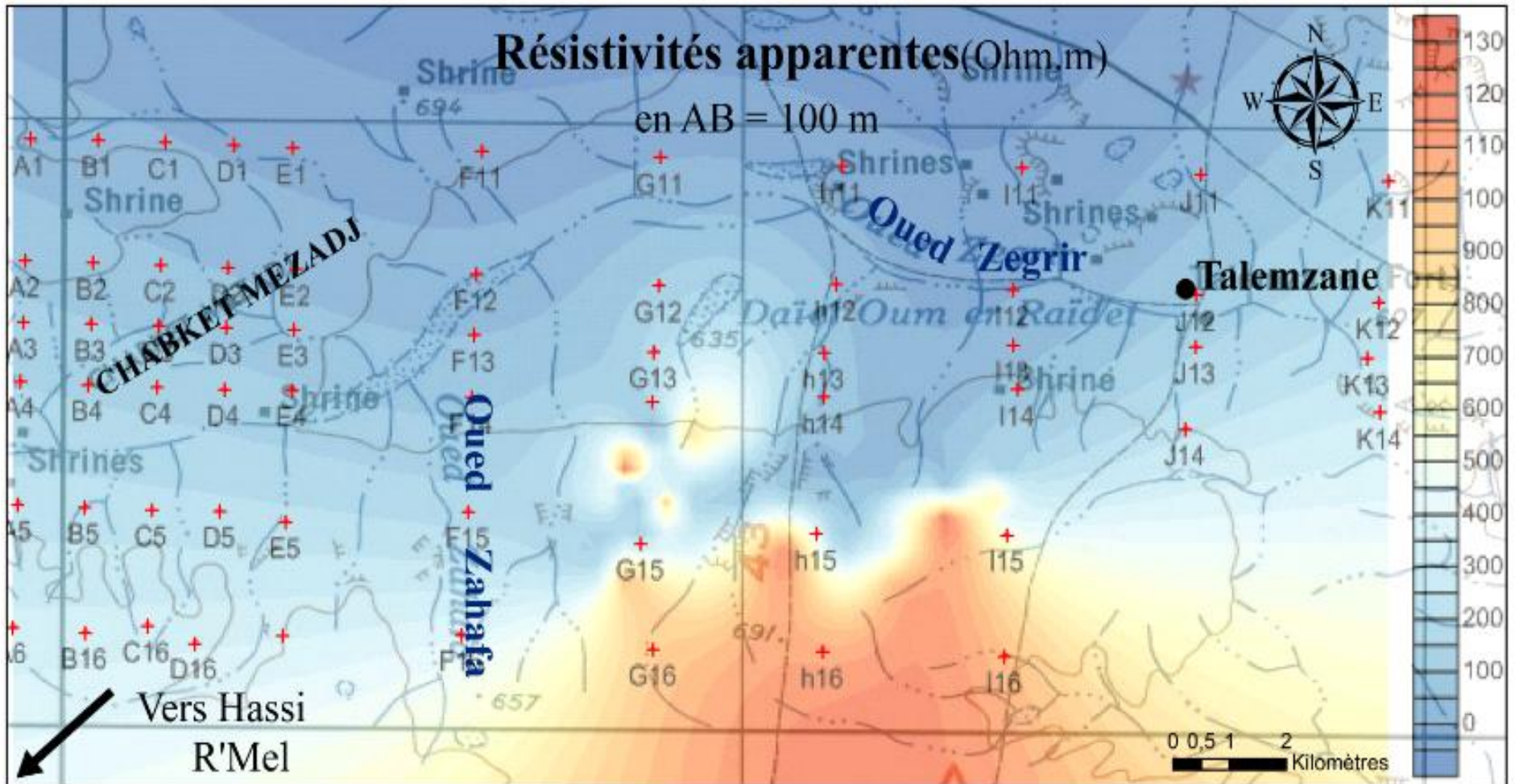


Figure 79 : Carte des résistivités apparentes en AB = 100 m ; site d'Oued Zeghrir.

- **Carte des résistivités apparentes d'oued Zeghrir en AB=600 m**

Cette carte a été établie à partir de 59 points de mesure (Figure 80), elle met en évidence des terrains peu profonds. La ligne d'émission de courant AB est égale à 600 m et MN est de 100 m, elle permet la pénétration du courant électrique à des profondeurs comprises entre 75 et 114 m et des résistivités dont les gammes sont compris entre 39.3 et 812.3 ohm.m.

La carte nous renseigne sur la disparition en profondeur des anomalies très résistantes détectées précédemment en sub-surface, elles sont occupées en profondeur par des terrains moins résistants, ces derniers occupent presque toute la surface de la carte jusqu'à atteindre 812.3 ohm.m au niveau du sondage A2, situé au Nord de Chabket Mezadj. Les diagraphies proches du site étudié et utilisées dans notre interprétation indiquent la présence d'une alternance de calcaire blanc, de calcaire dolomitique et de dolomie du Sénonien.

De son côté, une anomalie conductrice apparaît sur la rive droite de Oued Zeghrir, elle représente des résistivités de 41 à 70 ohm.m, centrée autour les sondages G12 avec 54.6 ohm.m, G13 avec 70 ohm.m, h12 avec 62 ohm.m, h13 avec 39.3 ohm.m, I12 avec 44.7 ohm.m, I13 avec 41.3, J11 avec 75.5 ohm.m et J12 avec 43.7 ohm.m, géologiquement elle représente une série argileuse plus ou moins riche en évaporite (anhydrite, sel...), avec des bancs de dolomies et de calcaires.

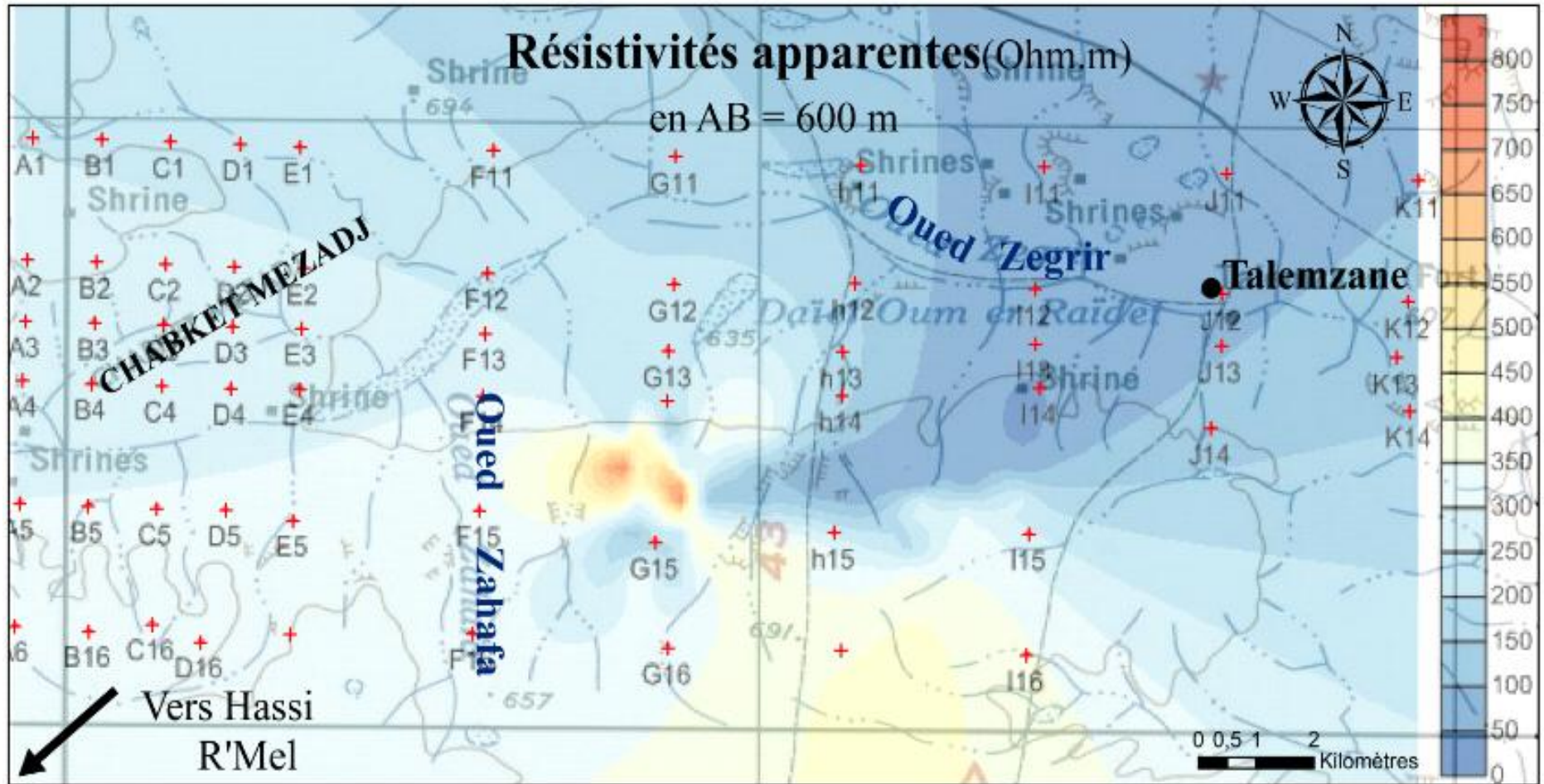


Figure 80 : Carte des résistivités apparentes en AB =600 m ; site d'Oued Zeghrir.

- **Carte des résistivités apparentes d'oued Zeghrir en AB=1000 m**

La carte reprend la même allure que la précédente sur la tranche de terrain étudiée (Figure 81). Elle montre une distribution des terrains profonds. En effet, la ligne d'émission de courant en AB=1000 m et MN=300 m, permet la pénétration du courant électrique à des profondeurs d'investigation comprise entre 125 et 190 m.

La première anomalie conductrice apparaît sur la rive droite d'Oued Zeghrir centré autour des sondages G12 avec 56 ohm.m, I12 avec 57 ohm.m et I13 avec 47 ohm.m. Elle indique probablement la présence de calcaires fissurés. L'autre anomalie recouvre tout le reste de la carte jusqu'à atteindre 845 ohm.m au niveau de sondage A2. Ces valeurs de résistivités montrent la présence des dolomies et de calcaires fracturés du Turonien qui ont un intérêt hydrogéologique certain.

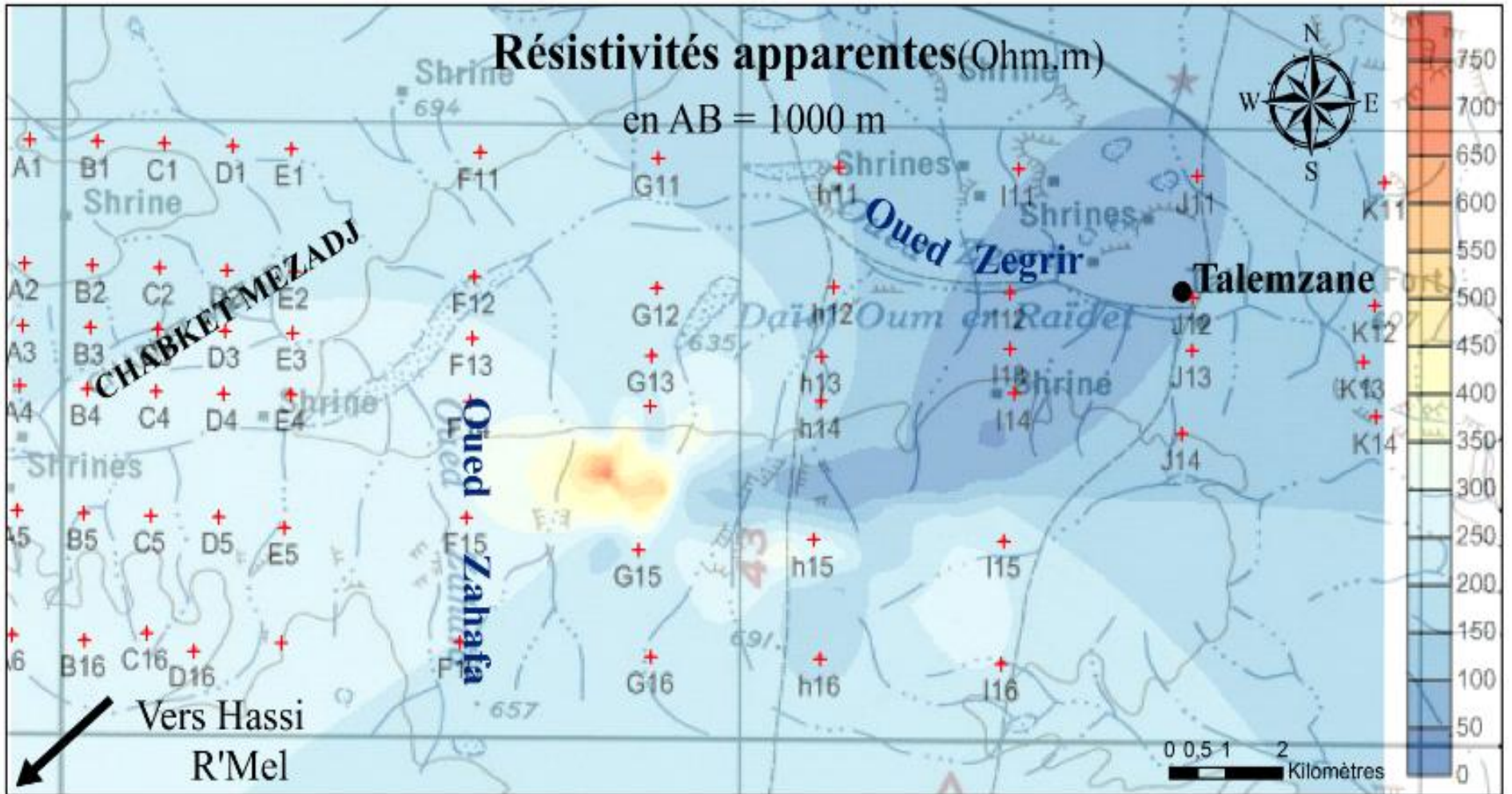


Figure 81 : Carte des résistivités apparentes en AB =1000 mètre ; site de Oued Zegrir.

- **Carte des résistivités apparentes d'oued Zeghrir en AB = 2000 m.**

La carte reprend la même allure que les précédentes (Figure 82). Le dispositif utilisé était caractérisé par une distance AB de 2000 m et un MN de 300 m permet la pénétration du courant électrique à des profondeurs d'investigation comprises entre 250 m et 380 m. Les valeurs de résistivités apparentes varient principalement de 71 à 741.5 ohm.m.

Dans la majeure partie du terrain, les résistivités apparentes sont comprises entre 95.6 et 741.5 ohm.m au niveau du sondage B3. Par ailleurs, une anomalie conductrice représente des résistivités de 76 ohm.m au G12 et h13, 82 ohm.m au I11, 80 ohm.m au I13 et J12 à 87 ohm.m. Ces anomalies confirment la présence d'argiles légèrement dolomitiques avec des intercalations de dolomies blanches dures localement gréseuses, marquées par de fines passées gréseuses friables du Cénomaniens selon les diagraphies fournies par SONATRACH.

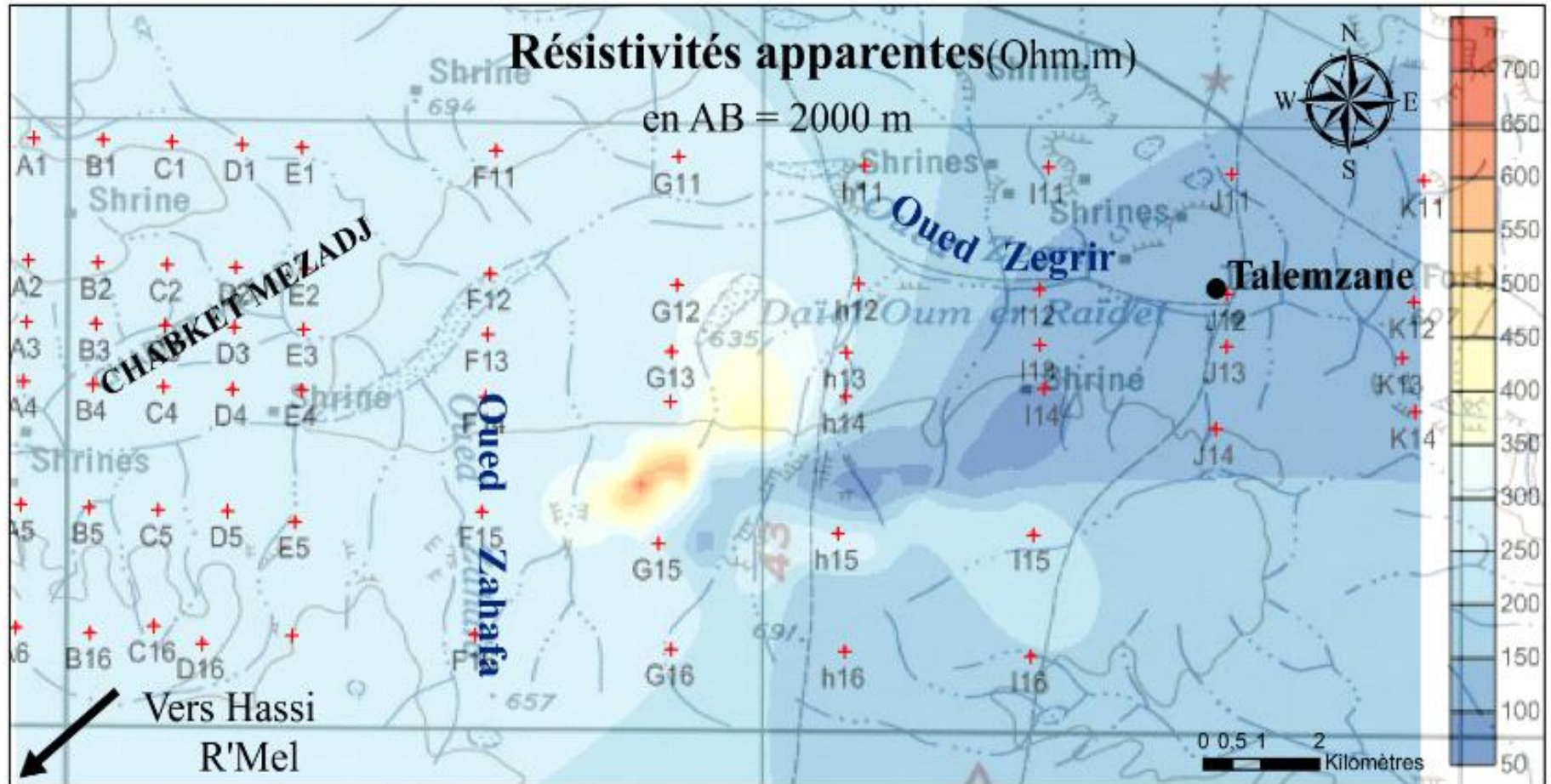


Figure 82 : Carte des résistivités apparentes en AB =2000 m ; site d'oued Zeghrir.

Représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs

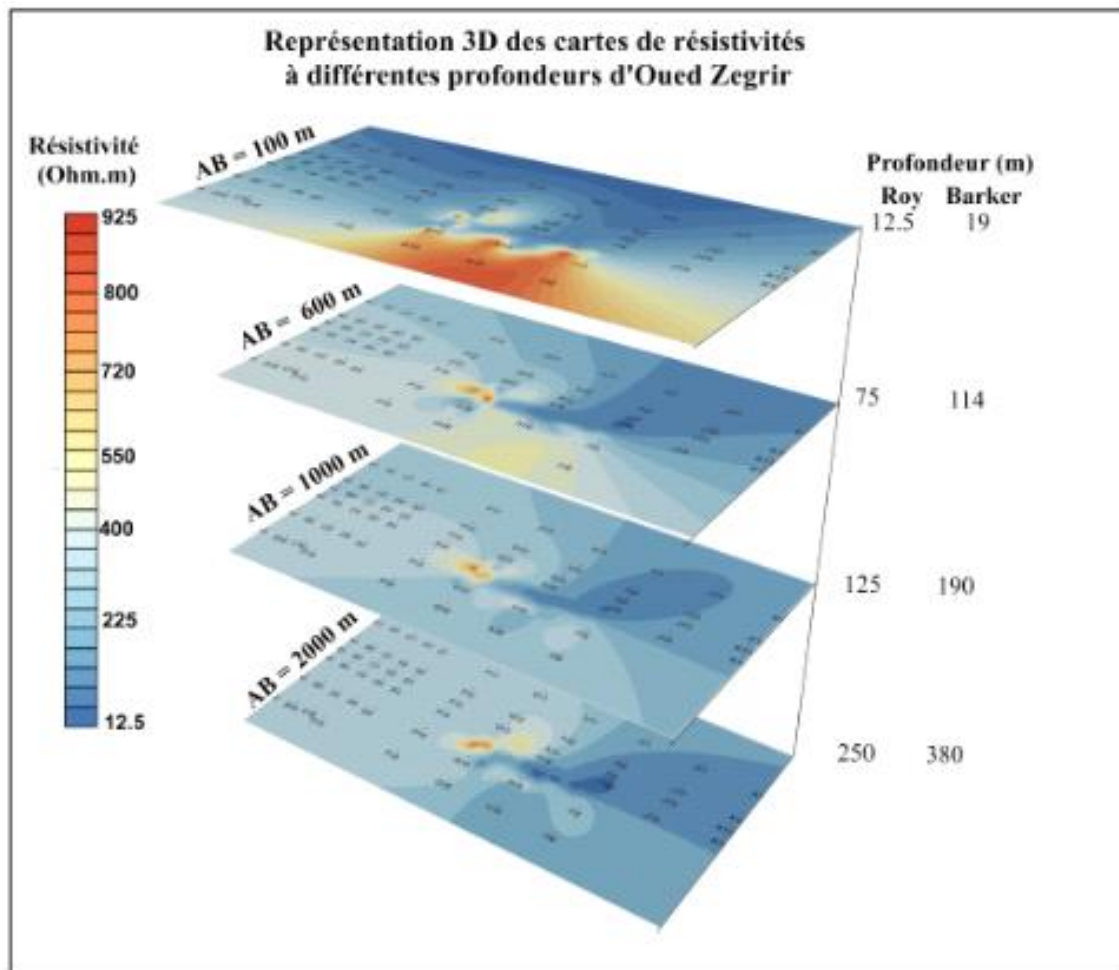


Figure 83 : représentation 3D des cartes de résistivités à différentes profondeurs d'oued Zegrir.

Dans un contexte géologique aussi complexe que profond, caractérisé par des formations fissurées et affectées par des déformations présentes à l'échelle régionale (plissements et failles), les sondages électriques verticaux s'avèrent difficilement interprétables. Les effets latéraux, les contacts anormaux, les principes d'équivalence et de suppression ont parfois rendu la tâche extrêmement difficile et ont abouti à des modèles calculés sujets à des réserves. En effet, de fortes valeurs de résistivités ont été induites par effet de calcul, il est donc utile de corriger ces aberrations. Cependant, les résultats obtenus sont d'une part permis de caractériser d'un point de vue géo-électrique les formations calcaires du Sénonien et du Turonien, les argiles du

Cénomaniens, et d'autre part de construire une image 2D et 3D de la structure des formations aquifères susceptibles de renfermer de grandes réserves d'eaux souterraines.

Les cartes de résistivités apparentes établies à Oued Ennsa nous permettent d'identifier la nature des formations rencontrées dans le sous-sol et de suivre leur extension verticale et latérale. En surface, des formations carbonatées du calcaire et dolomie d'âge Sénonien y apparaissent, elles sont largement fracturées, mais également des évaporites y prennent place, la formation est épaisse de 140 m. En profondeur, les formations dolomitiques et calcareuses fissurées forment la nappe turonienne connue sous le nom du complexe terminal dont l'épaisseur est de 70 m, mais reste largement variable par endroits. Des formations très résistantes y apparaissent, elles sont présentées par des dolomies et des calcaires du Cénomaniens, surmontées par une alternance d'anhydrite massive, de gypse et de dolomie argileuse qui forment la limite entre le Turonien et le Sénonien. L'ensemble de ces formations est épais de 115 m.

A Oued Zeghrir, les cartes de résistivités apparentes nous renseignent en surface de la présence des formations résistantes carbonatées épaisses de 20 m. Ce sont des formations calcaro-dolomitiques et calcareuses d'âge Mio-Pliocène, formant la nappe phréatique du même âge, elles sont considérablement altérées en surface et dures et massives en profondeur. D'une part, l'anomalie résistante montre en profondeur la présence de formations calcaires et dolomitiques fissurées appartenant au Sénonien, d'autre part, des formations gypseuses du même âge y apparaissent. Les calcaires fracturés du Turonien semblent avoir un intérêt hydrogéologique majeur, il est épais de 77 m environ et reposent sur les argiles cénomaniennes formant le substratum imperméable de notre aquifère, on remarque notamment la présence de nombreuses intercalations de dolomie épaisses de 60 m environ.

Chapitre 4

Caractérisation Hydrogéologique et hydrodynamique du Complexe Terminal

Dans ce dernier chapitre, nous nous focalisons sur l'étude de l'état des ressources en eau souterraine dans la région de Hassi R'Mel à travers l'établissement et l'interprétation de la carte piézométrique établie dans les formations calcaires du Turonien. Elle nous permet de relever l'allure et la morphologie de la surface piézométrique, le sens d'écoulement, les lignes des partage des eaux et de définir l'orientation des principaux axes de drainage. Il serait question également des corrélations entre la géologie détaillée auparavant, les résultats géophysiques et la piézométrie obtenue en 2013.

4.1 Hydrogéologie de Hassi R'Mel

La nappe du Turonien, composé de calcaires fissurés et massifs, constitue le réservoir le plus sollicité dans notre région et présente une eau de bonne qualité pour la consommation humaine. Les raisons pour lesquelles, la commune de Hassi R'Mel continuera de l'exploiter localement par des dizaines de forages, et en particulier ceux de la SONATRACH. L'hydrogéologie de Hassi R'Mel a donc trait directement à l'hydrogéologie des milieux fracturés.

En effet, dans les milieux fracturés, la roche est quasi-imperméable et l'eau ne peut s'écouler qu'au travers des fractures. Les observations du milieu naturel mettent en évidence une complexité à la fois géométrique, liée au réseau de fracture, et hydraulique, de part l'organisation des écoulements dans ce réseau. L'hétérogénéité est présente à toutes les échelles. A l'échelle de la fracture, sa forme, son ouverture et sa rugosité induisent des propriétés hydrauliques variables spatialement. A l'échelle du réseau, les écoulements dépendent de la distribution des longueurs de fractures, des orientations, des ouvertures ainsi que de la manière dont les fractures sont organisées entre elles (Romain, 2009).

En milieu fissuré, l'exploitation des eaux souterraines se justifie pour plusieurs raisons : disponibilité de l'eau à proximité des lieux de consommation, économie d'investissement lourd pour les captages d'eau de surface et les canalisations (BRGM, 1998).

4.2 Piézométrie du Complexe Terminal

La piézométrie du complexe terminal concerne les formations calcaires sénoniennes et éocènes ainsi que les sables du Pontien (O. Rhir et Djérid) marquant assez souvent une relation hydrogéologique. Elle se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre (OSS, 2003). L'examen de la carte

piézométrique met en évidence les zones d'alimentation de cet aquifère régional, à travers les flux d'eau en provenance de l'Atlas Saharien au Nord-Ouest; de la chaîne du Dahar à l'Est; du Tinrhert au Sud; et des monts du M'Zab. La permanence d'une alimentation actuelle, équivalente à $750 \text{ hm}^3/\text{an}$, du réservoir est vraisemblable en plusieurs régions :

- Sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur et Turonien), ou au travers des nappes d'inféro-flux des oueds : bordure Sud-Atlasique, M'Zab et Dahar;
- Dans les deux grands Ergs, qu'il soit Occidental ou Oriental, par infiltration des pluies exceptionnelles au travers des formations dunaires perméables.

L'écoulement de cette nappe se produit comme suit (figure 84) :

- À partir de la dorsale du M'Zab, où l'ensemble de l'écoulement dont la cote piézométriques s'élève à 300 m converge vers la zone des Chotts en Tunisie, c'est-à-dire qu'il se renverse et s'effectue du Sud vers le Nord sous le Grand Erg Oriental ;
- Dans le sens Ouest-Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, près de Laghouat dont la cote piézométriques dépasse 700 m, convergent vers la zone des Chotts jusqu'en Tunisie à moins de 50 m de niveau piézométrique près de Tozeur.
- Dans le sens Sud-Nord, du plateau du Tinrhert vers la zone des Chotts et le Golfe de Syrte (Bellaoueur, 2008).

La représentation des courbes piézométriques du CT met en évidence les grands axes d'écoulements, ainsi que les aires d'alimentation et les exutoires naturels de la nappe : il a été relevé les dépressions des chotts pour le bassin central, Ain Tawargha et Golfe de Syrte en Lybie pour le bassin oriental.

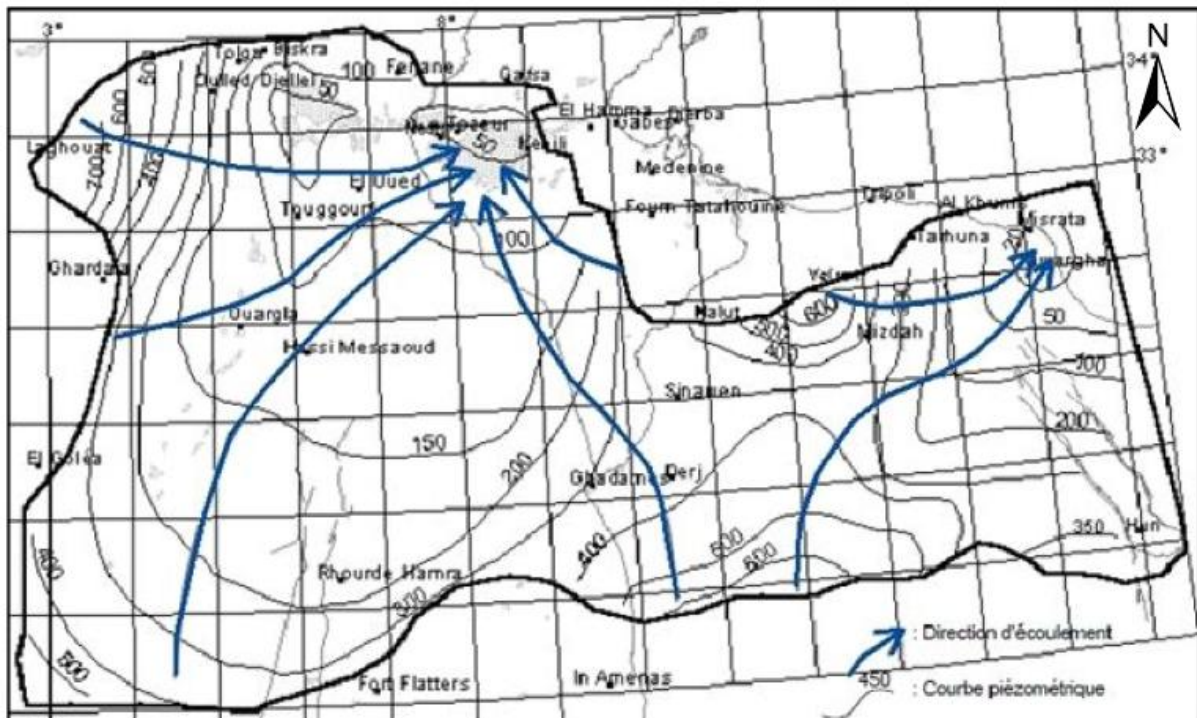


Figure 84 : Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS, 2003a et b).

4.3 Inventaire des forages

L'inventaire des forages d'eau de la région d'étude est la phase préliminaire de toute étude des eaux souterraines ; il permet d'établir un document de base pour une étude hydrogéologique.

Afin d'établir une carte d'inventaire de l'année 2012, nous avons utilisé les données de 21 forages (Tableau en Annexe) récupérées d'une part de la SONATRACH à Hassi Messaoud et d'autre part de l'ANRH d'Ouargla. Ils sont spatialement répartis sur la région et concentrés principalement dans la partie Ouest de la commune de Hassi R'Mel et au Nord de cette dernière. Ils sont tous en état d'exploitation, à des profondeurs d'investigation comprises entre 63 et 261 m. De ce fait, ils captent essentiellement les calcaires turoniens considérés comme aquifères.

Leurs débits d'exploitations montrent une valeur annuelle minimum de 126 144 m³/an au niveau de forage HRH-132, soit un maigre débit de 4 l/s et une valeur annuelle maximum de 1 261 440 m³/an au niveau de forage HRH-122, soit un débit de 40 l/s. En comparaison avec la nappe du Mio-pliocène exploitée à Hassi Messaoud, nous ne relevons que les débits d'exploitation fournis par SONATRACH en 2013, montrent des débits allant de 12 000 l/s,

pour atteindre le plafond de 19 000 l/s (Bouhchicha et Ouhenia, 2013). On remarque une grande différence de débit entre les deux régions, cela prouve que Hassi Messaoud et sa nappe Mio-pliocène est en état de surexploitation consécutive directe des activités industrielles et pétrolières dues aux larges besoins en eau industrielle et AEP.

Les forages captant les calcaires du Turonien semblent fournir de forts débits, cela est lié aux bonnes caractéristiques hydrogéologiques du milieu fracturé en place, à l'image des forages HRH-122 dont le débit enregistré est de 40 l/s, Dayet Louaha 2 et Dayet Louaha 2 avec 36 l/s. Cependant, ceux captant les formations de grés argileux du Barrémien, offrent des débits relativement faibles bien que leur profondeur d'investigation atteigne 567 m qui ne permet pas de débits élevés, à titre d'exemple les forages HRH-131, HRH -136, HRH-143 et HRH-138 avec un maigre débit de seulement 5,5 l/s. Cela est dû à la présence d'argiles, très peu perméables à imperméables dans l'aquifère gréseux.

Par ailleurs, la majorité de ces forages sont utilisés pour l'irrigation, l'industrie et pour l'alimentation en eau Potable. Seulement cinq forages utilisés pour l'alimentation en eau potable qui sont Dhayet Laouha, Dhayet Laouha 1, Dhayet Laouha1, Dayet Laouha 2, et Dhayet Laouha 3 avec un débit d'exploitation moyen de 30 l/s. Il faut signaler que l'agriculture dans la région est quasiment absente d'après le rapport du Plan National de l'Eau en 2010, ceci dit, les forages inventoriés par l'ANRH comme étant destinés à l'irrigation semblent correspondre à un usage très limité dans les palmeraies de la région.

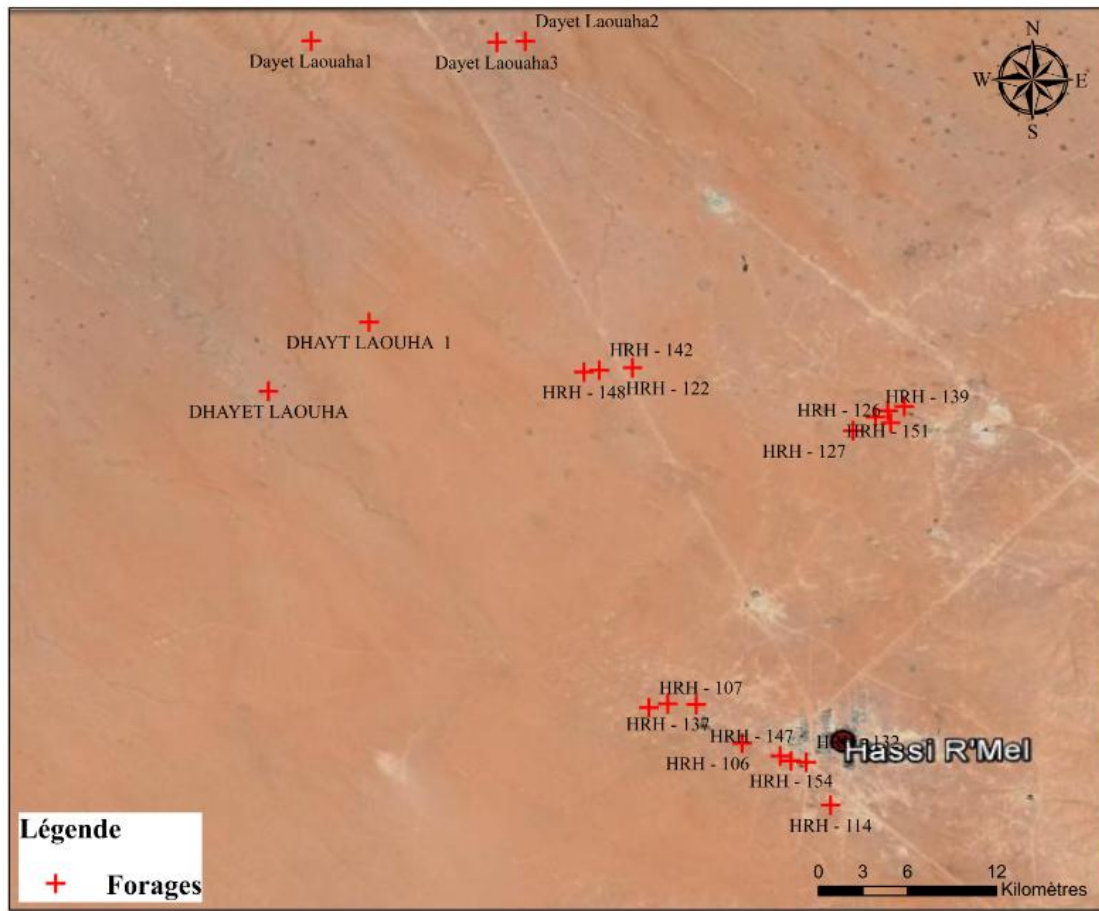


Figure 85 : Carte d'inventaire des forages d'eau de la région de Hassi R'Mel, d'après les données de l'ANRH d'Ouargla

4.4 Carte piézométrique: interprétation et corrélation avec la géophysique

La piézométrie est la synthèse la plus importante dans une étude hydrogéologique, car elle renseigne sur l'état de la nappe et nous permet de mettre en évidence le lien qu'elle peut avoir avec son environnement. La carte piézométrique permet de tirer des informations sur les directions et les sens d'écoulement, l'alimentation et le drainage de la nappe, elle permet aussi de déterminer certaines caractéristiques hydrodynamiques d'aquifère, et de calculer le gradient hydraulique. Elle aboutit à l'identification des zones favorables à l'implantation de nouveaux ouvrages (Berken, 2011).

La carte piézométrique établie sur la base des données de 2012, comme le montre la figure 86, illustre l'allure des isopièzes. Son examen permet de distinguer quatre zones hydrodynamiques bien distinctes :

- La partie Nord et la partie Sud-Est : cette partie est marquée par une divergence des lignes de courant, cela démontre la présence de deux dômes dont le niveau piézométrique est compris entre 685 et 715 m. Les deux dômes piézométriques créent, de surcroît, une ligne de partage des eaux qui est d'orientation NE-SO dans partie Nord de la carte, et d'orientation NO-SE dans la partie Sud-Est. Elle indique la présence d'une importante zone de mise en charge dans ce secteur.

En effet, les principales zones où la surface piézométrique de la nappe prend la forme d'un dôme (écoulement divergent) correspondent, aux parties les plus élevées de la surface de la nappe donc à des zones amont de l'écoulement souterrain. Ces zones, où les nappes sont alimentées uniquement par l'infiltration des eaux de pluie (ou neige en montagne) et ne sont pas influencées par les cours d'eau de surface, peuvent être qualifiées de zones 'd'eau pure', et pourraient faire l'objet de mesures préférentielles de protection et de conservation (Albinet et Margat, 1975).

-La partie Ouest et la partie Est : La nappe est caractérisée par deux zones d'écoulement convergent représentées par des cônes de dépression. Le niveau piézométrique est de 670 qui chutent à 635m. Ces dépressions souterraines sont principalement liées à l'effet de pompage dans les forages de la région. A cet égard, plusieurs forages sont situés au niveau de ces dépressions cumulant un débit de pompage annuel de 2 522 880 m³/an, soit un débit unitaire pour chacun des forages estimé à 80 l/s.

L'enregistrement en continu des niveaux piézométrique des forages peut servir à calculer le gradient hydraulique ainsi qu'à mettre en évidence les zones de circulation préférentielles des eaux. D'après la carte piézométrique, on distingue trois zones d'écoulement distinctes :

- la partie centrale est caractérisée par une divergence des isopièzes, elle représente une zone à gradient élevé de l'ordre de 4,5%, orienté Nord-Est au forage Dayet Louaha 1 centré autour de la dépression Ouest. Cette zone correspond à un écoulement des eaux souterraines assez rapide.

- Ce gradient marque une décroissante vers l'Est et indique un passage vers une zone à gradient moyen au centre de la carte et orienté Sud-Ouest au niveau du forage HRH-126, son gradient est de l'ordre de 2,7 %, il représente un écoulement de vitesse intermédiaire.

- La zone à faible gradient est marquée par un espacement de ses isopièzes dans la partie Sud-Ouest de la carte où le gradient est de 2,1%, elle indique un écoulement relativement lent.

Au terme d'une première synthèse entre les différentes cartes élaborées en 1993, 1998 et 2013 (figures 85, 86 et 87), il a été relevé que le niveau d'eau en 1993 est supérieur à celui mesuré en 1998, et ce dernier se montre supérieur à celui de 2013. Cette baisse du niveau d'eau est peut être reliée à l'exploitation continue en forages de l'aquifère pour subvenir aux croissants besoins industriels de la région, en particulier ceux de la SONATRACH.

La carte piézométrique de 2013 marquée par l'absence d'un sens d'écoulement général à cause des fréquentes perturbations affectant de la surface piézométrique. Ces perturbations sont liées à l'effet de pompage pour la dépression et les zones d'alimentation dans le cas des dômes piézométriques. Il en est de même pour la carte de 1998, mais seule la carte piézométrique établie en 1993 possède un sens d'écoulement général qui s'individualise, il est orienté du Sud au Nord.

De son côté, la ligne de partage des eaux ne semble pas être constante dans l'espace, son orientation change entre 1993, 1998 et 2013 et indique la variabilité du sens d'écoulement entre les trois cartes piézométriques.

La carte de profondeur de l'eau montre la même allure que la carte piézométrique, contient deux dépressions à l'est et l'ouest de la carte où la profondeur de l'eau entre 65 et 105 m, et deux dômes piézométriques au sud et centre de la carte avec profondeur compris entre 30 et 60 m.

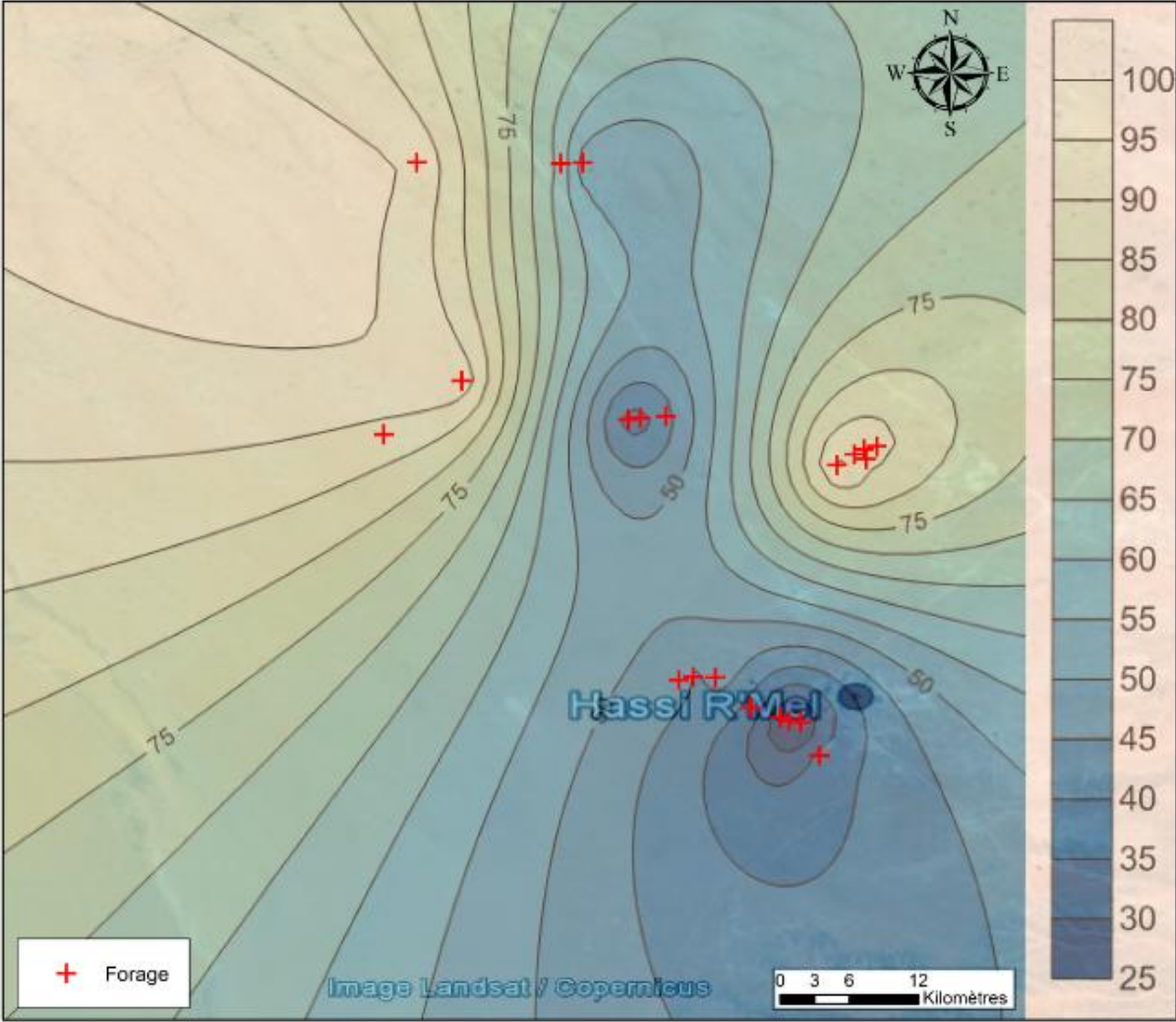


Figure 86 : la carte de profondeur de l'eau de la région de Hassi R'Mel.

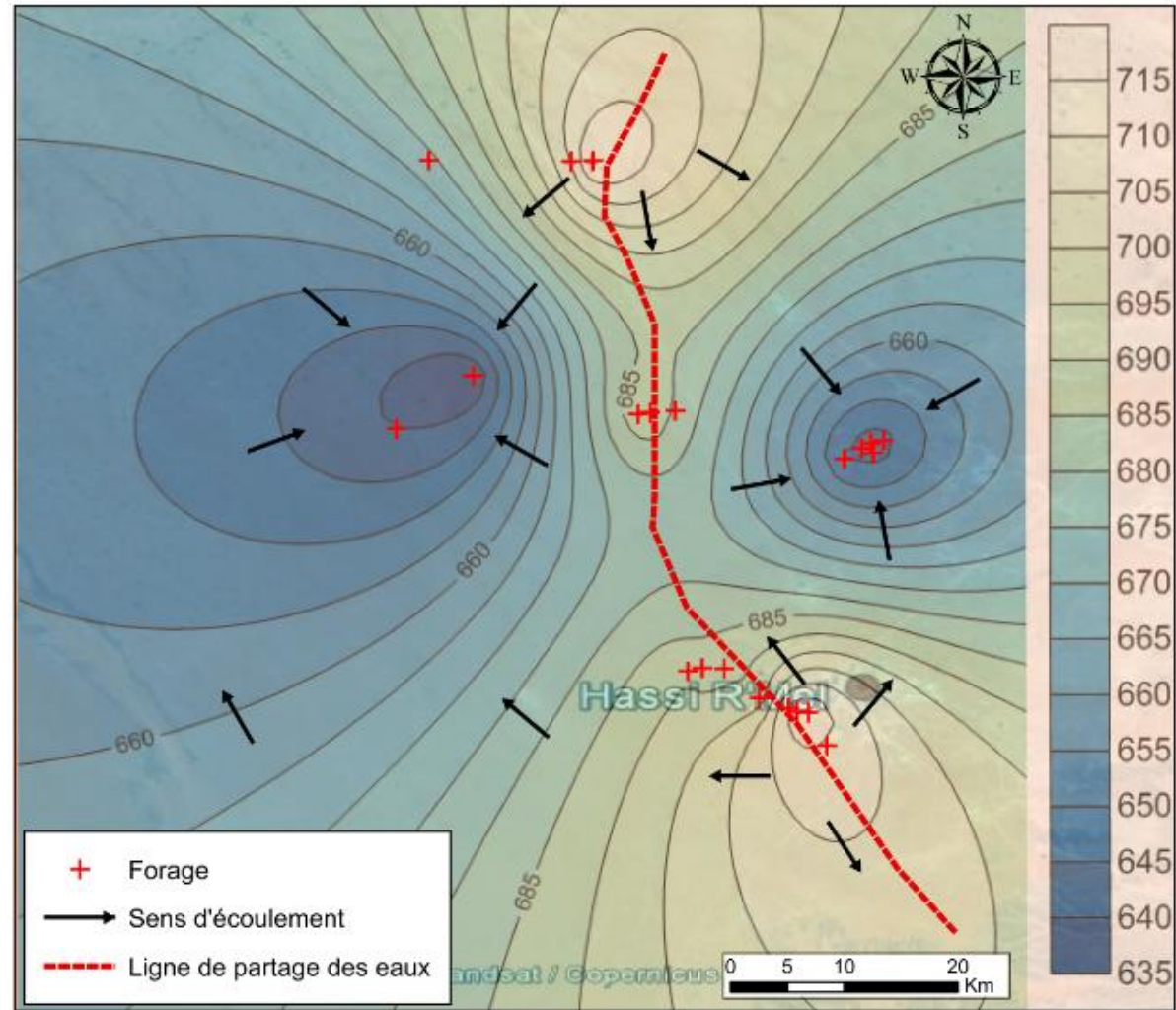


Figure 87 : Carte piézométrique du Complexe Terminal de la région de Hassi R'Mel en 2013.

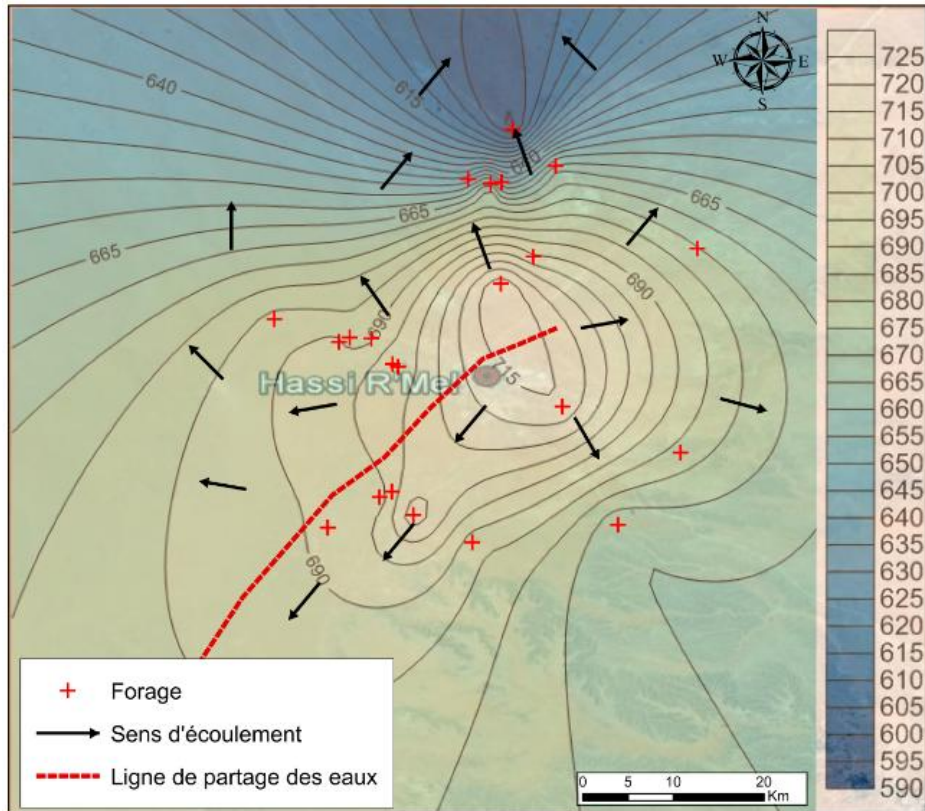


Figure 88 : Carte piézométrique du Complexe Terminal de la région de Hassi R'Mel en 1998.

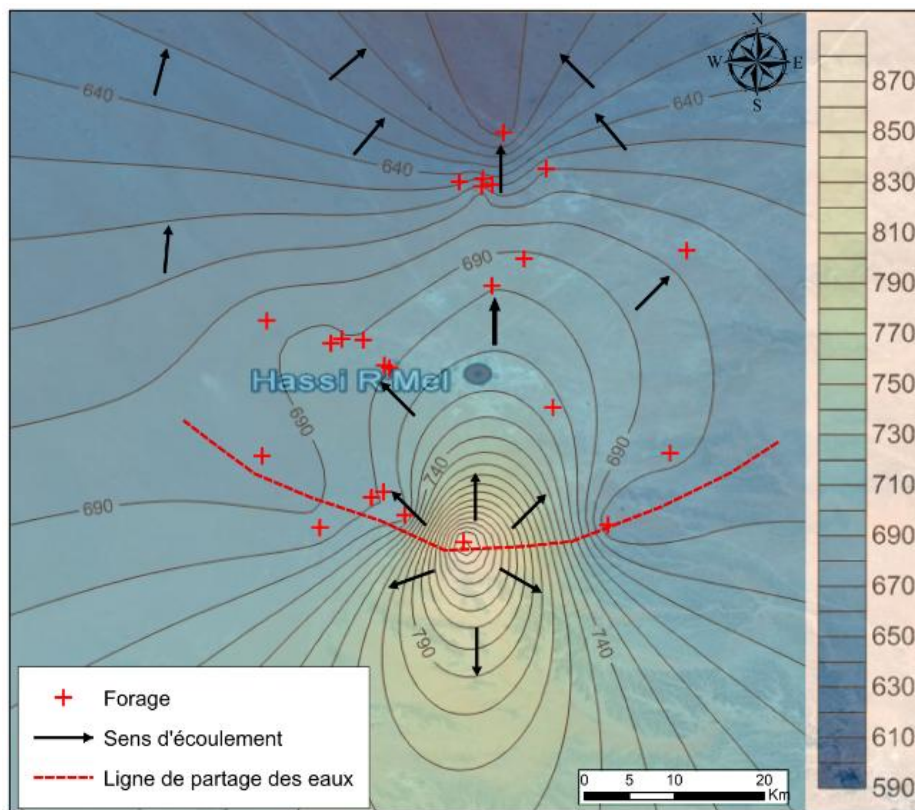


Figure 89 : Carte piézométrique du Complexe Terminal de la région de Hassi R'Mel en 1993.

L'étude hydrogéologique complétée par la géophysique a pour objectif d'identifier et cibler les terrains perméables présentant un intérêt hydrogéologique. Nous avons réussi à déterminer la lithologie de la région d'étude à partir des résultats de géophysique, mais la corrélation entre l'hydrogéologie et la géophysique n'a pas été possible. La raison principale étant le décalage enregistré entre l'emplacement des profils géophysiques, situés principalement au Nord-Est de la commune de Hassi R'Mel et les forages d'eau localisés complètement à l'Ouest, autrement dit les sites prospectés par la géophysique ne disposent pas de forages d'eau accessibles.

A Hassi R'Mel, les calcaires fissurés du Turonien forment une nappe libre du Complexe terminal, elle est exploitée pour les besoins en eau domestique et industrielle. La piézométrie établie sur la nappe de notre région d'étude montre que l'écoulement des eaux souterraines forme deux zones hydrogéologiquement différentes; deux dépressions piézométriques où les lignes de courant sont convergentes, l'une située à l'Est et l'autre à l'Ouest, et deux dômes piézométriques qui apparaissent où les lignes d'écoulement divergent, l'une située au Nord et l'autre au Sud-Est. Le gradient hydraulique montre des valeurs variables variant entre 2.1 et 4.5 %, ce qui confirme que les formations constituant la nappe sont favorables à la circulation des eaux.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Hassi R'Mel fait partie de la zone septentrionale de la plateforme saharienne, elle est soumise à un climat de type saharien aride, exprimé par une forte température dont la moyenne annuelle est estimée à 21°C et des précipitations assez faibles de 115,5 mm/an. Son bilan hydrologique global semble refléter le déficit en eau dont souffre Hassi R'Mel. Aucun excédent n'est enregistré et le déficit agricole annuel est omniprésent avec 891.6 mm. Le réseau hydrographique est très peu développé, présenté par deux principaux Oueds ; oued Ennsa et oued Zeghrir.

Hassi R'Mel apparaît comme un grand anticlinal ondulé, de direction SSW-NNE et affecté par un réseau de failles directionnelles et transverses. Géologiquement, elle est formée de deux unités structurales ; le socle précambrien composé de roches éruptives, métamorphiques, et surmonté d'épaisses couches sédimentaires allant du Cambrien jusqu'au Mio-pliocène. Nous distinguons deux ensembles hydrogéologiques, post Paléozoïques importants : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal. Le Complexe terminal est libre et est lié au développement de fissurations et fracturation plus important dans les formations calcaro-dolomitiques du Sénono-Turonien, son substratum est constitué par la formation lagunaire du Cénomanién et sa couverture est d'argiles plus ou moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène. De son côté, la nappe du continental intercalaire est constitué de grés et d'argiles albo-barrémiens, elle est de type captif et plus profonde. L'étude géologique a permis de mettre en évidence l'attrait des formations aquifères du CT, il s'agit des calcaires fissurés du Turonien qui apparaissent comme étant une des meilleures formations aquifères.

Les cartes de résistivités apparentes établies à Oued Ennsa nous permettent d'identifier la nature des formations et de suivre leur extension verticale et latérale. En surface, des formations carbonatées du calcaire et dolomie d'âge Sénonien y apparaissent, largement fracturées et épaisses de 140 m. En profondeur, les formations dolomitiques et calcareuses fissurées forment la nappe turonienne épaisse de 70 m. Des formations très résistantes y apparaissent, elles sont présentées par des dolomies et des calcaires du Cénomanién, surmontées par une alternance d'anhydrite massive, de gypse et de dolomie argileuse qui forment la limite entre le Turonien et le Sénonien. L'ensemble de ces formations est épais de 115 m. A Oued Zeghrir, les cartes de résistivités apparentes nous renseignent en surface de la présence des formations résistantes carbonatées épaisses de 20 m. Ce sont des formations calcaro-dolomitiques et calcareuses Mio-Pliocènes, formant la nappe libre du même âge. D'une part, l'anomalie résistante montre en profondeur la présence de formations calcaires et

dolomitiques fissurées appartenant au Sénonien, d'autre part, des formations gypseuses du même âge y apparaissent. Les calcaires fracturés du Turonien semblent avoir un intérêt hydrogéologique majeur, il est épais de 77 m environ et reposent sur les argiles cénomaniennes formant le substratum imperméable de notre aquifère.

La piézométrie de la nappe turonienne montre que l'écoulement des eaux souterraines forme deux zones hydrogéologiquement différentes ; en l'occurrence, deux dépressions piézométriques où les lignes de courant sont convergentes, l'une située à l'Est et l'autre à l'Ouest, et deux dômes piézométriques qui apparaissent où les lignes d'écoulement divergent, l'une située au Nord et l'autre au Sud-Est. Le gradient hydraulique montre des valeurs variables entre 2.1 et 4.5 %, cela confirme que les formations constituant la nappe sont favorables aux circulations d'eaux. Cependant, la corrélation entre la géophysique et la piézométrie n'a pas été possible en raison du manque des données piézométriques sur les sites d'investigation géophysique.

Références et Bibliographies

- ACHOUR, M. 2014** - Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : Cas de la vallée du M'Zab (Ghardaïa-Algérie), Mémoire de Magister en Hydrogéologie : Université d'Oran, pp 50-52.
- ANRH, (2013)** - Inventaire de Hassi R'Mel.
- BEN ABDELKRIM, M., (2015)** - Interprétation Géodynamique des Configurations Sismiques marqueurs événementiels aux applications des Systèmes pétroliers dans le bassin de Berkine Est (Plate-forme Saharienne, Algérie), Mémoire de Magister en Sciences de la Terre. Université de Constantine, p 18.
- BENHAMIDA, S (1998)** -Note relative à la contribution hydrogéologique de Hassi R 'Mel (Wilaya de Laghwat).
- BETTAHAR, A. (2013)** - Aspects qualitatifs des eaux de la région de Touggourt (nappes du complexe terminal et continental intercalaire) Sud-Est de l'Algérie, Mémoire de Master 2 en Hydrogéologie. Université d'Ouargla, pp23-67.
- BOUHCHICHA, A. (2013)** - Synthèse des ressources en eau à Hassi Messaoud dans un contexte de fortes contraintes naturelles et anthropiques, Mémoire de Master 2 en Eau et Environnement, Université de Jijel, pp8 -21.
- BRONNER, G., J, FABRE. (1976)** - Carte géologique du Sahara oriental au 1/1 000 000° extraite de la carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique.
- BOUDJEMAA, A. (1987)** - Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara nord occidental (Algérie), Thèse université. Orsay, 1 vol., 290 p.
- BOUDJEMA, A. (2015)** - vulnérabilité et modélisation de la nappe du Mio-Pliocène d'El Outaya, (Biskra, Sud-Est algérien), Thèse de Doc,
- BUSSON, G. (1971)** -principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse. Paris, ronéotée, 464 p.
- CHABOUR, N. (2006)** - Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie, Thèse de Doctorat en géologie, Université de Constantine, p66.
- CHEBLI, L., ABBASSI, Y. (2012)** - Calcul des paramètres de fonctionnement du dépropaniseur (unité (38) ; traitement de GPL)"Module III à Hassi R'Mel", Mémoire de Master 2 en Génie des procédés. Université de Biskra, p 9.
- CHETTIH M., (2007)** - Analyse fonctionnelle de quelques systèmes aquifères de l'Atlas Saharien Central. Thèse de Doctorat en hydrogéologie. Université d'Alger, p16.
- DJEBBAR, N., MAHDJOUR, S., NAADJI, A. (2012)** - Récupération de condensât par recyclage de gaz sec au champ de Hassi R'Mel sud, Mémoire de Master 2 en production et Technique des Puits, Université d'Ouargla, 60 p.
- DUBIEF, J (1953)** - Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara, Institut de Météorologie et de physique du Globe de l'Algérie : Service des Etudes Scientifique Alger, 451p.
- EL HADI, I., MOKRANE, H., (2014)** - Classification des déchets solides industriels au niveau de HASSI R'Mel, Mémoire fin d'études Master 2 en Génie des procédés. Université Oran, P17.

- FABRE, J. (1976)** - Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. Ed.S.N.E.D.422P.
- MEYER, C (1992)** - Applications de la Géophysique aux recherches d'eau, Université de Lausanne, pp1- 9.
- MAHJOUB, A., DJEBBAR, N., Naadji, A - (2012)** -récupération de condensât par recyclage de gaz sec au champ de Hassi R'Mel sud. Mémoire de Master en Sciences de la Matière. Université d'Ouargla. Annexe.
- OSS (2003a)** - Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis. Tunisie.275p.
- OSS ; (2003b)** - Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS : Rapport interne. Tunis. Tunisie. 229p.
- OULD BABA SY, M. (2005)** -Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de Doctorat en Géologie, Université de Tunis el Manar, 249 p.
- PNE (2010)** -Réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau.
- ROMAIN, L. (2009)** -Caractérisation et modélisation des écoulements dans les milieux fracturés. Sciences de la Terre. Université Rennes 1, Français.
- SAADI B., KLOUCHE, A. (2014)** - Etude des électro-faciès de la zone sud-ouest du champ de Hassi R'Mel, à partir du D2 (Mésozoïque) au Silurien (Paléozoïque). Mémoire D'Ingénieur d'Etat en Géologie. Université d'Oran, p 9-14. p19.
- SAVORNIN J. (1945)** Le plus grand appareil hydraulique du Sahara (nappe albienne). Trav. Inst. Rech. Sahara, IV.
- SONATRACH (2000)** - Document interne.
- SONATRACH (2007)** - Permis d'exploitation du champ de Hassi R'Mel.
- UNESCO, (1972)**, Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).
- WEC; Well evaluation conference Alegria 2007, 8p.**

Annexe

Nom	Aquifère	Nappe	Longitude	Latitude	usage	Altitu	Proinv	Nivrep (1998)	Nivrep (2012)	ETAT actuel
DHAYET LAOUHA	CT	TURONIEN	02° 53' 58"	33° 09' 43"	AEP	728	230		88	EXPLOITE
DHAYT LAOUHA 1	CT	TURONIEN	2°57'37.4291"	33°12'13.7001"	AEP	728	250		93	EXPLOITE
HRH - 114	CT	TURONIEN	03° 14' 24"	32° 54' 41"	DOM/IRR/IND	747	71	37,55	37,6	EXPLOITE
HRH - 147	CT	TURONIEN	03° 12' 34"	32° 56' 28"	DOM/IRR/IND	735	78		24,4	EXPLOITE
HRH - 107	CT	TURONIEN	03° 07' 48"	32° 58' 13"	DOM/IRR/IND	737	71	45,45	47	EXPLOITE
HRH - 106	CT	TURONIEN	03° 11' 11"	32° 56' 56"	DOM/IRR/IND	729	85	33,3	38	EXPLOITE
HRH - 105 bis	CT	TURONIEN	03° 09' 31"	32° 58' 20"	DOM/IRR/IND	737	63		47,7	EXPLOITE
HRH - 137	CT	TURONIEN	03° 08' 29"	32° 58' 22"	DOM/IRR/IND	729	73		43,2	EXPLOITE
HRH - 122	CT	TURONIEN	03° 07' 12"	33° 10' 34"	DOM/IRR/IND	728	90	38,24	44	EXPLOITE
HRH - 142	CT	TURONIEN	03° 06' 00"	33° 10' 29"	DOM/IRR/IND	729	98	32,02	38,6	EXPLOITE
HRH - 148	CT	TURONIEN	03° 05' 26"	33° 10' 25"	DOM/IRR/IND	726	78	30,2	37,3	EXPLOITE
HRH - 127	CT	TURONIEN	03° 15' 13"	33° 08' 17"	DOM/IRR/IND	736	261	89,55	91,2	EXPLOITE
HRH - 126	CT	TURONIEN	03° 16' 35"	33° 08' 34"	DOM/IRR/IND	729	229	83,95	85,7	EXPLOITE
HRH - 145	CT	TURONIEN	03° 17' 05"	33° 09' 10"	DOM/IRR/IND	730	213	84,72	86,7	EXPLOITE
HRH - 139	CT	TURONIEN	03° 16' 02"	33° 08' 47"	DOM/IRR/IND	732	205	86,36	88	EXPLOITE
HRH - 151	CT	TURONIEN	03° 16' 29"	33° 09' 01"	DOM/IRR/IND	732	230	86,9	88,8	EXPLOITE
HRH - 131	Cl	BARREMIEN	30° 22' 25"	32° 52' 11"	DOM/IRR/IND	717	509		380	EXPLOITE
HRH - 136	Cl	BARREMIEN	03° 22' 34"	32° 50' 06"	DOM/IRR/IND	766	567		359	EXPLOITE
HRH - 143	Cl	BARREMIEN	03° 22' 59"	32° 50' 36"	DOM/IRR/IND	773	560		360	EXPLOITE
HRH - 138	Cl	BARREMIEN	03° 07' 21"	32° 55' 11"	DOM/IRR/IND	676	540	251,1	251	EXPLOITE
HRH - 150	Cl	BARREMIEN	03° 22' 43"	32° 53' 21"	DOM/IRR/IND	761	550			A L'ARRET
HRH - 144	Cl	BARREMIEN	03° 23' 35"	32° 49' 57"	DOM/IRR/IND	746	521		334,7	A L'ARRET
SC 4 - GR 2	Cl	ALBIEN	03° 16' 36"	32° 54' 02"	IND	745			316	EXPLOITE
HRH - 132	CT	TURONIEN	03° 13' 31"	32° 56' 15"	DOM/IRR	740	75		25,2	EXPLOITE

HRH - 154	CT	TURONIEN	03° 12' 58"	32° 56' 18"	DOM/IRR	736	74		22,77	EXPLOITE
Dayet Laouaha1	CT	TURONIEN	02° 55' 31"	33° 22' 27"	AEP	767	250		94	EXPLOITE
Dayet Laouaha2	CT	TURONIEN	03° 03' 18"	33° 22' 26"	AEP	767	230		50	EXPLOITE
Dayet Laouaha3	CT	TURONIEN	03° 02' 16"	33° 22' 24"	AEP	767	260		63	EXPLOITE

Tableau 1 : Forages d'eau de Hassi R'Mel, ANRH (2013)

Nom	Nappe	Propriétaire	Longit	Latitu	Datfin	datfin_cor	usage	Altitu	Proinv	Débit (l/s)	RS-mg/l (2013)	ETAT actuel
DHAYET LAOUHA	TURONIEN		02° 53' 58"	33° 09' 43"	1987	1987	AEP	728	230	36		EXPLOITE
DHAYT LAOUHA 1	TURONIEN		02° 57' 37"	33° 12' 01"	1986	1986	AEP	728	250	24		EXPLOITE
HRH - 114	TURONIEN	Sonatrach	03° 14' 24"	32° 54' 41"	1977	1977	DOM/IRR/IND	747	71	5,5	1000	EXPLOITE
HRH - 147	TURONIEN	Sonatrach	03° 12' 34"	32° 56' 28"	1996	1996	DOM/IRR/IND	735	78	5,5	700	EXPLOITE
HRH - 107	TURONIEN	Sonatrach	03° 07' 48"	32° 58' 13"	1977	1977	DOM/IRR/IND	737	71	30,5	400	EXPLOITE
HRH - 106	TURONIEN	Sonatrach	03° 11' 11"	32° 56' 56"	1972	1972	DOM/IRR/IND	729	85	16	500	EXPLOITE
HRH - 105 bis	TURONIEN	Sonatrach	03° 09' 31"	32° 58' 20"	1981	1981	DOM/IRR/IND	737	63	7	500	EXPLOITE
HRH - 137	TURONIEN	Sonatrach	03° 08' 29"	32° 58' 22"	1989	1989	DOM/IRR/IND	729	73	16	400	EXPLOITE
HRH - 122	TURONIEN	Sonatrach	03° 07' 12"	33° 10' 34"	1977	1977	DOM/IRR/IND	728	90	40	890	EXPLOITE
HRH - 142	TURONIEN	Sonatrach	03° 06' 00"	33° 10' 29"	1993	1993	DOM/IRR/IND	729	98	15	890	EXPLOITE
HRH - 148	TURONIEN	Sonatrach	03° 05' 26"	33° 10' 25"	1997	1997	DOM/IRR/IND	726	78	16	740	EXPLOITE
HRH - 127	TURONIEN	Sonatrach	03° 15' 13"	33° 08' 17"	1978	1978	DOM/IRR/IND	736	261	16	700	EXPLOITE
HRH - 126	TURONIEN	Sonatrach	03° 16' 35"	33° 08' 34"	1978	1978	DOM/IRR/IND	729	229	16	720	EXPLOITE
HRH - 145	TURONIEN	Sonatrach	03° 17' 05"	33° 09' 10"	1997	1997	DOM/IRR/IND	730	213	16	800	EXPLOITE
HRH - 139	TURONIEN	Sonatrach	03° 16' 02"	33° 08' 47"	1993	1993	DOM/IRR/IND	732	205	16	1150	EXPLOITE
HRH - 151	TURONIEN	Sonatrach	03° 16' 29"	33° 09' 01"	1998	1998	DOM/IRR/IND	732	230	16	1080	EXPLOITE

HRH - 131	BARREMIEN	Sonatrach	30° 22' 25"	32° 52' 11"	1983	1983	DOM/IRR/IND	717	509	5,5	1100	EXPLOITE
HRH - 136	BARREMIEN	Sonatrach	03° 22' 34"	32° 50' 06"	1989	1989	DOM/IRR/IND	766	567	5,5		EXPLOITE
HRH - 143	BARREMIEN	Sonatrach	03° 22' 59"	32° 50' 36"	1995	1995	DOM/IRR/IND	773	560	5,5	1470	EXPLOITE
HRH - 138	BARREMIEN	Sonatrach	03° 07' 21"	32° 55' 11"	1992	1992	DOM/IRR/IND	676	540	5,5	1540	EXPLOITE
HRH - 150	BARREMIEN	Sonatrach	03° 22' 43"	32° 53' 21"			DOM/IRR/IND	761	550			A L'ARRET
HRH - 144	BARREMIEN	Sonatrach	03° 23' 35"	32° 49' 57"	1996	1996	DOM/IRR/IND	746	521			A L'ARRET
SC 4 - GR 2	ALBIEN	Sonatrach	03° 16' 36"	32° 54' 02"			IND	745		5	1150	EXPLOITE
HRH - 132	TURONIEN	Sonatrach	03° 13' 31"	32° 56' 15"	1985	1985	DOM/IRR	740	75	4	1080	EXPLOITE
HRH - 154	TURONIEN	Sonatrach	03° 12' 58"	32° 56' 18"	2001	2001	DOM/IRR	736	74	5		EXPLOITE
Dayet Laouaha1	TURONIEN	ADE HASSI R'MEL	02° 55' 31"	33° 22' 27"	1986	1986	AEP	767	250	24	1500	EXPLOITE
Dayet Laouaha2	TURONIEN	ADE HASSI R'MEL	03° 03' 18"	33° 22' 26"	1987	1987	AEP	767	230	36	1200	EXPLOITE
Dayet Laouaha3	TURONIEN	ADE HASSI R'MEL	03° 02' 16"	33° 22' 24"	1989	1989	AEP	767	260	30	1400	EXPLOITE

Tableau 2 : exploitation des forages d'eau de Hassi R'Mel (ANRH, 2013).

Résumé

Hassi R'Mel fait partie de la zone septentrionale de la plateforme saharienne, elle est soumise à un climat de type saharien aride à une précipitation moyenne annuelle de 115.5 mm. Aucun excédent en eau n'est enregistré et le déficit agricole annuel est important avec 891.6 mm. Le réseau hydrographique est très peu développé, présenté par deux principaux Oueds; oued Ennsa et oued Zeghrir. Hassi R'Mel apparaît comme un grand anticlinal ondulé, de direction SSW-NNE et affecté par un réseau de failles directionnelles et transverses. Notre étude se focalise sur l'application de l'approche géophysique par la méthode électrique afin d'identifier les formations géologiques du complexe terminal et les structures tectoniques susceptibles de constituer des réservoirs d'eau. Ces données ont été fournies pour l'ENAGEO. En effet, les cartes de résistivités apparentes établies à Oued Ennsa nous permettent d'identifier en surface, des formations de calcaire et dolomie d'âge Sénonien, fracturées et épaisses de 140 m et en profondeur, les formations dolomitiques et calcareuses fissurées qui forment la nappe turonienne épaisse de 70 m. A Oued Zeghrir, la présence des formations résistantes carbonatées épaisses de 20 m en surface, que surmonte des formations calcaro-dolomitiques et calcareuses Mio-Pliocènes, formant la nappe libre du même âge. Les calcaires fracturés du Turonien semblent avoir un intérêt hydrogéologique majeur, il est épais de 77 m et reposent sur les argiles cénomaniennes formant le substratum imperméable de notre aquifère. La piézométrie de la nappe turonienne montre que l'écoulement des eaux souterraines forme deux zones hydrogéologiquement différentes ; en l'occurrence, deux dépressions piézométriques où les lignes de courant sont convergentes, l'une située à l'Est et l'autre à l'Ouest, et deux dômes piézométriques qui apparaissent où les lignes d'écoulement divergent, l'une située au Nord et l'autre au Sud-Est. Le gradient hydraulique montre des valeurs variables entre 2.1 et 4.5 %, cela confirme que les formations constituant la nappe sont favorables aux circulations d'eaux. Cependant, la corrélation entre la géophysique et la piézométrie n'a pas été possible en raison du manque des données piézométriques sur les sites d'investigation géophysique.

Mots clés : géophysique, hydrogéologie, Complexe Terminal, Hassi R'Mel.

Abstract

Hassi R'Mel is part of the northern zone of the Saharian platform, characterized by an arid Saharan type climate, at an average annual precipitation of 115.5 mm. No surplus water is recorded and the annual agricultural deficit is high with 891.6 mm. The hydrographic network is very undeveloped, presented by two main wadis; Oued Ennsa and oued Zeghrir. Hassi R'Mel appears as a large corrugated anticlinal, of direction SSW-NNE and affected by a network of directional and transverse faults. Our study focuses on the application of the geophysical approach by the electrical method in order to identify the geological formations of the terminal complex and the tectonic structures likely to constitute water reservoirs. These data were provided for ENAGEO. Indeed, the maps of apparent resistivities established at Oued Ennsa allow us to identify on the surface, formations of limestone and dolomite of Senonian age, fractured and thick of 140 m and in depth, the dolomitic and calcareous formations cracked which form the 70 m thick turonic sheet. At Oued Zeghrir, the presence of heavy carbonate resistant formations 20 m in surface area, surmounted by calcareous Mio-Pliocene formations forming the groundwater table of the same age. The fractured limestones of the Turonian seem to have a major hydrogeological interest, it is 77 m thick and rest on the Cenomanian clays forming the impermeable substratum of our aquifer. The piezometry of the Turonian aquifer shows that the flow of groundwater forms two hydrogeologically different zones; In this case, two piezometric depressions in which the current lines are convergent, one east and one west, and two piezometric domes which appear where the flow lines diverge, one Situated to the north and the other to the south-east. The hydraulic gradient shows variable values between 2.1 and 4.5%, confirming that the formations constituting the water table are favorable to water circulation. However, the correlation between geophysics and piezometry was not possible due to the lack of piezometric data at the geophysical investigation sites.

Keywords: geophysics, hydrogeology, Terminal Complex, Hassi R'Mel.

