

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi. Tébessa

Faculté des Sciences Exactes, des Sciences
de la Nature et de la Vie



Département des Sciences de la Terre et de l'Univers
Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Géologie

Option : Géologie de l'ingénieur et Géotechnique

Thème :

**"Thème : Etude Géophysique par prospection géo-
électrique et sismique réfraction du futur Barrage de
Mallagou (Wilaya de khenchela)"**

Présenté par :

Amieur Okba & Gherbi Med El Madani

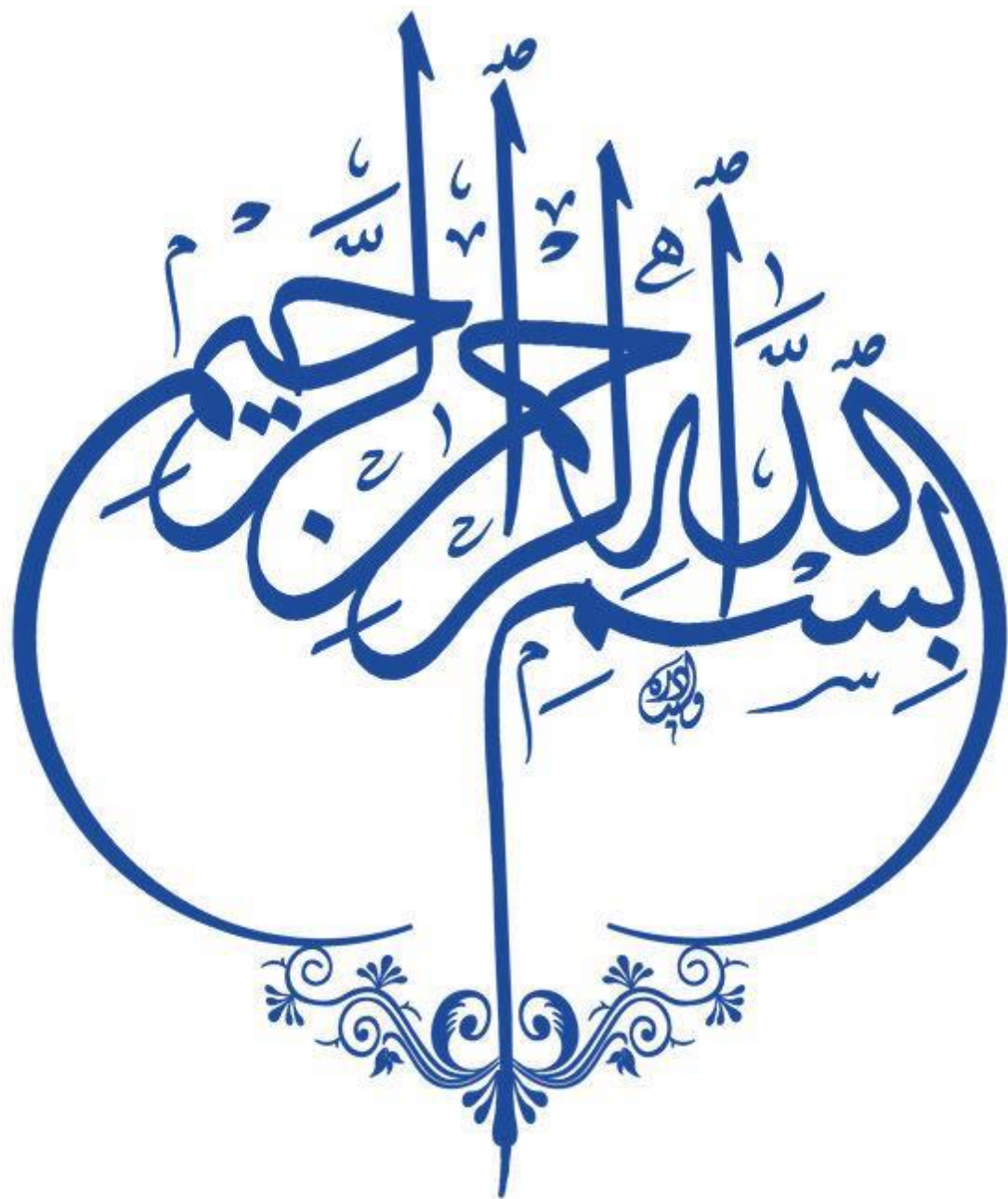
Devant le jury

Ridha MOUICI
Chemseddine FEHDI
Djamel BOUBAYA

MC « B » U.L.T Tébessa
Professeur U.L.T Tébessa
M.C « A » U.L.T Tébessa

Président
Examineur
Rapporteur

Session Juin 2021



Remerciements :

Tout d'abord, nous remercions Allah qui nous a dotés une grande volonté et qui nous a aidés et nous a donné le courage, la force et la patience d'accomplir ce travail.

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif d'un certain nombre de personnes que nous tenons à remercier

A notre cher encadreur, Mr BOUBAYA Djamel pour l'attention qu'il nous a accordé et pour nous avoir orientés dans le bon sens quant à l'élaboration de ce projet.

À nos chers parents pour tous les sacrifices consentis à notre égard et leur énorme soutien.

À toutes nos familles et nos proches amis (es),

Aux membres de jury pour l'intérêt qu'il a porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir.

Dédicace :

A mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs.....pour leurs encouragements constants et leur soutien moral,

A mes frères (Amieur saif,Amieur Mahfoud,Amieur Meriem,Amieur Mohammed)pour son soutien et ses encouragements,

A mes chers amis (Aouimer Hichem,Slatni Salim,Roubahe Chiboube, Zagdani yassre , et Kezize Gazali), ainsi qu'à Boudjalal Zakariya et mon frère « Saif Zerguine» pour leur soutien continu dans mon cheminement académique...

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos soi-disant désirs, et une évacion de votre soutien indéfectible,

Merci d'être toujours à mes côtés

Dédicace :

A mes chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs.....pour leurs encouragements constants et leur soutien moral,

A mes frères (Gherbi Mssoud,Gherbi Sana, Gherbi Djawhara ; Gherbi Salsabil)pour son soutien et ses encouragements,

A mes chers amis (Djarbou Bilal ,Lakmin hichem, Djarbou Islame,Ghezal Samir), ainsi qu'à Boudjalal Zakariya et mon frère « Saif Zerguine» pour leur soutien continu dans mon cheminement académique...

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos soi-disant désirs, et une évasion de votre soutien indéfectible,

Merci d'être toujours à mes côtés

Résumés

Le site du futur barrage de Mellagou est situé au SE de la commune de Bouhmama dans la wilaya de Khenchela .Une étude géophysique par sismique réfraction, sondage électrique vertical (SEV) et imagerie électrique a été réalisée sur 03 sites proposés. L'étude géophysique a permis de mettre en évidence trois (3) couches. Sur les sites 1 et 2, sont rencontrées des argiles graveleuses altérées en surface, suivies par des alluvions qui reposent sur des marnes ou des marno-calcaires. Sur le site 3, le sol est constitué d'une formation surfacique argileuse et graveleuse reposant sur des marno- calcaires. L'imagerie électrique n'a pas révélée de failles au centre de l'axe du barrage.L'épaisseur totale (argile + alluvions) ne devrait pas dépasser 4 mètres sur la majeure partie de la zone d'emprunt du site 3.

Mots clés: Mellagou dam, Seismic refraction, Electrical Resistivity Imaging, Vertical Electrical Sounding (SEV)

Abstract

The site of Mellagou dam is located to the SE of Bouhmamacity in the wilaya of Khenchela. A geophysical study using seismic refraction, vertical electrical sounding (VES) and electrical imaging was carried out on 03 proposed sites. The geophysical study revealed three (3) layers. On sites 1 and 2, weathered gravelly clays are found near the ground surface, followed by alluvium which rest on marls or marly-limestone bedrock. On site 3, the soil consists of a clayey and gravelly surface formation resting on marly-limestones bedrock. Electrical resistivity Imaging did not reveal any faults in the center of the dam axis. The total thickness (clay + alluvium) should not exceed 4 meters over most of the borrow area of site 3.

Keywords: Mellagou dam, Seismic refraction, Electrical Resistivity Imaging, Vertical Electrical Sounding (SEV)

ملخص:

يقع موقع سد ملاجو المستقبلي في الجنوب الشرقي دائرة بوحمامة بولاية خنشلة ، وقد أجريت دراسة جيوفيزيائية عن طريق الانكسار الزلزالي والسبر الكهربائي العمودي والتصوير الكهربائي في 03 مواقع مقترحة. كشفت الدراسة الجيوفيزيائية عن ثلاث طبقات (3). في الموقعين 1 و 2 ، تصادف الطين الحصوي المعدل على السطح ، يليه الطمي القائم على الحجر الجيري المارل . في الموقع 3 ، تتكون التربة من تشكيل سطحي من الطين والحصى يرتكز على مرلين من الحجر الجيري. لم يكشف التصوير الكهربائي عن أي خلل في مركز محور السد. يجب ألا تزيد السماكة الكلية (الطين + الطمي) عن 4 أمتار فوق معظم مساحة الاستعارة بالموقع 3.

الكلمات المفتاحية: سد ميلاجو ، الانكسار الزلزالي ، التصوير الكهربائي ، السبر الكهربائي العمودي (SEV)

Sommaires:

TABLE DE MATIERES

	page
Remerciements	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Sommaires	I
Introduction générale	
Chapitre I	
1. Présentation générale de la wilaya de Khenchela	1
1.1. Situation géographique	2
1.2. Situation administrative	3
1.3. Situation démographique	3
a) La Population	3
b) Le climat	3
c) Les températures	3
d) Les précipitations	3
1.4. L'hydrogéologie de la Wilaya de Khenchela	4
1.5. Présentation générale de région de Bouhmama	5
1.5.1. Situation géographique	5
1.6. Les ressources naturelles	6
1.7. Géomorphologie	7
1.7.1. Unité topographie	7
1.8. Le relief de Bouhmama	8
1.8.1. Les pentes	9
1.9. Aperçu pédologique de la région de Bouhmama	10
Chapitre II	
2. La géologie de la région d'étude	12
2.1. La Stratigraphie	13
2.1.1. Le Quaternaire	13
2.1.2. Le Crétacé	14
2.1.3. Le Crétacé inférieur	15
2.1.4. Le Trias	15
2.2. Les mouvements tectoniques dans la région d'étude	16
Chapitre III	
3. Théorie des méthodes géophysiques	17
3.1. Objectifs	17
3.2. Présentation de la zone d'étude	17
3.3. Aperçu géologique	18
3.3.1. Sites du barrage	18
3.3.2. Site 1 Aval et Site 2 Intermédiaire	18
3.3.3. Site 3 – Amont	19
3.3.4. Zones d'emprunts et carrières	19

Sommaires:

3.4. Méthodologie géophysique adoptée	19
3.4.1. Aperçus théoriques	19
3.4.2. Méthode sismique réfraction	19
3.4.3. Méthode électrique	20
3.4.4. Sondage électrique	21
3.4.5. Trainé électrique	21
3.4.6. Imagerie électrique	21
3.4.7. Acquisition et traitement des données	23
3.4.8. Méthode sismique	23
3.4.9. Prospection électrique	26
Chapitre IV	
4. Résultats et discussion	28
4.1. Interprétation des données géophysiques du site I (AVAL)	28
4.1.1. Site 1 – Aval	28
4.1.2. Profils sismiques ondes S et Modules dynamiques	28
4.1.3. Axe du barrage - Méthodes électriques	30
4.1.4. Axe du Barrage : Méthode sismique	31
4.1.5. Axe du barrage - Méthodes électriques	38
4.1.6. Sondages électriques verticaux	93
4.2. Zones d'emprunt du site aval	40
4.2.1. Sondage électrique sur la rive droite	42
4.2.2. Axe du barrage - Méthodes électriques	48
4.2.3. Sondages électriques verticaux	48
4.3. Zones d'emprunt du site intermédiaire	50
4.3.1. Zone d'emprunt 2a	50
4.3.2. Zone d'emprunt 2b	54
4.4. Interprétation des données géophysiques de site III (AMONT)	58
4.4.1. Axe du Barrage : Méthode sismique	59
4.4.2. Zone d'emprunt 03	64
4.5. Les pseudo-coupes géo-électriques	66
Conclusion générale	
References	
Annexes	

Sommaires:

LISTE DES FIGURES

n	Titre	Page
1	Situation géographique de la Wilaya de Khenchela.	2
2	Carte des principales zones aquifers	4
3	Localisation administrative de la commune de Bouhmama	6
4	Carte topographique de Khenchela au 1/50 000 (feuille n° 231-1953)	9
5	Carte des pentes de bassin versant d'Oued Mellagou	10
6	Schéma structural simplifié	12
7	Carte géologique de la commune de Bouhmama	16
8	Localisation des 3 sites sur Google Earth	18
9	Mise en oeuvre sismique réfraction	20
10	Distribution du courant crée par deux électrodes	20
11	Dispositif Wenner	21
12	Illustration du principe d'acquisition	22
13	Etapas pour l'obtention du modèle d'une imagerie électrique	23
14	Summit X Stream Pro (DMT)	24
15	Schéma d'acquisition du profile sismique (Onde P)	25
16	Dromochroniques	26
17	Système d'imagerie électrique SARIS	26
18	Résistivité de quelque roche (d'après Florsch et Muhlach, 2018)	27
19	Hodochrones et vitesse des ondes S du profil PS6	28
20	Hodochrones et vitesse des ondes S du profil PSa	29
21	implantation des profils géophysiques, image Google Earth	30
22	modèle PS1a	31
23	modèle PS1a	32
24	modèle du PS1c	32
25	modèle du PS1e	33
26	modèle du PS1f	34
27	modèle du PS1g	34
28	modèle du PS6	35
29	modèle du PS5 (a et b)	36
30	modèle du PS (a et b)	36
31	modèle du PS4 (a et b)	37
32	modèle du PS2	38
33	profil d'imagerie sur l'axe du site 1 (voir fig pour la position du profil)	38
34	Zone d'emprunt 1 (image Google Earth)	40
35	implantation des profils géophysiques, image Google Earth	43
36	modèle du PS7a	44
37	modèle du PS7b	44
38	modèle du PS7c	45

Sommaires:

39	modèle du PS7e	45
40	modèle du PS7f	46
41	modèle du PS9	47
42	modèle du PS8	47
43	profil d'imagerie sur l'axe du site 1	48
44	Zone d'emprunt 2a	50
45	implantation des SEV dans la zone d'emprunt 2b. Image Google Earth	54
46	implantation des profils géophysiques, image Google Earth	59
47	modèle du PS10a	60
48	modèle du PS10b	60
49	modèle du PS10g	61
50	modèle du PS14	61
51	modèle du PS13	62
52	modèle du PS12	63
53	modèle du PS11	63
54	implantation des sondages géophysiques dans la zone d'emprunt 3. Image Google Earth	64
55	coupes géo-électrique de : SEV01 ; SEV10 ; SEV02 ; SEV03 et SEV09	66
56	pseudo-coupe géo-électrique des: SEV08 ; SEV07 ; SEV06 ; SEV05 et SEV04	67
57	coupes géo-électrique de : SEV57 ; SEV56 ; SEV55 ; SEV54 et SEV53	67

Sommaires:

LISTE DES TABLEAUX

n	Titre	page
1	Principale unité de sols et opportunités de mise en valeur	11
2	Coordonnées des sites de la région d'étude	18

A decorative frame with a light blue border and intricate black scrollwork. The frame is rectangular with rounded corners and a central opening. The scrollwork is symmetrical and ornate, featuring floral and leaf-like patterns.

Introduction

Générale

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

La plaine de Mellagou est située dans la commune de Bouhmama, Wilaya de Khenchela. Elle fait partie des zones touchées par le problème du stress hydrique. Cette région est connue pour sa vocation agricole qui exerce une pression sur la nappe via la surexploitation et l'utilisation. De ce fait, il est impératif de trouver d'autres ressources d'eau en construisant des barrages sur les oueds de la wilaya. Le projet du barrage de Mellagou s'inscrit dans le cadre de cette démarche.

Les objectifs communs aux sites de barrage étudiés sont de définir avec un degré de précision suffisant la nature lithologique et la structure géologique des formations qui constituent la fondation du barrage et des ouvrages annexes. Les objectifs particuliers de la géophysique sont:

- ✓ Définir la limite entre couverture superficielle/rocher et si possible, la limite entre rocher sain/rocher altéré.
- ✓ Donner des informations sur la vitesse du substratum sur l'organisation des terrains immédiatement à côté de l'oued.
- ✓ Donner une image de l'argilosité des terrains dans la vallée de l'oued et l'épaisseur des alluvions.

Le manuscrit est composé de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre est exposé la situation géographique de la région d'étude, le relief et le réseau hydrographique
- Le deuxième chapitre traite la géologie régionale (stratigraphie, tectonique) de la commune de Bouhmama
- La théorie des méthodes géophysiques employées dans le cadre de ce travail est exposée dans le troisième chapitre. Une présentation succincte des trois sites est exposée dans ce chapitre
- Le quatrième chapitre est consacré au traitement, aux résultats, à l'interprétation et à la synthèse des résultats obtenus
- Le dernier chapitre a été consacré aux conclusions et aux recommandations.

A decorative frame in light blue with intricate black scrollwork and floral patterns. The frame is rectangular with rounded corners and a central opening. The text "Chapitre I" is centered within this opening.

Chapitre I

1. Présentation générale de la wilaya de Khenchela

1.1. Situation géographique :

La région de Khenchela est située au l'Est de l'Algérie, au Sud-Est du bassin versant de Constantinois ; et au contrefort du mont des Aurès entre 34°06'36" et 35°4'21" latitudes Nord; et entre 06°34'12" et 07°35'56" de longitudes Est, la Wilaya de Khenchela s'étend sur une superficie de 9.715 Km². (**Khabthane, 2010**).

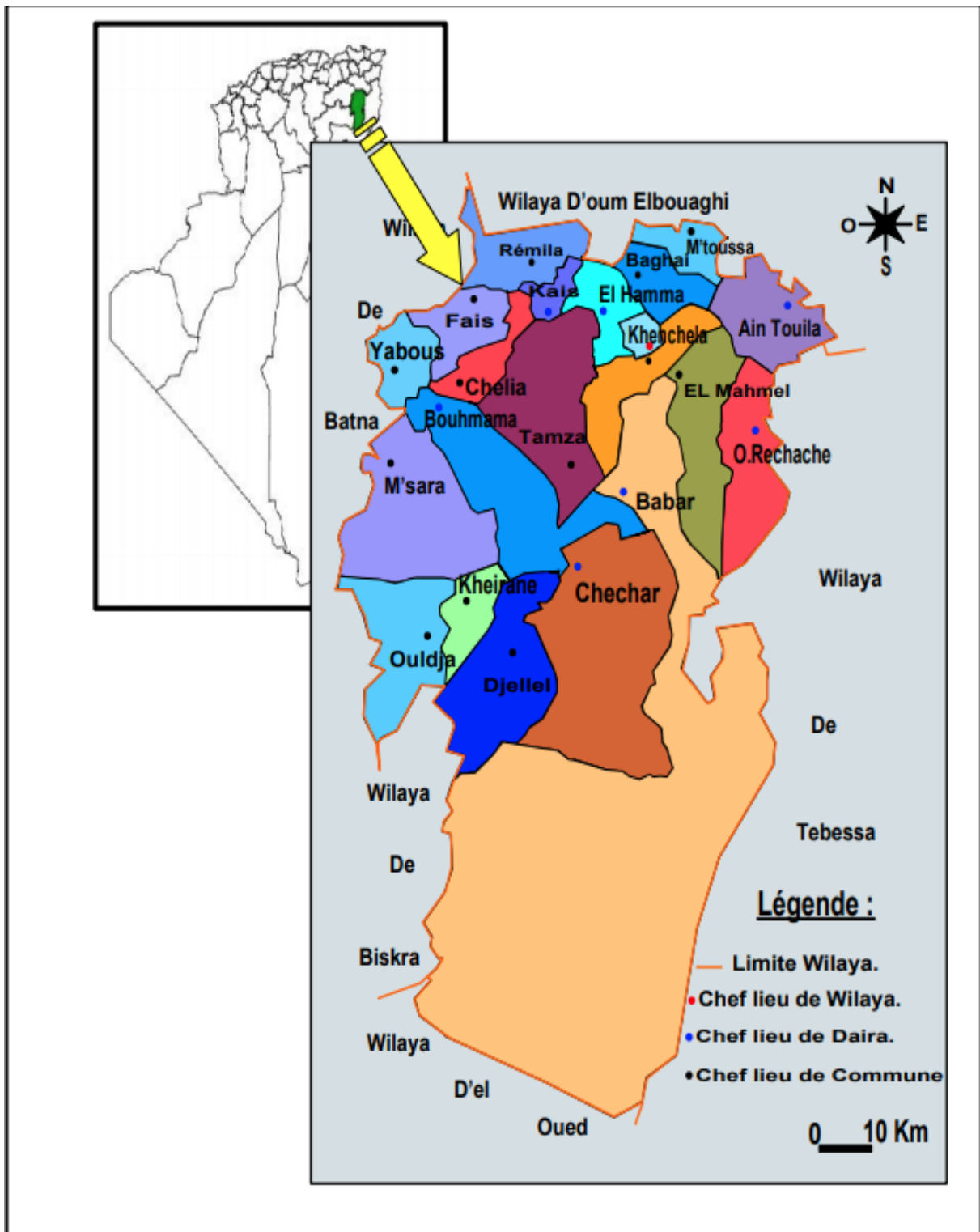
De par, de sa position géographique, la Wilaya de Khenchela est limitée par cinq (05) Wilayas, dont les liens demeurent très étroits dans tous les domaines de l'activité économique et sociale, elle constitue également, un trait d'union non moins appréciable entre le Nord/ Est et le Sud du pays. Elle se trouve ainsi, située aux portes des grandes villes du Sud et non éloignée des villes métropoles du Nord.

1.2. Situation administrative :

La Wilaya de Khenchela est issue de la refonte territoriale de 1984. Elle était rattachée entre 1977 et 1984 à trois Wilayas différentes :

- Oum El Bouaghi pour l'ex Daïra de Khenchela ;
- Tébessa pour la Daïra de Chechar ;
- Batna pour la Daïra de Kais.

Actuellement le territoire de la Wilaya est composé de 21 communes regroupées en huit (08) Daïras (dont 05 Daïras créés en 1990) : Khenchela, El-Hamma, N'signa, Tamza, Baghai, Ain-Touila, M'toussa , Bouhmama, Chélia, M'sara, Yabous, Babar, Chechar, Djelal, Khirein, Ouldja, Rachache, Mahmel, Kais, Taoiziant, Remila (**DHWK, 2012**) (**Figure 01**).



Source:Khenchela ANDIA 2013

Figure 1 : Situation géographique de la Wilaya de Khenchela.

1.3. Situation démographique :**a) La Population :**

La population totale de la Wilaya est estimée à 414.550 habitants au 31/12/2011(ANDI, 2013).

b) Le climat :

La Wilaya de Khenchela se caractérise par trois climats :

- Un climat très rude en hiver, modéré en été dans les régions montagneuses centrales;
- Un climat modéré en hiver, chaud et sec en été dans les steppes sahraouies du Sud ;
- Un climat très froid en hiver, sec en été dans les hautes steppes au Nord.

Cette diversité climatique a donné à la Wilaya un penchant naturel multiple conférant des spécificités touristiques non négligeables.

c) Les températures :

- La moyenne de tout le minimum : - 2 C°
- La moyenne de maximum: +24 C°.
- Le minimum absolu observé: - 4, 8 C°
- Le maximum absolu observé: +42 C°

Les maximums absolus observés pendant la saison estivale sont très élevés, ce qui engendre une forte évaporation pendant cette saison.

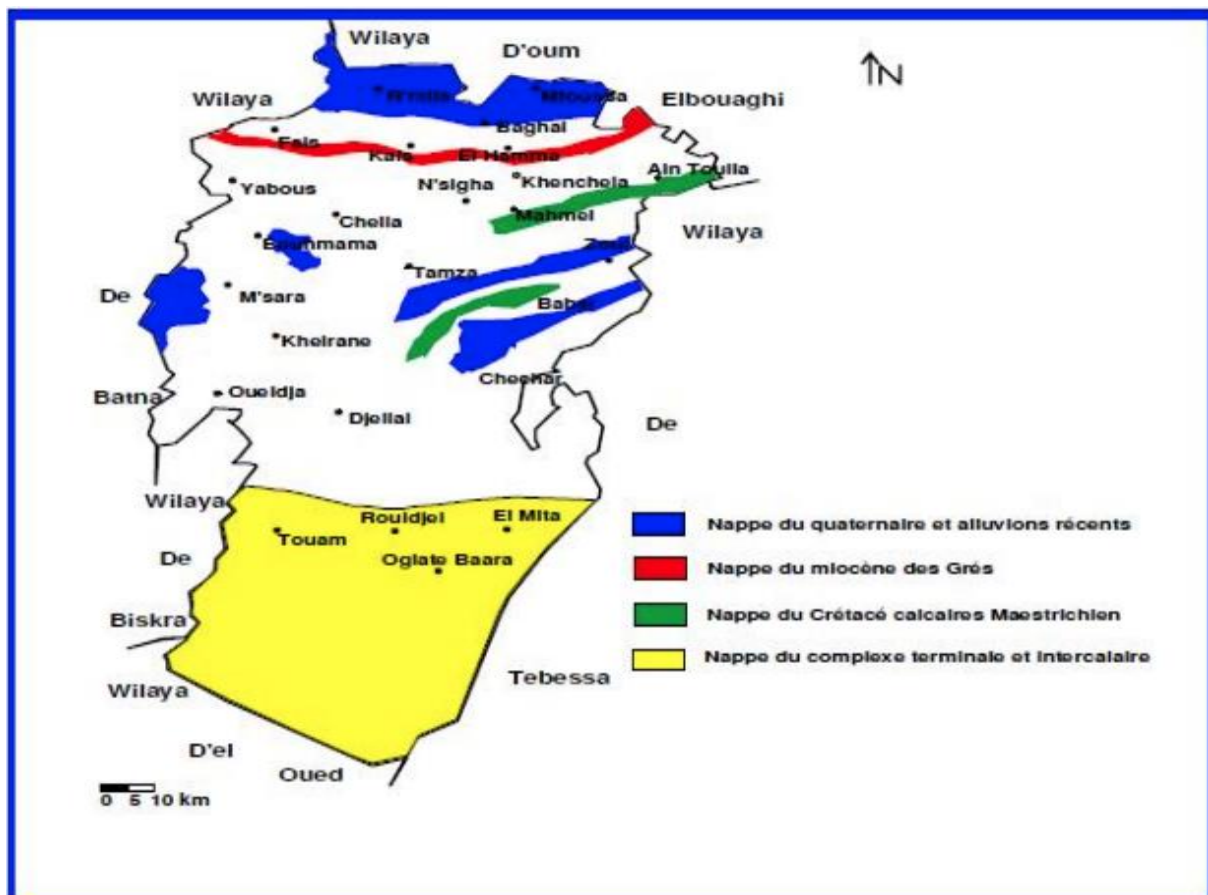
d) Les précipitations :

Les régions montagneuses du Nord-Ouest (DJ. Chélia et DJ. Aidel) reçoit entre 700 et 1200 mm de pluies par an et du Sud (les parcours sahariens) reçoit moins de 200 mm de pluies par an (Oued EL Meita) ; le reste du territoire de la Wilaya est compris entre les isohyètes 200 et 600 mm (de pluies par ans). Il a été relevé que le mois de mars est le plus humide (reçoit le plus de pluies) alors, que le mois de juillet est le plus sec (reçoit le moins de pluies). En général, les pluies de printemps sont plus importantes (une moyenne de 60,33 mm) que celles de l'automne qui ont une moyenne de 43,67 mm.

1.4. L'hydrogéologie de la Wilaya de Khenchela :

Les estimations en eaux souterraines de la Wilaya ont été établies par l'ANAT sur la base des caractéristiques de nombreux forages. Trois (03) nappes ont été différenciées, et ce grâce à leurs profondeurs moyennes :

- La nappe phréatique (en moyenne inférieure à 100 m de profondeur) est captée par plusieurs forages répartis à travers la Wilaya (Nord, Est et Sud). Cette nappe alimente plusieurs sources d'intérêt local (Ain El Fedj, Ain Karma, Ain Frenal), le point d'exsurgence de ces sources est généralement une faille ou une fracture.
- Une nappe moyenne (des grès miocènes) : sa profondeur varie de 100 à 300 m est captée par des nombreux forages à travers la Wilaya.
- Une troisième nappe peut être différenciée par sa profondeur qui varie de 300 à 600 m (nappe profonde) ; cette nappe concerne exclusivement le Sud de la Wilaya (ANDI, 2013).



Source : (D.H.W.K)

Figure 2 : Carte des principales zones aquifères

1.5. Présentation générale de région de Bouhmama :

1.5.1. Situation géographique :

La commune de Bouhmama est située dans la partie Nord-Ouest de la Wilaya de Khenchela et (dans la partie Est des Aurès) est située selon les coordonnées suivantes : 39°06'25", 39°30'25" (latitude Nord) et 4°86'10", 5°1'75" (longitude Est), presque complètement entourée d'une chaîne de montagnes (Ouldammam, et Chouarfia, 2011) (Figure n° 03):

- Nord-Ouest : Massif de Chélia ;
- Nord : Contreforts du massif de Chélia ;
- Est : Massif de Beni-Melloul ;
- Sud-Est : Gorges de Mellagou.

La commune de Bouhmama s'étale sur une superficie totale de 409 km², soit 4,20 % du territoire de la Wilaya de Khenchela. Elle est aussi, siège de Daïra qui comprend les communes de : Bouhmama, Yabous, Chélia et M'Sara. Au plan spatial, Bouhmama, présente une configuration territoire allongé du Nord-Ouest vers le Sud-Est et limitée : -Au Nord-Ouest par les communes d'Inoughissène (Batna) et Yabous au Nord-Est, par la commune de Chélia ;

- À l'Est, par la commune de Tamza ;

- À l'Ouest, par la commune de M'Sara ; -Au Sud, par la commune de Kheirane ;

-À Ouest à 37 km, à vol d'oiseau du chef-lieu de la Wilaya de Khenchela (**Anonyme, 2012**).



Source : ANDI 2013 modifier par Bouali. H

Figure 3: Localisation administrative de la commune de Bouhama

1.6. Les ressources naturelles :

La commune de Bouhama est caractérisée par deux grands ensembles physiques. Un domaine montagneux représentant plus de 64 % de l'espace communal, à l'Ouest, au Nord et à Est la seconde domine morphologique qui est la vallée d'Oued Mellagou. Néanmoins, la dominance de l'espace montagneux sur le territoire communal marque le caractère intramontagnard de la vallée d'Oued Mellagou. Ainsi plusieurs alignements de reliefs, encadrent cette dernière et sont tous orientés du Nord-Est au Sud-Ouest. Il s'agit de reliefs qui ressortent bien dans les paysages de la région et qui font partie de la zone de transition entre les Aurès à l'Ouest et les monts de Nememcha à l'Est. Bordée par le piémont Sud et Sud-

Ouest du mont Chélia, la vallée du Mellagou a une disposition spatiale Nord-Sud coupant de manière tranchante une succession de reliefs tels que Kef El Ahmeur, Kef Meda, Djebel Tarzout, Djebel Taafist tous orientés NE-SW. Du point de vue hydrologique, la plaine est drainée par l'Oued Mellagou qui prend naissance au piémont du Chélia, parcourant la dite plaine alluviale sur une quarantaine kilomètres pour se jeter dans l'Oued Al Abiod avant que ce dernier ne rejoigne l'Oued El Arabe. Sachant que celui-ci termine son parcours dans le chott Melrhir. Affluent de l'Oued El Arabe, le Mellagou est né de la conjonction de l'Oued Amar venant du Djebel Aurès, l'Oued Timarrooden et l'Oued Tafrennt. Ce dernier descend du versant Nord du Chélia en ouvrant vers l'Ouest et le Nord de bonnes percées pour les différentes voies de communication. La plaine se caractérise par des dépôts alluvionnaires hétérogènes donnant naissance à des sols riches d'où les grandes plantations fruitières rencontrées sur place. Malheureusement, dans cette partie du territoire communal, la faiblesse du réseau de communication est à l'origine d'un enclavement notable. En matière d'agriculture : Avec 3786 ha la surface agricole utile (SAU) ne représente qu'une ration de 9,3 % de la surface totale communal de 40916 ha dont 2389 ha soit 63,20 % de la SAU sont occupée par l'agriculture en sec et 1343 ha soit 35,47 % occupés par l'arboriculture (**Subdivision agriculture Bouhmama, 2010**).

1.7. Géomorphologie :

Nos connaissances géologiques sur la région d'étude sont largement inspirées des travaux et des études régionales et des synthèses sur le massif des Aurès sur les hautes plaines steppiques et sur les zones humides. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologiques et structuraux.

1.7.1. Unité topographie :

Trois unités topographiques qui caractérisent la commune. Elles se présentent comme suit :

a) La zone de montagne:

La montagne, selon la définition classique donnée par Larousse, est une «forme de relief (mont) caractérisée par son altitude relativement élevée (élévation) et, généralement, par la forte dénivellation entre sommets et fonds de vallées (**Agaguenia, 2010**).

Cette zone est occupée par la forêt de Pin d'Alep (massif forestier) et malgré une configuration de terrains très accidentés, l'érosion ne s'est pas manifestée grâce à une bonne couverture végétale (**Vila, 1977**).

b) La zone des piémonts:

La zone des piémonts est localisée au centre du territoire communal. Malgré la bonne couverture forestière, en amont protégeant cette unité contre l'érosion, un ruissèlement diffus par endroit qui se manifeste en l'absence d'une végétation pérenne. La surface de cette unité s'élève à quelques 7 774 ha et représente une portion de 18,99 % du territoire communal (Vila, 1977).

c) La zone de plaine:

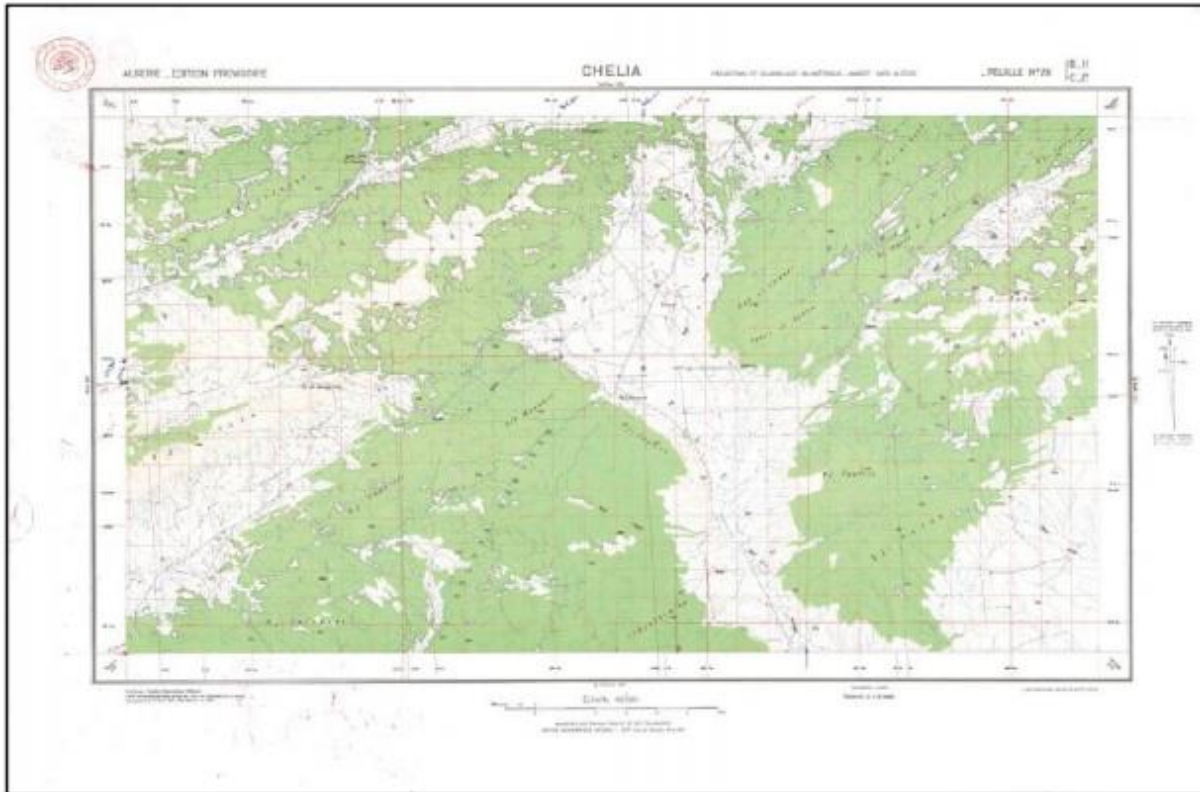
Cette zone présente une morphologie plus ou moins plate. Elle est localisée le long de l'Oued Mellagou, dont elle porte le même nom et s'étale du Chef-lieu à la limite Sud de la commune. Cette unité est imbriquée dans la zone des piémonts en aval. Elle occupe une surface de 2 148 ha soit 5,26 % du territoire de la commune, drainée par un nombre important de chaabets, qui convergent tous vers Oued Mellagou, cette plaine constitue l'essentiel des potentialités agricoles de la commune. Notons que la charge caillouteuse du sol de cette unité est très importante. Ces cailloux sont des colluvions provenant des cônes de déjection (Vila, 1977).

1.8. Le relief de Bouhmama :

L'analyse de la carte topographique de Khenchela 1/50.000 met en évidence et de manière claire le caractère du domaine montagneux de la commune de Bouhmama et à l'intérieur duquel a été creusé perpendiculairement à l'axe principal des reliefs montagneux la vallée d'Oued Mellagou.

Le système morphologique dominant à caractère montagneux se manifeste sur le terrain à travers le Djebel Chélia au Nord, culminant à 2328 m, le Djebel Tarzout à 1240 m, le Djebel Tirhezza à plus de 1220 m à l'Ouest, Kef El Ahmeur à 1459 m, Guern El Kebch à 1411 m, Djebel Taafist (1505 m) et Djebel Tebak à 1308 m à l'Est (Vila, 1977), (Figure n° 04).

Quant au domaine déprime drainée par l'Oued Mellagou représenté par une vallée dont l'orientation est perpendiculaire à l'axe principal d'orientation du relief montagneux, les altitudes passent de 800 m au Sud (à la confluence entre l'Oued Mellagou et Oued El Arabe) à 1200 m au Nord au piémont du Djebel Chélia.



Source: Institut Géographique National (IGN)

Figure 4: Carte topographique de Khenchela au 1/50 000 (feuille n° 231-1953)

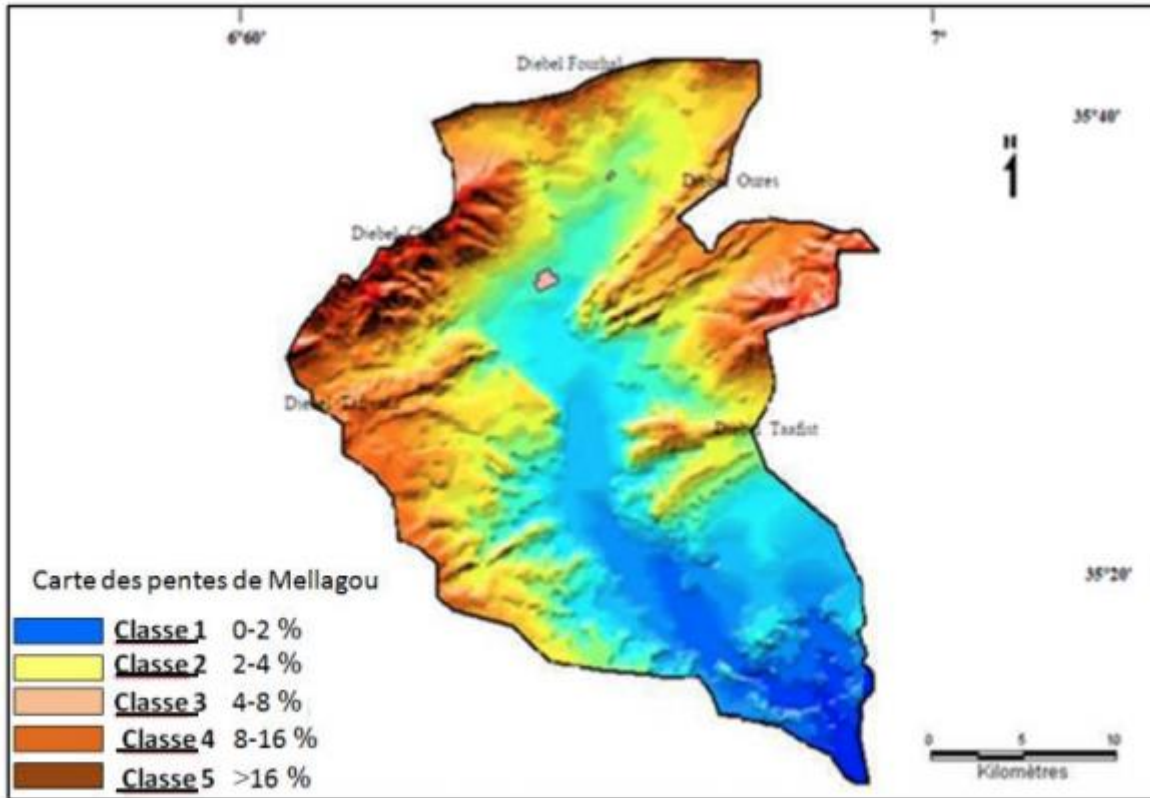
1.8.1. Les pentes:

Les classes de pente de la plaine de Mellagou peuvent être résumées à partir de la Figure n 05 qui permet de visualiser le dispositif d'agencement orographique de la commune. IL s'agit, en effet de cinq classes topographiques:

- ✓ Les deux premières (0-2%) et (2-4%) : concernent la partie de la vallée d'Oued Mellagou
- ✓ La deuxième classe (4-8%) : correspond aux zones de piémont des reliefs montagneux concernant la vallée d'Oued Mellagou (Chélia au Nord, Djebel Taafist à l'Est, Ras Tirhezza à l'Ouest).

La troisième et quatrième classe (8-16%) et (> 16%), correspondent aux parties hautes des principaux alignements de reliefs qui incluent les points les plus hautes des reliefs de la commune. Cet aperçu a permis de relever afin, que plus de 85% de l'espace communal se situe à plus de 1000 m d'altitude et à scinder l'orographie en deux grandes entités géomorphologiques en l'occurrence les monts et les dépressions. De ce fait, la classent dans la catégorie des communes à caractère montagneux. Du Nord au Sud de cet espace communal s'agence une succession d'alignements montagneux orientés Sud-Ouest / Nord-Est qui

s'alternent avec d'étroites zones déprimées, à l'exemple de la dépression de Tamza. Cet ensemble a été creusé, perpendiculairement, à l'axe principal des montagneux par Mellagou créant, de ce fait, une vallée d'une longueur de près de 30 km dont la largeur varie de 5 km au Nord à 200 m au Sud.



Source les cartes topographiques: Toufana, Chélia. Toubount.Dj DjahfaetTaberdga1:50 000

Figure 5: Carte des pentes de bassin versant d'Oued Mellagou.

1.9. Aperçu pédologique de la région de Bouhmama :

L'étude des ressources en sols consiste à mettre en évidence les formes du relief (la morphologie), la lithologie et à travers le territoire communal dans l'objectif de déterminer les potentialités, les contraintes et présenter les orientations d'aménagement adéquates

- ✓ Sols minéraux bruts Lithosols: Ces sols sont caractéristiques des zones accidentées. Localisés sur les sommets, au Nord de la commune. Il représente une superficie insignifiante (1000 ha soit 2,44 %) par rapport à la surface communale et n'a aucune valeur agricole.
- ✓ Sols peu évolués d'apport colluvial: Ces sols sont localisés dans la zone des piémonts, ils sont chargés en cailloux en surface et en profondeur. Ils occupent 11 538 ha, soit 28,19 %

de la surface communale. Leur valeur agricole est moyenne et est apte à une agriculture de montagne (arboriculture) et au reboisement pour l'extension du couvert forestier.

- ✓ Sols calci-magnésiques carbonatés «rendzines humifères»: Ces sols calcaires, moyennement profonds la tapissent la majeure partie de la forêt Beni-Melloul. Ils ont tendance à évoluer vers les sols bruns forestiers. Ce sont des sols riches en matière organique et représentent le type de sol forestier par excellence. Ils constituent une bonne partie du massif forestier de Beni-Melloul. En termes de valeur agricole, ce sont de bons sols, mais au vu de l'occupation actuelle (forêt), ces sols doivent être préservés contre toutes formes d'érosion. Ces catégories de sols occupent environ 12 000 hectares, soit 29,32 % de la surface communale.
- ✓ Sols calci-magnésiques saturés Rendzines brunifiés humifères : À la différence des sols précédents, ce type est moins de calcaire et plus riche en matière organique. Ils tapissent la majeure partie du massif forestier des Beni-Melloul. L'évolution naturelle de ce type de sol est le brun forestier. Ce sont de bons sols forestiers, donc, à préserver. La surface occupée par cette unité s'élève à 14 194 ha soit 34,69 % du territoire communal.
- ✓ Sols calci-magnésiques saturés bruns calciques : Ce sont des sols évolués, profonds. Ils conviennent à une large gamme de cultures. La meilleure utilisation de ces sols reste l'arboriculture fruitière en intensive (pommier). La surface de cette unité s'élève à 2 184 hectares soit 5,33 % de la superficie totale de la commune.

Unités morphologiques	Sup.(ha)	Localisation	Caractéristiques	Opportunité
Sols minéraux bruts L	1 000	Zone montagneuse (sommets)	Pentes > 25	Aucune
Sol peu évolué d'apport colluvial Acl	11 538	Piémonts	Pentes 12,5 - 25 % peu profonds, chargés en surface et en profondeur	Forêt, Parcours, Arboriculture de montagne (espèces rustiques), Reboisement
Sols calcimagnésiques carbonatés Rendzines humifères (CsRzh)	12 000	Zone montagneuse	Pentes 12,5 - 25 % et > 25 % Matériaux carbonatés Moyennement profond	Bons sols forestiers
Sols calcimagnésiques saturés rendzines brunifiés Humifères CsRzBH	14 194	Zone montagneuse VII hautes altitudes	Pentes 12,5 - 25 % et > 25 %. Moyennement, profonds	bons sols forestiers
Sols calcimagnésiques saturés calciques CsBQ	2 184	Haut plain II	Pente 3-12,5 % Profonds	Bons sols agricoles convient à l'arboriculture fruitière (pommier)

Tableau 1 : Principale unité de sols et opportunités de mise en valeur



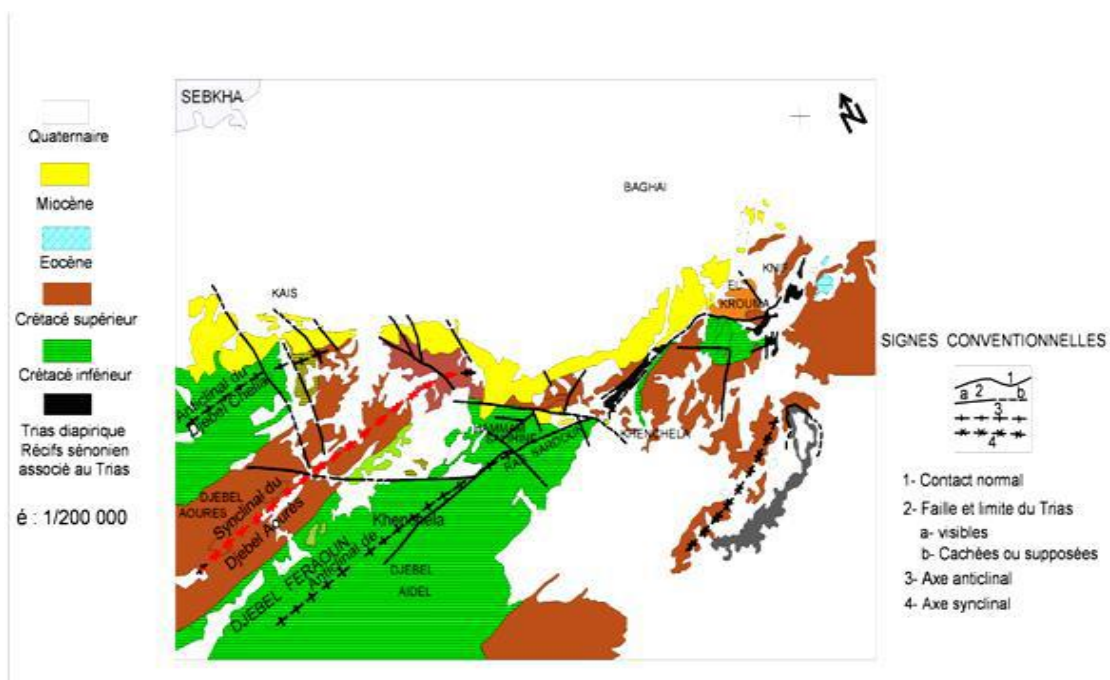
Chapitre II

2. La géologie de la région d'étude :

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d'une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques. La plupart de ces études ont été axées sur les caractères stratigraphiques, géomorphologiques, sédimentologies et structuraux (**Laffitte, 1939; Guiraud, et al.1973**).

En dépit, de la diversité des structures et morphologiques dans cette région des Aurès, marquées, à la fois, par ses massifs montagneux imposants tels que le Djebel de Chélia, ses zones de piémont sur lesquels se sont développés d'importants cônes de déjection marquant le passage entre le domaine de montagne et de plaine, la structure géologique reste dans son ensemble assez simple :

- Des anticlinaux et synclinaux balisant le domaine de montagnes et de piémonts organisé dans leur ensemble selon une direction NE-SW.
- Des plaines et des vallées évasées résultantes, soit de la dynamique érosive et /ou de l'évolution géologique et qui correspondent, soit à des synclinaux perchés, soit à des anticlinaux évidés ou à des structures plus complexes.



Source : Extrait de la carte géologique de Khenchela 1 : 200000

Figure 1: Schéma structural simplifié (D'après J.M.VILA)

Les formations de ces différents ensembles appartiennent généralement au Secondaire avec le Trias, le Jurassique et le Crétacé et au Tertiaire avec des formations oligo-éocènes, miocène et pliocènes.

Le Quaternaire, quant à lui, reste limité aux dépôts de versant et aux formations alluviales des bassins et des principaux Oued des zones. Toutefois, il faut souligner que les terrains affleurant de la commune de Bouhmama relèvent, essentiellement, de l'ère secondaire avec, seulement, deux époinements triasiques ²

L'analyse stratigraphique des principaux affleurements de la commune de Bouhmama ne peut se faire qu'à travers une étude globale du bloc Aurès-Nememchas et de l'examen des styles de la déformation souple et cassante. Une étude qui, sans doute, permet de comprendre et de suivre aisément les caractères géologiques de ce domaine.

2.1.La Stratigraphie :

La stratigraphie de la commune de Bouhmama se caractérise, essentiellement, par la prédominance des terrains secondaires. Les terrains quaternaires ne sont présents que dans la vallée de l'Oued Mellagou et dans la zone déprimée d'Ez-Ziriz. À noter, aussi, que les plus anciens terrains signalés dans cette zone sont les faciès triasiques qui, dans la plupart des cas, sont mis en place grâce au diapirisme.

2.1.1.Le Quaternaire :

Les dépôts quaternaires représentés par des dépôts colluvio-alluvionnaires sont développés au débouché des zones de relief sous forme de cônes de déjections, par des éboulis de gravité sur les terrains accidentés et en contrebas des escarpements et des corniches tel que Kef El Ahmeur.

À noter aussi, l'importance des dépôts alluvionnaires de l'Oued Mellagou et de ces principaux affluents qui recouvrent les formations crétacées situées dans la vallée due dit Oued Mellagou.

À noter également, la présence de formations alluvionnaires argilo-limono-sablo conglomératiques, développées sur les terrasses de l'Oued Mellagou et de ses principaux affluents.

L'histoire géologique des terrains mésozoïques de cette région débute par les terrains triasiques et se termine par le Crétacé supérieur en passant par les formations crétacées inférieure et moyenne et le tous se terminent par le Quaternaire.

2.1.2. Le Crétacé :

Hormis, les sédiments quaternaires et les deux époinçements triasiques, l'ensemble des terrains composant le territoire communal de Bouhmama appartient à la période crétacée. Ainsi, la quasi-totalité des affleurements secondaires étudiés de la commune va du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur avec des faciès très variés allant des marnes aux calcaires en passant par les marno-calcaires et les grès.

a) La crétacée supérieure :

Cet ensemble est composé de marnes avec, à la base et au sommet, quelques barres de marno-calcaires. Cette formation affleure dans la zone déprimée comprise entre les Djebels Tebak et Kanouf. C'est la partie qui joue le rôle de jonction entre l'Oued Mellagou. Cette formation est délimitée dans sa partie occidentale par une faille parcourant la rive droite de l'Oued Mellagou avec une direction Nord-Ouest/Sud-Est. On retrouve aussi cet affleurement dans la zone localisée au Sud/ Sud-Est de Ktef Es Souda.

a) Le Turonien :

Cette formation est composée par une alternance de marnes grises et de calcaire zoogénique noduleux d'une épaisseur de 150 mètres et à sa base quelques mètres de marnocalcaires blanchâtres en plaquettes fines à cassures noirâtres bitumineuses. Elle représente plus de 50 % de la superficie du territoire communal.

b) Le Cénomaniens supérieur :

La partie supérieure de cet étage est constituée de calcaires sous la forme d'une barre avec cassures écailleuses et au sommet se retrouve un niveau de nodules de pyrite constituant un repère constant dans la région. L'épaisseur de cette formation est de 30 mètres.

c) Le Cénomaniens moyen :

C'est une puissante formation de 650 mètres de marnes grises à micrites gris blanchâtre fins tests de lamellibranches.

d) Le Cénomaniens inférieur :

Il s'agit des marnes grises à biomicrites argileuses grises avec des niveaux de glauconies d'empreintes d'ammonites et ayant une épaisseur de 100 mètres. L'ensemble de la formation cénomaniens affleure entre les Djebels Tafrennt et Taourirt à l'Ouest et Kef El Ahmeur et Djebel Taafist à l'Est.

2.1.3. Le Crétacé inférieur :

a) L'Albien :

Cette formation affleure sur le versant Sud et Sud-Est du Chélia juste en contre bas des terrains aptiens. Elle entoure régulièrement le Djebel Chélia en formant une ceinture continue au-dessus de l'Aptien. Ayant une épaisseur de 160 mètres. Elle est composée, essentiellement, d'une alternance de grés et de marnes grises, de dolomies et d'argiles.

b) L'Aptien :

Cette formation affleure sur le versant Sud et Sud-Est du Chélia juste en contre bas des terrains barrémiens. Elle est composée, essentiellement, de bas en haut par:

- ✓ Des grés blancs;
- ✓ De marnes grises.
- ✓ Des calcaires marneux;

Cet étage se distingue par des calcaires fortement minéralisés ayant une épaisseur totale de 330 mètres.

c) Le Barrémien :

Il affleure au Sud et Sud-Ouest du versant du Djebel Chélia sur une distance d'environ 11 km. Il est délimité dans sa partie supérieure par la ligne de crête entre Timchtaouine et le Nord-Ouest du lieu-dit ferme Moussa El Ayat en passant par Tala Bergés. Sa lithologie est constituée, essentiellement, des matériaux détritiques (gris, calcaires gréseux, conglomérat et marnes verte ou rouges).

2.1.4. Le Trias :

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (Villa, 1977), dans lesquelles divers éléments sont reconnaissables tels que des cargneules jaunâtres, des dolomies noires, des calcaires, des gypses marneux et fibreux. Tous ces éléments sont englobés dans une masse argileuse de couleur verte. Ces roches triasiques forment, en général, des diapirs marqués par un contact anormal avec les formations les plus récentes. Les seuls pointements triasiques du territoire de Bouhmama se localisent au Djebel El Kanouf plus précisément à 02 km à l'Est du Marabout de Sidi Mohamed et dans la partie sommitale de Ktef Es Souda soit à 4,5 km à l'Est-Sud-Est du lieu-dit Marabout (la carte n° 07).

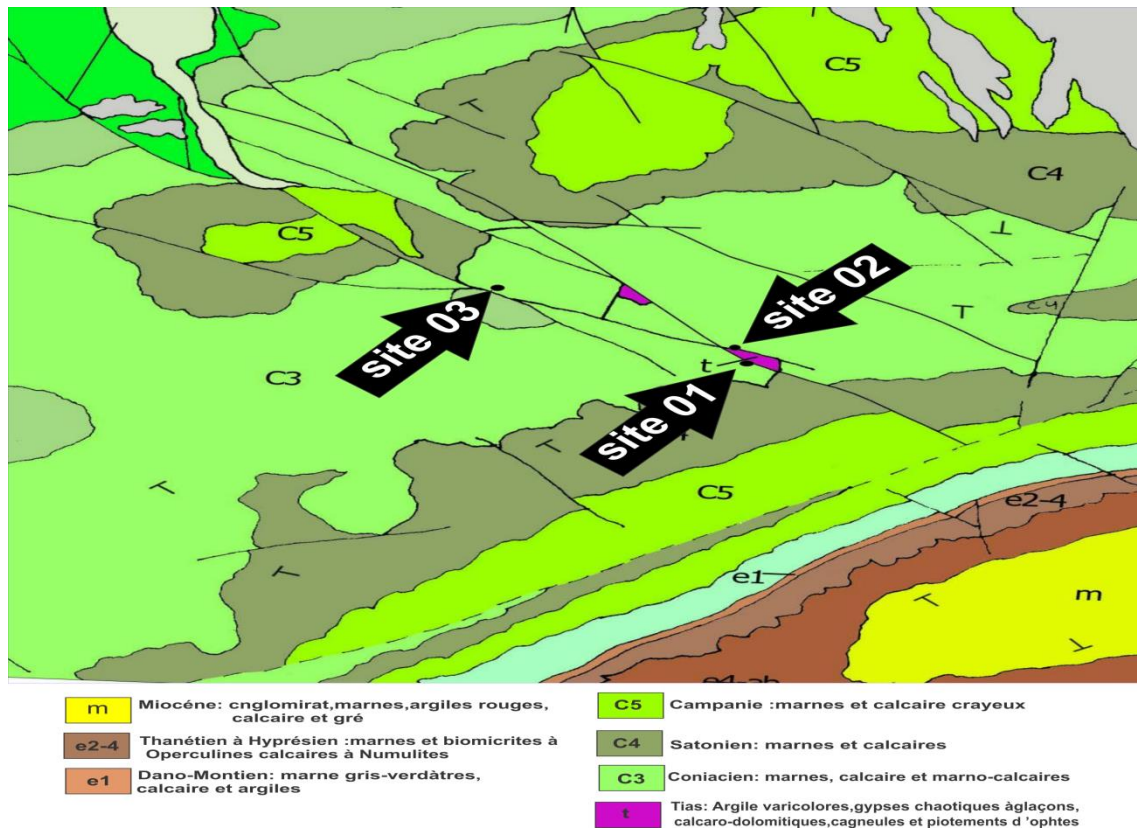


Figure 2: Carte géologique de la commune de Bouhmama

2.2. Les mouvements tectoniques dans la région d'étude :

La dynamique caractérisant le plissement des grands ensembles de cette zone est à l'image de celle ayant marqué l'ensemble des régions atlasiques. En dépit de la complexité des certaines structures et des complications orographiques dues à l'inversion topographique, la dynamique ondulatoire générale est, à la fois, simple et imposante par les masses mobilisées. Quant à la tectonique de cette région, elle se caractérise par sa conformité au style de la déformation cassante de l'ensemble du domaine atlasique et par son orientation constante suivant la direction générale de ce domaine atlasique à savoir NE-SW. Toutefois on dénombre l'existence des failles transverses suivant la direction NW-SE. C'est le cas de la faille délimitant le Djebel Ichemoul du côté oriental (à l'Est d'Arris) et celle de Théniet Rerras. Dans la commune de Bouhmama, il existe aussi la faille d'orientation NW-SE suivie partiellement par Oued Mellagou, affluent d'El Abiod-El Arabe.

Notons aussi que l'anticlinal du Djebel Chélia dont la voûte est visible à l'Est est affecté par des accidents cassants orientés NW-SE et qui probablement peuvent être rattachés à d'anciens coulissements alpins.

A decorative frame in light blue with black scrollwork and flourishes. The frame is rectangular with rounded corners and a central opening. The scrollwork is intricate, featuring acanthus leaves and floral motifs. The text "Chapitre III" is centered within the frame.

Chapitre III

3. Théorie des méthodes géophysiques :

La mission géophysique a consisté en deux méthodes : méthode sismique (sismique réfraction) et méthode électrique (sondages verticaux et imagerie électrique). à mis à notre disposition les documents suivants :

- Eude de faisabilité relative au projet de réalisation du barrage de Mellagou dans la Wilaya de Khenchela.
- Rapport des investigations géotechniques du site 1-Aval et site 2-Intermédiaire.SIFOR Avril 2014.
- Le levé topographique de la région

3.1. Objectifs :

Les objectifs communs aux sites de barrage étudiés sont de définir avec un degré de précision suffisant la nature lithologique et la structure géologique des formations qui constituent la fondation du barrage et des ouvrages annexes.

3.2. Présentation de la zone d'étude :

La zone de l'aménagement de Mellagou est située à environ 15 km au sud-ouest de la ville de Khenchela, dans la partie orientale de l'Atlas Saharien. L'oued Mellagou est un affluent rive droite de l'oued El Arab.

Trois sites potentiels pour l'implantation du barrage ont été identifiés. Deux, de caractéristiques assez similaires, sont regroupés à l'Aval et le troisième site est à l'Amont, à l'entrée des gorges. Les coordonnées UTM32N des trois sites sont :

Sites	X (m)	Y (m)
Sites 1	310000	3889250
Sites 2	309750	3889850
Sites 3	304850	3892200

Tableau 1 : Coordonnées des sites de la région d'étude

3.3. Aperçu géologique :

3.3.1. Sites du barrage :

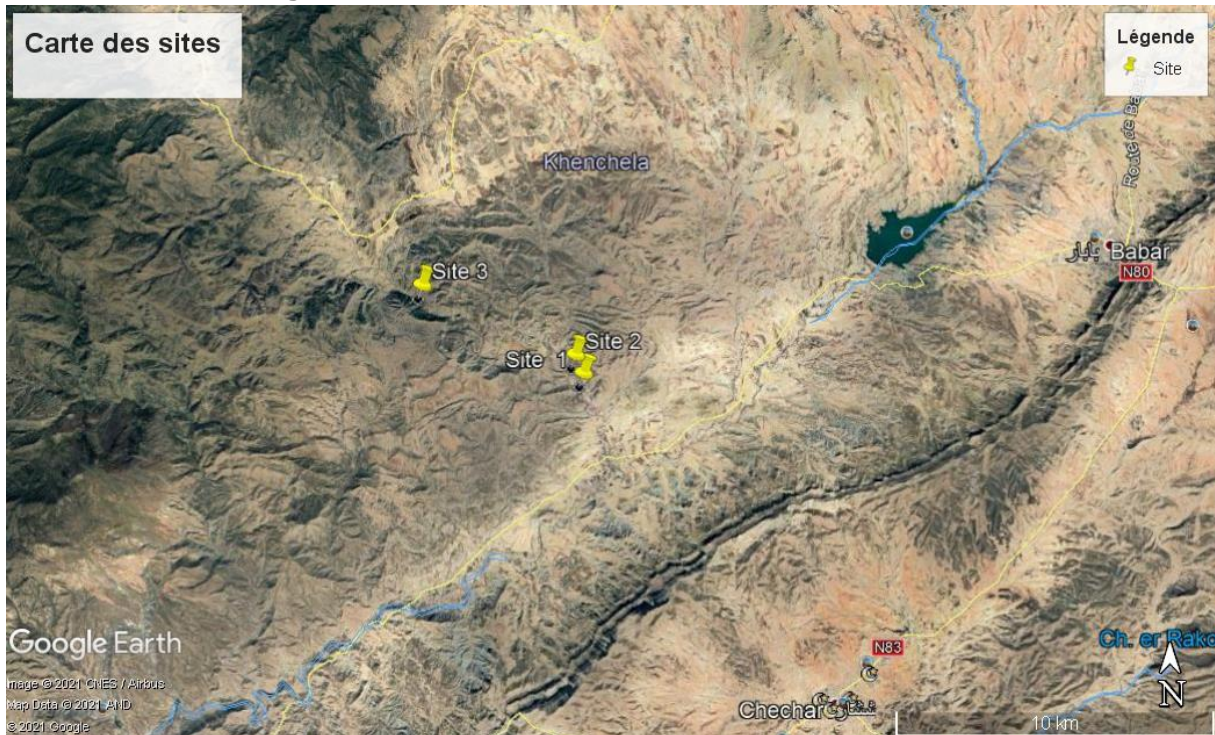


Figure 1: Localisation des 3 sites sur Google Earth

3.3.2. Site 1 Aval et Site 2 Intermédiaire :

La géologie du site et de la cuvette est dominée par des marnes grises, intercalées par des bancs calcaires d'épaisseur décimétrique à infra-métrique, très espacés. L'ensemble des couches est disposé dans une structure géologique régulière, caractérisée par le pendage faible, d'environ 15° , vers l'aval, soit vers le S-E. Au droit du site prévu pour implanter le barrage, l'Oued Mellagou coupe à travers les couches marneuses et calcaires. La vallée de l'Oued est ici perpendiculaire à la direction des couches. Le fond de l'oued, large et plat, est occupé par les dépôts de la terrasse récente. Ces alluvions sont généralement dominées par les fractions fines. Sur les versants, l'épaisseur des terrains de couverture est généralement négligeable. En RD, un éboulement ancien, d'ampleur limitée, recouvre localement le substratum marno-calcaire. Dans la zone du projet et, plus particulièrement, en rive gauche au large des deux axes aval (Site 1- Aval et Site 2 - Intermédiaire), la géologie est marquée par la présence de masses de gypse. Lors de la première inspection de terrain, on a pu constater la continuité d'une masse de gypse d'une longueur supérieure à 3 km et d'une largeur de l'ordre

de 100 m. Il s'agirait, suivant les éléments disponibles, d'une zone de fracture, supposée subverticale, qui aurait été injectée par le gypse. Des épanchements de gypse plus amples sont possibles localement, comme c'est probablement le cas au lieu-dit El Djebess, mais ceci reste à confirmer par le levé géologique.

3.3.3. Site 3 – Amont :

En contraste avec les sites aval, le site amont est caractérisé par un fond de vallée plus étroit, sa largeur étant de l'ordre de 10 à 20 m. La nature des roches reste semblable aux formations du site aval, avec des marnes prédominantes et de rares intercalations de bancs calcaires. Ce qui distingue surtout ce site amont est la forte déformation tectonique, matérialisée sur le terrain par une zone de cisaillement dans le lit de l'oued, par un plissement serré et par la présence de calcaires bréchiques, très fracturés.

3.3.4. Zones d'emprunts et carrières:

Selon le rapport-P.005713-RP-03-A, des quantités plus ou moins importantes de sols argileux se trouvent à l'amont des trois axes identifiés. Les quantités nécessaires pourraient être assurées par l'exploitation de plusieurs zones d'emprunt. Une seule zone potentiellement intéressante pour l'exploitation en carrière, comportant des bancs de calcaires épais, a été identifiée.

3.4. Méthodologie géophysique adoptée :

3.4.1. Aperçus théoriques :

Nous donnerons ci-après un aperçu théorique des méthodes géophysiques utilisées.

3.4.2. Méthode sismique réfraction :

En sismique réfraction, une impulsion, telle que la chute libre d'une masse, émise à la surface du sol se propage sous forme d'ondes coniques dans des milieux supposés stratifiés et homogènes. Elles se réfractent au niveau des interfaces suivant les lois de Snell-Descartes. Les arrivées à la surface du sol des ondes réfractées sont captées par des géophones. Le principe de la sismique réfraction est basé sur le calcul du temps des trajets des ondes sismiques directes et réfractées.

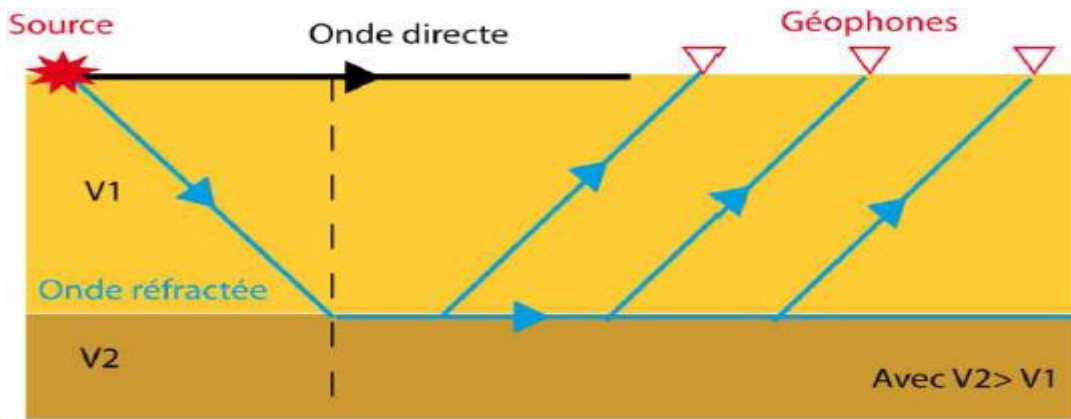


Figure 2: Mise en oeuvre sismique réfraction

Le pointé des temps des arrivées premières nous permet de construire les courbes dromochroniques : temps=f (distances). La loi de Snell fournit les éléments mathématiques nécessaires pour tracer le trajet des réfractées. Les pentes des dromochroniques fournissent les vitesses sismiques et on calcule les différentes épaisseurs des couches géologiques.

3.4.3 Méthode électrique :

La prospection électrique est basée sur l'interprétation du contraste de résistivité dans le sous-sol. La méthode consiste à injecter un courant (I) dans le sol, à l'aide de deux électrodes A et B dites d'injection, et de mesurer la différence de potentiel par l'intermédiaire de deux électrodes M et N dites de réception. A partir de ces mesures, on détermine la résistivité apparente de la partie du sous-sol.

Embrassée par les filets du courant injecté selon la formule: $\rho_a = k \frac{\Delta v}{I}$

K : étant le facteur géométrique du dispositif.

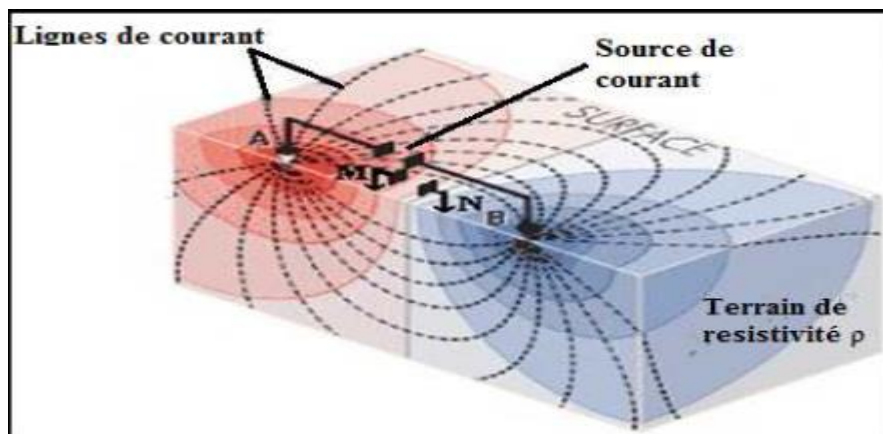


Figure 3: Distribution du courant créée par deux électrodes

3.4.4. Sondage électrique :

Le sondage électrique nous renseigne sur la distribution électrique verticale, en un point donné à la surface. Les SEV ont été réalisés en utilisant un dispositif Schlumberger où l'écart entre les électrodes de mesure est constant au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection. On obtient ainsi un sondage de la résistivité en profondeur sous le centre du dispositif. La distance MN est petite par rapport à AB. En général $MN \leq AB/5$. Pour

Le dispositif Schlumberger,
$$k = \pi \frac{AM \cdot MN}{MN}$$

3.4.5. Trainé électrique :

Cette méthode consiste à réaliser un ensemble de points de mesure le long de profils en déplaçant un dispositif de longueur fixe. Les trainés électriques ont été réalisés en utilisant un dispositif Wenner (*figure n° 11*) où l'écart inter-électrode (a) est constant. Le trainé électrique permet de suivre la continuité latérale d'une couche. Pour le dispositif Wenner, $K = 2\pi a$. Avec $a = AM = MN = NB$.

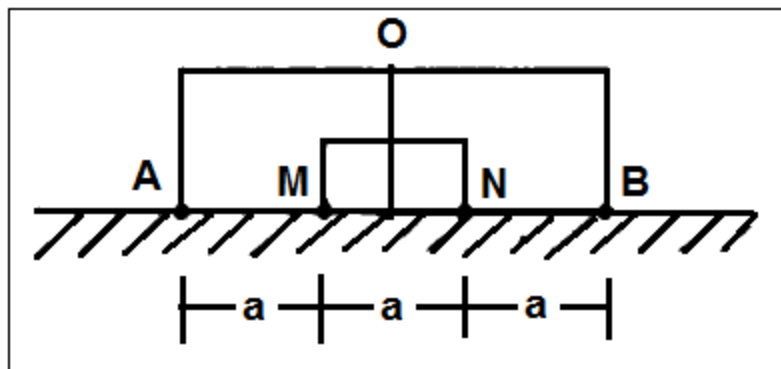


Figure 4: Dispositif Wenner

3.4.6. Imagerie électrique :

L'imagerie électrique appelée aussi tomographie électrique ou ERT (Electrical Resistivity Tomography) est une méthode électrique qui correspond à la conjonction de deux techniques

(trainé et sondage électrique). Voir figure ci-après. On peut dire qu'un profil d'imagerie résulte d'une succession de trainés électriques à différentes profondeurs d'investigation. Un profil d'imagerie est l'équivalent de centaines de mesures de trainées électriques.

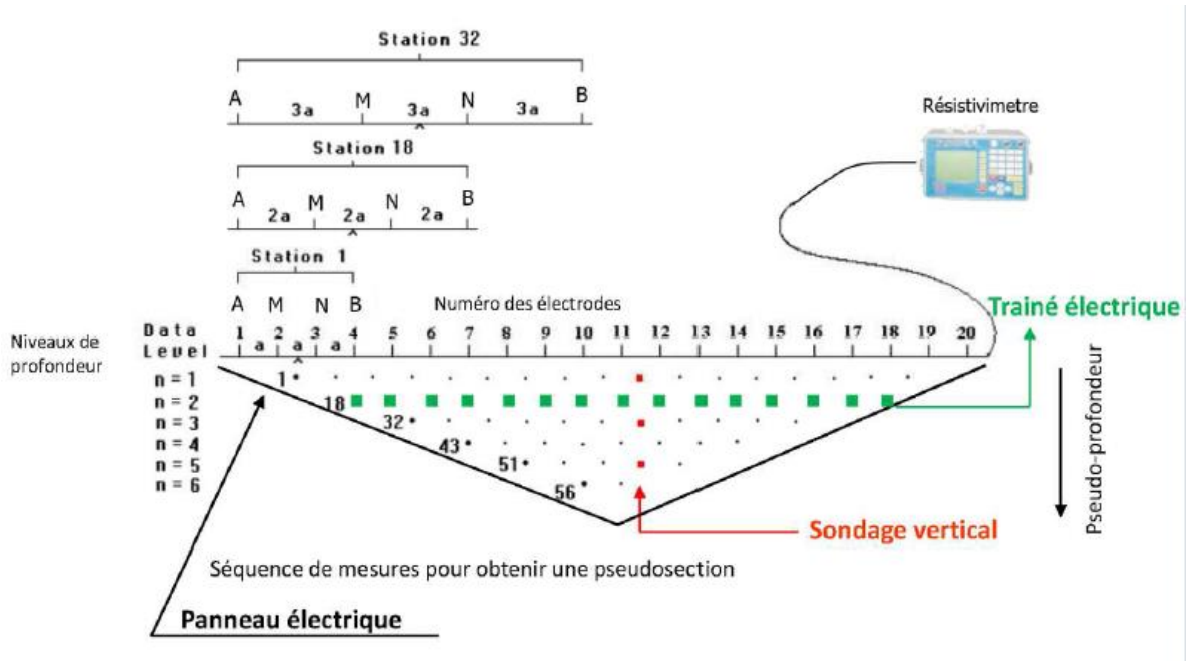


Figure 5: Illustration du principe d'acquisition

Ceci permet d'avoir une image géo-électrique en 2D (ou même en 3D) des variations de résistivité électrique vraie du sous-sol en fonction de la profondeur comme illustré par la figure n° 13 ci-après (particulièrement, partie C).

Tomographie de résistivité électrique (ERT)

– Inversion géo-électrique : déconvolution du signal mesuré

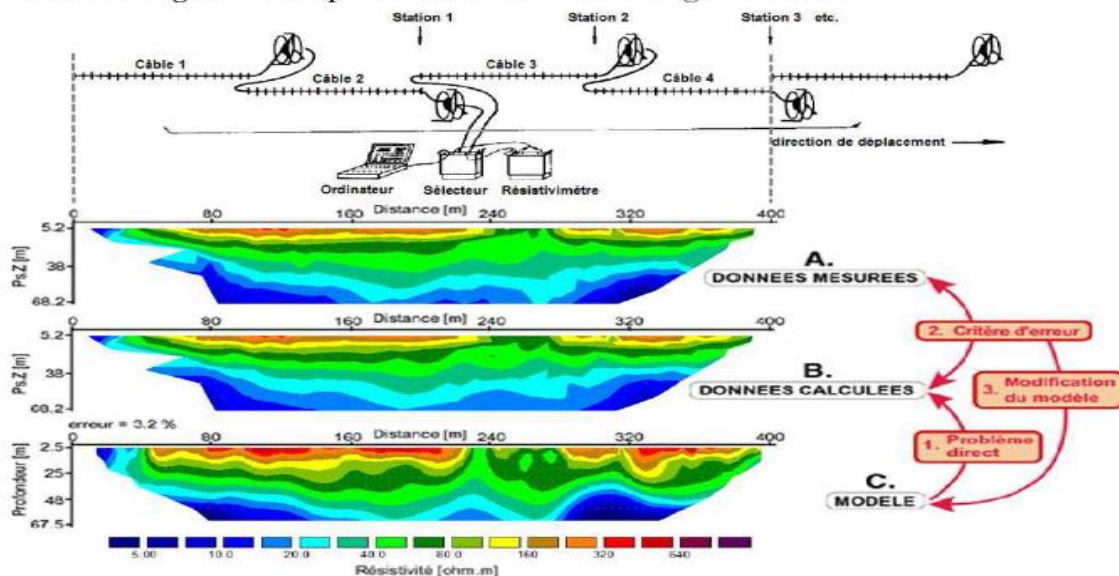


Figure 6: Etapes pour l'obtention du modèle d'une imagerie électrique

3.4.7. Acquisition et traitement des données:

L'acquisition des données géophysiques sur le site se sont déroulés du 12 au 21 Juin 2014 et du 04 au 05 Août 2014. Durant les travaux de prospection, les conditions de terrain ont été plus ou moins favorables au bon déroulement de l'acquisition des données. Il y a eu des chutes de pluies importantes lors des trois (03) premiers jours ce qui nous a menés à arrêter à chaque fois l'acquisition. D'ailleurs, il y a eu une crue de l'Oued durant le 1er jour (12 Juin) Après, les conditions climatiques ont été plus clémentes (pas de pluie et pas de vent). L'équipe de terrain était composée de 03 ingénieurs géophysiciens et 04 manœuvres.

3.4.8. Méthode sismique :

Le matériel utilisé pour la réalisation des profils sismiques est le SUMMIT X STREAM Pro de DMT (*figure n° 14*).

Les accessoires utilisés sont les suivants :

- Un câble sismique avec 24 sorties (take out) espacées de 5m,
- 24 géophones verticaux de fréquence 10Hz,
- 12 géophones horizontaux de fréquence 10Hz,

- Une alimentation (batterie 12V),
- Un marteau (10 Kg),
- Une plaque métallique.

A cela, il faut ajouter :

- Un appareil photo numérique,
- Un ordinateur portable,
- Un GPS de navigation,
- Un véhicule de terrain



Figure 7: Summit X Stream Pro (DMT)

Nous avons utilisé des dispositifs de 24 géophones espacés de 5m. Lorsqu'un profil est composé de plus d'un dispositif, un géophone de recouvrement est utilisé (le dernier Géophone d'un profil correspond au 1^{er} du dispositif suivant). Il y a 7 points de tirs par Dispositif et ont été effectuées comme suit :

- ✓ Tir offset à 30 m du géophone 1.
- ✓ Tir direct à 2.5m avant le 1^{er} géophone.
- ✓ Tir entre les géophones 6 et 7.
- ✓ Tir entre les géophones 12 et 13.
- ✓ Tir entre les géophones 18 et 19.
- ✓ Tir inverse à 2.5m du 24^{ème} géophone.
- ✓ Tir offset à 30 m du géophone 24.

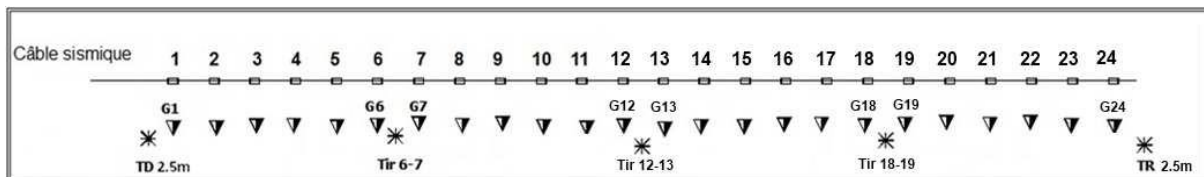


Figure 8: Schéma d'acquisition du profil sismique (Onde P)

Après l'acquisition des données, il est nécessaire de les arranger et charger les différents tirs sismiques avec leur géométrie sur un logiciel d'interprétation sismique réfraction. Dans notre cas ici il s'agit du logiciel multi modules "ReflexW" (Sandmeier Scientific –Allemagne). Plusieurs étapes doivent être respectées avant d'arriver à l'étape finale qui est le modèle de vitesse recherché et qui approchera le plus possible la réalité. Ces étapes débutent par :

- le chargement des données sismiques avec la géométrie des tirs.
- le pointé des premières arrivées
- la construction des dromochroniques « travel-times », que l'on peut voir dans la figure ci-dessous.

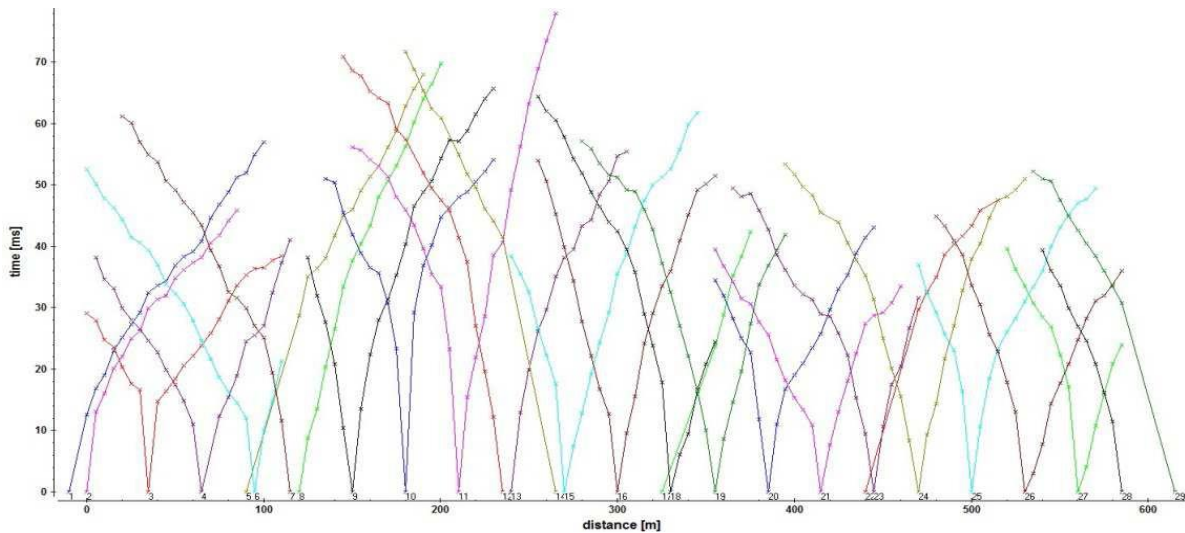


Figure 9: Dromochroniques

- L'interprétation des courbes et le choix du nombre des couches
- L'utilisation de la méthode d'inversion (ReflexW : inversion du front d'onde) (cette méthode est basée sur le calcul du trajet du front d'onde qui correspond le mieux au trajet réel de l'onde réfractées).
- Obtention, analyse et validation du modèle final.

3.4.9. Prospection électrique:

Le système électrique utilisé pour les sondages et l'imagerie électriques est le SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System) de Scintrex.)



Figure 10: Système d'imagerie électrique SARIS

Les accessoires nécessaires sont les suivants :

- Câblage AB et MN
- Electrodes en acier inoxydable de 55 cm de longueur et de 1,4 cm de diamètre.
- Une alimentation (batterie 12V),
- Marteaux, décamètres.

Les sondages électriques sont de type Schlumberger (AB=100m et AB=200m) et le profil d'imagerie est de type Wenner (longueur de ligne de 240m et a=05m). De ce fait, un profil d'imagerie est l'équivalent de d'au moins cinq (05) profils de trainés électriques avec des espacements différents.

L'interprétation des courbes de sondages a été réalisée en utilisant le logiciel «IPI2WIN » (Version 3.0), élaboré par Moscow State University. Elles sont données sous forme de tableau donnant la résistivité et l'épaisseur de chacune d'elle.

L'interprétation des profils d'imagerie a été faite avec le logiciel, Res2Dinv de GEOTOMO SOFTWARE. Le résultat est une image électrique du sous-sol. Il est à noter que les estimations des épaisseurs et des résistivités dans toute l'interprétation qui va suivre a été étalonnée avec les sondages des forages.

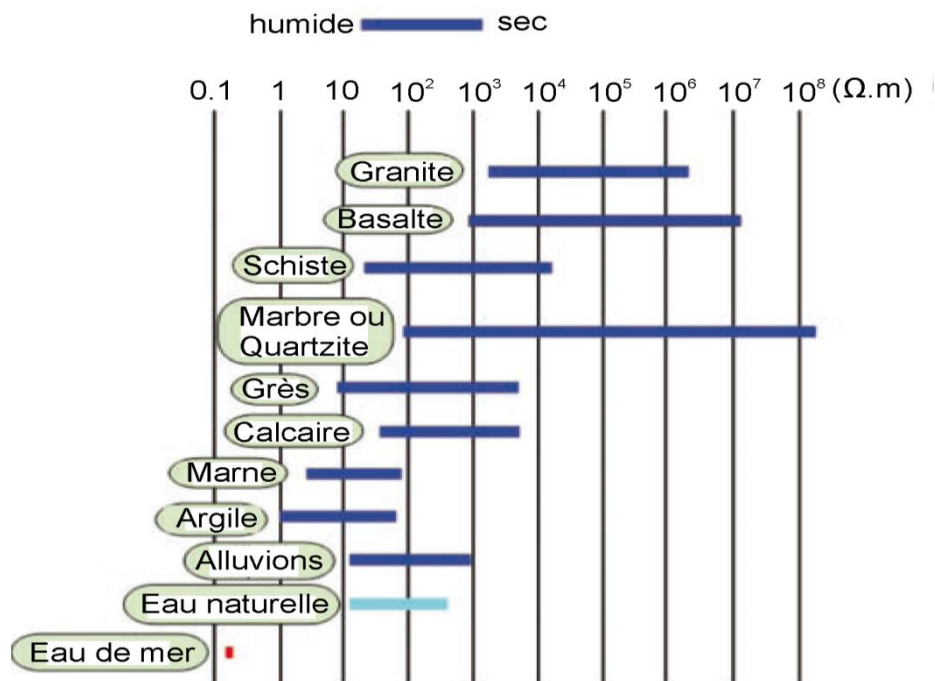


Figure 11: résistivité de quelques roches (d'après Florsch et Muhlach, 2018)

A decorative frame in light blue with intricate black scrollwork and floral patterns. The frame is rectangular with rounded corners and a central opening. The text "Chapitre IV" is centered within this opening.

Chapitre IV

4. Résultats et discussion :

4.1. Interprétation des données géophysiques du site I (AVAL) :

4.1.1. Site 1 – Aval :

Les profils sismiques (PS) et sondages électriques verticaux (SEV) sont situés dans la partie aval du barrage.

Il a été réalisé :

- Seize (16) bases sismiques par ondes P,
- Deux (02) bases sismiques par ondes S
- Treize (13) sondages électriques verticaux (SEV) dont 7 avec AB de 200m et 6 avec AB de 100m.
- Un (01) profil d'imagerie électrique.

4.1.2. Profils sismiques ondes S et Modules dynamiques :

Les ondes de cisaillement (S) ont été enregistrées sur le profil PS6 et PS (partie a). Ceci a été fait dans l'objectif d'avoir des informations sur les modules dynamiques qui seront utiles par la suite dans construction du barrage.

L'analyse des vitesses des ondes de cisaillement Vs des deux profils "PS, PS6" a permis de classer le site, d'après le RPA99 (Règlement Parasismique Algérien, largement utilisé dans la construction des bâtiments et ouvrages), dans la catégorie S2, soit un site ferme, car la vitesse moyenne des ondes de cisaillements est de 570 m/s pour le profil PS et 740 m/s pour le profil PS6.

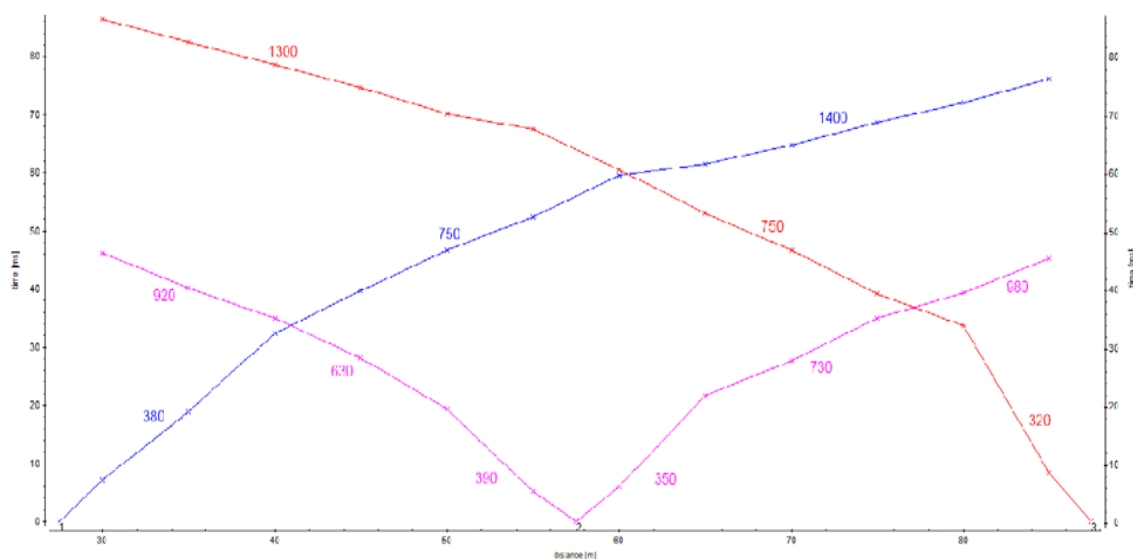


Figure 1: Hodochrones et vitesse des ondes S du profil PS6

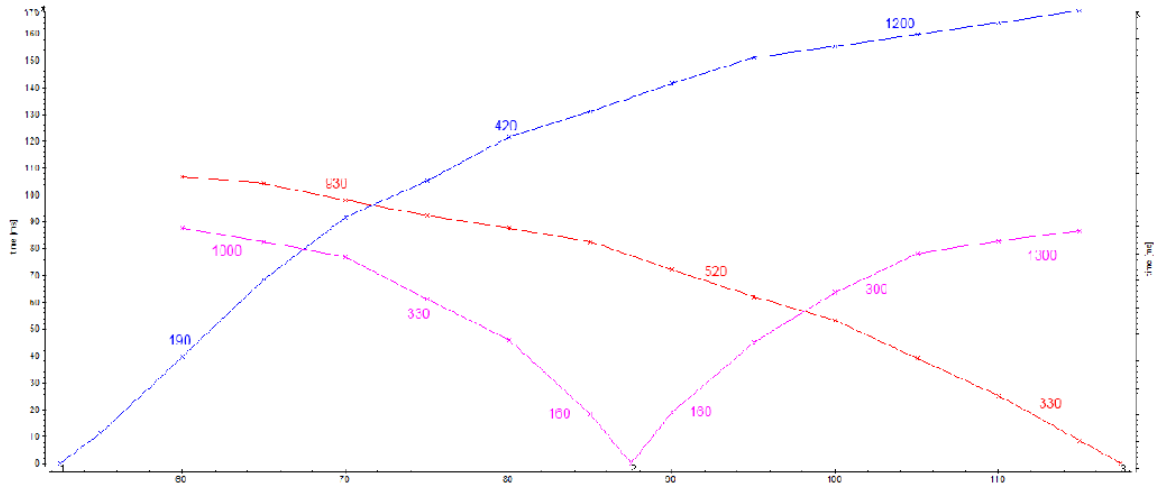


Figure 2: Hodochrones et vitesse des ondes S du profil PSa

La modélisation du comportement aux vibrations (séismes ou autres...) d'une structure et de son terrain de fondation nécessite la détermination des caractéristiques géodynamiques du terrain. Ces caractéristiques sont représentées par le coefficient de Poisson (σ) et les modules dynamiques de Young (E) (raideur), de Cisaillement (G) et d'incompressibilité (K). La détermination "In-situ" de ces paramètres est effectuée à partir de la mesure des vitesses sismiques de compression (VP) et de cisaillement (VS) dans le terrain. Les relations suivantes sont valables dans un milieu élastique, homogène et isotrope :

- coefficient de Poisson:
$$\sigma = (v_p^2 - 2v_s^2) / 2(v_p^2 - v_s^2)$$
- module de cisaillement dynamique:
$$G_{dyn} = \rho v_s^2$$
- modules d'élasticité dynamique:
$$E_{dyn} = 2\rho v_s^2(1 - \sigma)$$
- module d'incompressibilité:
$$K_{dyn} = \rho(v_s^2 - \frac{4}{3}v_s^2)$$

Où V_P : Vitesse de compression [m/s]

V_s : Vitesse de cisaillement [m/s]

ρ : Densité du matériau [g/cm³]

G_{dyn} , E_{dyn} et K_{dyn} [Mpa].

4.1.3. Axe du barrage - Méthodes électriques :

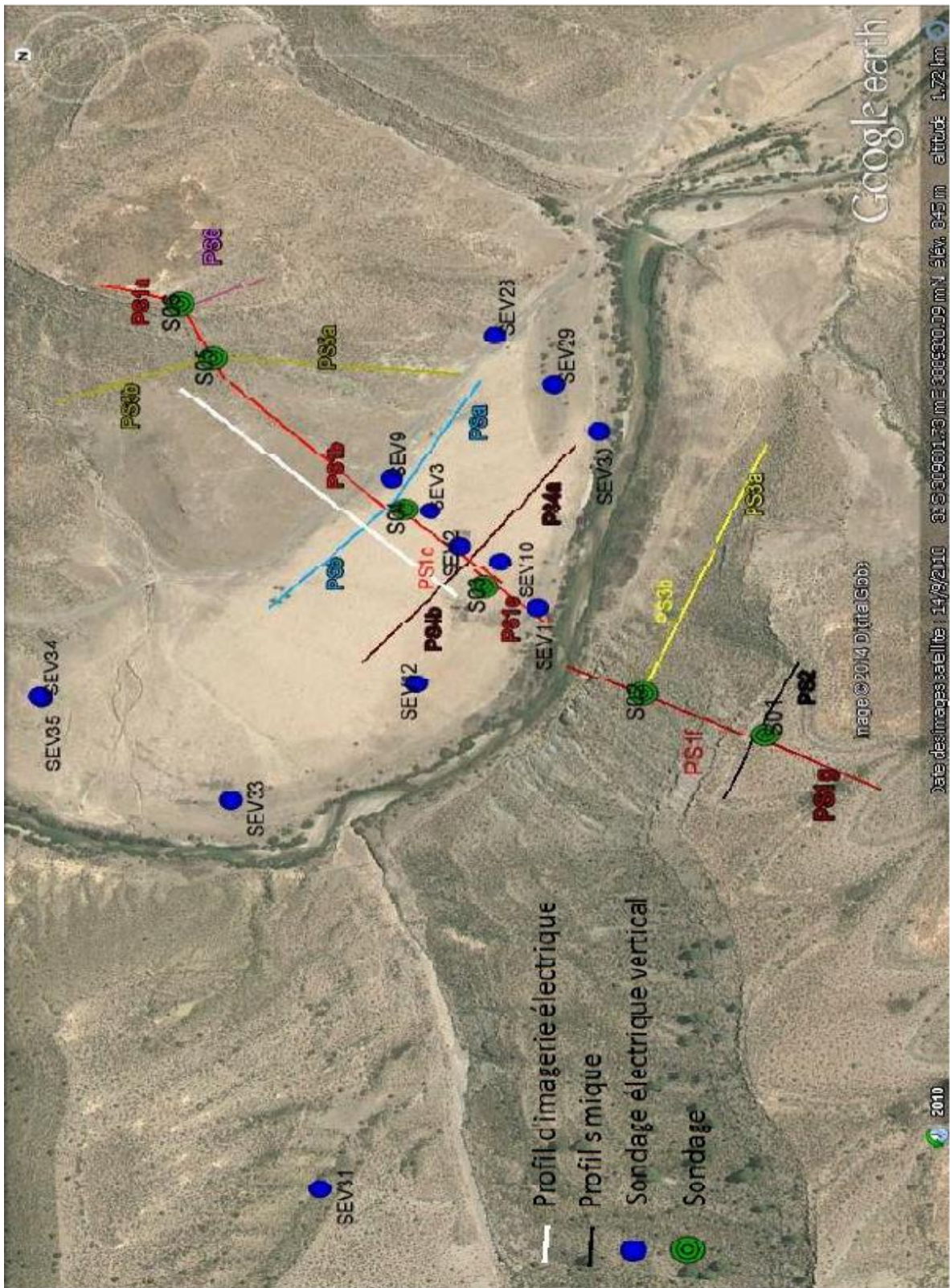


Figure 3: implantation des profils géophysiques, image Google Earth.

4.1.4. Axe du Barrage : Méthode sismique :

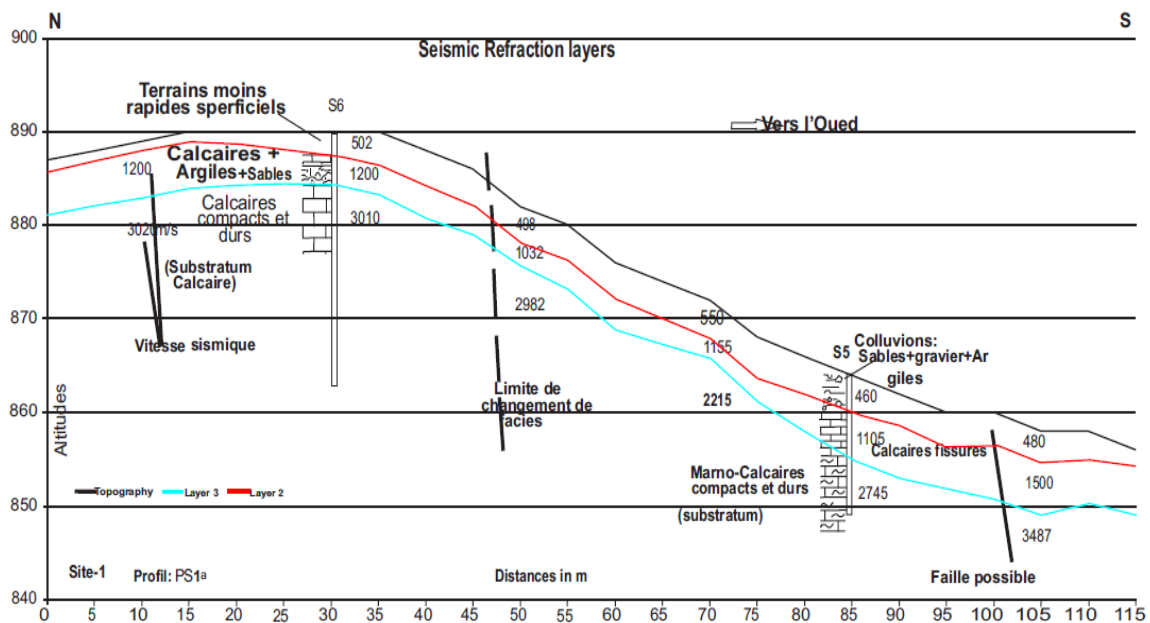


Figure 4: modèle PS1a

Le modèle montre qu'il est constitué de (03) couches. La première superficielle allant de 1 à 4m d'épaisseurs et des vitesses faibles (460 m/s à 500m/s). Ces vitesses caractéristiques des alluvions et colluvions grossiers, des sables et des graviers. Comme le montre le calage avec les sondages S05 et S06. La deuxième couche, plus rapide (1030 à 1500 m/s), est constituée d'argiles et de calcaires fissurés. Son épaisseur varie entre 3et 5m. La troisième couche représentant un substratum sismique et probablement le substratum géologique, est la plus rapide (2210 m/s à 3490m/s) allant des calcaires durs et compacts au Marno-calcaires durs et compacts vers la direction de la vallée, sa profondeur varie entre 6 et 9m. Il est à noter que les vitesses sismiques du début de profil avoisinent les vitesses caractéristiques du gypse, mais les calcaires compacts et durs sont aussi dans la plage de (3000 à 5000m/s) en plus le calage avec le sondage S06 montre qu'il s'agit de calcaires. La géométrie du niveau 3 ne montre pas un pointement salifère à moins que cette intrusion soit à une profondeur pas atteinte par ce profil sismique. Si les calcaires du dessus ont une vitesse supérieure à 3000 m/s, la réfraction ne peut se faire avec une vitesse plus faible au-dessous. Le modèle en général montre une continuité des niveaux sédimentaires avec une variation graduelle de facies du versant vers le lit de l'oued.

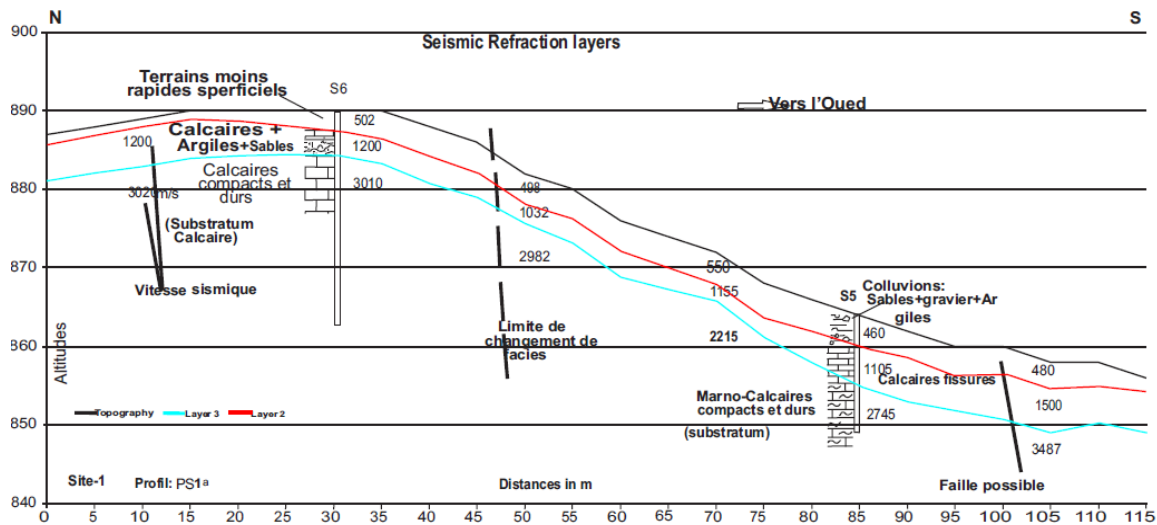


Figure 5:modèle PS1a

Profil PS1a :C'est la première base du grand profil PS1. Il traverse les deux sondages S05 et S06 et est situé sur la partie rive gauche du site.Le modèle montre 03 couches. Une couche sommitale altérée constituée de limons sablo-graveleuses Avec des vitesses très faibles (300 à 450 m/s) et des épaisseurs allant de 1 à 3m. La couche intermédiaire, plus épaisse et plus rapide (1000 à 1400 m/s), est constituée d'alluvions grossiers et un matrice argileuse. Son épaisseur varie entre 5 et 8m. Le dernier niveau est composé de calcaires compacts à Marno-calcaires, (2100 à 3700 m/s) et la profondeur varie entre 5 et 9m.

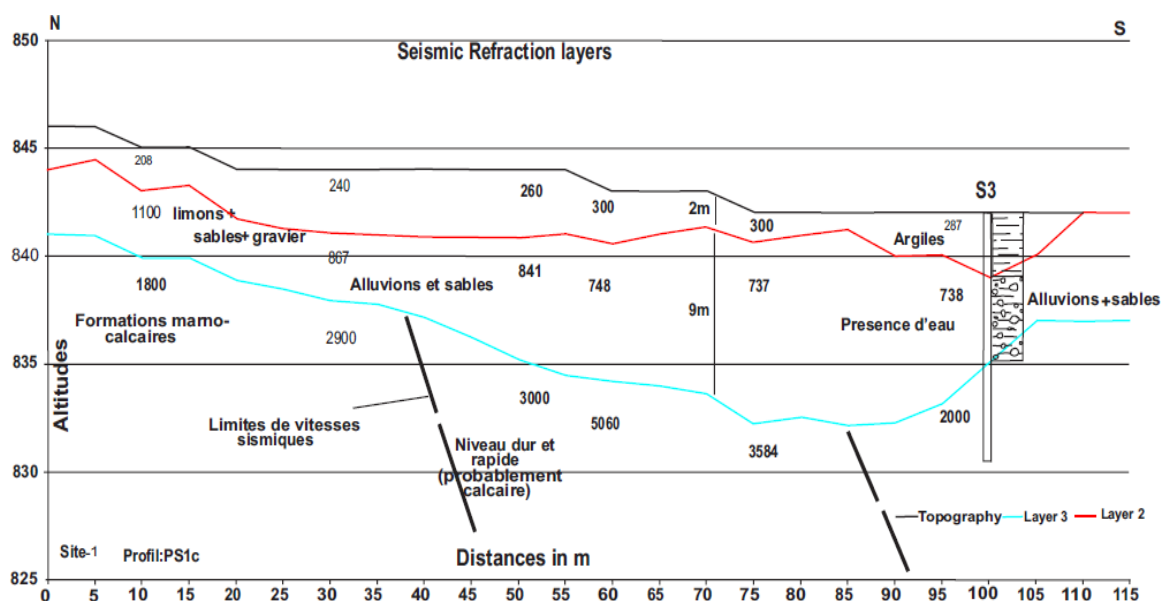


Figure 6: modèle du PS1c

Profil PS1c : Ce profil rencontre le sondage **S03** dans sa partie finale qui débute le lit de l'oued. Son modèle montre **03** couches, avec un évanouissement de la première couche superficielle et altérée dans sa terminaison sud. Ce premier niveau a vitesses sismiques faibles (300m/s) et d'épaisseurs variant de (3 à 0m) est Constitué d'argiles limoneuses. Le deuxième niveau qui s'épaissit dans la partie sud a des vitesses variant de 730 à 1200 m/s est constitué d'alluvions grossières (sables et graviers). Son épaisseur va de 3m au Nord à 8m au Sud. La sismique ne (voit) pas les strates telles que décrites en détails dans le log du sondage, cela est dû au faible contraste de vitesses qui existe entre les interfaces de ces couches et/ou à leur faible épaisseur. Ces dernières qui varient de 1700 à 5000 m/s faisant varier les faciès de Marno-calcaires altérés à calcaires compacts et durs pratiquement à l'aplomb du milieu de profil. La profondeur de ce niveau varie entre 5 et 10m.

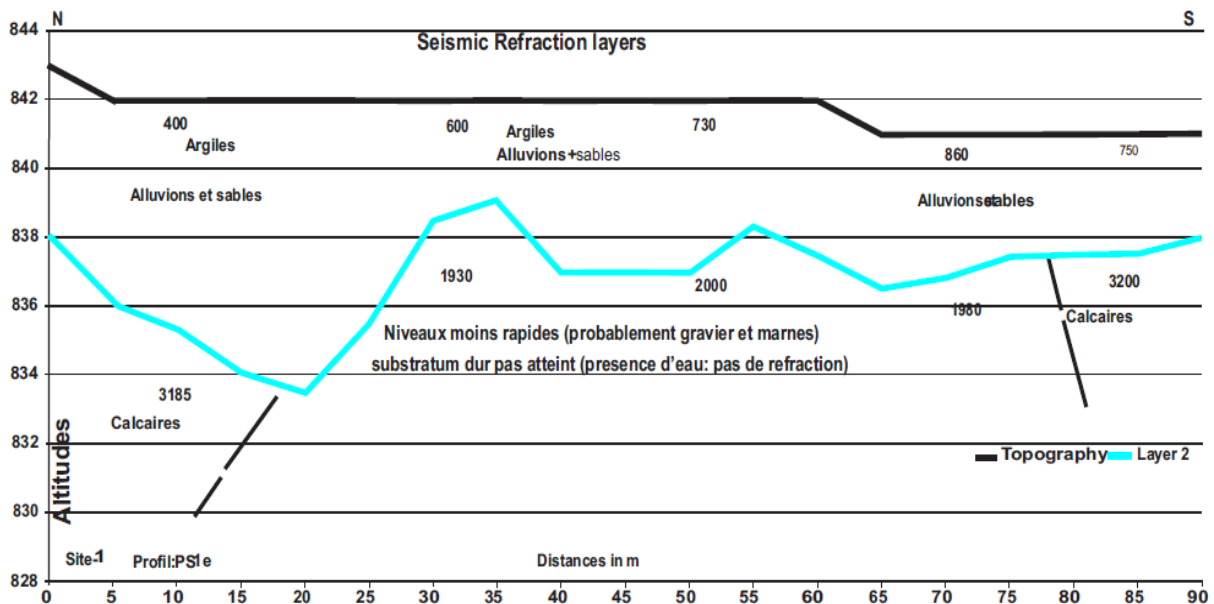


Figure 7: modèle du PS1e

Profil PS1e : Il rencontre aussi le sondage S03, son modèle est constitué de deux couches équivalentes aux niveaux 2 et 3 du profil PS1c et est sur le lit de l'oued de cette vallée évasée. Le premier niveau est constitué d'argiles, d'alluvions et de sables dont les vitesses varient de 400 à 860 m/s et les épaisseurs de 3 à 8m avec un dépôt-centre dans la partie nord. La partie centrale du niveau basal a des vitesses faibles aussi, peut-être à cause de la prépondérance des dépôts marneux et graviers ainsi que la présence d'eau (1980 à 2000m/s). Dans les extrémités c'est les vitesses des calcaires compacts et durs qui s'imposent (>3000m/s).

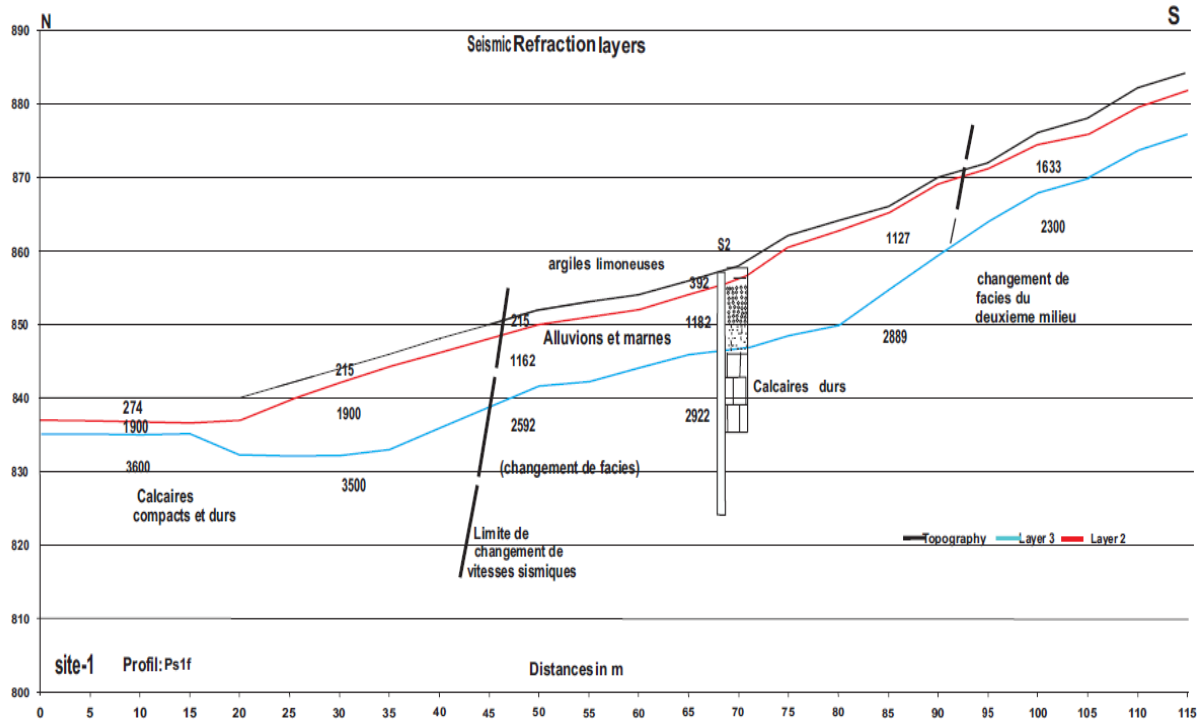


Figure 8: modèle du PS1f

Profil PS1f : Ce profil est positionné sur la rive droite de l’oued, caractérisé par une forte pente. Il est topographiquement proche du sondage S02 dans sa partie centrale. Le modèle a 03 couches franches à partir de 20m de sa partie Nord. Le premier niveau est à vitesses faibles 300 à 400 m/s (Argiles limoneuses) et une épaisseur moyenne de 1m. La deuxième couche est constituée d’alluvions et de marnes (1200 à 1900 m/s) dont l’épaisseur varie entre 2 et 5m. La troisième couche est constituée de calcaires variant de durs à fissurés avec des vitesses de 2500 à 3600 m/s. et des profondeurs allant de 5 à 12m.

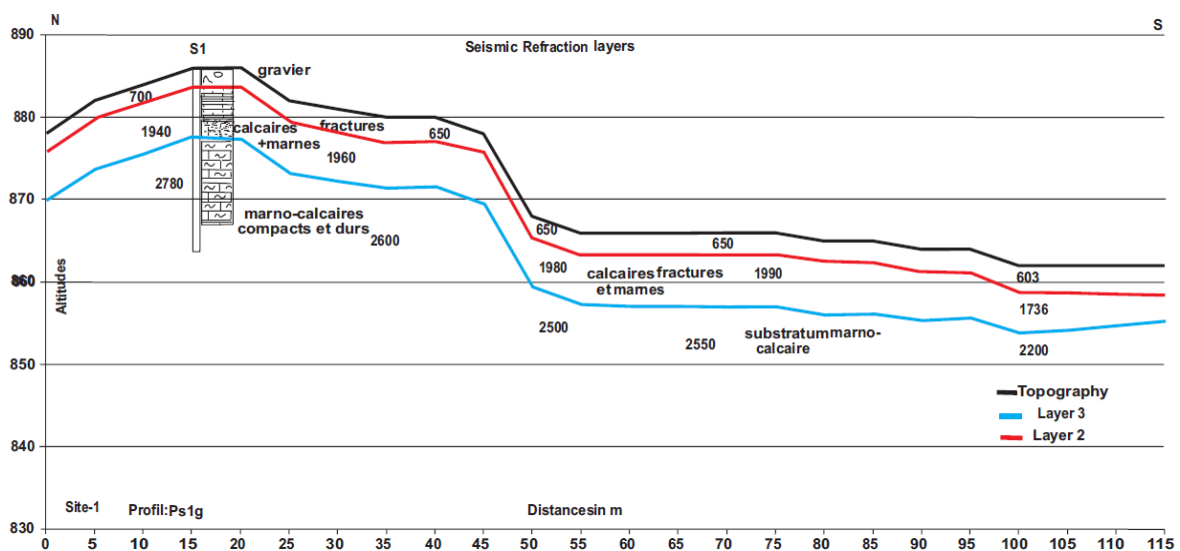


Figure 9: modèle du PS1g

Profil PS1g : Dernière base du profil PS1, il est situé sur la rive droite proche du sondage S01. Son modèle comprend 03 couches, dont la première, forme une couverture assez uniforme d'une épaisseur de 2m côté Nord et de 1m côté Sud. Sa vitesse moyenne de 650 m/s et correspondant à la partie sommital du sondage S01: Gravier grossiers et cailloux calcaires. Le deuxième niveau a une épaisseur de 1m sur les 15 premiers mètres au Nord, puis varie entre 2 et 8m. Ce niveau est constitué dans le modèle par les deux niveaux ensemble décrits dans le sondage S01 notamment les calcaires fractures et les marnes. La sismique les a assimilés à un seul niveau (manque de contraste de vitesses). Les vitesses sont de l'ordre de 1980 m/s.

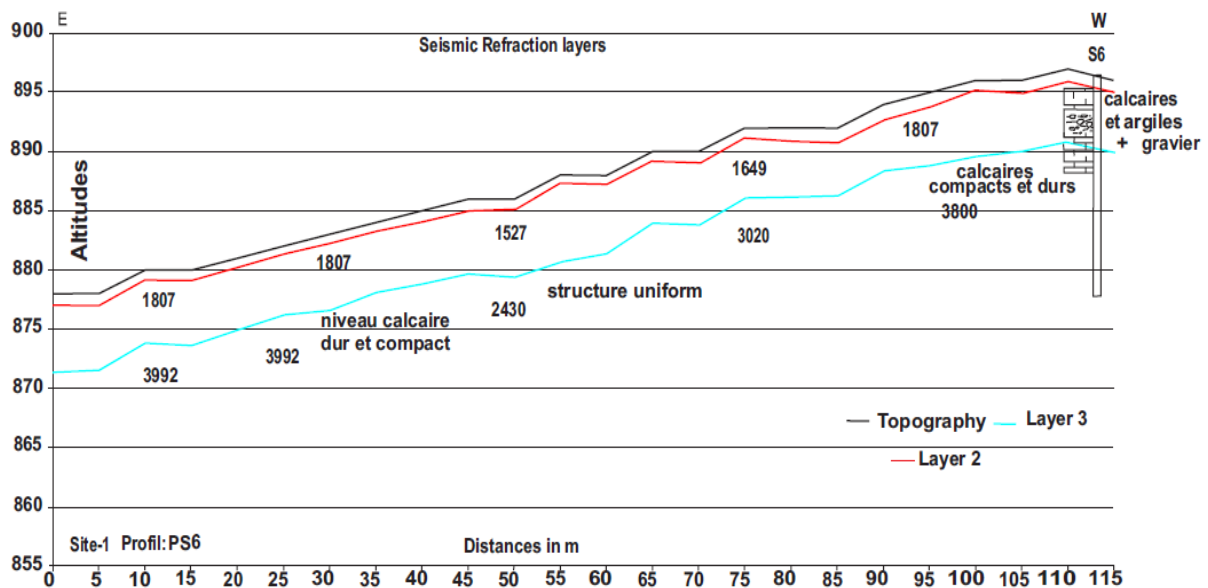


Figure 10: modèle du PS6

Profil PS6 : Ce profil croise le profil PS1a et le sondage S06. Le modèle est de 03 couches et correspond à la continuité amont-aval (E-W) des niveaux déjà décrits dans le profil PS1a.

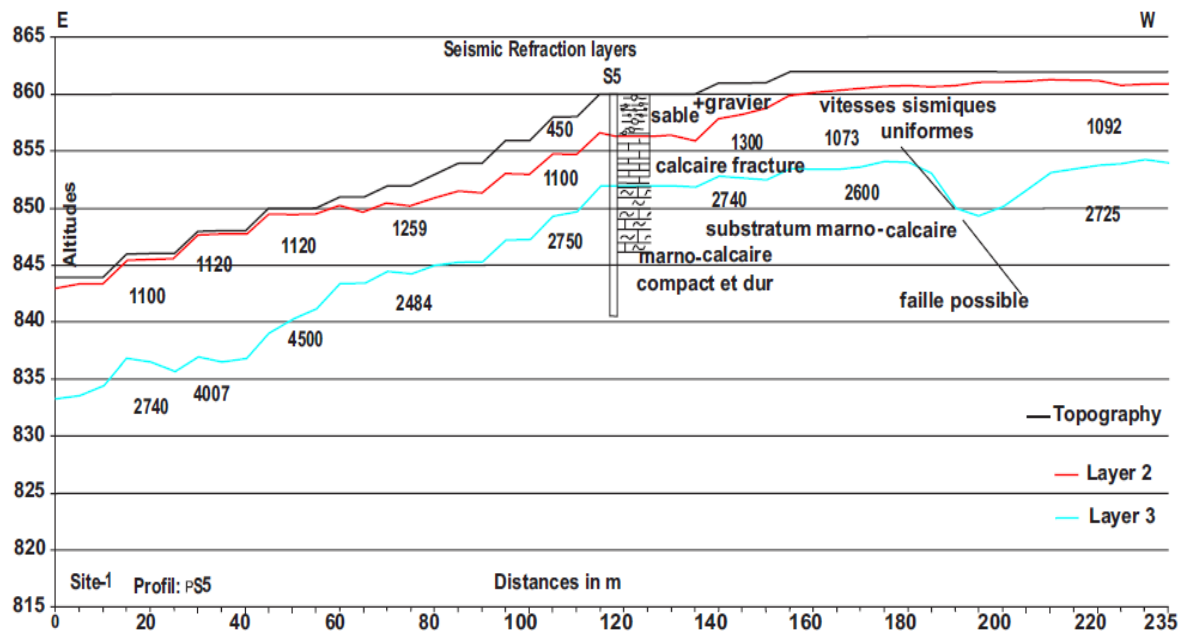


Figure 11: modèle du PS5 (a et b)

Profil PS5 (a, b): Le profil rencontre le sondage S05 et croise le profil PS1. Le modèle est composé de trois couches géologiques. La partie supérieure est formée par des sables et graviers, la deuxième de calcaires fracturés et la partie finale par des Marno-calcaires compacts et durs dans l'ensemble. La profondeur du top du dernier niveau varie entre 8 et 13m et les vitesses sont entre 2600 et 4500 m/s.

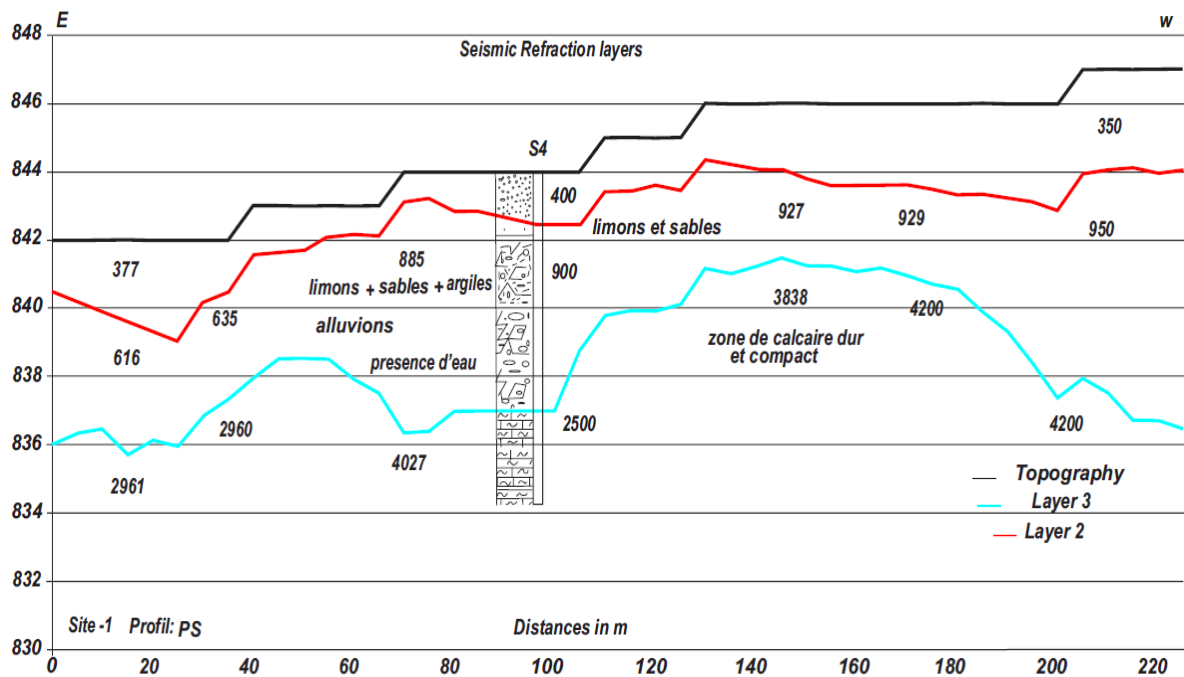


Figure 12: modèle du PS (a et b)

Profil PS (a, b) : Le profil de direction générale E-W croise le sondage S04 et le profil PS1(b,c). Le modèle présente 03 couches. L'épaisseur de la première couche varie entre 1 et 3m et sa vitesse entre 350 et 400m/s. Elle correspond à une formation de limons et d'argiles. La seconde couche a une vitesse qui varie entre 600 et 900 m/s et son épaisseur varie entre 3 et 10m. La profondeur de la couche finale varie entre 3 et 10m et les vitesses de 3000 à 4200 m/s.

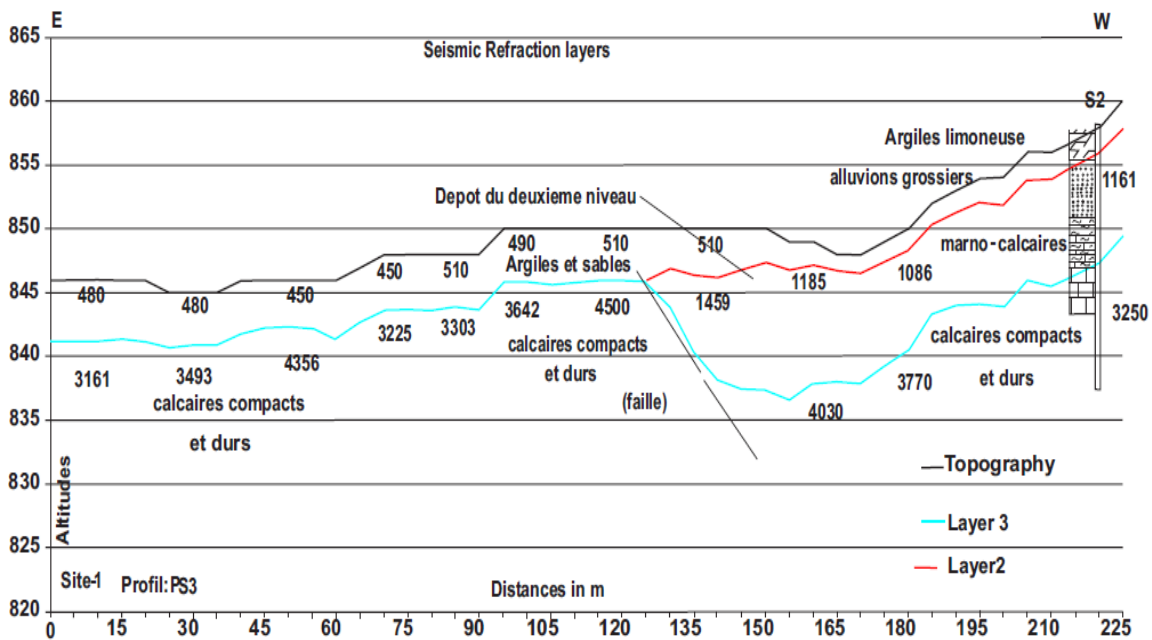


Figure 13: modèle du PS4 (a et b)

Profil PS3 (a, b): Il est situé sur la rive droite et croise le profil PS1f dans sa terminaison amont ainsi que le sondage S02. Le modèle montre deux couches dans la partie Est qui devient à 03 couche à l'ouest, à la faveur d'une couche intermédiaire représentant une formation qui se dépose surtout dans la partie amont de ce profil constitué d'alluvions grossiers et de Marno-calcaires. Et aussi à la faveur d'une dépression du niveau basal dont les vitesses varient entre 3200 et 4500m/s Et les profondeurs de son top, constitué de calcaires compacts et durs, sont de 4 à 13m.

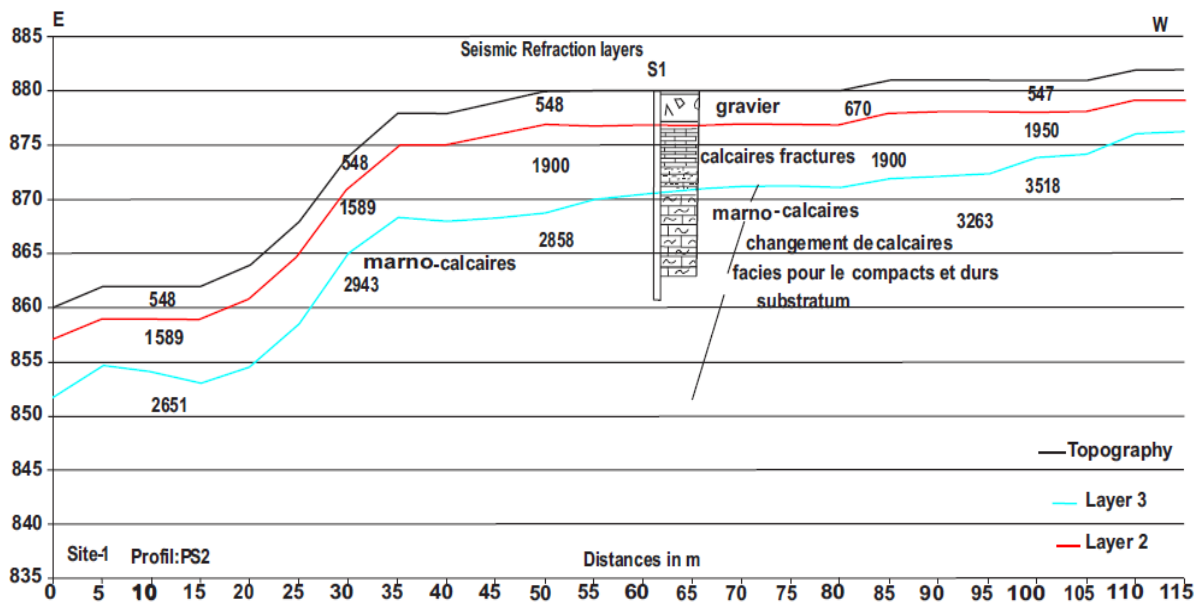


Figure 14 : modèle du PS2

Profil PS2 : C’est un profil qui croise le profil PS1g et rencontre le sondage S01. La sismique a mis en évidence 03 couches. La première, est superficielle (moins de 1 m d’épaisseur), est constituée de graviers et de cailloux calcaires de vitesses sismiques variant de 550 à 670 m/s. La deuxième couche a une vitesse qui varie entre 1550 et 2000 m/s et une épaisseur de 3 à 7m, représente des calcaires fissurés qui semble être continus formant le substratum avec des vitesses variant de calcaires à calcaires compacts et durs et dont les profondeurs sous la surface topographique varient entre 6 à 11m.

4.1.5.Axe du barrage - Méthodes électriques :

a) Imagerie électrique :

Un profil d’imagerie électrique orienté N-S a été réalisé sur la rive gauche de l’oued Mellagou. La distance inter-électrodes est de 5m, et la longueur totale du profil est de 240m. Ce profil traverse les sondages S05, S04 et S03.

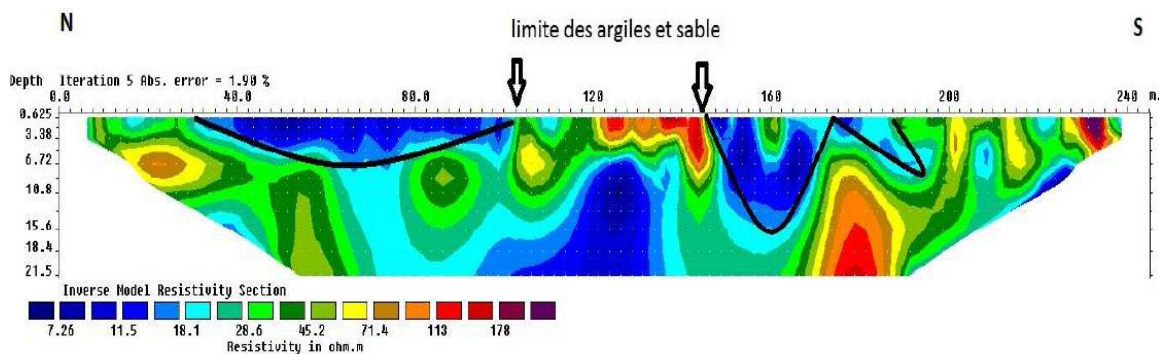
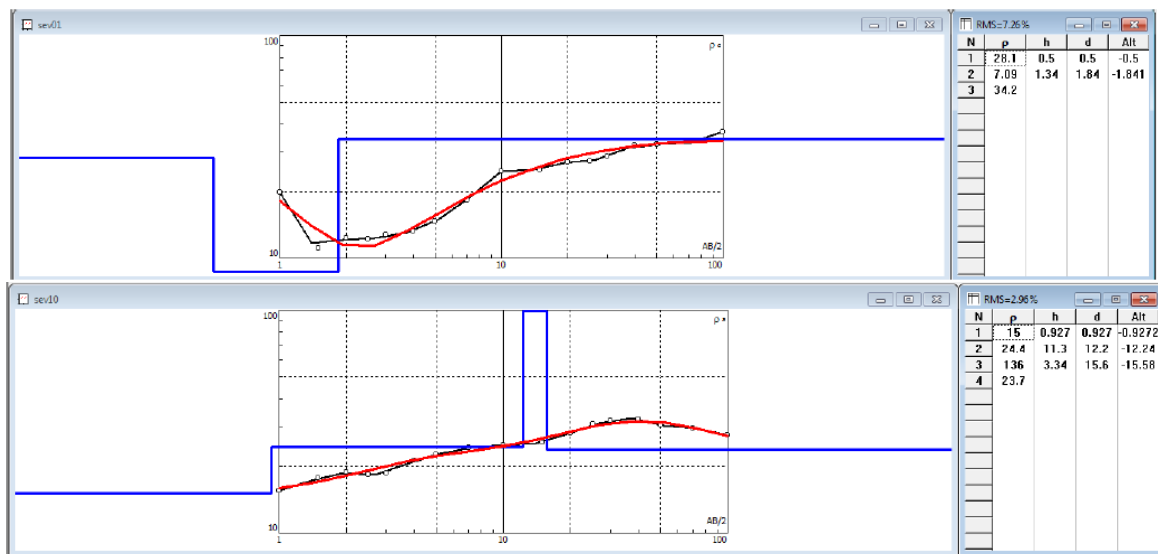


Figure 15: profil d’imagerie sur l’axe du site 1(voir fig pour la position du profil

Le premier terrain est caractérisé par deux domaines de résistivité. Le premier, avec des résistivités inférieures à 20 $\Omega.m$ et caractérise les argiles. Elles sont représentées par les deux anomalies bleues sur l'image ci-dessus. Les argiles atteignent une profondeur de 7m au Sud et 16m au N. Entre 120m et 150m, le long du profil d'imagerie, une anomalie résistante ($> 120 \Omega.m$) est observée. Il pourrait s'agir d'une des argiles extrêmement secs ou alors des alluvions (au niveau de la piste). Des résistivités du même ordre de grandeur ($> 120 \Omega.m$) existent au N, sous les argiles, à partir de 7m de profondeur, ça pourrait être des marno-calcaire. Le reste de la formation a une résistivité électrique (entre 20 et 80 $\Omega.m$) qui peut caractériser des alluvions.

4.1.6. Sondages électriques verticaux :

Les SEV1, SEV2, SEV3, SEV9 et SEV10 ont été réalisés sur l'axe du site du barrage, dans la rive gauche avec ont longueur respective AB=200m. Le SEV09 a été réalisé à proximité du sondage S04. Le SEV10 a été réalisé au niveau du sondage S03. Tous les sondages sont orientés W-E. L'interprétation quantitative de ces sondages, nous renseigne sur la distribution électrique de la zone d'étude à environ une vingtaine de mètres de profondeur. La formation surfacique a 2 mètres d'épaisseur et correspondrait à des argiles graveleuses altérées. Le second terrain a une résistivité électrique qui peut caractériser une formation d'alluvions et d'argiles dont l'épaisseur varie entre 1m et 12m. Une formation résistante est repérée au droit du SEV10 entre 12 et 15m de profondeur. Elle correspond vraisemblablement à un banc calcaire, comme le confirment les PS1e et le sondage S03. Le toit de la marne est atteint à 16m.



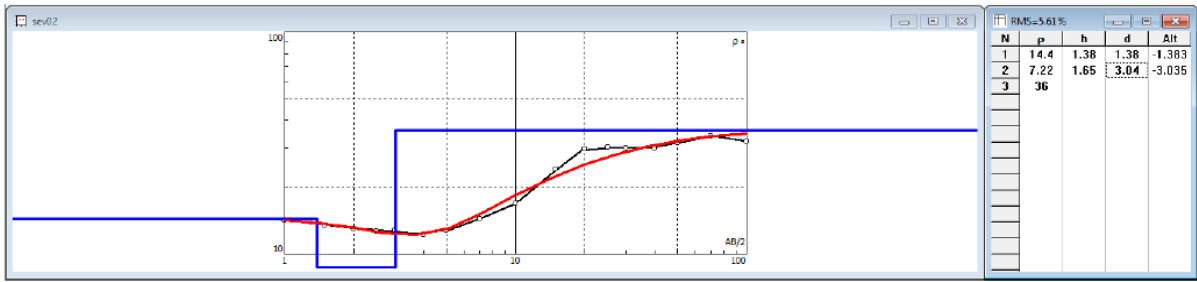


Figure 58 : Interprétation quantitative des sondages électriques SEV01, SEV02, SEV10

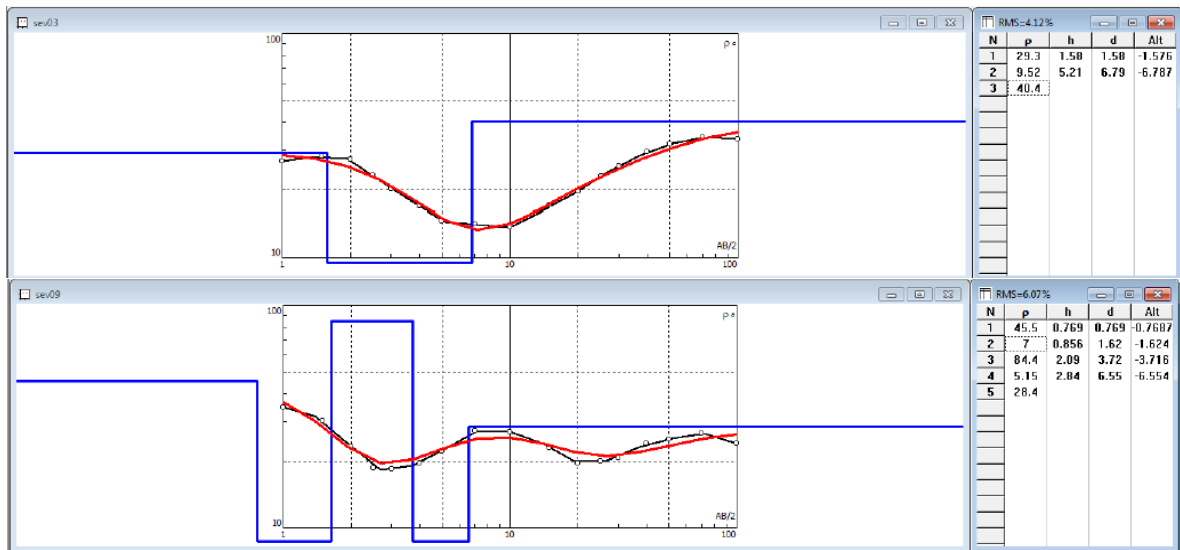


Figure 59 : Interprétation quantitative des sondages électriques SEV03 et SEV09

4.2. Zones d’emprunt du site aval :

La zone d’emprunt 1 se trouve sur le site 1. En plus des SEV1, SEV2, SEV3, SEV9 et SEV10 qui ont été réalisés suivant l’axe du barrage et qui ont montré l’existence d’une formation argileuse d’environ 6 m de moyennes reposant sur des alluvions autant épais, d’autres sondages électriques verticaux ont été réalisés.

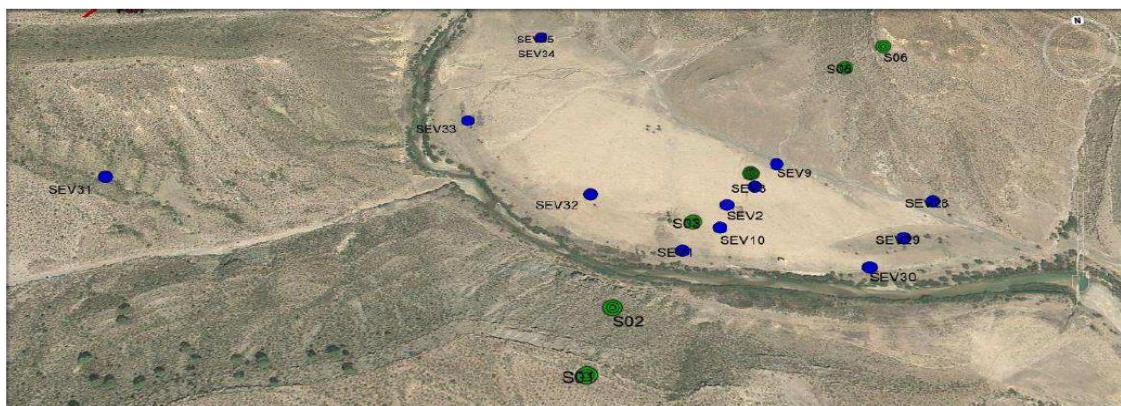


Figure 34: Zone d’emprunt 1 (image Google Earth)

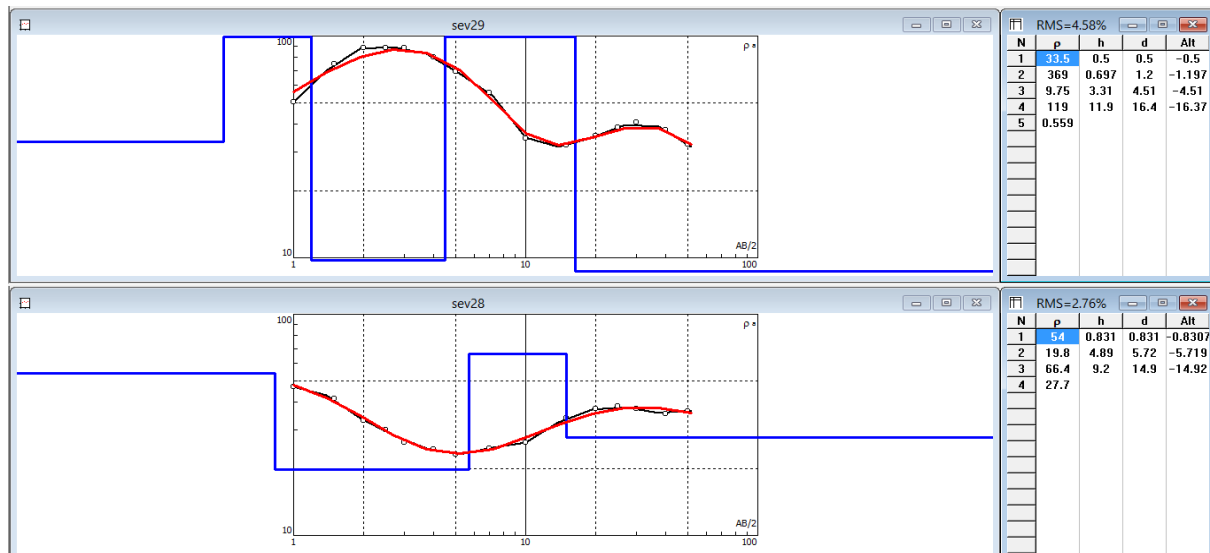


Figure 60 : Interprétation quantitative des sondages électriques SEV 28, SEV29 et SEV30

Les SEV32 et SEV33 ont une longueur AB de 100m et 200m, respectivement. Ils ont été réalisés sur la rive gauche de l'oued. Jusqu'à une profondeur d'environ 1m, le milieu a une résistivité électrique élevée caractérisant une formation graveleuse altérée. Le reste du terrain est une alternance d'argile et d'alluvions. La base des alluvions est à environs 15m de profondeurs.

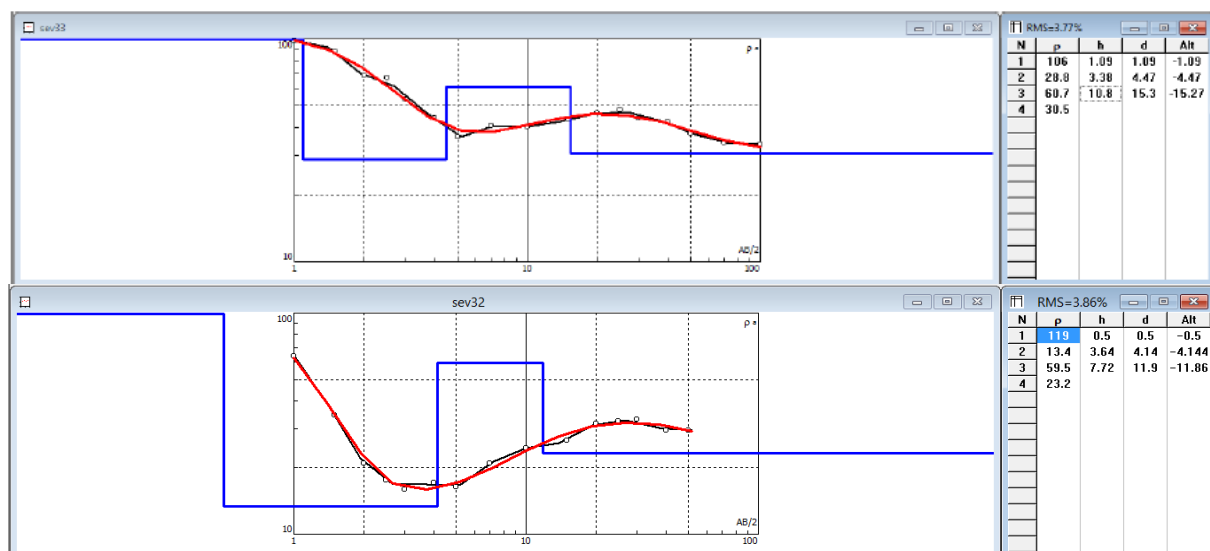


Figure 61 : Interprétation quantitative des sondages électriques SEV 32 et SEV33

Le SEV34 a une longueur AB= 200m. Le SEV 35 a une longueur AB = 100m. Ils sont orientés W-E. La première couche est une formation graveleuse dont l'épaisseur varie entre un demi-mètre et 4m. La seconde formation est conductrice correspondant à des argiles se trouvant entre 4 et 12m de profondeur

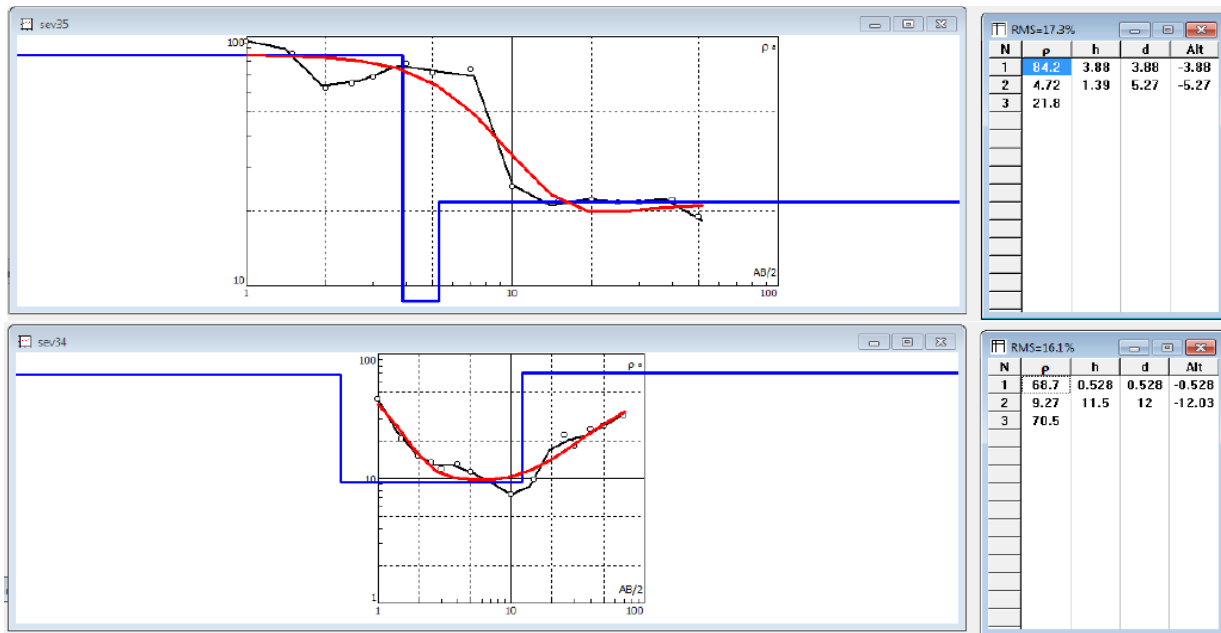


Figure 62 : Interprétation des sondages électriques verticaux SEV34 et SEV35

L'ensemble de ces sondages confirme la puissance des argiles et des alluvions sur toute l'étendue de la cuvette de ce site. En effet, on peut confirmer que les argiles ont une épaisseur moyenne d'environ 5m et que les alluvions ont épaisseur moyenne d'au moins 8 mètres (et peut être plus, vu que leur base n'est pas tout le temps atteinte par les SEV).

4.2.1. Sondage électrique sur la rive droite :

Le SEV31 a été réalisé sur la rive droite avec une longueur de 100m. Il présente une stratification à 5 terrains. Le premier a une épaisseur de 0.5 m et une résistivité électrique de 15Ω.m. il peut correspondre à formation altérée d'alluvions et des argiles. Le second milieu a une épaisseur de 0.6m et une résistivité de 90 Ω.m, il peut s'agir d'alluvions. Le troisième milieu se trouve entre 1 et 3.30m de profondeur, il est très conducteur électriquement et correspond à une formation argileuse. Le quatrième terrain est très résistant et peu correspondre à un banc calcaire de 3m d'épaisseur. Le dernier terrain est une formation d'argiles. De ce fait, cette zone ne semble pas être intéressante pour être une zone d'emprunt.

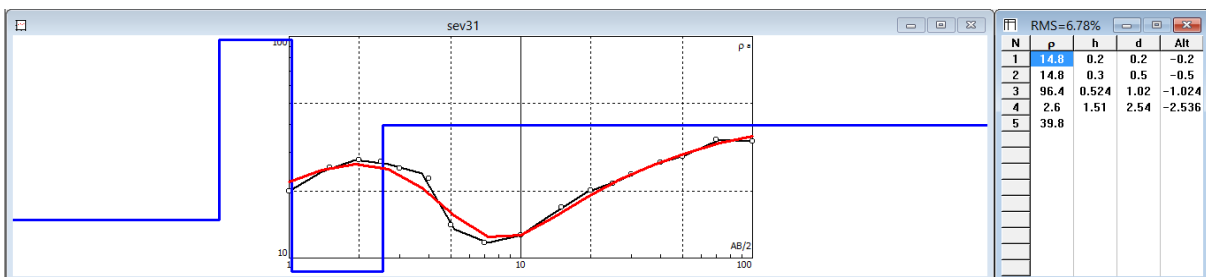


Figure n° 63 : Interprétation quantitative du sondage électrique SEV 31

Ce site est localisé à 600m du site1 - aval, dans un contexte géologique similaire , bien que topographiquement il est plus chahuté et a une vallée plus étroite , les affleurements géologiques sont à prédominance marneuse et alluvionnaires.

Au total, Neuf (09) bases sismiques composant les profils PS7, PS8 et PS9, Trente-Trois (33) SEV (dont 7 avec AB = 200m et 26 avec AB = 100m) et un profil d'imagerie électrique ont été réalisés.

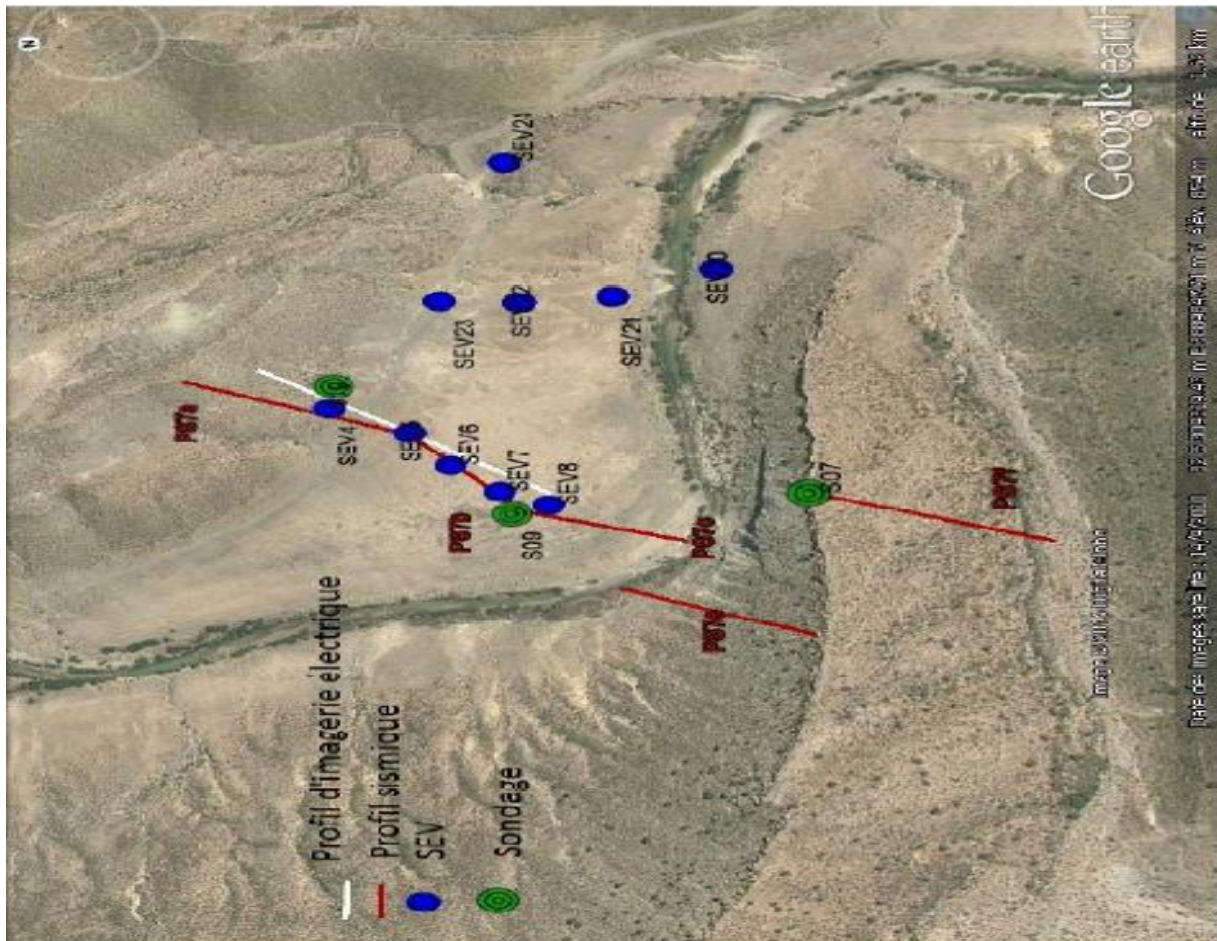


Figure35: implantation des profils géophysiques, image Google Earth

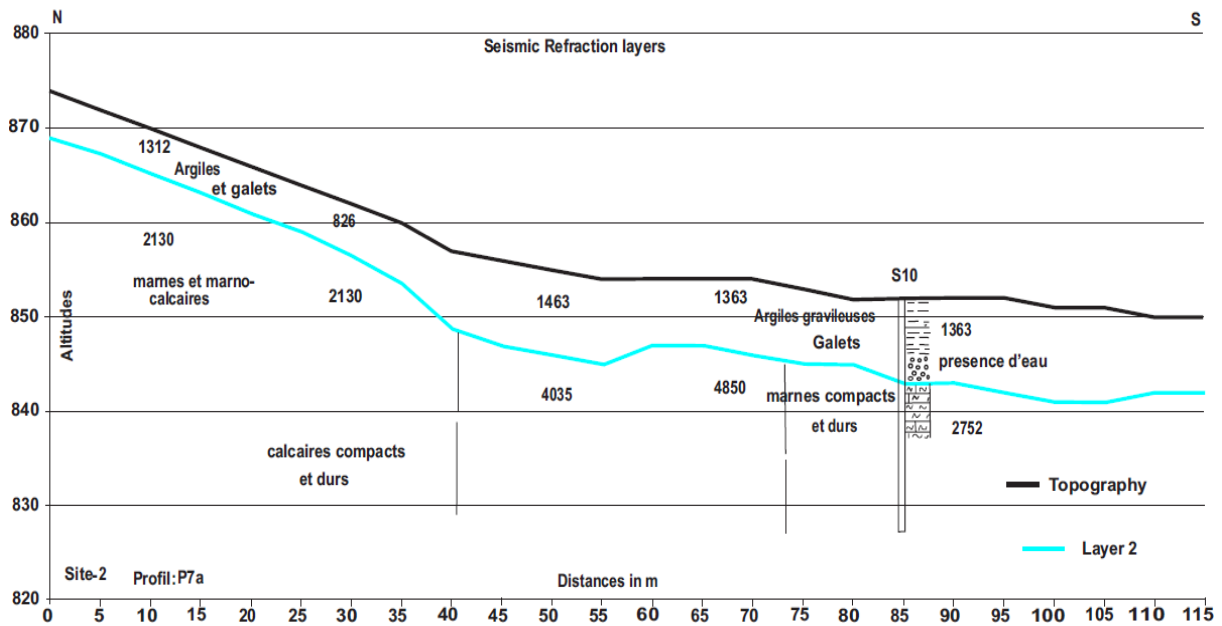


Figure 36 : modèle du PS7a

Profil PS7b : Ce profil traverse le sondage S09 et présente un modèle à deux couches. La première est constituée d'un ensemble englobant des argiles et des alluvions dont les vitesses varient entre 600 et 1100 m/s. Le niveau basal est composé de calcaires compacts et des marnes compacts dont les vitesses varient entre 2670 à 4300 et les profondeurs entre 5 et 7m.

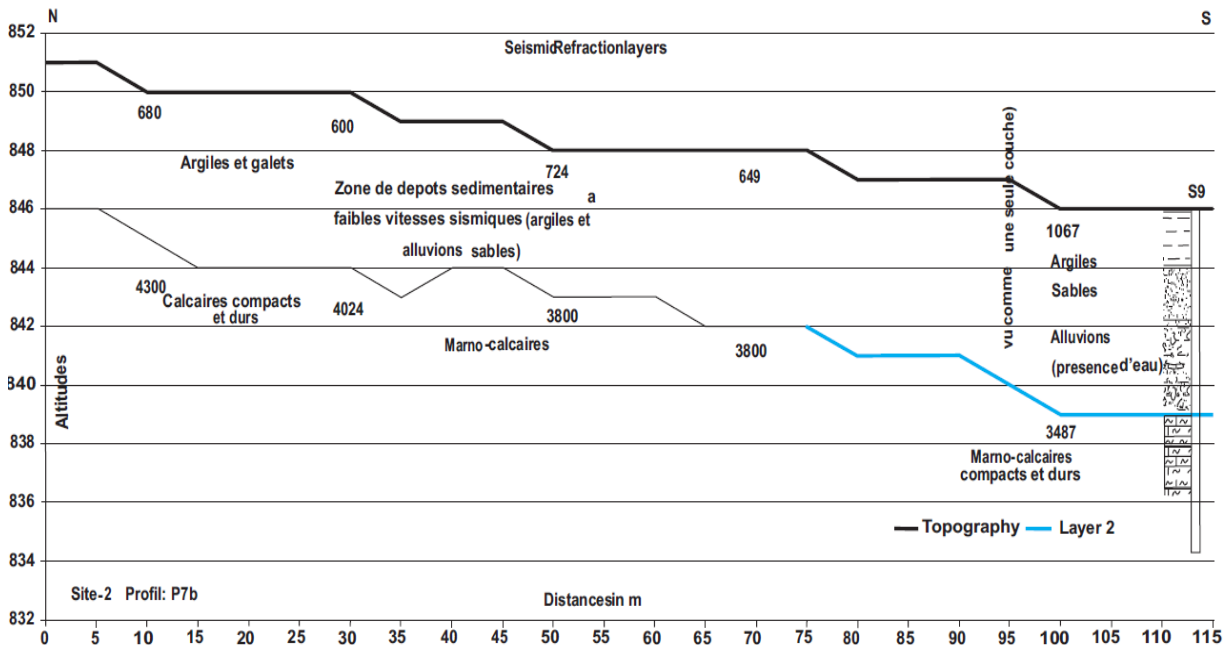


Figure 37: modèle du PS7b

Profil PS7c : Deux niveaux apparaissent sur le modèle géologique, le premier constitué d'argiles et alluvions (880-1460 m/s). La partie basale Marno-calcaires à calcaires est à des profondeurs variant de 5 à 9m. On remarque l'épaisseur du niveau alluvionnaire et c'est du à sa proximité du lit de l'oued..

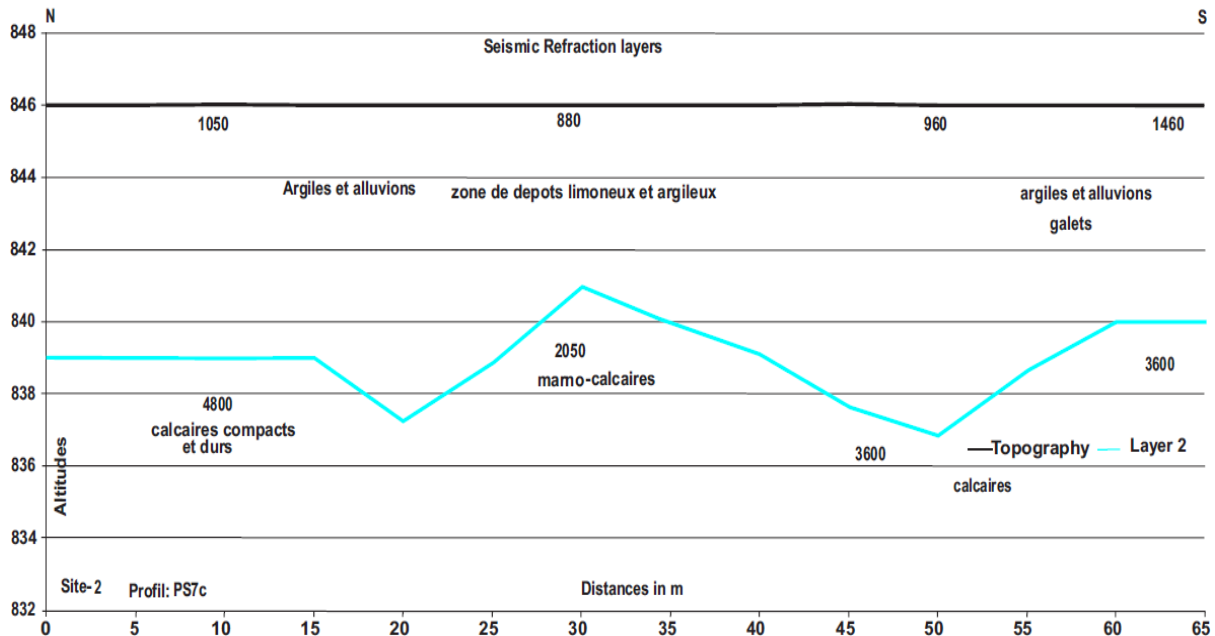


Figure 38: modèle du PS7c

Profil PS7e : Ce profil est décalé par rapport à la prolongation du profil PS7 et est situé sur la rive droite de l'oued en question sur une zone relativement rocheuse et très escarpé. Le modèle montre un niveau relativement rapide par rapport aux sédiments prépondérants reposant sur un niveau à prédominance calcaire. La profondeur du top de ce niveau varie entre 3 et 5m.

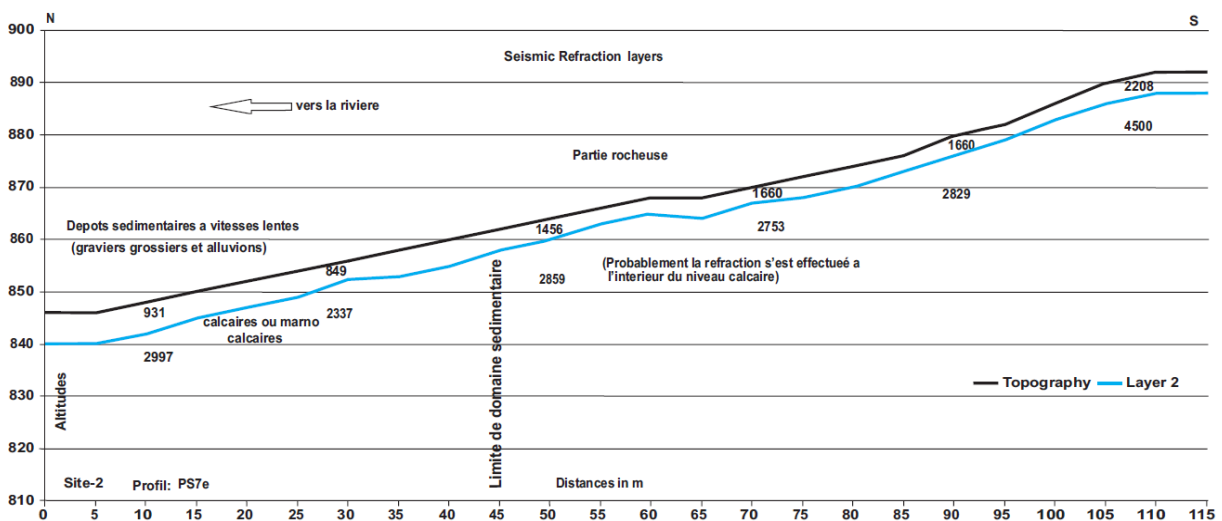


Figure 39: modèle du PS7e

Profil PS7f : Ce profil croise le sondage S07 et est la dernière base du profil PS7. Il présente un modèle à deux niveaux. Ces deux niveaux sont relativement rapides et de faibles épaisseurs pour le premier. Sa corrélation avec le sondage S07 montre que la réfraction a (privilegiée) un niveau à l'intérieur du banc de calcaires décrit dans le log. Ce niveau sismique rapide y est à des profondeurs variant de 3 à 8m.

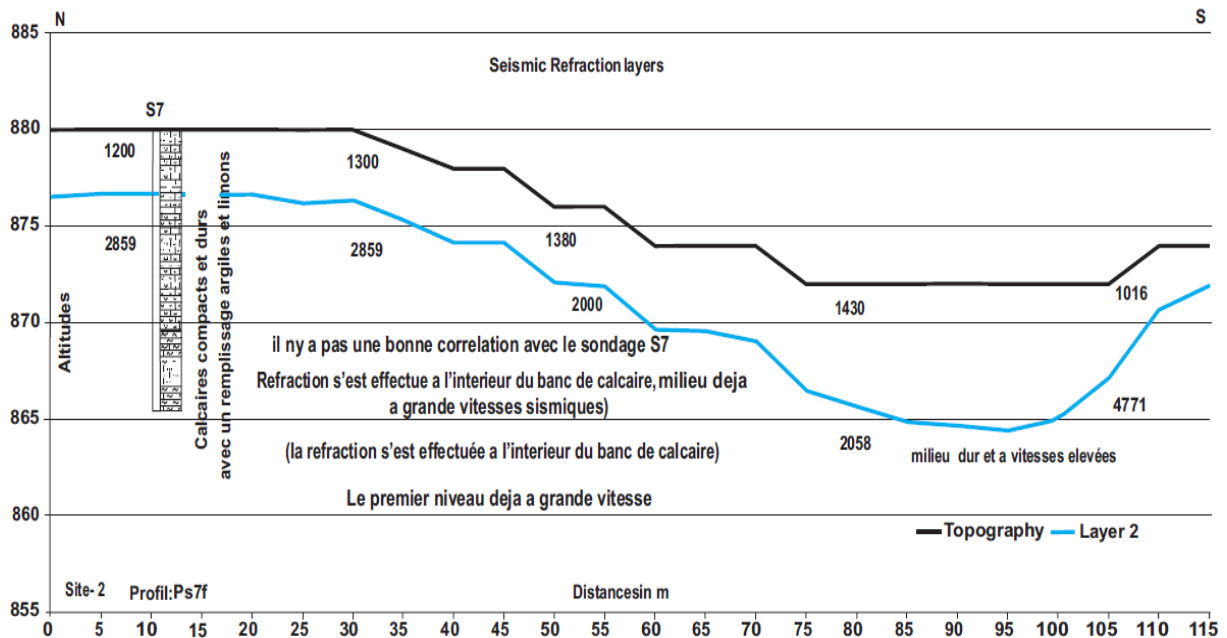


Figure 40: modèle du PS7f

Profil PS9 : Ce profil de direction aval-amont est constitué de deux bases (a et b). Traverse le sondage S10 dont le modèle montre deux couches. Un premier niveau ensemble (argiles et alluvions) reposant sur couche plus rapide de calcaires et de marnes compactes. Les profondeurs des top du deuxième niveau varient de 7m et allant par endroits à 13m.

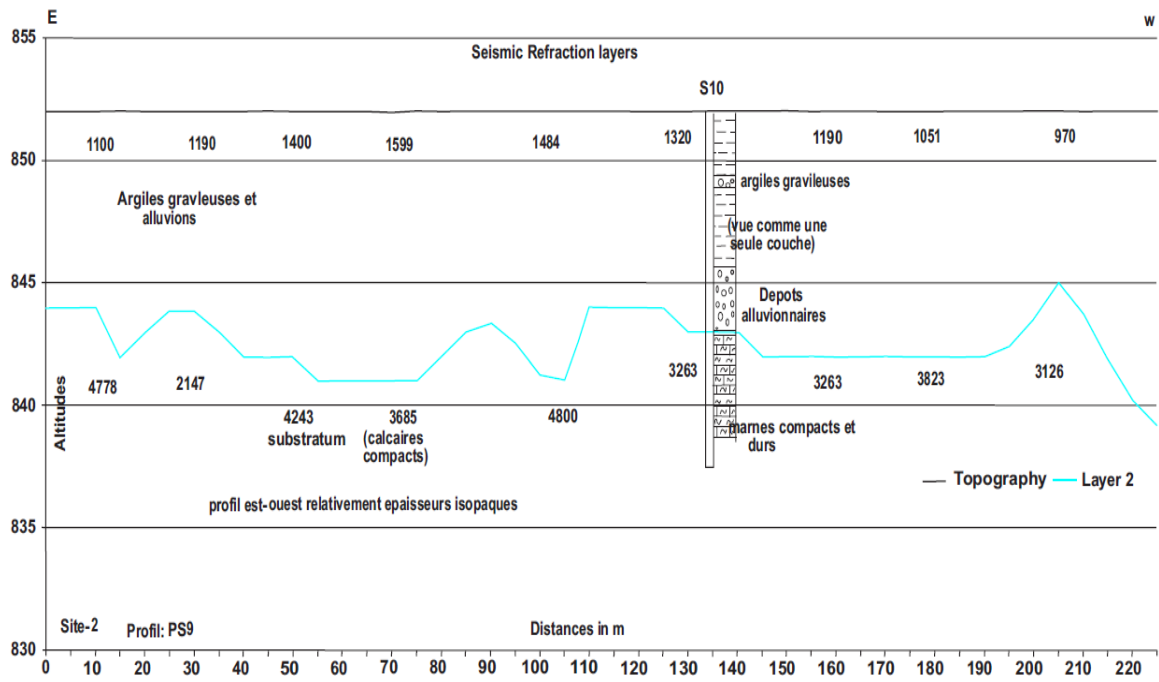


Figure 41:modèle du PS9

Profil PS8 : Ce profil de direction aval-amont est constitué de deux bases (a et b). Traverse le sondage S07 et dont le modèle montre deux couches séparant deux types de calcaires entre fracturés et compacts. Les profondeurs du deuxième niveau varient entre 2 et 7m.

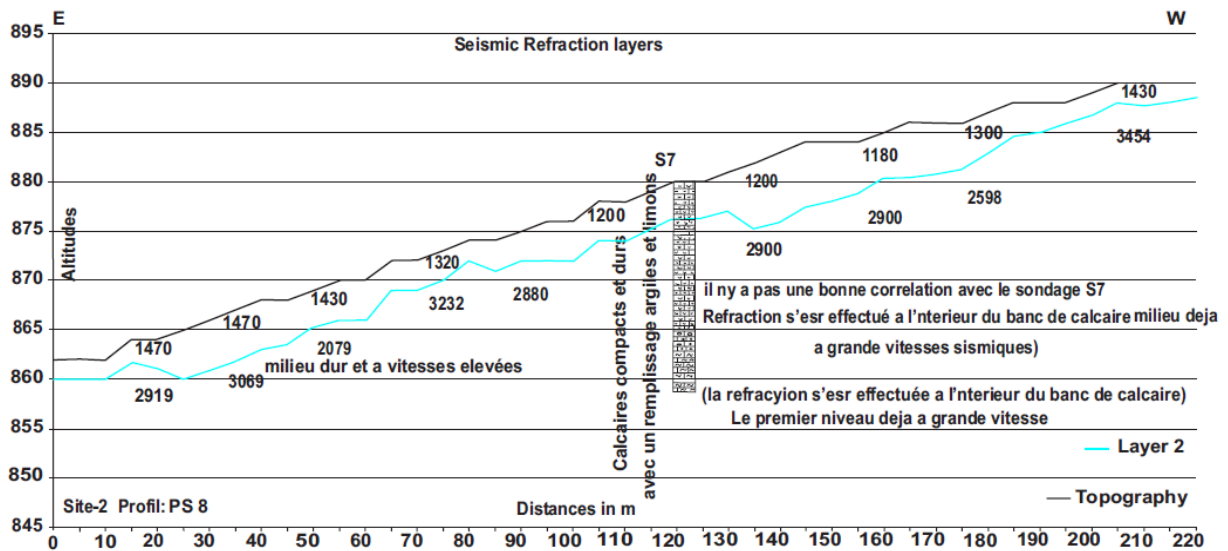


Figure 42:modèle du PS8

4.2.2. Axe du barrage - Méthodes électriques :

4.2.3. Imagerie électrique :

Un profil d'imagerie électrique orienté NE-SW a été réalisé sur la rive gauche de l'oued Mellagou en place du profil de trainé électrique prévu TE2. La distance inter-électrodes est de 5m, et la longueur totale du profil est de 240m. Ce profil traverse les sondages S09 au S-SW et S10 au N-NE.

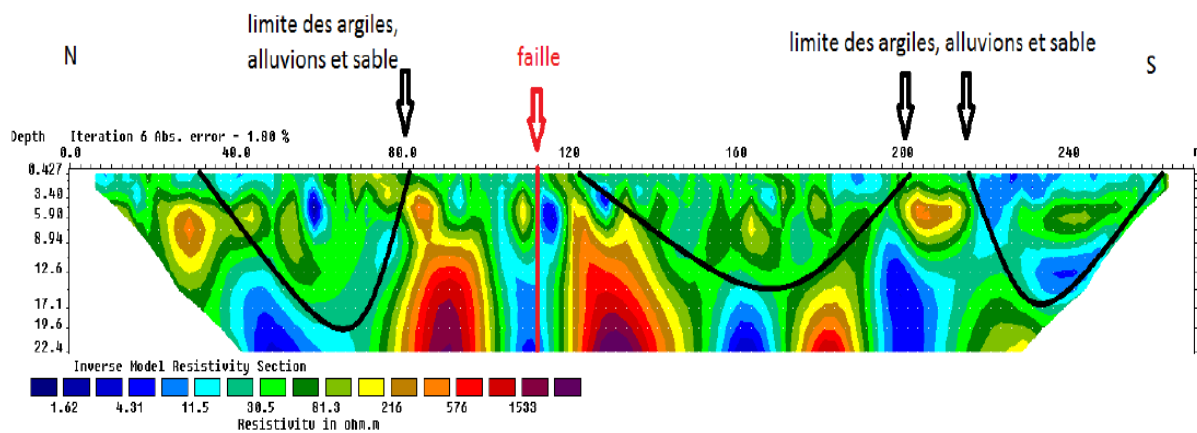


Figure 43: profil d'imagerie sur l'axe du site 1

L'interprétation du profil d'imagerie, présente un milieu peu résistant qui correspond à des argiles. Une anomalie résistante perce ces argiles et s'approche de la surface entre 80m et 120m. Vu ses résistivités élevées, cette anomalie peut être un banc calcaire. Cette anomalie est aussi coupée en deux par une discontinuité de la résistivité électrique, ceci peut être un argument en faveur d'une faille verticale à 110m.

4.2.4. Sondages électriques verticaux :

Le SEV4 passe par le sondage S10. Sa longueur est de 100m.

Le SEV5 a été réalisé à 40m du sondage S10. Sa longueur est de 200m.

Le SEV6 est réalisé à 30m du SEV5, avec une longueur de 200m.

Le SEV7 à proximité du sondage S09 et à 35m du SEV6, avec une longueur de 200m.

Le SEV8 a une longueur de 200m.

Tous ces sondages sont orientés Ouest – Est et ont été réalisés sur la rive gauche de l'oued.

Le sol est formé, en plus d'une couche d'altération dont l'épaisseur varie de 0.5 à 1.5m, d'une formation argileuse graveleuse (10 – 30 $\Omega.m$) d'une épaisseur variant entre 1m et 5m, reposant sur des dépôts alluvionnaires atteignant au maximum une profondeur de 11m(SEV6). Au niveau du SEV7, une formation résistante (180 $\Omega.m$) apparaît à partir de 5 de profondeur, il pourrait s'agir d'un banc de calcaire. Ceci est en conformité avec les résultats de l'imagerie électrique.

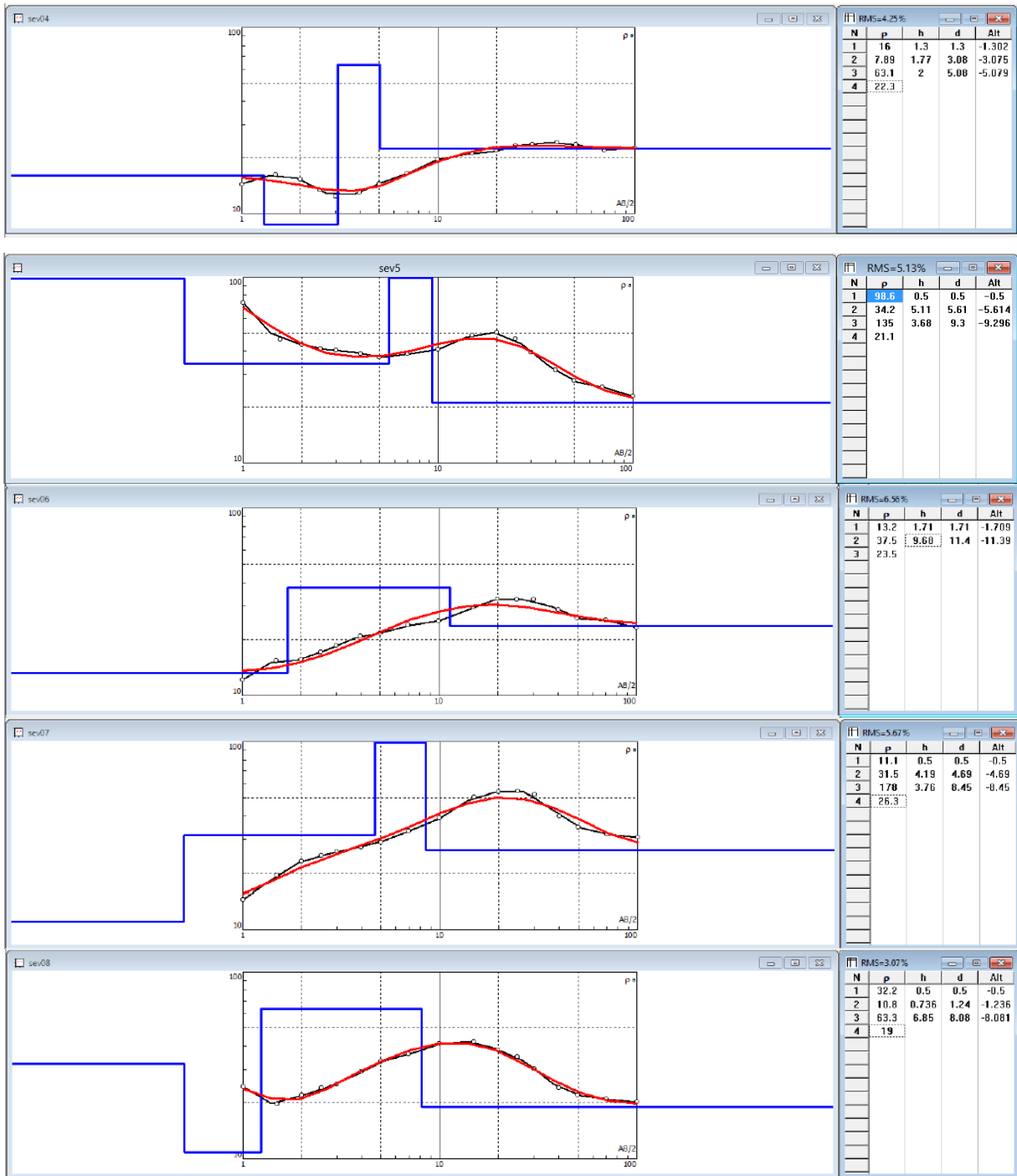


Figure 64 : Interprétation quantitative des sondages électriques SEV4, SEV5, SEV6, SEV7 et SEV8

4.3 Zones d'emprunt du site intermédiaire :

4.3.1 Zone d'emprunt 2a :

Cette zone se trouve dans la partie aval du site 2 – Intermédiaire. En plus des SEV4, SEV5, SEV6, SEV7 et SEV8 qui sont sur l'axe du barrage, et qui ont montré que les argiles et les alluvions cumulent une épaisseur moyenne d'environ 8m, d'autres sondages électriques verticaux ont été réalisés.

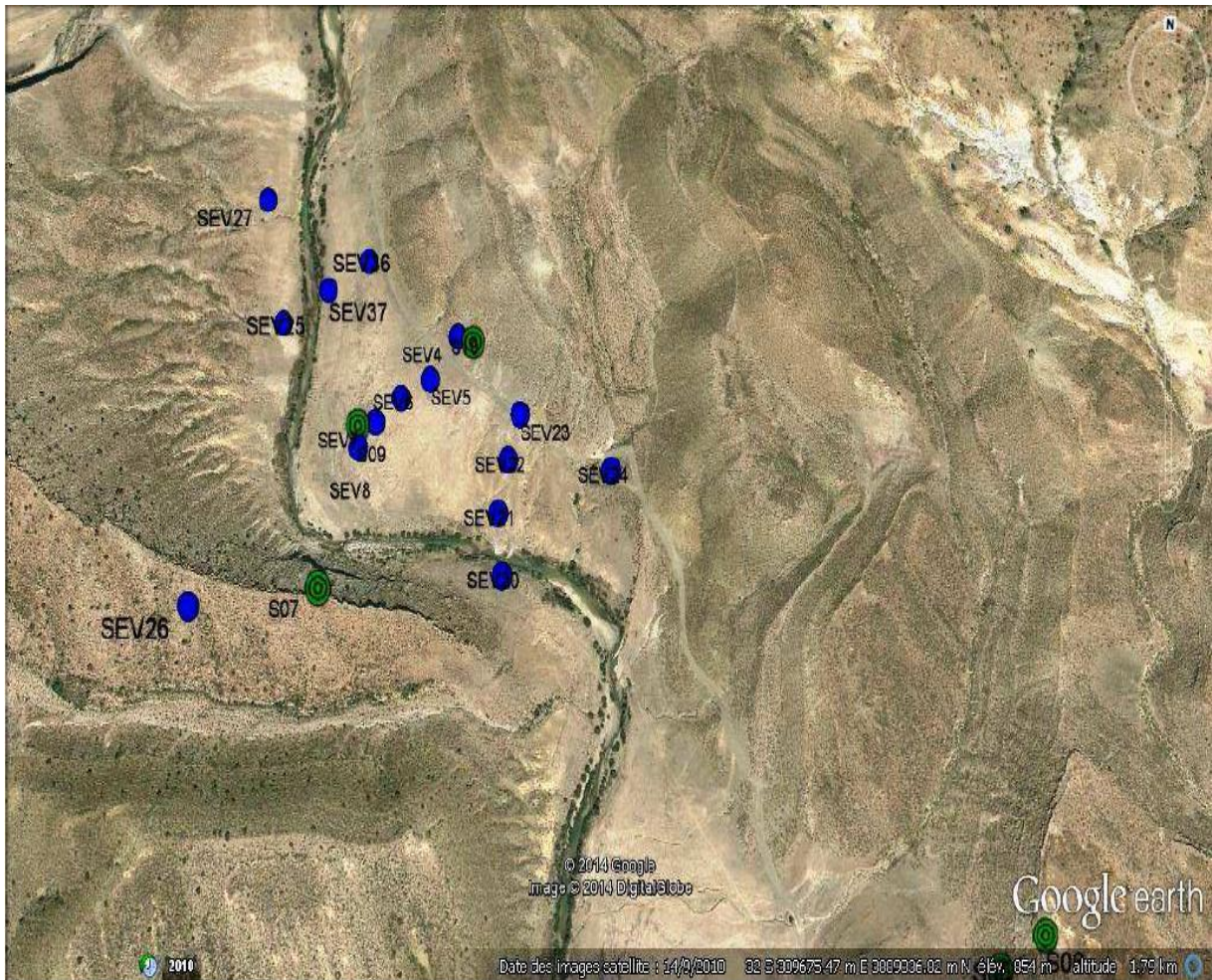


Figure 44: Zone d'emprunt 2a

Au Sud-Est du site intermédiaire, 5 sondages électriques ont été réalisés Sev20 à Sev24. Ils ont été réalisés sur la rive droite avec une longueur de 100m (sauf pour le Sev20 qui est sur la rive droite et avec AB de 200m) et avec une orientation W-E (le Sev24 est N-S). Le traitement des données électriques montre un sol de résistivité électrique relativement basse, traversé par une formation résistante. La faible résistivité électrique indique que le sol est argileux, traversé entre 2 et 7m de profondeur par un milieu résistant. Selon la géologie, il s'agit d'un banc calcaire.

L'épaisseur cumulée des alluvions-argile est donc devenue faible, de l'ordre de 2-3m, au Sud de cette zone.

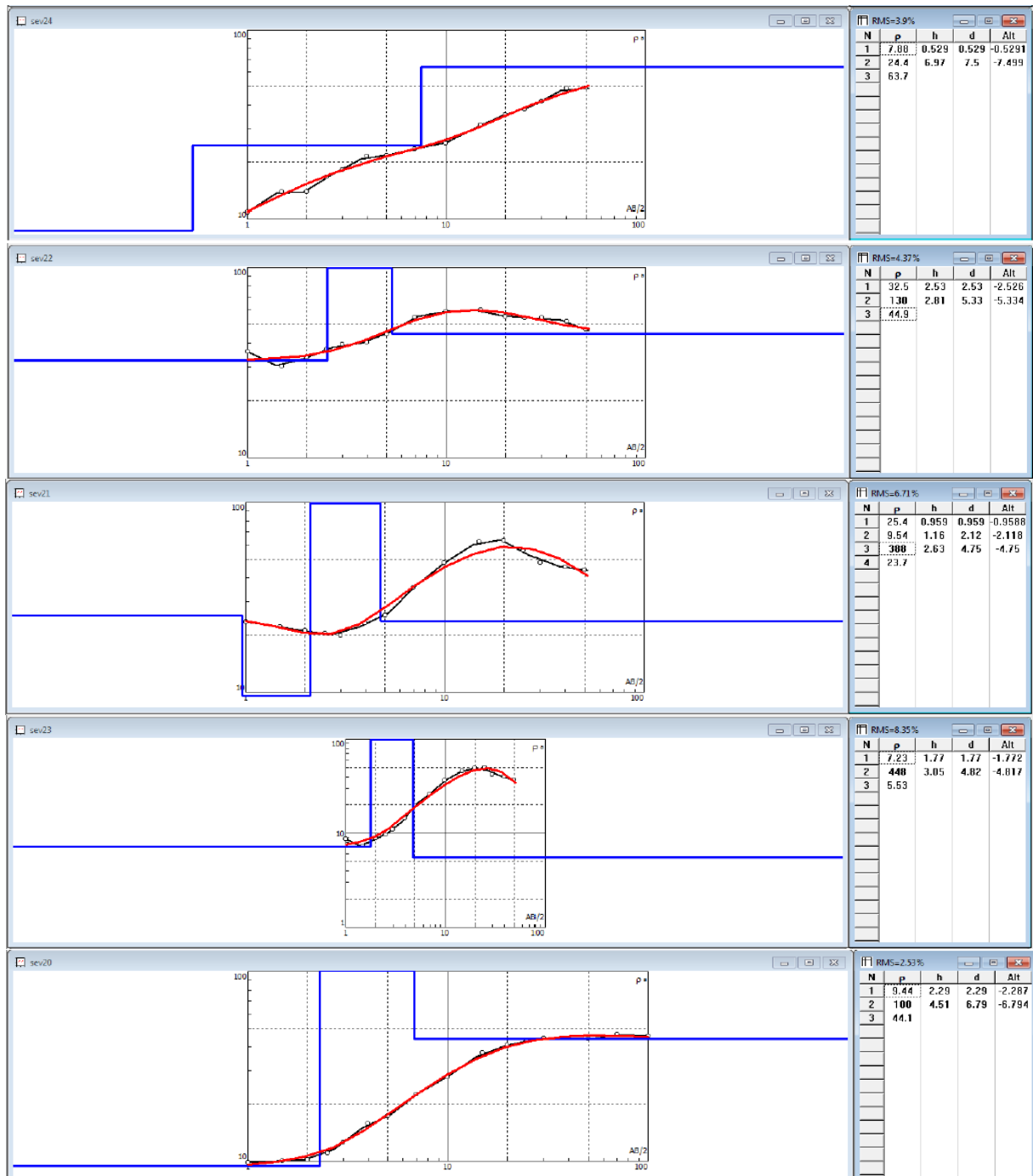


Figure 65: Interprétation quantitative SEV20, SEV21, SEV22, SEV23 et SEV24

Au Nord-Ouest du site intermédiaire, deux SEV ont été réalisés sur la rive droite (SEV25 et SEV27) et deux autres sur la rive gauche (SEV36 et SEV37). Ils sont tous d'orientation Est-Ouest. Le SEV25 a une longueur de 200m. Le traitement des données électriques présente un sol formé de quatre couches. La première couche a une résistivité électrique de 50Ω.m, environ 2m de profondeur et peut correspondre à des argiles fortement graveleuses. La seconde couche, d'environ 2m d'épaisseur a une

résistivité électrique plus élevée ($130\Omega.m$) pourrait correspondre à des alluvions. La 3ème couche atteinte à moins de 4 m de profondeur et de faible résistivité serait probablement marneuse.

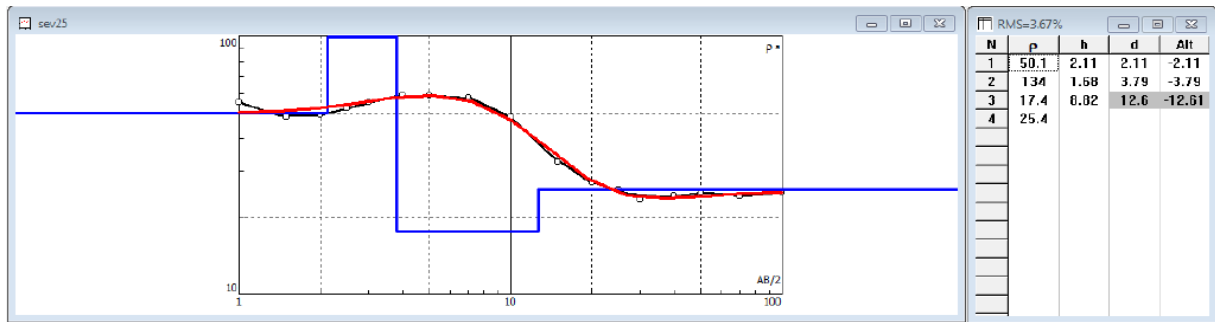


Figure 66: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV25

Le SEV27 a une longueur de 100m. Le traitement des données électriques présente un sol formé de quatre couches. La couche superficielle (0.5m) est conductrice ($23\Omega.m$) correspondant à des argiles altérées. La seconde couche, d'environ 5m d'épaisseur a une résistivité électrique de $30\Omega.m$ correspondant à des argiles graveleuses. Au-delà de 5m de profondeur, le milieu correspond à des alluvions.

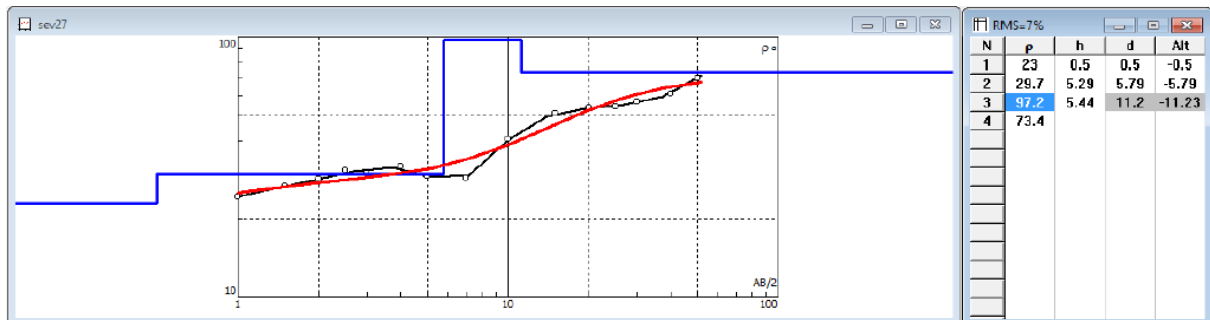


Figure 67 : Interprétation quantitative du sondage électrique SEV27

Le SEV37 a une longueur de 100m (rive gauche). Le milieu est un quatre couches. La couche surfacique a 3m de profondeur correspondant à des argiles graveleuses (altérées) et/ou alluvions. La seconde couche, d'environ 2m d'épaisseur a une résistivité électrique de $130\Omega.m$ correspondant à un milieu résistant probablement à un banc calcaire. La résistivité électrique diminue au niveau du troisième et quatrième terrain ou nous avons des argiles marneuses d'une grande épaisseur minimale (dépassant probablement la vingtaine de mètres).

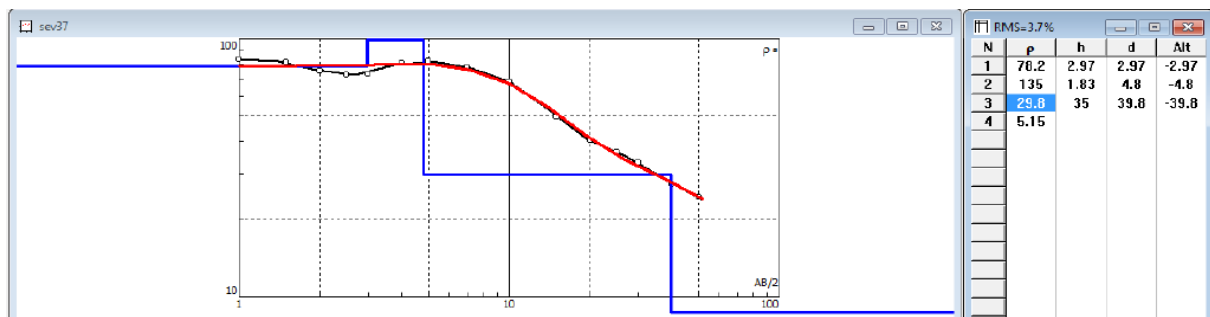


Figure 68: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV37

Le SEV36 a une longueur de 100m (rive gauche). Le milieu est un quatre couches. Un 1^{er} terrain d'altération résistant d'un demi-mètre d'épaisseur. L'épaisseur des argiles est de plus en plus faible au nord de cette zone où elle n'atteint pas 1m. Au-delà de 3m de profondeur, le terrain devient marneux.

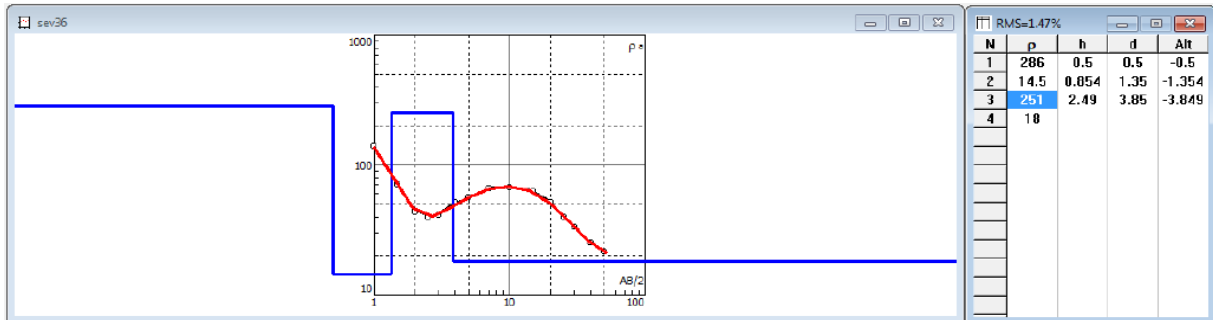


Figure 69: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV36

Le SEV26 a une longueur de 100m. Il a été réalisé sur la rive droite du site, à presque 200m du lit d'Oued. Les formations traversées présentent pratiquement la même résistivité électrique caractérisant un milieu argileux à argileux-graveleux d'une épaisseur minimale de 6 m.

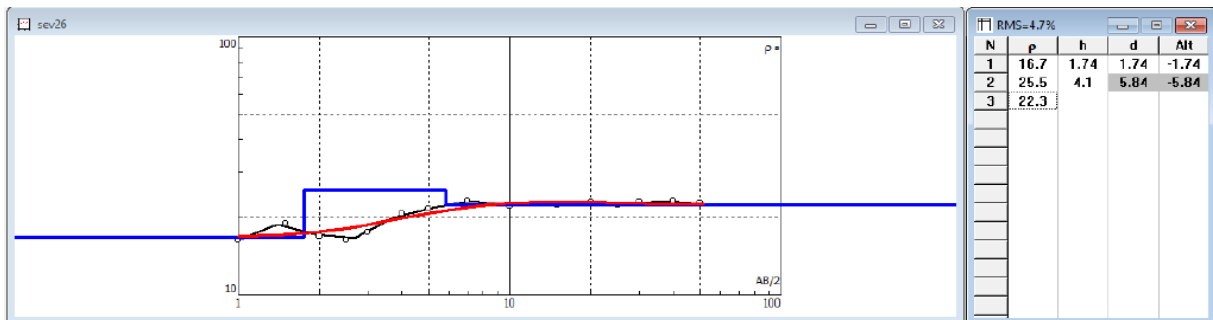


Figure n° 70: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV26

4.3.2.Zone d'emprunt 2b :

La zone d'emprunt 2b est située sur le Site2-Intermédiaire, à l'amont de la zone d'emprunt 2a.

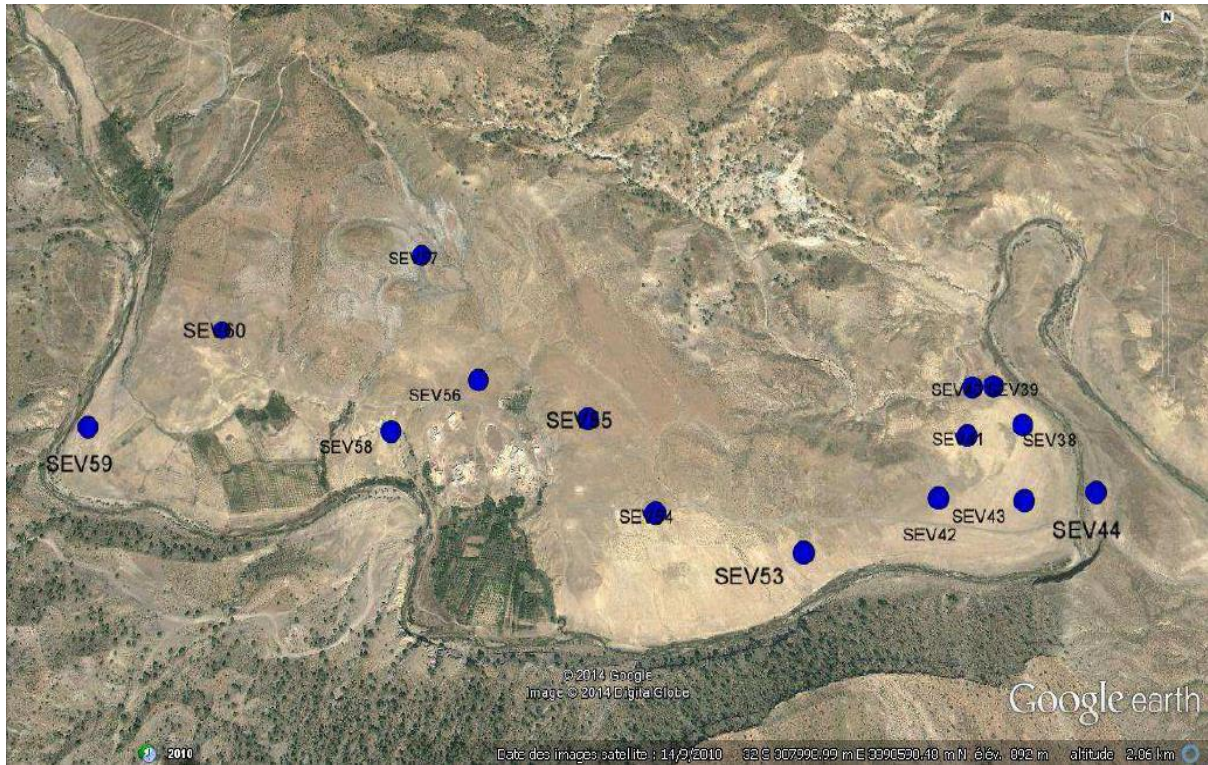


Figure 45: implantation des SEV dans la zone d’emprunt 2b. Image Google Earth

Les SEV44 et SEV45 ont été réalisés plus à l’amont que les précédents sondages de la zone d’emprunt 2a et avec une longueur de ligne AB = 100m et une orientation W-E. Le sol est constitué d’argiles d’une profondeur de plus de 20m.

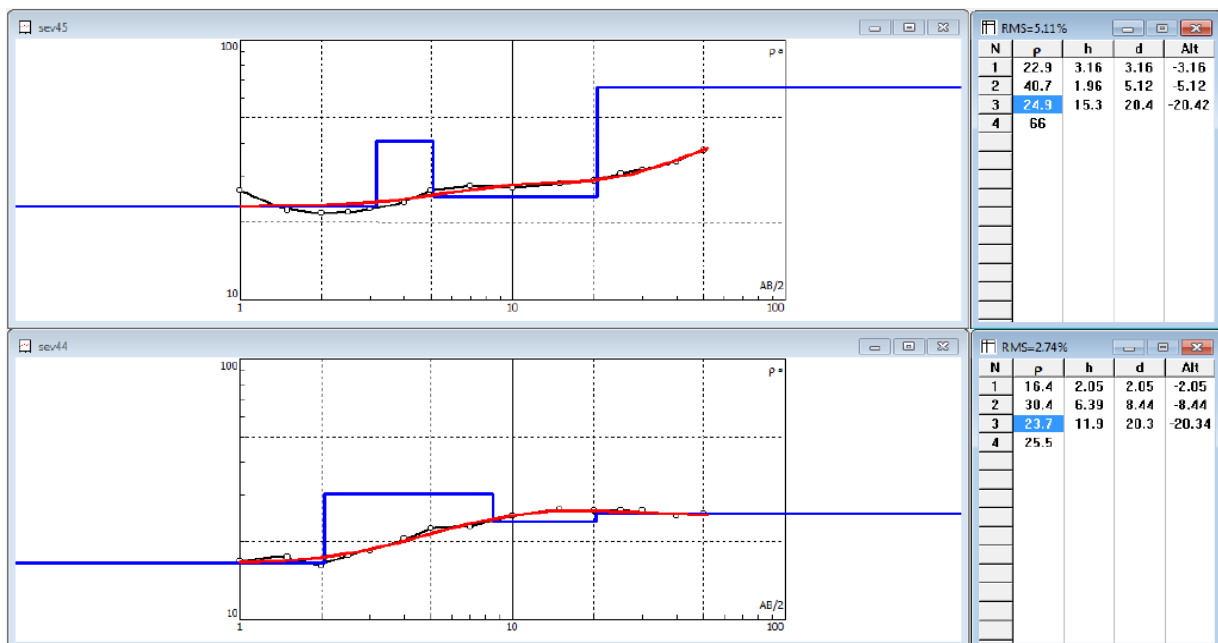


Figure 71:Interprétation quantitative des sondages électriques SEV44 et SEV45

Le SEV46 a une longueur de 100m, orienté W-E, et se trouve sur la rive droite de l'oued. La formation de surface correspond probablement à des argiles altérées (1.5m). Une anomalie résistante d'une épaisseur de presque 1m apparait. Elle peut correspondre à un passage calcaire. Le troisième terrain a une épaisseur de 15m a une forte résistivité et ne pourrait pas être assimilé à du matériel d'emprunt.

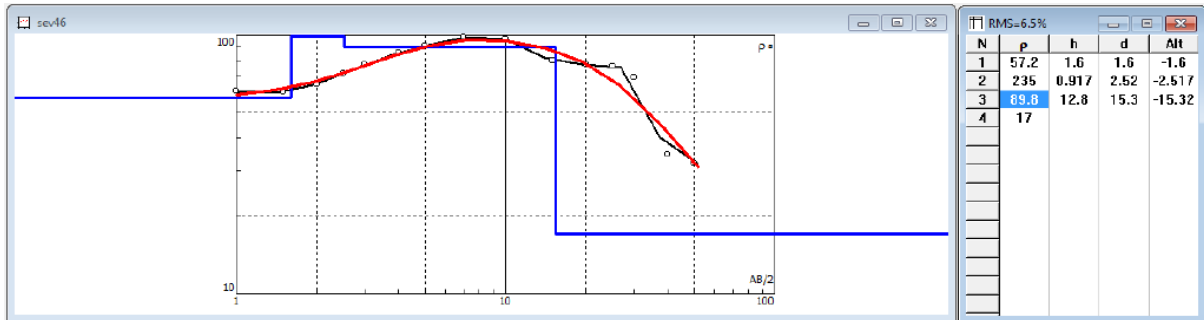


Figure 72: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV46

Les SEV38 et SEV39 sont orientés W-E et ont, chacun, une longueur de 100m. Ils sont sur la rive gauche de l'oued. Un banc résistant, probablement du calcaire, de 4.5m d'épaisseur, traverse un sol argileux, tandis qu'il affleure au SEV39. Le toit des argiles est atteint à 16m de profondeur. Les matériaux d'emprunt ne sont pratiquement pas présent dans cette région.

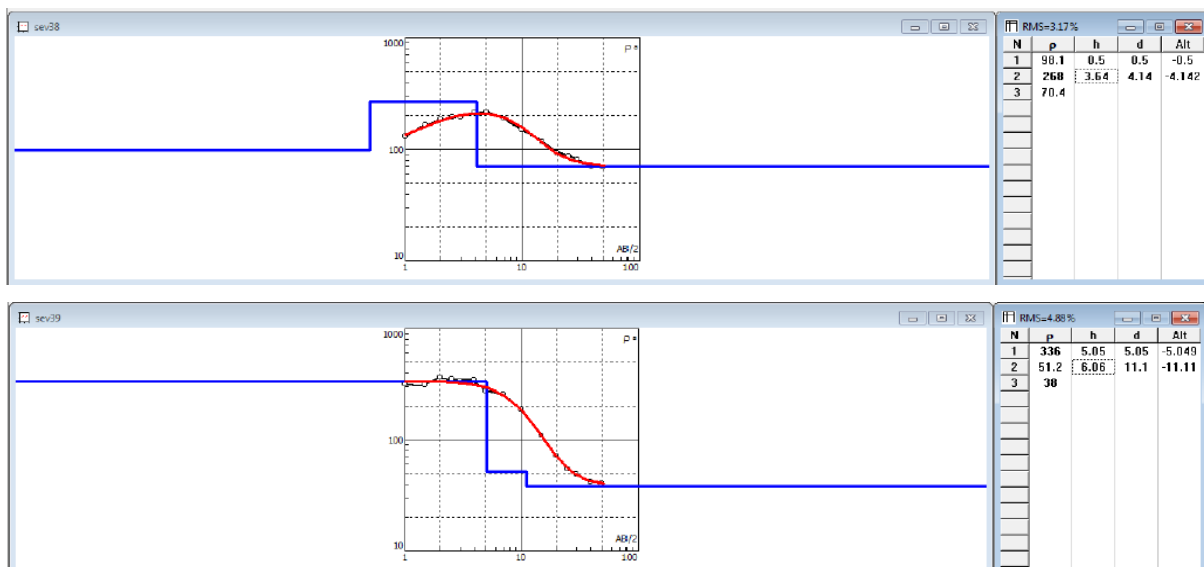


Figure 73: Interprétation quantitative des sondages électriques SEV38 et SEV39

Le milieu est formé de quatre terrains. Sur le premier demi-mètre, le sol est une formation résistante altérée. Le second milieu correspond à des argiles d'une épaisseur moyenne de 3m. Le troisième terrain est une formation résistante, probablement des calcaires d'épaisseur moyenne de 6m. Le toit des argiles est atteint à 12m de profondeur.

Les SEV41 et SEV42 sont orientés W-E et ont, chacun, une longueur de 100m. Ils sont sur la rive gauche de l'oued.

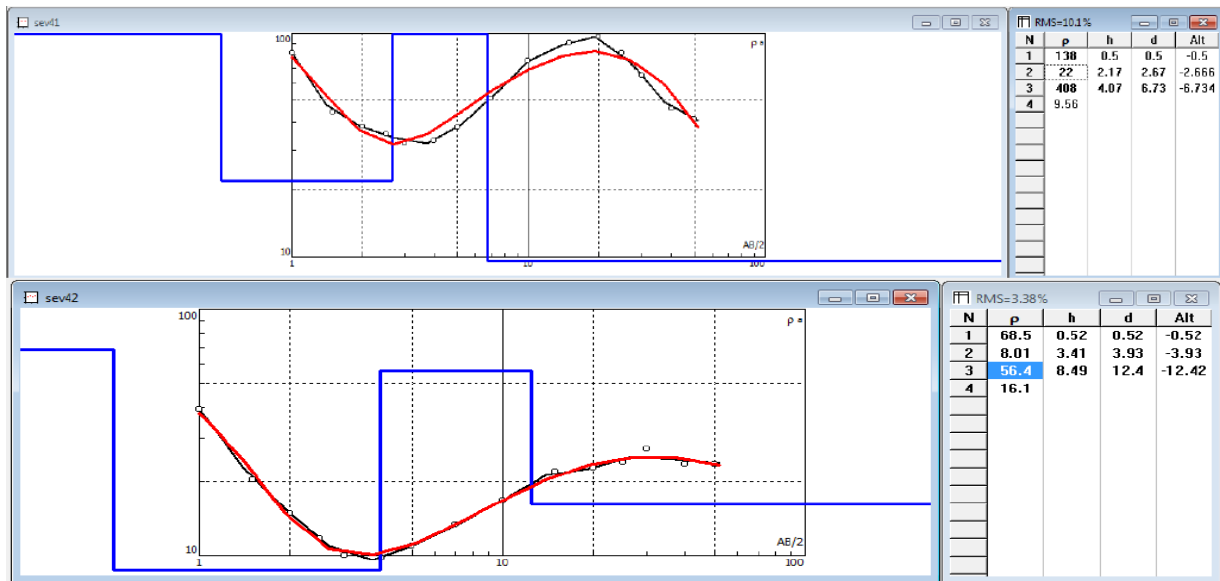


Figure 74: Interprétation quantitative des sondages électriques SEV41 et SEV42

Les SEV40 et SEV 43 est orientés W-E, la longueur de AB est de 100m. Ils ont été réalisés sur la rive gauche de l'oued. Les argileux y sont présents mais avec une faible épaisseur ne dépassant pas 3m.

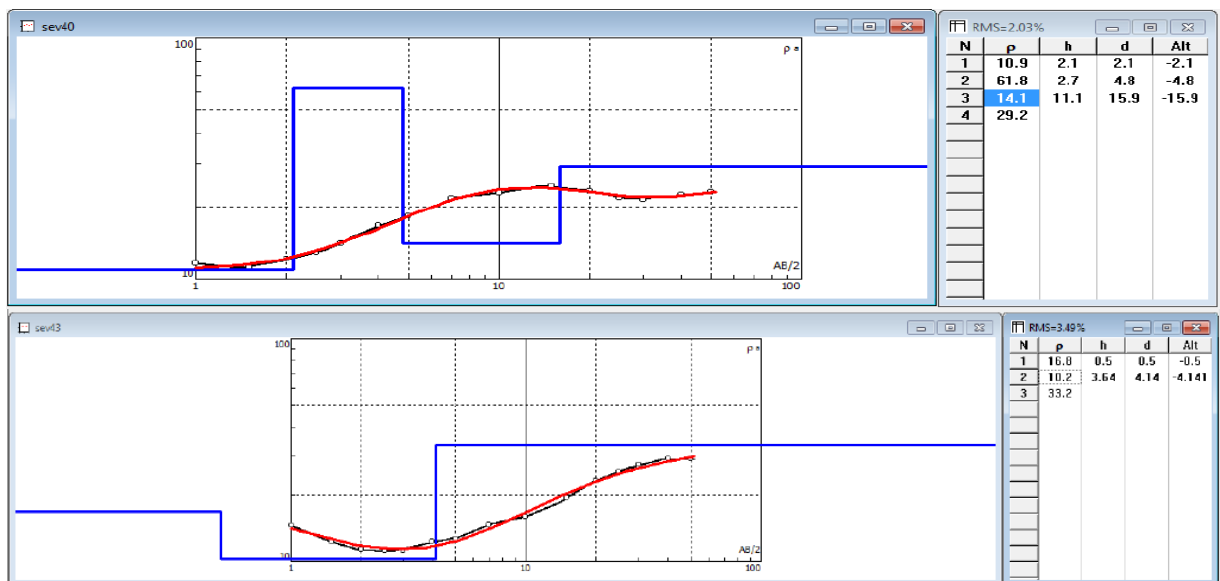


Figure 75: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV40 et 43

Les SEV53 et SEV54 ont 100m de longueur et sont orientés E-W. ils présentent un sol argileux atteignant une profondeur de 4m pour le SEV54 et 8m pour le SEV53. Les alluvions sont présentes et semblent être très épais (plus d'une dizaine de mètre).

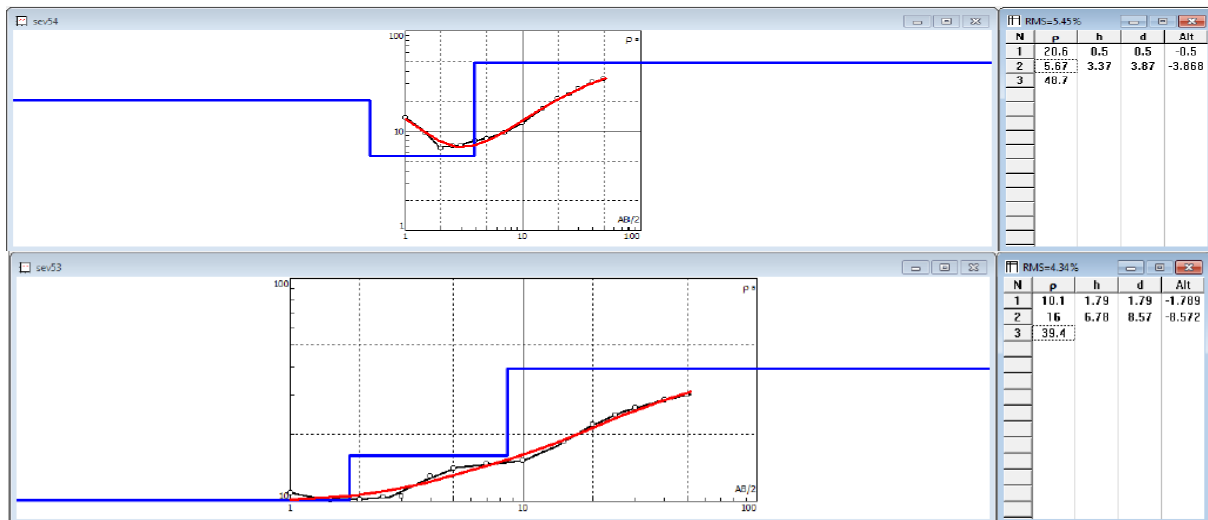


Figure 76: Interprétation quantitative des sondages électriques SEV53 et SEV54

Les SEV55 et SEV56 sont orientés E-W et ont une longueur de 100m. La formation de surface atteint une profondeur de 0.5m et représente des argiles altérées. Le second terrain est un passage résistant d'une épaisseur de 10m correspondant, selon la géologie du milieu, à un banc de gypse. Le toit des argiles est atteint à 22m de profondeur.

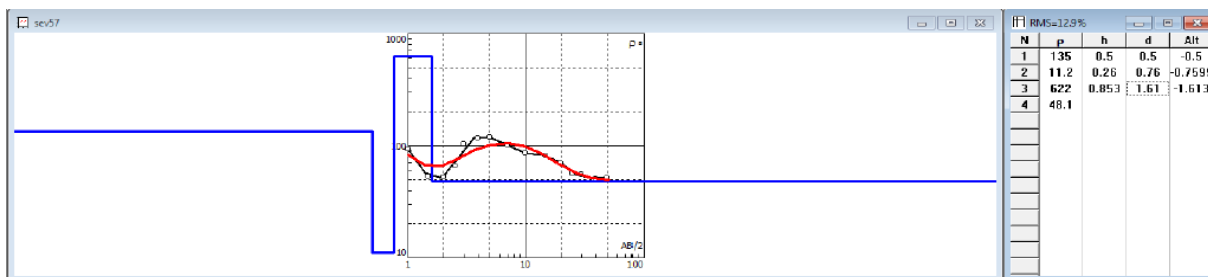


Figure 77: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV57

Le SEV58 a une longueur de 100m. Le traitement des données électriques présente un sol à deux terrains. En surface et jusqu'à presque 5m de profondeur, nous avons les argiles. Ces dernières reposent sur un terrain très résistant pouvant être du gypse.

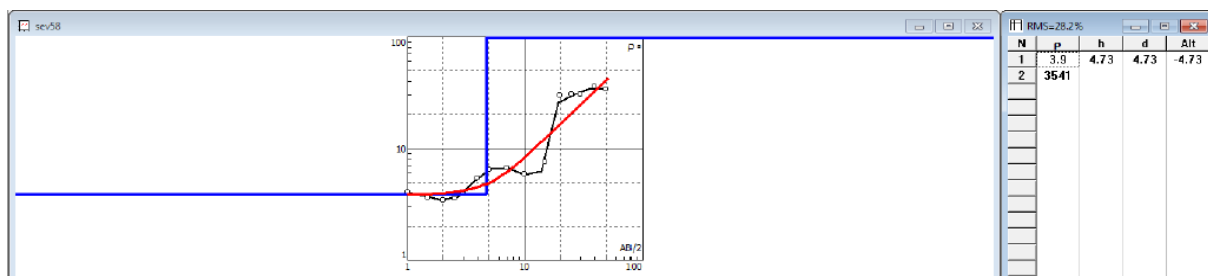


Figure 78 :Interprétation quantitative du sondage électrique SEV58

Les SEV 59 et SEV60 ont, chacun, une longueur AB = 100m. Le SEV60 est situé au NE du SEV59. Le traitement des données montre que le sol est argileux. Un banc résistant correspondant à des calcaires, traverse les argiles du NE vers le SW à 0.5m de profondeur. Néanmoins, au NE, son épaisseur n'est que de 30cm, tandis qu'il s'enfonce plus, 4m, au SW au niveau du SEV59

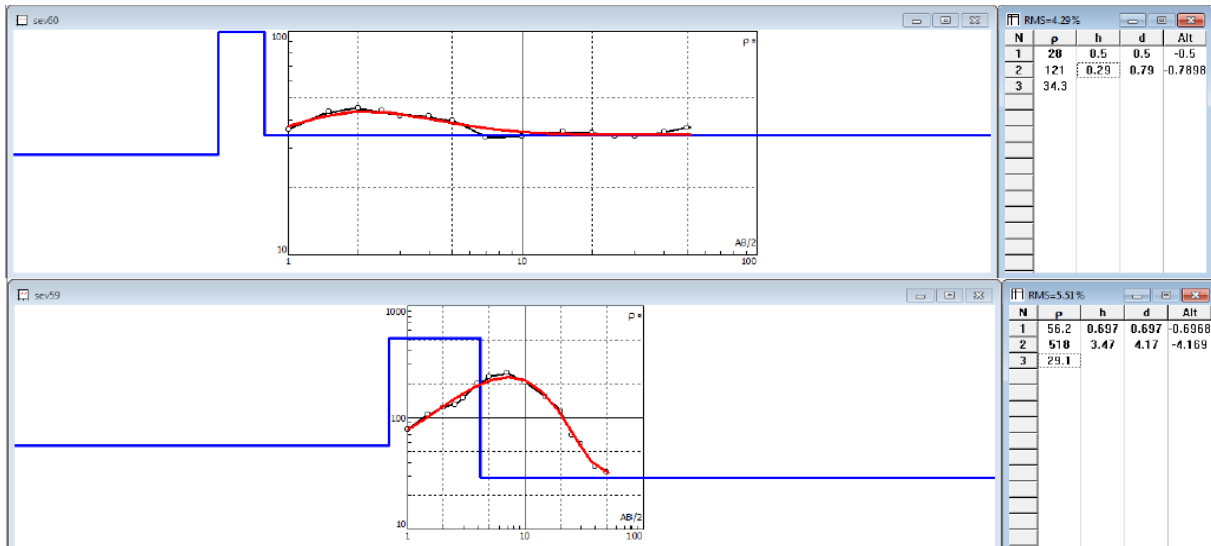


Figure 79: Interprétation quantitative des sondages électriques SEV59 et SEV60

4.4. Interprétation des données géophysiques de site III (AMONT):

Ce site se trouvant à plus de 5kms à l'amont des sites 1 et 2. Il est caractérisé par une topographie chahutée et une géologie complexe d'alternances de marnes et de calcaires et un faible remplissage alluvial de la vallée resserrée. Onze (11) bases sismiques ont été réalisées.



Figure 46:implantation des profils géophysiques, image Google Earth

4.4.1.Axe du Barrage : Méthode sismique :

Profil PS10aC'est la première base du profil PS10 situé sur la rive gauche de l'oued. L'interprétation de la sismique réfraction a mis en évidence trois couches géologiques matérialisées à travers le modèle généré. La première couche de vitesses faibles (argiles limoneuses), une intermédiaire dont les vitesses varient entre 1050 et 1590 m/s pouvant être des argiles et des marnes. Cette dernière reposant sur un substratum composé par des formations Marno-calcaires à calcaires et dont les profondeurs varient entre 9 et 13m.

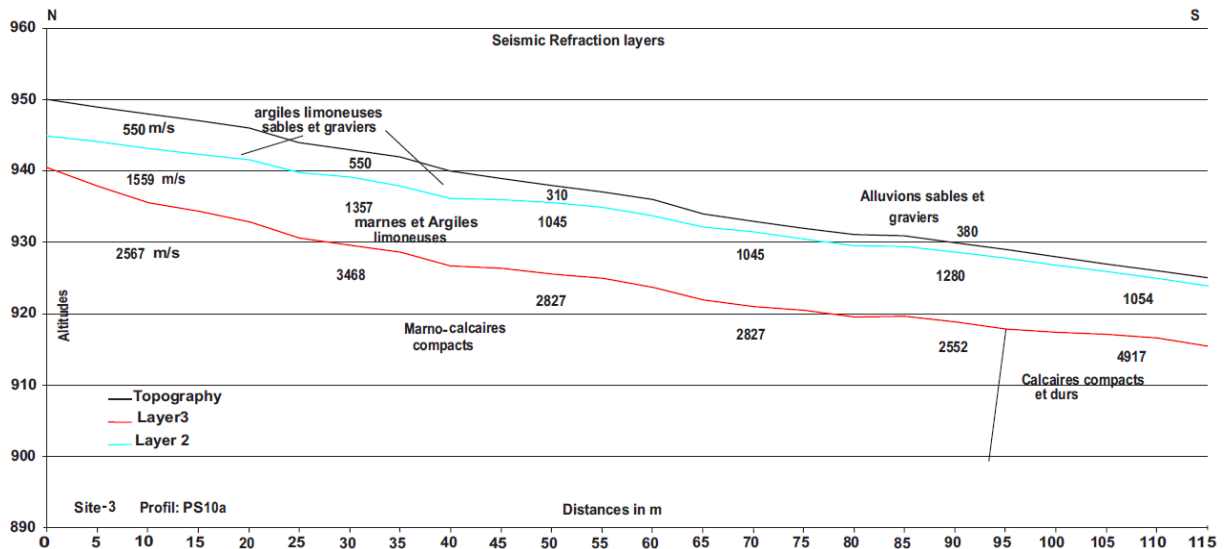


Figure 16: modèle du PS10a

Profil PS10b : Décrit un modèle à 03 couches, les profondeurs du top substratum calcaire varient de 3 à 10m.

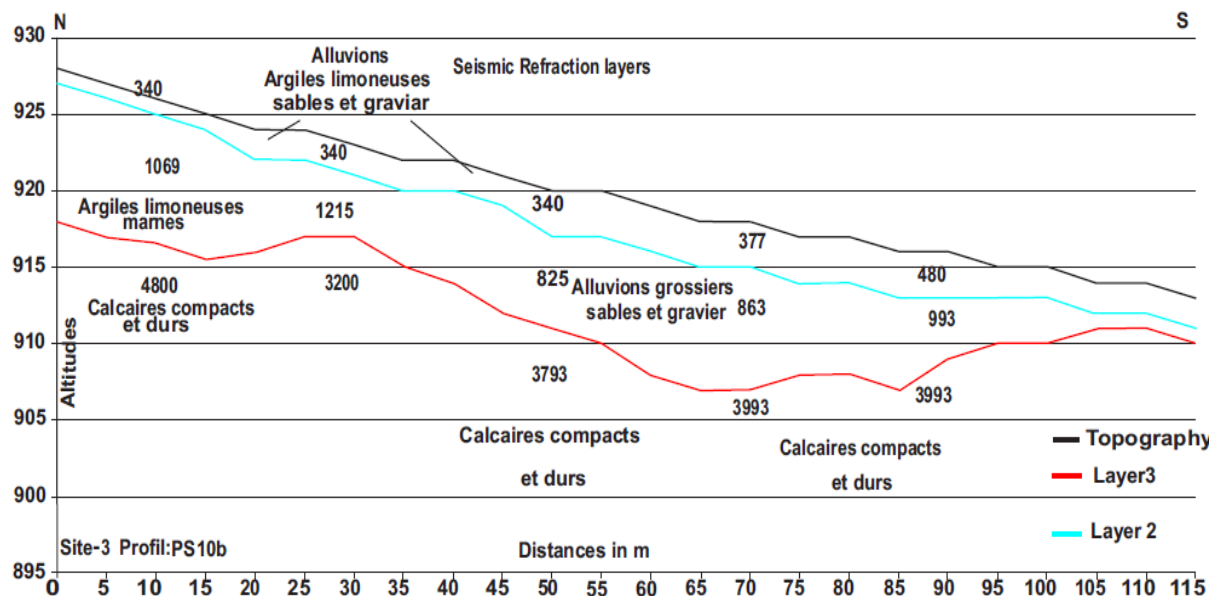


Figure 48: modèle du PS10b

Profil PS10g : Ce profil est la dernière base du profil PS10 se situant sur la rive droite en décrivant une forte pente. Son modèle montre deux couches. Des argiles limoneuses et des alluvions reposant sur un niveau a fortes vitesses composé de Marno-calcaires à calcaires durs et compacts. Les profondeurs du top de ce niveau varient entre 4 et 8m.

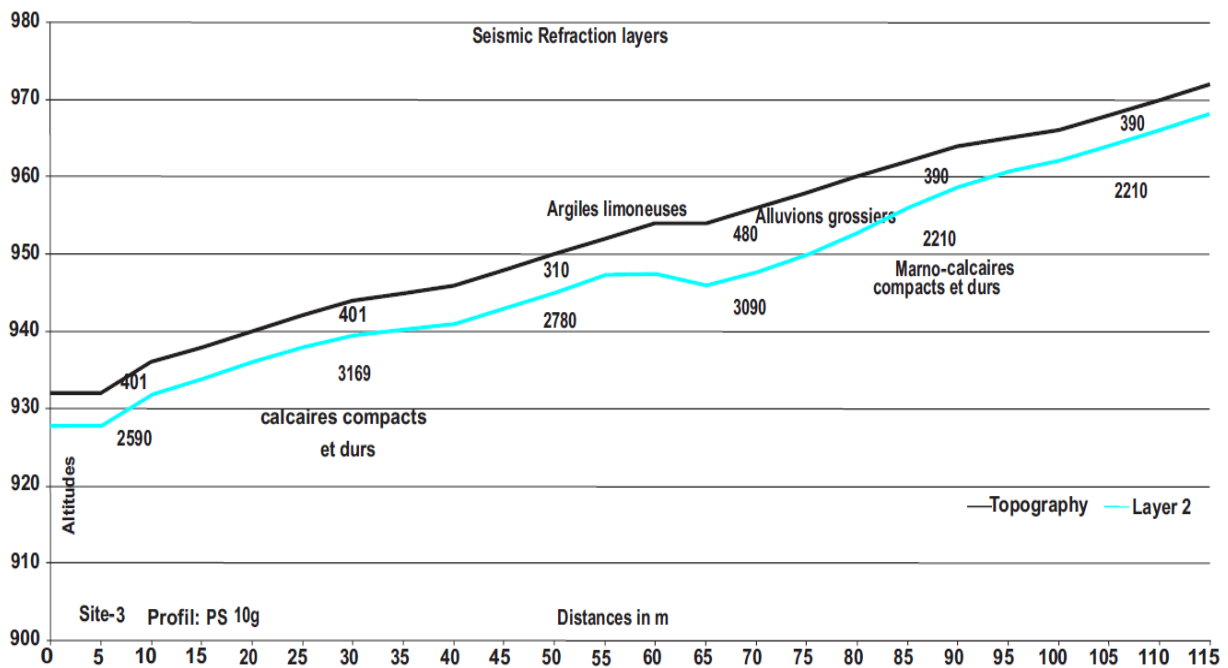


Figure 49: modèle du PS10g

Profil PS14 : C'est un profil de direction aval-amont croisant le profil PS10a sur la rive gauche. Son modèle montre trois couches géologiques : Des argiles limoneuses au sommet, argiles et marne en couche intermédiaire reposant sur un niveau Marno-calcaires à calcaires durs et compacts dont les profondeurs du top varient entre : 9 et 13m.

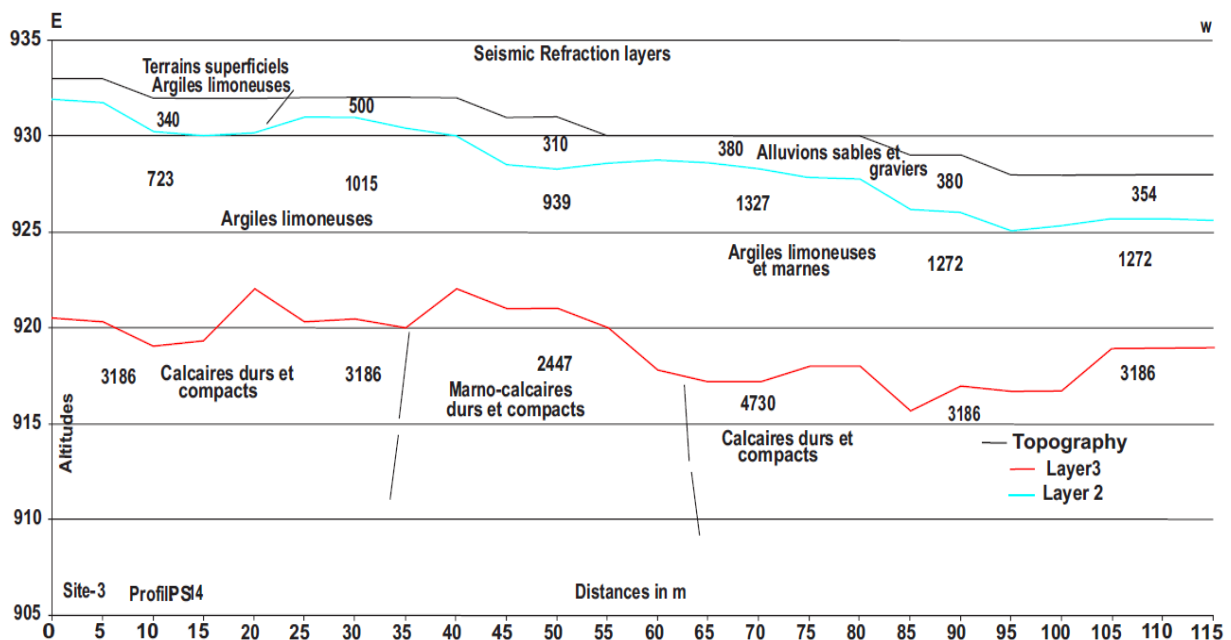


Figure 50: modèle du PS14

Profil PS13 : Composé de deux bases (a & b), ce profil croise le profil PS10b sur la rive gauche. Le modèle géologique est à trois couches. Des alluvions formant la première couche, des argiles limoneuses compose le deuxième niveau qui repose sur une formation à prédominance calcaires et dont les profondeurs varient entre : 6 et 11m.

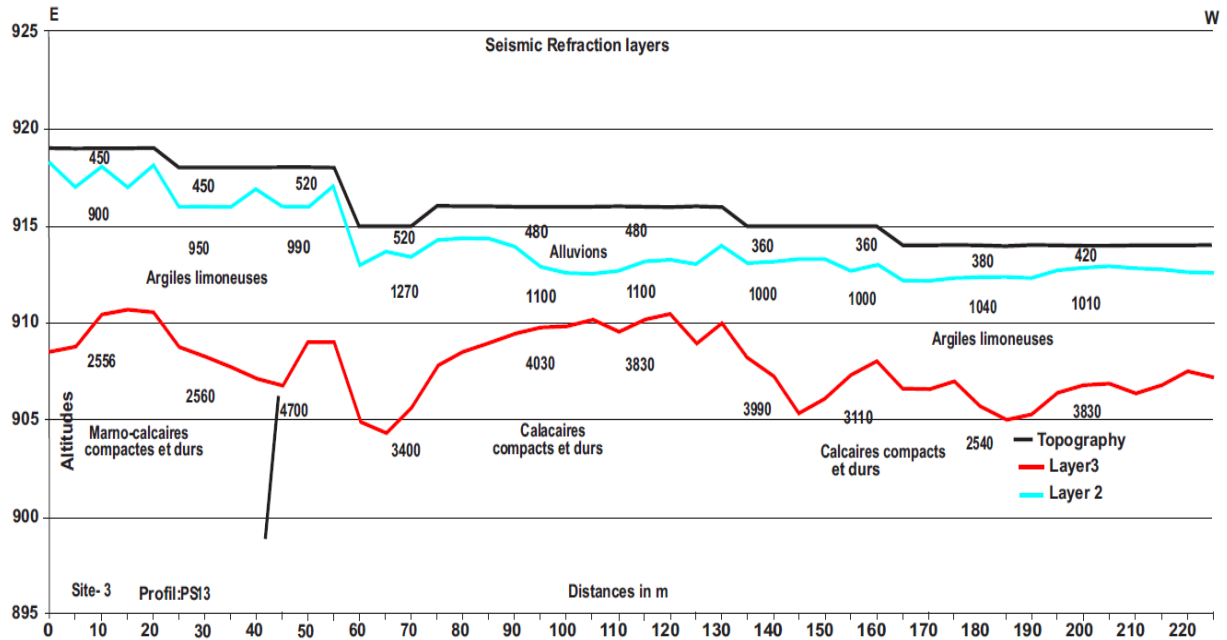


Figure 51: modèle du PS13

Profil PS12 : Ce profil croise le profil PS10e sur la rive droite de l’oued. Le modèle présente deux couches : des alluvions et des sables graveleuses couvrent un niveau calcaire à Marnocalcaires et dont les profondeurs sont entre : 5 et 8m.

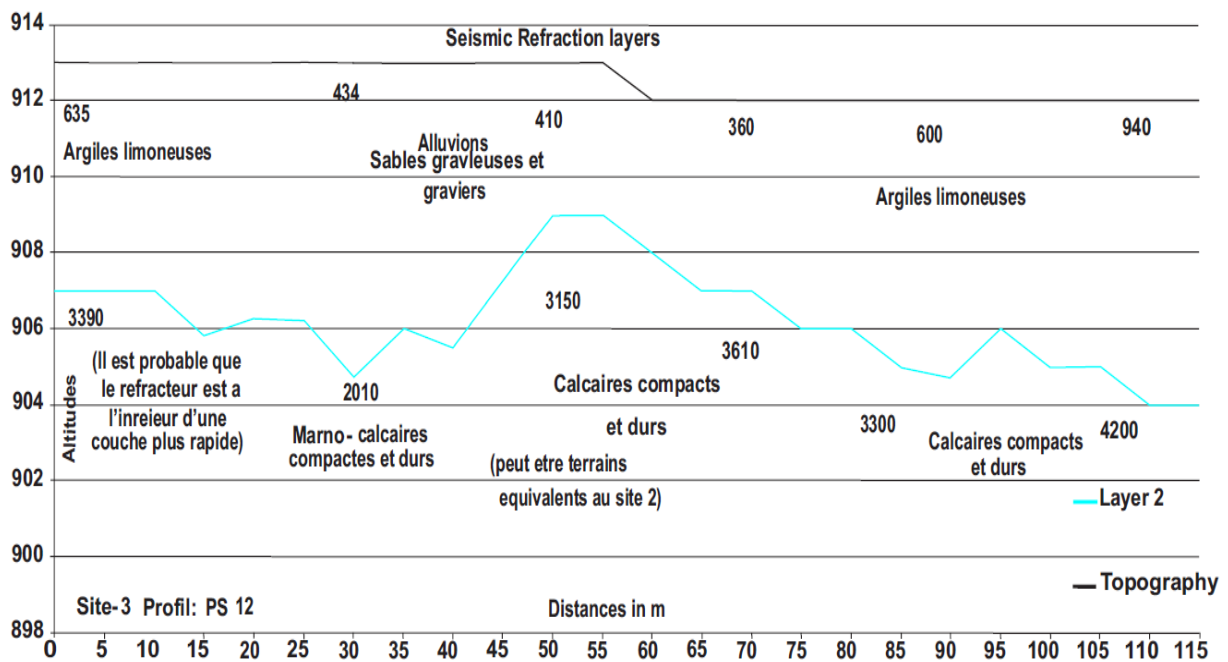


Figure 52: modèle du PS12

Profil PS11 : Ce profil croise le profil PS10e sur la rive droite. Le modèle géologique est composé de deux couches. Des alluvions grossières et des argiles limoneuses couvrant un niveau formé par des Marno-calcaires à calcaires compacts et durs. Les profondeurs du top de ce dernier sont entre : 6 et 9m.

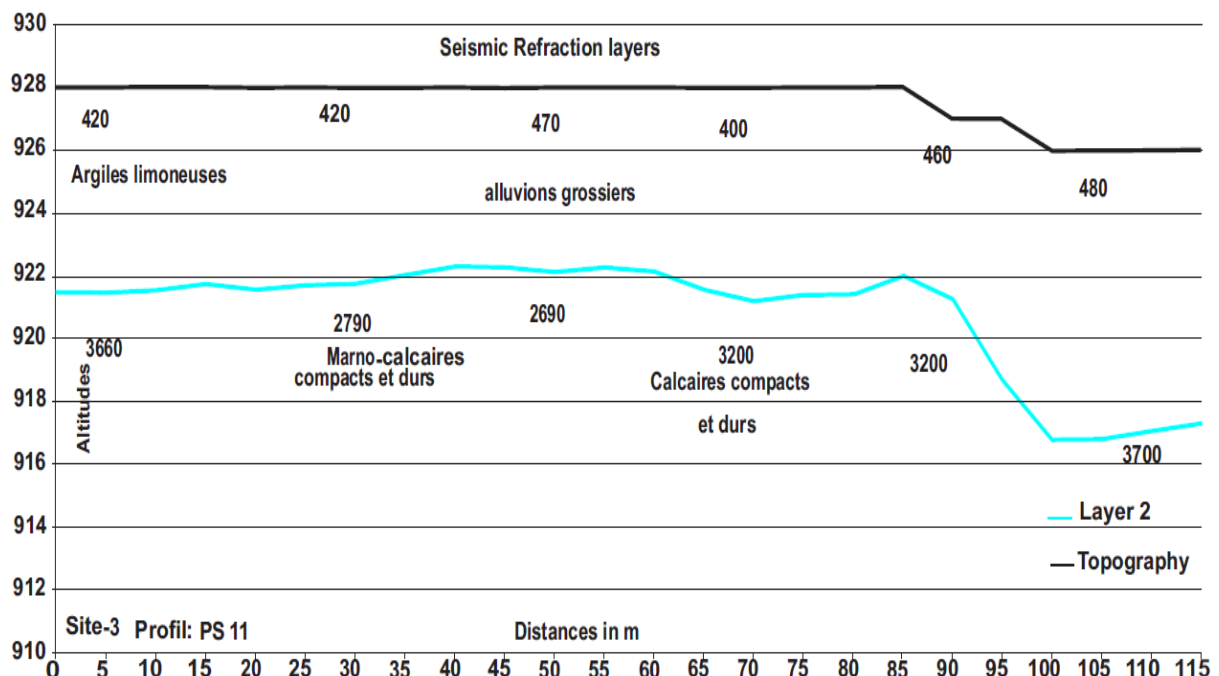


Figure 53: modèle du PS11

4.4.2.Zone d'emprunt 03 :

Cette zone est localisée à l'amont du site 3. Six (06) SEV ont été réalisés sur la rive gauche de l'oued et orientés W-E.

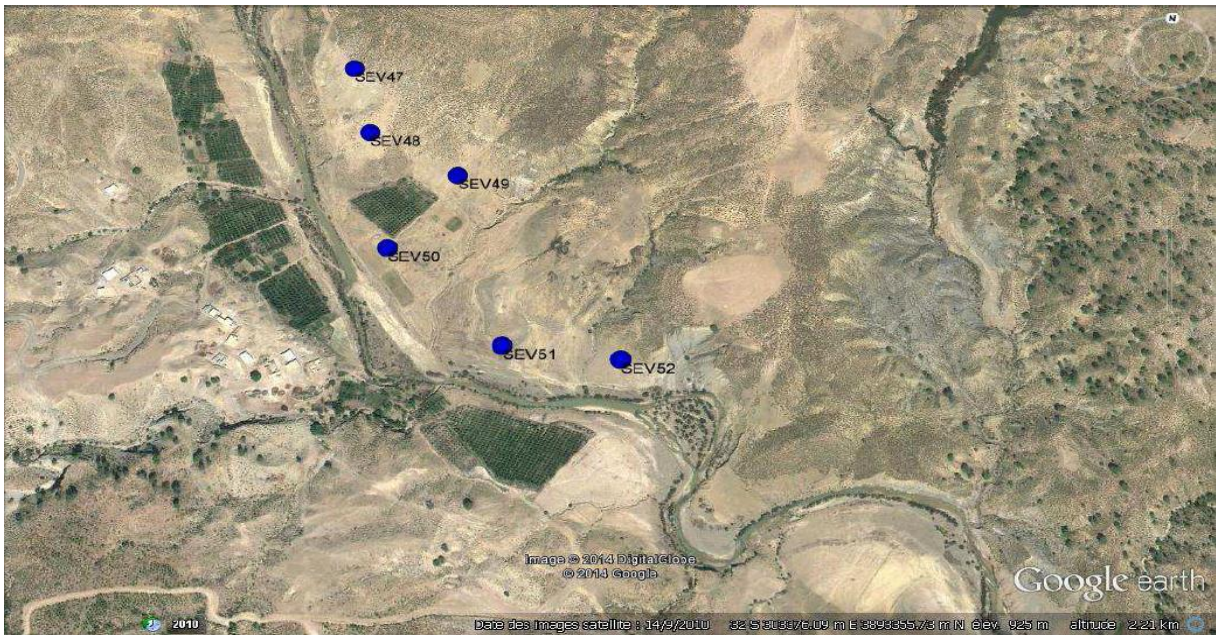


Figure 54: implantation des sondages géophysiques dans la zone d'emprunt 3. Image Google Earth

Le SEV 52 a une longueur de 100m. Le milieu est totalement argileux (peut être argileux-graveleux par endroit) et le toit est atteint à 12m.

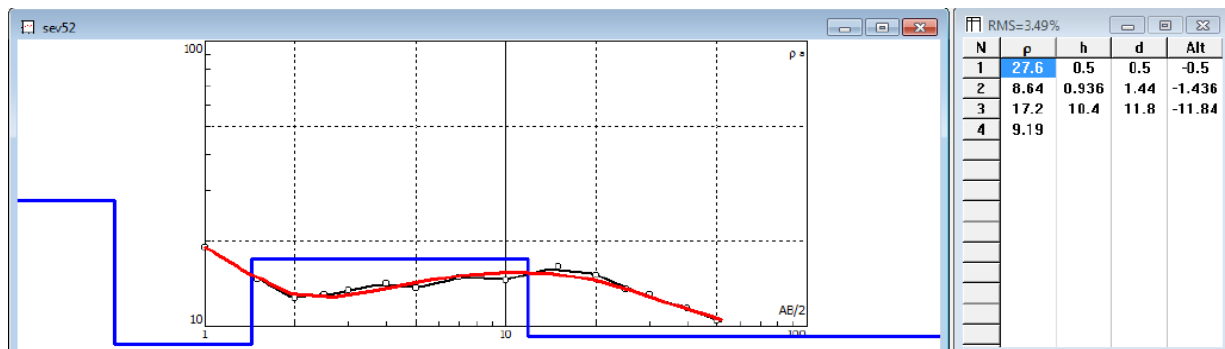


Figure 80: Interprétation quantitative du sondage électrique SEV52

Les SEV47, SEV48, SEV49, SEV50 et SEV51 ont, chacun, une longueur de 100m et ont été réalisés sur la rive gauche de l'oued Mellagou. L'allure du SEV51 montre clairement une formation résistante d'une épaisseur de presque 1.5m et ceci à 0.5m de profondeur. Cette formation peut correspondre à un banc calcaire. Ceci est aussi valable pour les SEV49 et SEV50 et fait que la présence « massive » des argiles telqu'observé sur le SEV52 n'est plus valable. Cependant, pour les SEV47 et SEV48, la résistivité électrique du milieu résistant diminue et pourrait être synonyme d'alluvions ou d'argiles graveleuses.

Donc, cette zone d'emprunt est faiblement potentielle dans sa majeure partie centrale.

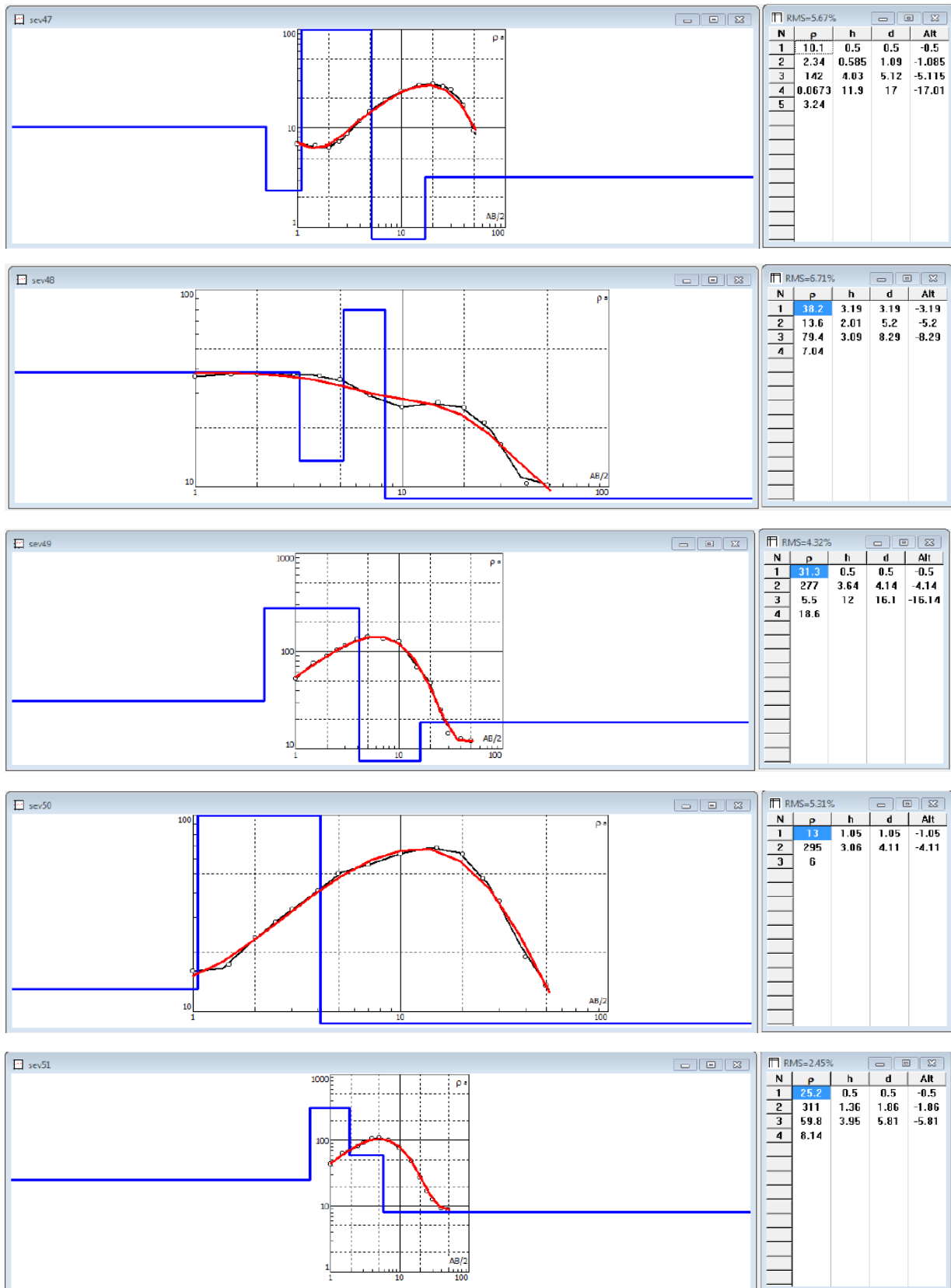


Figure 81: Interprétation quantitative des sondages électriques SEV47, SEV48, SEV49, SEV50 et SEV51

4.5. Les pseudo-coupes géo-électriques :

A l'issue de l'interprétation quantitative des sondages électriques verticaux, nous avons établi trois pseudo-coupes géo-électriques :

- ✓ La première coupe englobe les SEV : SEV01 ; SEV10 ; SEV02 ; SEV03 et SEV09 .
- ✓ La deuxième coupe est composée des SEV : SEV08 ; SEV07 ; SEV06 ; SEV05 et SEV04
- ✓ La troisième coupe inclue les SEV : SEV57 ; SEV56 ; SEV55 ; SEV54 et SEV53

Les coupes orienté du Sud (S) au le nord

Coupe 01 :

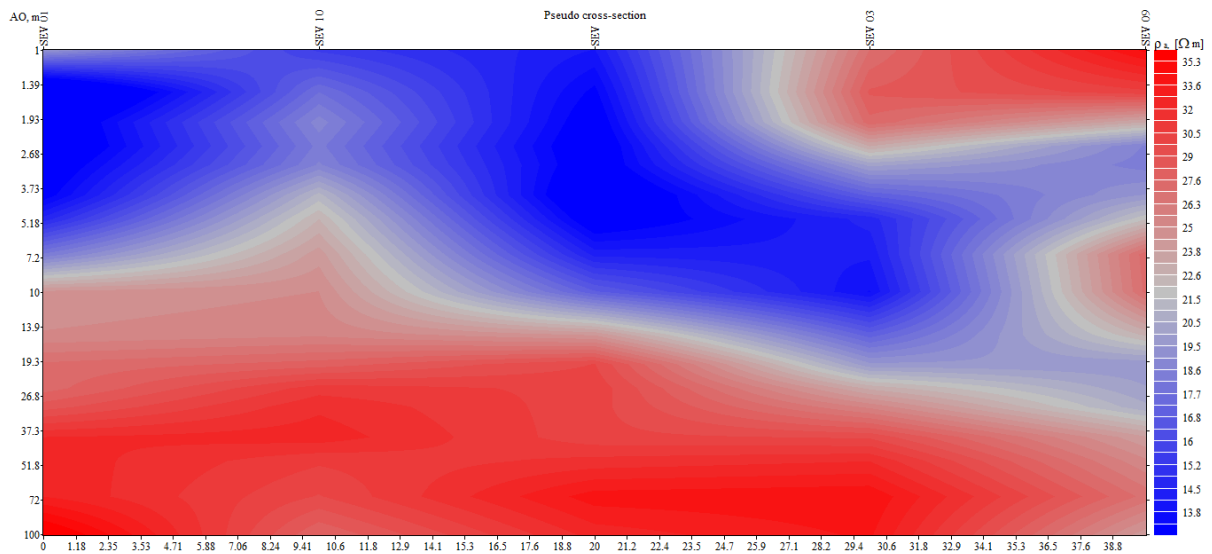


Figure 55: coupes géo-électrique de : SEV01 ; SEV10 ; SEV02 ; SEV03 et SEV09

Coupe I : interprétation :

La pseudo-coupe géo-électrique 01 représente la variation de la résistivité apparente en fonction de ($AO = AB/2$) elle a une direction S-N et englobe les SEV (: SEV01 ; SEV10 ; SEV02 ; SEV03 et SEV09) la plage de couleur varie entre un minimum de $10 \Omega.m$ (bleu) et un maximum de $36 \Omega.m$ (rouge) .

Les valeurs minimales (couleur bleu) correspondent à des argiles et semblent avoir une puissance de quelques mètres (7m) les argiles sont présents sous les SEV 1, 10 et 2. Le substratum est résistante (couleur rouge) et correspond aux marno-calcaires.

Coupe 02 :

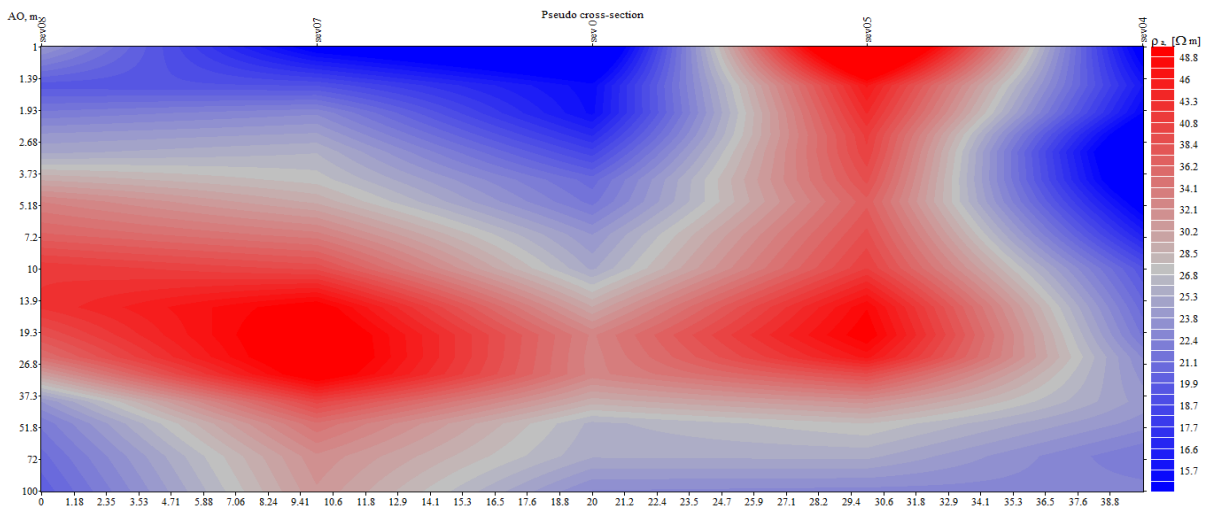


Figure 56: pseudo-coupe géo-électrique des: SEV08 ; SEV07 ; SEV06 ; SEV05 et SEV04

Coupe II : interprétation :

La pseudo-coupe géo-électrique 02 représente la variation de la résistivité apparente au fonction de (AO = AB/2) elle a une direction S-N et englobe les SEV (SEV08 ; SEV07 ; SEV06 ; SEV05 et SEV04). La plage de couleur varie entre un minimum de 15 Ω.m (bleu) et un maximum de 40Ω.m (rouge) .

Les valeurs minimales (couleur bleu) correspondent aux argiles et ont une puissance de quelques mètres (3m). Les SEV sont calés sur le sondage mécanique S9. Les argiles et sables sont présents sous les SEV 8, 7 et 6. Le substratum est résistante (couleur rouge) et correspond aux marno-calcaires.

Coupe 03:



Figure 57: coupes géo-électrique de : SEV57 ; SEV56 ; SEV55 ; SEV54 et SEV53

La coupe géo-électrique 03 montre la variation de la résistivité apparente en fonction de (AO = AB/2) elle a une direction S-N et englobe (les SEV57 ; SEV56 ; SEV55 ; SEV54 et SEV53) la plage de couleur varie entre un minimum de 10 Ω .m (bleu) et une maximum de 145 Ω .m (rouge).

Les valeurs minimales (couleur bleu) corrélerent avec les argiles et semblent avoir une grande puissance. Les argiles et sable sont présents sous les SEV 57, 56 et 54. Les SEV 54 et 53 sont résistants (couleur rouge) et correspondant vraisemblablement aux marno-calcaires.

Nous avons avoir les information en bleus a une faible résistivité c'est des argiles humide, par contre les information sec en rouge a une haut résistivité.



Conclusion

CONCLUSION

On a réalisé une étude géophysique par prospection sismique et électrique de trois (03) sites dans la région Mellagou (W. Khechela) destinés à la construction d'un barrage.

- 36 profils sismiques,
- 52 sondages électriques verticaux,
- 2 profils d'imagerie électrique,

- 3 coupes géo-électriques.

La connaissance géologique de la région s'est avérée nécessaire pour une interprétation des résultats plus profonde.

Site 1 Aval : Le terrain du site est formé de trois couches. Des argiles graveleuses altérées en surface, suivies par des alluvions et d'argiles qui reposent sur de la marne. Les profils sismiques donnent la répartition des vitesses en profondeur. Ils montrent que quelques fois, le toit du substratum Marno-Calcaire approche la vingtaine de mètres. Les épaisseurs de ces trois formations varient d'un lieu à un autre. L'imagerie électrique n'a pas montré de faille au centre de l'axe. Sur toute la cuvette du site 1, il a été confirmé la puissance importante des matériaux d'emprunts (argiles et alluvions).

Site 2 Intermédiaire: Il y a une grande ressemblance entre les sites 1 et 2 (aval et intermédiaire). Il est difficile de différencier (d'un point de vue vitesse sismique) entre les argiles graveleuses et les alluvions. Même en termes de résistivités, cette ambiguïté se pose quelques fois. Au niveau de l'axe du barrage 2, le socle paraît moins profond (inférieur à 10 m en général). Un indice de faille a été observé sur la section d'imagerie électrique au centre de l'axe. Sur la cuvette et sur la zone plus en amont, les zones d'emprunt ont montré un potentiel réel. Bien que les épaisseurs soient moins importantes que le site 1, ces zones ont une plus grande étendue spatiale.

Site 3 Amont : Le sol est constitué d'une formation surfacique argileuse et graveleuse reposant sur de la marne calcaire. Dans ce site, le substratum semble encore moins profond au niveau de l'axe. Cependant, des variations latérales de vitesses importantes (impliquant probablement des changements de faciès) sont notées. La zone d'emprunt semble moins développée que les sites 1 et 2. L'épaisseur totale (argile + Alluvions) ne devrait pas dépasser 4 mètres sur la majeure partie de la zone d'emprunt prévue.

A travers les résultats que nous avons obtenus dans cette étude pour les trois sites, nous choisissons le premier site, pour plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

1. La coupe géo-électrique de cette site.
2. le toit du substratum Marno-Calcaire approche la vingtième de mètres.
3. Existence d'un volume importante des matériaux d'emprunts (argiles et alluvions).
4. L'emplacement du premier site est en bas dans le bassin versant de Mellagou.



Références
bibliographiques



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



AGAGUENIA.S. (2010): Principes d'aménagement pour un développement local durable d'un territoire montagneux du littoral. Cas de la commune de Collo (Nord-est Algérien) Mémoire de magister. Université d'Annaba.23P.

ANDI, (2013) : Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages 06, 10.

ANONYME. (2012) : Les auteurs : bureau d'études pluridisciplinaire d'assistance et conseils, révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisation de la commune de Bouhmama 1ere phase août 2012.

Chapelier D., 2001. Prospection électrique de surface. Univ. De Lausanne. Institut Français du Pétrole, 99 p.

Chouteau B., Giroux B., 2008. Géophysique appliquée II, méthodes sismiques.

D.H.W.K: direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela, service des statistiques Mai 2012.

IPI2WIN (Version 3.0): logiciel de traitement électrique.

KHABTHANE.H. (2010) : Contribution à l'étude du comportement écophysologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de Khenchela. Mémoire Magister. Université de Constantine. 152 p.

Rapport de mission n°1: Eude de faisabilité relative au projet de réalisation du barrage de Mellagou dans la Wilaya de Khenchela. Identification des variantes et définition du programme de reconnaissances. Rapport P.005713-RP-03-A.

Rapport de mission n°1 : Eude de faisabilité relative au projet de réalisation du barrage de Mellagou dans la Wilaya de Khenchela. Identification des variantes et définition du programme de reconnaissances. Rapport P.005713-RP-03-B.

Rapport des investigations géotechniques du site 1-Aval et site 2-Intermédiaire.

Rapport-Final_Melagou :Faisabilité du barrage de Mellgaou (w.khanchela) étude géophysique.

ReflexW : logiciel de traitement sismique, multi modules.

Res2Dinv : logiciel de traitement d'imagerie électrique.

Subdivision agriculture Bouhmama, 2010.

VILA J.M., (1977) : Carte géologique de l'Algérie et notices explicatives.

A decorative frame in light blue with intricate black scrollwork and floral patterns. The frame is rectangular with rounded corners and a central opening. The word "Annexes" is centered within this opening.

Annexes

N	LISTE DES FIGURES	page
58	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV01, SEV02, SEV10	40
59	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV03 et SEV09	40
60	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV 28, SEV29 et SEV30	41
61	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV 32 et SEV33	41
62	Interprétation des sondages électriques verticaux SEV34 et SEV35	42
63	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV 31	42
64	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV4, SEV5, SEV6, SEV7 et SEV8	49
65	Interprétation quantitative SEV20, SEV21, SEV22, SEV23 et SEV24	51
66	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV25	52
67	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV27	52
68	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV37	53
69	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV36	53
70	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV26	53
71	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV44 et SEV45	54
72	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV46	55
73	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV38 et SEV39	55
74	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV41 et SEV42	56
75	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV40 et 43	56
76	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV53 et SEV54	57
77	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV57	57
78	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV58	57
79	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV59 et SEV60	58
80	Interprétation quantitative du sondage électrique SEV52	64
81	Interprétation quantitative des sondages électriques SEV47, SEV48, SEV49, SEV50 et SEV51	65