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



Université de Médéa

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département du Génie de la Matière

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN GENIE CIVIL
Option: Géni-Géotechnique

SUJET

Contribution des méthodes géophysiques à l'étude géotechnique du site de Barrage de Beni Slimane. (Wilaya de Médéa)

Réalisé par:

*** Mr, BOUYAKOUB AMEUR**

Dirigé par :

*** D^{r} GUENDOUZ ABDELHAMID**

Septembre 2012

Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier en premier lieu notre DIEU miséricordieux qui ma donné la volonté, la force et la patience à achever ce travail.

Mes remerciements à mes parents, pour leurs soutiens et leurs encouragements pendant toute la vie et qui continueront à m'aider dans l'avenir. Ainsi que tous les membres de ma petite famille (ma femme et mes filles) qui ont participé de prés à mon encourager pour la réalisation de ce projet.

Je remercie très sincèrement mon promoteur, monsieur GUENDOUZ ABDELHAMID, pour son dévouement, ses conseils et ses critiques tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Mes sincères remerciements à tous les enseignants de l'université de Médéa qui ont laissé leur traces dans ma vie étudient et ma vie professionnel surtout : Mr MANAA LAZIZI et Mr AMAR BOUZID DJILAL.

Je remercie vivement toutes les personnes de l'ANRH de Soumaa et le Bureau d'étude HYDROCONCEPT pour leur aide durant toute la période expérimentale de ce travail.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin, à la réalisation de ce travail.

RESUME :

Ce projet présente une synthèse sur les différents essais utilisés dans le domaine de géotechnique, le premier volet est réservé aux définitions des essais au laboratoire et in situ. Dans le deuxième volet un aperçu sur la géophysique et ses différentes méthodes, et on terminera par une comparaison entre essai géotechnique (Sondages carottés) et essai géophysique (Sondages électriques verticales) dans le site du barrage Beni Slimane (en cours de réalisation) que nous proposons afin de constater l'intérêt de la contribution de la géophysique (méthode électrique) dans le domaine géotechnique.

ملخـص:

هـذا المشروع يعرض خلاصة عن مختلف التجارب المستعملة في ميدان الجيوتقني,**في الشق الأول** يتطرق **إلي** تعريف التجارب في المخبر و في الموقع,**في الشق الثاني نعطي لمحة** علي الجيوفيزياء و مختلف طرقها, وفي الأخير نقترح إجراء مقارنة بين تجربة جيوتقنية (صـبـر جـزريـة) و تجربة جيوفيزيائية (**صبر** الكهربي **العمودي**) **في موقع سد** بني سليمان (**في طور الإنجاز**) و ذالك لملاحظة أهمية مساهمة الجيوفيزياء (طريقة الكهربائية) في ميدان الجيوتقني.

SUMMARY:

This project presents a synthesis of the various tests used in the field of geotechnical engineering, starting in the first round by the definitions of laboratory tests and in situ trials. In the second part an overview of geophysics and its various methods, and we conclude with a comparison between geotechnical (Surveys cored) and geophysical testings (vertical electrical Polls) in the site Beni Slimane dam (in construction) that we propose in order to notice the interest of the contribution of geophysics (électrique methods) in the geotechnical field.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES……...…….…….…….3

LISTE DES TABLEAUX…….……4

LISTE DES ANNEXES……5

INTRODUCTION...……..…….....…6

CHAPITR I : METHODES DE PROSPECTION (Reconnaissances)

I.A- Essais géotechniques…….....8

I.A.1- Les essais « in –situ »……..8

I.A.1.1 Le pénétromètre dynamique lourd (DPT)…….…….8

I.A.1.2 Le pénétromètre au carottier ou standard (SPT)…….…….11

I.A.1.3 Le pénétromètre statique….....14

I.A.1.4 L'essai de cisaillement sur site ou scissomètre de chantier…….....17

I.A.1.5 L'essai pressiomètrique……...….....19

I.A.1.6 Essai à la plaque…….....22

I.A.2 Essais à laboratoire …….....23

I.A.2.1 Les essais d'identification et de classification des sols……....……23

I.A.2.2 Teneur en eau naturelle…….……...23

I.A.2.3 Analyse granulométrique…….……...….24

I.A.2.4 Sédimentomètrie ou analyse à l'hydromètre…….…...…24

I.A.2.5 Les limites de consistance ou limite d'Atterberg……24

I.A.2.6 Equivalent de sable…….....25

I.A.2.7 Essais mécaniques……...……25

I.A.2.8 Essai Oedométrique……25

I.A.2.9 Essai Proctor……...……26

I.A.3 Conclusion…….26

I.B - Prospections Géophysique…….…….....27

I.B.1 Introduction……..……..27

I.B.2 Méthodes des prospections géophysique……..……...….27

I.B.2.1 Prospection Gravimétrique……..…....28

I.B.2.2 Prospection Sismique…….…....…29

I.B.2.2.1- La diagraphie acoustique…….….....30

I.B.2.2.2- La sismique réflexion……..…….…...30

I.B.2.2.3- La sismique réfraction……...…….31

I.B.2.3 Prospection Electrique…….…...…....32

I.B.2.3.1 Unicité et stabilité……...…...….33

I.B.2.3.2 Principe d'équivalence et de suppression…….…...…….34

I.B.2.3.2.1 Principe d'équivalence…….…...….....34

I.B.2.3.2.2 Principe de suppression……35

I.B.2.3.3 Relation de similitude……...…….35

I.B.2.3.4 Type de sondages……...……35

I.B.2.3.4.1 Sondage Wenner……...…....36

I.B.2.3.4.2 Sondage Schlumberger …….……...36

I.B.2.3.4.3 Profil ou trainé de résistivité……..…...…...….36

I.B.2.3.4.4 Méthode Dipôle / Dipôle…….....……36

I.B.2.3.4.5 Panneaux ou imagerie électrique (Tomographie)…….....…...……38

CHAPITRE II : PROSPICTION ELECTRIQUE AU SITE DE BARRAGE BENI SLIMANE

II.A Présentation du site…….……40

II.A.1 Introduction…….……....40

II.A.2 Situation Géographiques…….……40

II.A.3 Climatologie ……..42

II.A.4 Géologie de la zone d'étude ……...…43

II.A.4.1 Géologie générale……....43

II.A.4.2 Stratigraphie de la zone d'étude …….44

II.A.5 Hydrologie……..…48

II.A.5.1 Introduction…….....48

II.A.5.2-Caractéristiques hydrologiques du bassin……...…….49

II.A.6 Hydrogéologie…….50

CHAPITRE III : METHODOLOGIE UTILISEE DANS L'ETUDE DU SITE DU BARRAGE

III.1 Travaux réalisés et techniques utilisées ……..…..……...51

III.1.1- Reconnaissance par les Puits ……...….51

III.1.2- Reconnaissance par les tranchées…….……...…..52

IV.1.3- Les Sondages carottés…….…...…52

III.1.4- Prospection géophysique ……..……52

III.2 Planning et moyens humains…….…..……...…52

III.2.1 Planning……...…..…52

III.2.2 Moyens humains…….……...….52

III.2.3 Equipement géophysique et de positionnement utilisés…….……..…..…52

III.3 Travaux de terrain……...…...…55

III.4 Présentation des données obtenues …….58

CHAPITRE IV : PRINCIPAUX RESULTATS

IV.1 Essais Géotechnique…….64

IV.1.1 Travaux de reconnaissance exécutes……..64

IV.1.2 Sismique de réfraction……....64

IV.1.3 Tranchées de reconnaissance…….…….65

IV.1.4 Sondages carottés……...……65

IV.2- Essais Géophysique (prospection électrique)…….67

IV.3-Interpretation des coupes Géoélectriques…….……...68

IV.4- Conclusion et recommandations…….……....68

LISTE DES FIGURES

Figure II.1 :.Schéma de principe d'un pénétromètre dynamique…….….9

Figure II.2 :.Profil de pénétromètre dynamique de type A…….……10

Figure II.3 : Les carottes de l'essai SPT……..……12

Figure II.4 : Profil de pénétration SPT…….……...13

Figure II.5 :.Le pénétromètre statique……...…….…….14

Figure II.6 :.Schéma de principe d'un pénétromètre statique…….15

Figure II.7 : Profil de pénétration statique……...……16

Figure II.8 : Schéma de principe de l'essai au scissomètre de chantier……..17

Figure II.9 : Profil d'essai au scissomètre de chantier…….18

Figure II.10 : L'essai pressiomètrique Ménard……...…….19

Figure II.11: Essai à la plaque…….22

Figure II.12 : Un gravimètre Autograv CG-5……..28

Figure II.13: Principe de la sismique réflexion……..….30

Figure II.14: Profile de la sismique réflexion…….……31

Figure II.15: Principe de la prospection Electrique…….……32

Figure II.16: Model 03 couches……...34

Figure II.17: Les principaux dispositifs quadripôles……...……37

Figure II.18: Principe de panneau électriques…….……38

Figure II.19: Appareillages panneaux ou imagerie électrique…….……39

Figure II.20: La résistivité apparente observée en MNT…….……39

Figure III.1 : Situation administrative de la zone d'étude…….……..41

Figure III.2: Extrait de la carte topographique de Beni slimane au 1/25 000eme…….41

Figure III.3 : Image satellitaire de la zone d'étude……..……42

Figure III.4: Extrait de la carte pluviométrie de l'Algérie du Nord (ANRH)…….……....43

Figure III.5: Extrait de la carte géologique de la zone d'étude Ech: 1/50 000……47

Figure III.6 : Bassin versant Oued Isser sur un fond MNT……48

Figure III .7: Topographie des bassins versants de Beni Slimane MNT……..…49

Figure III.8: Forages inventories dans la zone d'étude……...……50

Figure IV.1: Le résistivimètre utilisé sur le terrain PASI Mode 16 Gl……..….53

Figure IV.2: GPS utilisé sur le terrain (Garmin)…….……...…….55

Figures IV.3 : Dispositif d'exécution des sondages électrique……..……..56

Figure IV.4 : Carte de positionnement des SEV……....…….58

Figure IV.5 : Coupe géoélectrique A et C……...……...62

Figure IV.6 : Coupe géoélectrique B……...……...63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Valeur préssiomètrique selon la nature du sol……..……21

Tableau III.1: Positionnement du site……..……...40

Tableau IV.1 : Coordonnées des sondages électriques verticaux réalisés sur site……..57

Tableau V.1 : L'échelle de résistivité……..….67

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – Géotechnique

Tableau V.1 : Synthèse des travaux d'investigation géotechnique exécutés……..……70

Tableau V.2 : Synthèse de quantité des essais de laboratoire réalisés…….……70

Tableau V.3 : Synthèse des profils sismiques réfraction réalisés……71

Figure V.1: Profil sismique……..73

Tableau V.4 : Analyse des résultats obtenus et identification des horizons sismiques…...…73

Tableau V.5 : Synthèse des tranchées de reconnaissance réalisées……...74

Tableau V.6 : Principales caractéristiques des sondages réalisés……..…..75

Figure A-1 : Sondage S2……..77

Figure A-2 : Sondage S3……...…78

Figure A-3 : Sondage S4 bis……79

Figure A-4 : Sondage S5……..….80

Figure A-5 : Sondage S6……...…81

Figure A-6 : Sondage S7……..82

Figure A-7 : Sondage S8…….…….83

Figure A-8 : Sondage S9……..……84

Figure A-9 : Sondage S10……..……..85

Figure A-12 : Sondage S13…….…….86

Figure A-13 : Sondage S14……..……87

ANNEXE 2 – Géophysique

Tableau B-1: Sondage électrique Schlumberger S2……..…..89

Figure B-1: Courbe de sondage S2……..……90

Tableau B-2: Sondage électrique Schlumberger S3…….……..91

Figure B-2: Courbe de sondage S3……..……92

Tableau B-3: Sondage électrique Schlumberger S4 bis ……..……..93

Figure B-3: Courbe de sondage S4……..94

Tableau B-4: Sondage électrique Schlumberger S5 ……..…….95

Figure B-4: Courbe de sondage S5……..96

Tableau B-5: Sondage électrique Schlumberger S6……..……..97

Figure B-5: Courbe de sondage S6…….…….98

Tableau B-6: Sondage électrique Schlumberger S7 ……...……99

Figure B-6: Courbe de sondage S7……...…….100

Tableau B-7: Sondage électrique Schlumberger S8 …….……101

Figure B-7: Courbe de sondage S8……...……..102

Tableau B-8: Sondage électrique Schlumberger S9 …….……103

Figure B-8: Courbe de sondage S9……...…….104

Tableau B-9: Sondage électrique Schlumberger S10 …….……..105

Figure B-9: Courbe de sondage S10……..……106

Tableau B-10: Sondage électrique Schlumberger S13…….…….107

Figure B-10: Courbe de sondage S13……108

Tableau B-11: Sondage électrique Schlumberger S14……..109

Figure B-11: Courbe de sondage S14……...…….110

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les ouvrages utilisent le sol autant qu'un élément de l'infrastructure qui transmet la charge globale de l'ouvrage vers une couche du sol suffisamment stable et résistante. De ce fait, la réussite de l'ouvrage relève de la réussite du projet de fondation. Selon le type de l'ouvrage et son mode de conception, le sol peut constitue une base d'appuis pour l'ensemble de l'ouvrage tel que route, tunnel, barrage poids, mur de soutènement, aérodrome, ou un point d'appui pour quelques éléments seulement tel que bâtiment, pont, barrage en arc ...etc. La mécanique des sols (et des roches) est la science qui regroupe l'ensemble des connaissances techniques qui permettent d'identifier les caractéristiques qui régissent le comportement mécanique du sol. L'analyse de l'interaction sol-structure.

A titre indicatif, la mécanique des sols traite les problèmes relatifs aux fondations diverses, ouvrages de soutènement, remblais et structures en terre, stabilité des pentes et talus, route, piste d'atterrissage, tunnels, barrages, mines…

Ses buts sont les études des sites que l'on a choisis afin d'y adapter les ouvrages que l'on va y construire et/ou de prévenir les risques que l'on y court. La géophysique, la géomécanique et l'hydraulique souterraine sont les disciplines mathématisées de la géotechnique ; un sondage mécanique, un essai in situ ou sur échantillon ne concerne strictement qu'une fraction de matériau, hétérogène, variable… sur laquelle il s'exerce ; en étendre le résultat à une zone plus ou moins vaste du site n'est mathématiquement pas possible, même en recourant à la statistique. Les paramètres de Coulomb, de Hoocke ou de Darcy, les milieux et les modèles de Rankine, de Fellenius, de Boussinesq, de Dupuit…, les conditions aux limites prêtées aux phénomènes étudiés, sont des abstractions commodes pour intégrer des équations de champ et manipuler les formules biunivoques qui en proviennent ; les résultats auxquels conduisent ces formules et leurs paraphrases informatiques, correspondent à des ordres de grandeurs qu'il est indispensable de connaître mais qu'il serait imprudent d'utiliser sans critique.[1]

Pour réussir le passage de l'échantillon et/ou de l'essai au site, il est nécessaire de recourir à la géologie, à la géomorphologie, à la géodynamique… ; elles décrivent des matériaux et des modèles complexes mais nettement moins schématiques : la nécessité évidente de ce recours est sans doute la raison qui avait conduit Terzaghi à définir le géotechnicien comme un géologue qui serait aussi mécanicien et non comme un mécanicien

qui serait aussi géologue ; la plupart des accidents géotechniques sont dus à l'inadaptation de l'ouvrage au site, à la méconnaissance de la géologie et non à des erreurs de calculs géomécaniques.

Le modèle géologique est maintenant de plus en plus élaboré. Les techniques géophysiques de surface sont choisies en fonction du type de terrain rencontré, du type de contraste attendu, des profondeurs d'investigation, du niveau de détail visé ainsi que du type Particulier de problème technique à résoudre (par exemple évaluation des difficultés de terrassement, détection d'éventuelles cavités souterraines, etc.).[2]

Dans le processus de reconnaissance, la géophysique intervient donc à plusieurs stades. Elle sert à améliorer le premier modèle géologique en donnant une vision d'abord approximative de la structure du sous-sol en volume (en complétant en profondeur les observations de surface), puis elle est utilisée pour optimiser l'implantation des sondages mécaniques qui, à leur tour, permettent de préciser les interprétations géophysiques.

L'objectif de cette étude permet d'évaluer le caractère représentatif des informations ponctuelles tirées des sondages mécaniques (Géotechnique) et des prospections électriques (Géophysique) afin de contribue à la cohérence du modèle géologique. Elle aide à la résolution de problèmes spécifiques comme les problèmes de terrassement, la détection de cavités souterraines ou d'autres types d'hétérogénéités, l'identification des argiles, l'évaluation de la fracturation.

Le présent travail est structuré selon 05 (cinq) chapitres :

- Le premier chapitre consacré à la définition de la géophysique et son rôle dans le domaine de la géotechnique.
- Le second chapitre montre les méthodes de prospection géotechniques
- Le troisième chapitre sert à la présentation du site étudié
- Le quatrième chapitre traduise les travaux réalisés et la technique utilisée
- Le cinquième chapitre et consacré aux résultats obtenus.

CHAPITRE I

METHODES DE PROSPECTION

I- METHODES DE PROSPECTION (Reconnaissances)

I.A- Essais géotechniques

I.A.1- Les essais « in –situ »

Les essais in situ ont connu les deux dernières décades un énorme développement technologique et théorique, ce qui avait pour conséquence qu'ils ont presque remplacé les essais mécanique traditionnels de laboratoire. Sans pour autant diminuer de l'importance de ces derniers, tout le monde reconnaît actuellement que les essais sur place, de part leur rapidité et la simplicité de leur réalisation, sont un outil performant pour la conception et le calcul des fondations.[1]

C'est pour cela que l'usage des techniques d'essais in situ est devenu systématique pour la plus part des ouvrages importants sur terre comme en mer.[1]

Les essais en place ou « in situ » de mécanique des sols les plus courants sont les essais réalisés au pénétromètre (statique ou dynamique y compris l'essai de pénétration au carottier dit SPT), et les essais au pressiomètre Ménard et au scissomètre de chantier. [2]

I.A.1.1 Le pénétromètre dynamique lourd (DPT).type A (NFP 94-114) :[3]

Un pénétromètre dynamique est un appareil constitué essentiellement par un train de tiges, à l'extrémité inférieure duquel est placée une pointe conique d'un diamètre supérieur à celui du train de tiges.

L'ensemble est battu dans le terrain sous l'action de chocs répétés, exercés sur la tête du train de tiges par une masse (le mouton de battage) tombant en chute libre d'une hauteur constante. La pointe débordant par rapport au train de tiges, il se crée un espace annulaire entre ce train de tiges et le sol.

Un sondage au pénétromètre dynamique consiste à enfoncer l'appareil dans le terrain jusqu'à une profondeur donnée, en général limitée par la capacité de pénétration de l'appareil lui-même.

L'opérateur relève le nombre de coups nécessaires pour enfoncer l'appareil sur un pas de profondeur fixé, en général 10 cm. On peut ensuite tracer le profil de résistance du sol correspondant en fonction de la profondeur atteinte par la pointe.

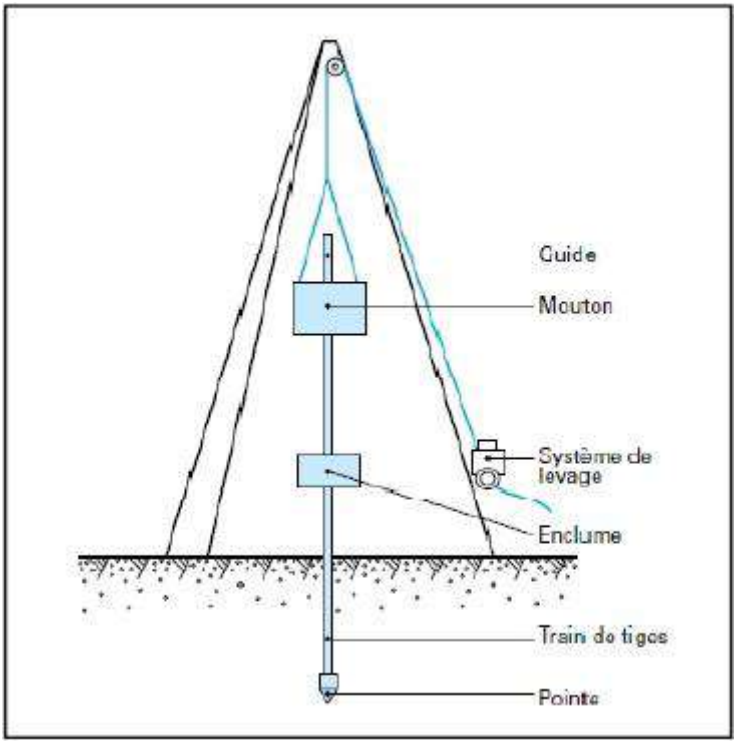


Figure I.1 :.Schéma de principe d'un pénétromètre dynamique.

Par application d'une formule de battage (il en existe plusieurs) dont la plus courante est la formule des **Hollandais.**

$$R_d = \frac{M^2 H}{A.e.(M+P)} * N$$

Rd : en **Kg /cm2)** ou en **bars.**

Avec : N : Nombre de coups pour l`enfoncement unitaire ;

e : Enfoncement ;

A : Section de la pointe ;

M : Poids du mouton. (Masse de frappe) ;

H : Hauteur de chute du mouton ;

P : Poids de l'ensemble des tiges et de la tête de battage.

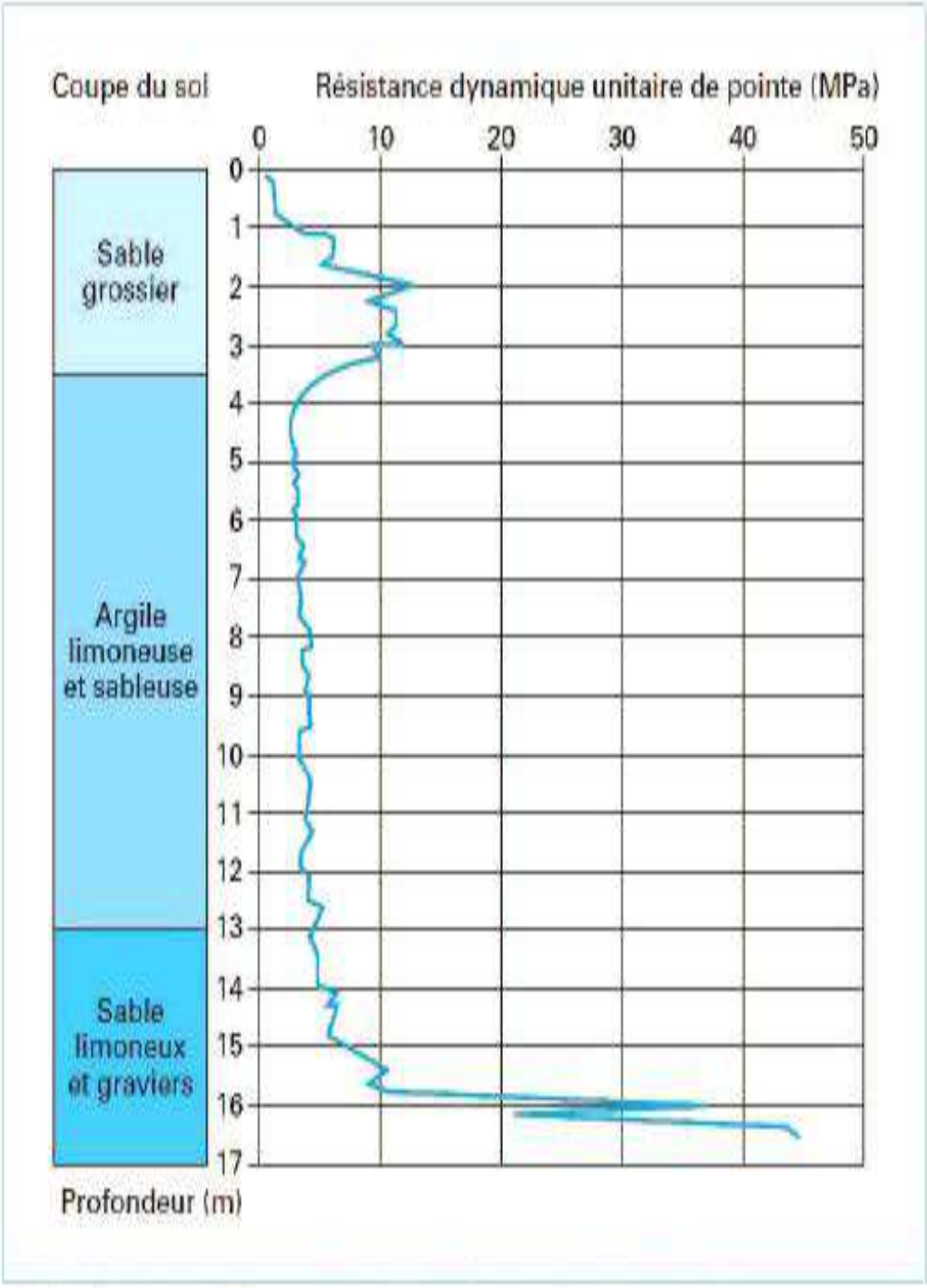


Figure I.2 :.Profil de pénétromètre dynamique de type A

I.A.1.2 Le pénétromètre carottier ou standard (SPT) (NFP 94-116) :[3]

Cet essai consiste à battre un carottier aux dimensions normalisées, d'une hauteur fixée à l'aide d'un mouton (masse). Elle évalue la capacité portante des fondations, et du degré de compacité du sol.

A la profondeur d'essai, on enfonce (au battage) le carottier de 45 cm, par passe de 15 cm. On compte alors le nombre de coups composé de :

Soit **N1 :** pour les 15 premiers cm.

N2 : pour les 15 suivants.

N3 : pour la dernière tranche des 15 cm**.**

On appelle **N : paramètre S.P.T** à cette profondeur **N = N2+N3.**

Généralement l`essai est arrêté dés que N atteint 50 coups (Sol très compact). Puis sur une échelle logarithmique (une coupe) de sondage on mentionne à chaque profondeur le paramètre « **N** » ainsi trouvée est choisi tel que :

N 4 sol très peu compact ;

4 < N 10 sol peu compact ;

10 < N 30 sol moyennement compact ;

30 < N <50 sol compact.

Le paramètre **N doit être corrigé** en présence de nappe. Pour le calcul de la portance, des formules empiriques permettent d'évaluer la contrainte admissible et les tassements. Dans le cas de sondages profonds (plus de 30.0 m) on doit également faire une correction due a la profondeur .

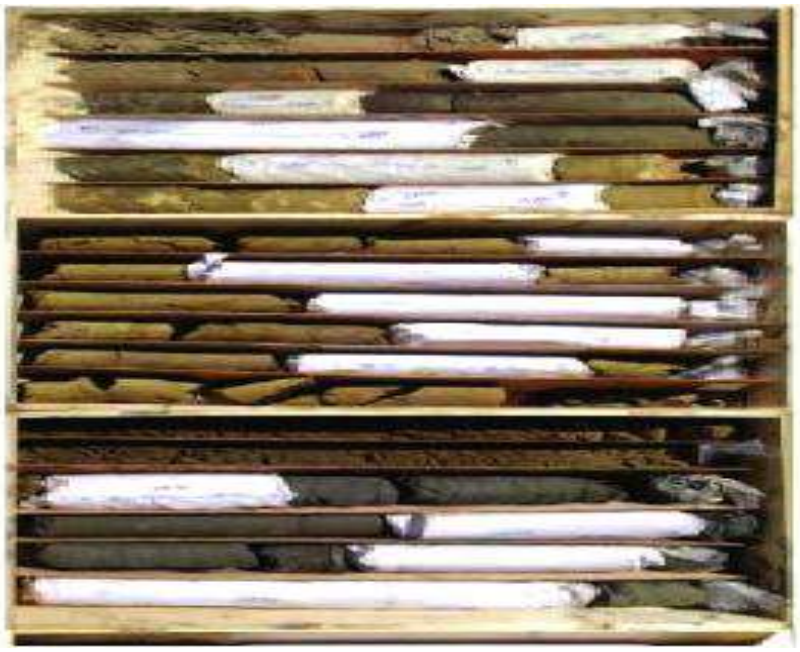


Figure I.3 : Les carottes de l'essai SPT

Des spécialistes ont expérimentalement établis des corrélations entre la résistance RP au P.S.L (Pénétromètre statique) et le paramètre SPT « N » du type :

$$RP = n .N$$

Ainsi on a **n** variant de 2 pour les argiles à 10 pour les sables.

- n= 6 pour les sables argileux ;
- n= 5 pour les silts sableux ;
- n= 4 pour les argiles sableuses ;
- n= 3 pour les argiles silteuses.

Ces résultats sont à rapprocher de ceux donnés par MEYERHOF.

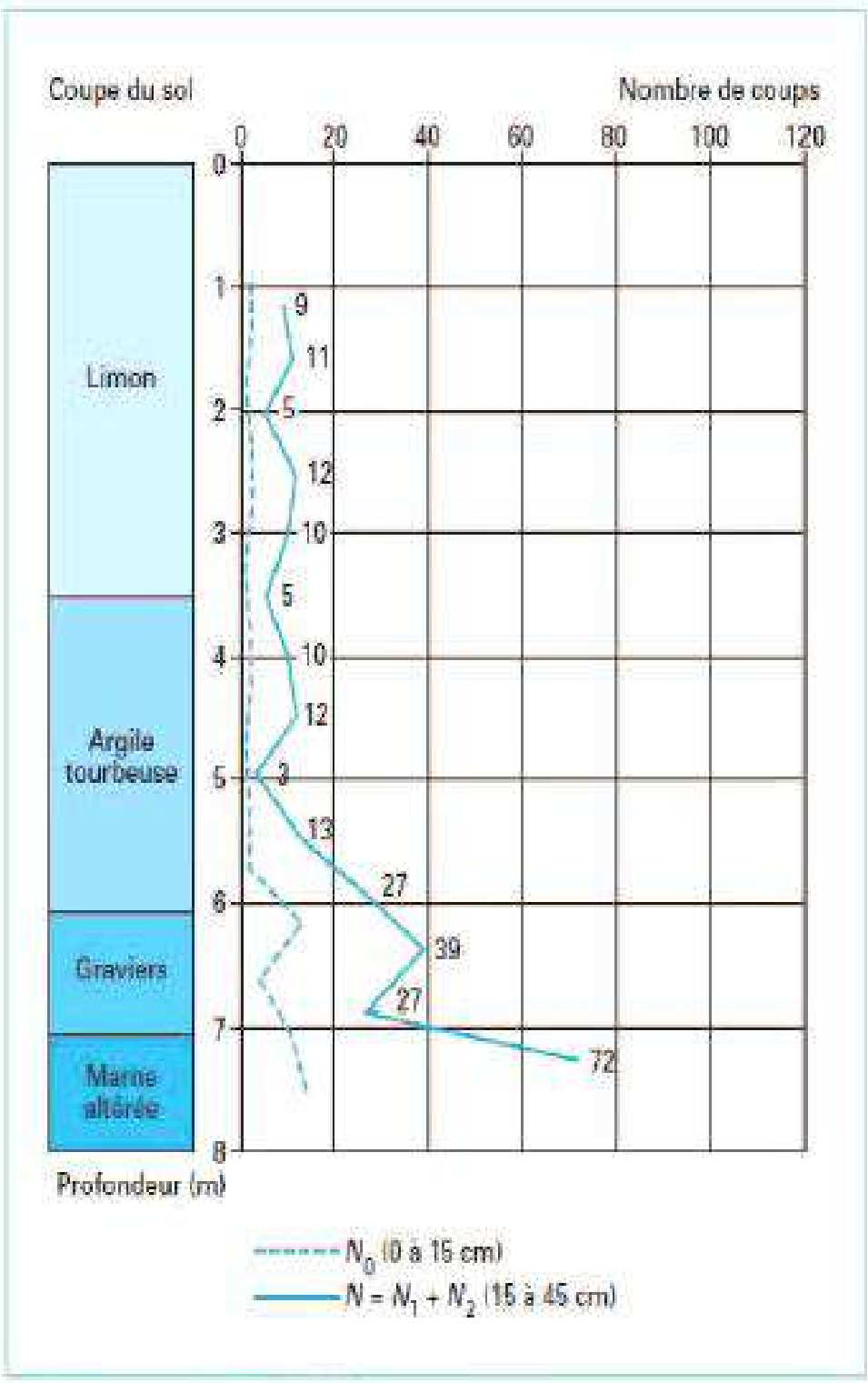


Figure I.4 : Profil de pénétration SPT

I.A.1.3 Le pénétromètre statique [3]

L’essai au pénétromètre statique consiste à foncer verticalement dans le terrain, à vitesse lente et constante, un train de tiges terminé à sa base par une pointe conique généralement de même diamètre que les tiges, elle permet la mesure de la résistance du sol (en quasi statique : Vitesse d’essai constante et contrôlée) de la pénétration, d’une Pointe et d’un manchon de frottement aux dimensions Normalisées.

L’essai est très adapté (beaucoup) dans les calculs de fondations profondes (type pieux).

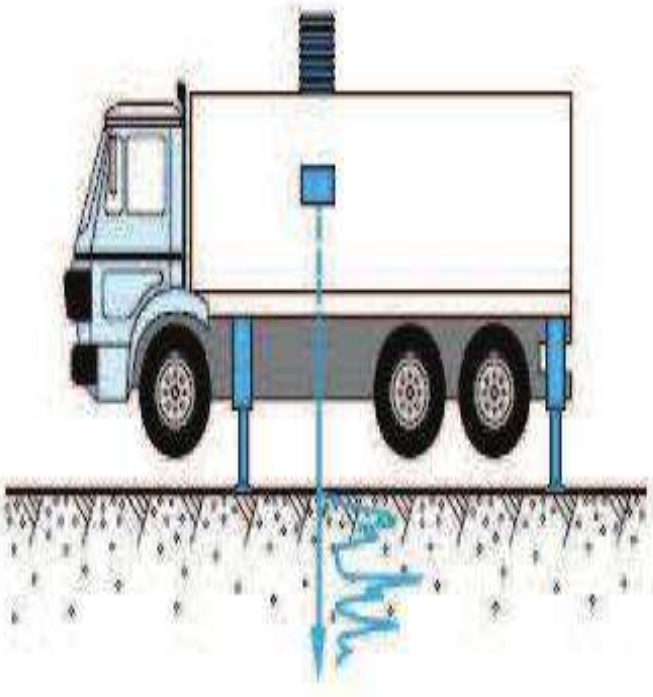


Figure I.5 :.Le pénétromètre statique

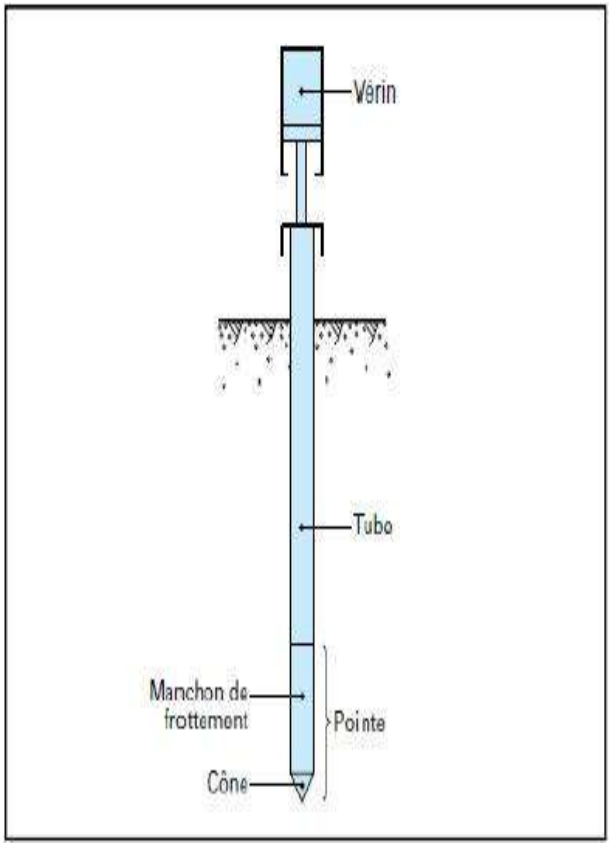


Figure I.6 :.Schéma de principe d'un pénétromètre statique.

L`interprétation des résultats de pénétration statiques est facile et très intéressante pour les fondations profondes.

Pour les fondations superficielles L`HERMINIER préconise pour le calcul de contrainte admissible à la profondeur choisie :

$$qad = RP/10$$

Pour la cohésion d'une argile, BUISMAN propose la formulation simple suivante :

$$Cu = (RP - \sigma 0) /13,4$$

Avec : Cu : cohésion non drainée

σ0 : contrainte due au poids des terres à cette profondeur.

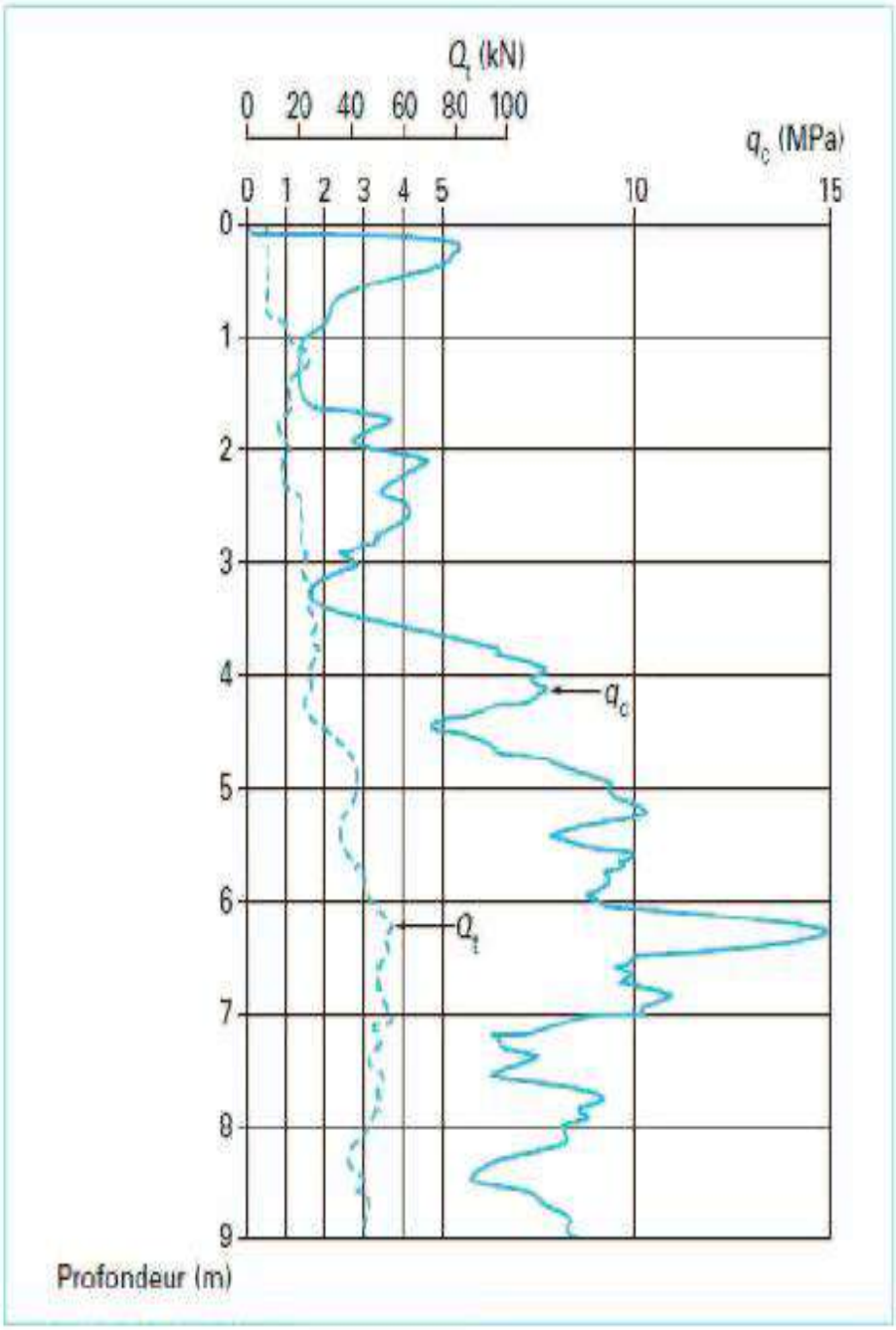


Figure I.7 : Profil de pénétration statique

I.A.1.4. L'essai de cisaillement sur site ou scissomètre de chantier (NFP 94-112) : [3]

Le principe de l'essai est représenté sur la Figure (I-6) un moulinet, d'acier à quatre pales est foncé dans le terrain (sans avant-trou) par l'intermédiaire d'un train de tubes. La profondeur retenue pour l'essai étant atteinte, l'appareil est immobilisé pendant un court instant puis le moulinet est entraîné en rotation depuis la surface par l'intermédiaire de tiges placées à l'intérieur du train de tubes.
Cette rotation provoque le cisaillement du sol au voisinage des pales et une surface de cisaillement se développe à l'interface entre le cylindre de sol entraîné par le moulinet et le massif de sol en place. La surface cisaillée est pour l'essentiel constituée par la surface latérale du cylindre, mais comprend également les deux surfaces horizontales d'extrémité.

Le scissomètre est l'appareil qui permet de mesurer la cohésion non drainée **Cu** des argiles avec le moins de risques de remaniement.

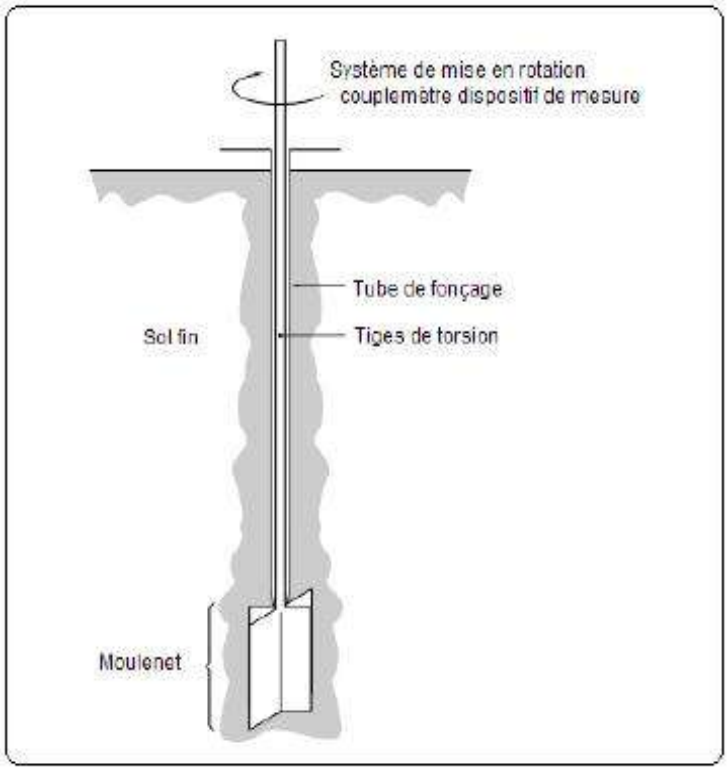


Figure I.8 : Schéma de principe de l'essai au scissomètre de chantier

La mise en place du moulinet au niveau d'essai doit s'effectuer par fonçage sans choc, ni vibrations, ni rotation et à vitesse modérée. L'essai doit être réalisé dès que le moulinet a atteint la côte requise.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un profil qui donne les différentes valeurs de la cohésion en fonction de la profondeur.

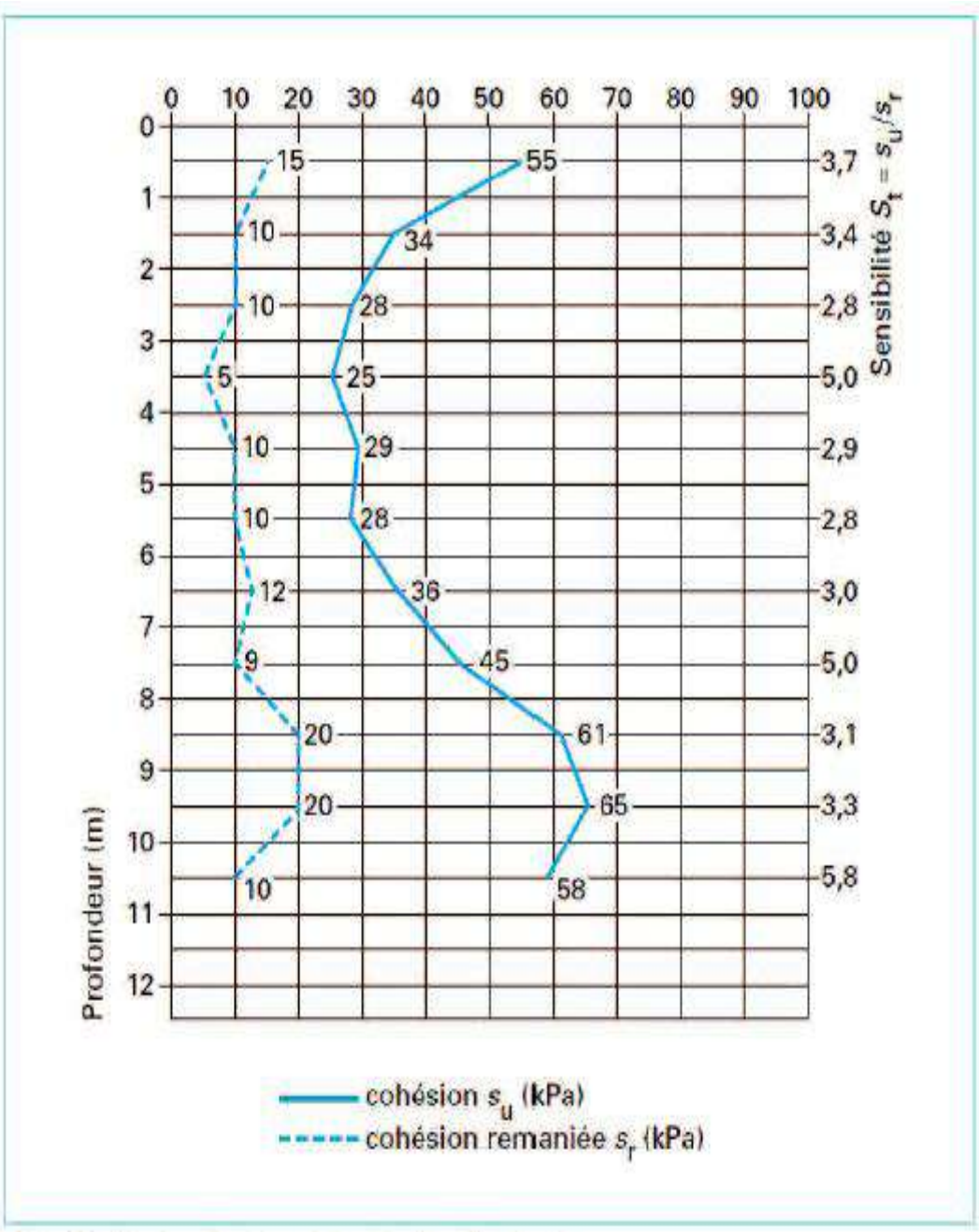


Figure I.9 : Profil d'essai au scissomètre de chantier

I.A.1.5. L'essai pressiometrique [3], [4]

Il s'agit d'un essai contrainte-déformation mené jusqu'à la rupture pour une configuration d'application des charges bien précises. Cet essai, met au point par MENARD, consiste à mesurer l'augmentation de volume d'un cylindre dilatable, soumis à une augmentation de pression intérieure, et placé à la profondeur à laquelle on désire tester le sol.

Il est donc nécessaire d'exécuter préalablement un forage dans lequel on introduit la sonde. Suivant la nature des terrains rencontrés, ce forage peut être réalisé à l'aide d'une tarière, d'un carottier, ou de tout autre forme de moyen mécanisé (tube lanterné : tube fendu longitudinalement donc déformable, mèche hélicoïdale, ...).

- **Description sommaire de l'appareillage**

L'appareil comprend deux parties :

· La sonde (introduite dans le forage au bout d'un train de tiges) ;

· Le dispositif de mesure (restant à la surface du sol).

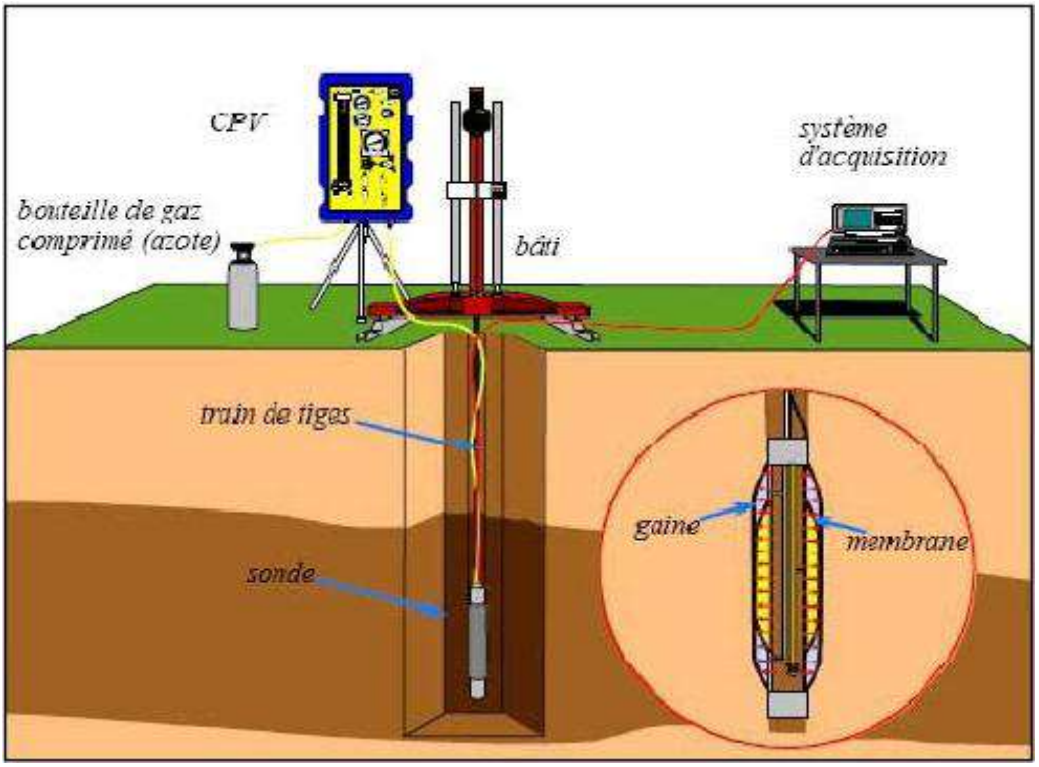


Figure I.10 : L'essai pressiomètrique Ménard

- **Conduite de l'essai**

La pression régnant à l'intérieure de la sonde est absorbée en partie par la déformation de l'enveloppe. Il y a donc lieu de procéder avant tout essai à un étalonnage de la sonde en traçant la courbe donnant l'augmentation de volume ΔV en fonction de la pression P. Il en résulte une correction de pression variable avec le volume d'eau injectée. De plus, la pression de la sonde est égale à la pression lue au manomètre augmentée de la hauteur d'eau jusqu'au niveau de la mesure. D'autre part, comme on ne s'intéresse qu'à la pression effectivement appliquée aux grains, on devra soustraire la pression interstitielle dans le cas où on rencontrerait une nappe.

En définitive la pression réellement appliquée au sol est égale à la pression lue au manomètre moins la pression nécessaire pour déformer la sonde, plus la hauteur de la colonne d'eau, moins la pression interstitielle.

Supposons maintenant que toutes les corrections sont faites. L'essai est alors réalisé en augmentant la pression par palier. A chaque palier, on note les valeurs de l'augmentation de volume ΔV au bout de 15s, 30s et 60s après la fin de la mise à la pression. On trace la courbe

$$\Delta V60 = f(P)$$

Résultats

En définitive, l'essai pressiométrique conduit à la détermination de trois grandeurs qui sont caractéristiques :

a) La pression limite **Pl** (définie comme l'asymptote de la courbe pressiométrique ou déterminée par la méthode du "volume relatif"), La méthode des volumes relatifs dans laquelle la courbe de la pression est tracée en fonction (V-Vo)/(Vc+V). Cette courbe est une droite dans la phase plastique et la pression limite est atteinte lorsque l'expression précédente est égale à ½.

b) Le module pressiométrique standard **Em :** Le module pressiométrique E est basé sur l'équation de Lamé donnant l'accroissement radial d'une cavité dans un milieu élastique

$$G = V.\Delta P/\Delta V$$

G et le module d'Young est :

$$G=E / 2 (1+V)$$ Où **ν** est le coefficient de Poisson

$$Em = K. \Delta P/\Delta V.$$

K: Coefficient de compression de la sonde : $K = 2(1 + \nu) (Vi + Vm)$

Vi: Volume de la cellule centrale au repos

Vm: Volume de sol déplacé par la cellule de mesure. Il correspond au milieu de la partie linéaire de la courbe pressiométrique

$\Delta P/\Delta V$: inverse de la pente de la partie linéaire de la courbe pressiométrique.

c) pression de fluage : Pf Cette pression correspond à la fin de la phase pseudo-élastique. La valeur de la pression limite Pl est reportée sur un tableau en fonction de la nature du sol

Tableau I.1 : Valeur pressiomètrique selon la nature du sol.

Nature du sol			Pressiomètre $\mathbf{P_1}$ (Mpa)
Argile, limons	**A** **B** **C**	Argiles et limons mou Argiles et limons Fermes Argiles très fermes à durs	**< 0.7** 1.2-2 >2.5
Sables, graves	**A** **B** **C**	Lâches M. Compactés Compactés	< 0.5 1.0-2.0 >2.5
craie	**A** B C	Molles Altérées Compacte	< 0.7 1.0-2.5 >3.0
Marnes	**A** **B**	Tendres Compactés	1.5-4.0 > 4.5
roches	**A** **B**	altérées fragmentées	2.5-4.0 > 4.5

I.A.1.6 Essai à la plaque [3]

Un essai de plaque est un essai de chargement effectué à la surface du sol à l'aide d'une plaque rigide circulaire. L'essai consiste à mesurer l'enfoncement (la déflexion) de la plaque sous l'application de charges statiques suivant un programme de chargement qui impose, soit les charges, soit les enfoncements

L'essai est réalisé au moyen d'une plaque rigide circulaire de diameter 76,2 cm. Cette plaque est chargée à l'aide d'un vérin qui, généralement, prend réaction sur un véhicule lesté L'enfoncement de la plaque est mesuré par trois comparateurs mécaniques qui sont reliés à une base fixe non influencée par les mouvements du sol autour de la plaque lors de son chargement.

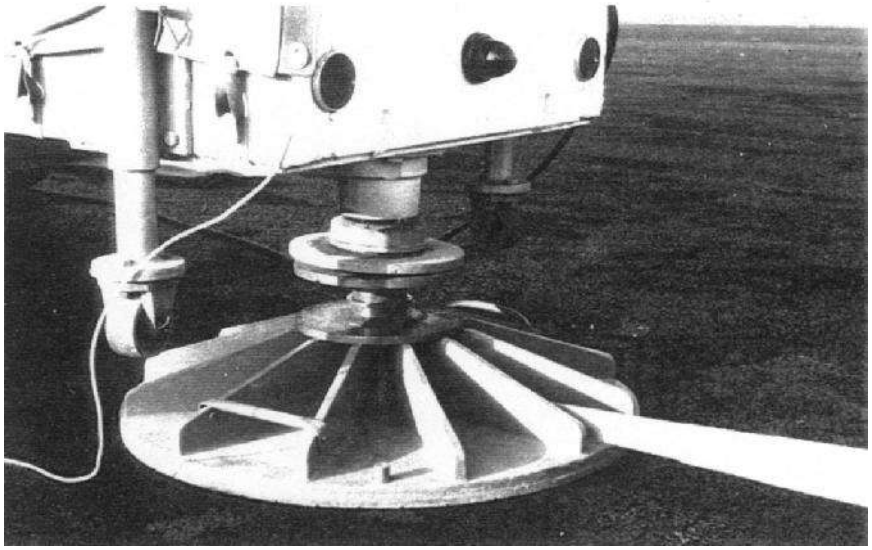


Figure I.11: Essai à la plaque

Il existe d'autres essais en place intéressants, mais ils sont d'une utilisation moins fréquente en raison de leur nouveauté, de leur caractère plus complexe ou de leur domaine d'intervention plus limité. On peut citer, par exemple, le pressiomètre autoforeur, le pressio-pénétromètre, le pénétro-gammadensimètre et le phicomètre

I.A.2 Essais au laboratoire [5]

Afin de fournir les éléments nécessaires à la conception et au calcul des ouvrages. Des sondages mécanique sont réalisées sur terrain pour récupérer des échantillons de sol intacts et effectuer des essais mécaniques (cisaillement à la boîte, essai triaxial, compression simple et compressibilité (oedomètre), proctor et les essais chimiques ou remaniés et servent ainsi aux essais d'identification tels que l'analyse granulométrique, les limites de consistance (d'Atterberg), la teneur en eau, Equivalent de sable, Teneur en carbonates, Teneur en matières organiques.

I.A.2.1 Les essais d'identification et de classification des sols : [5]

Les essais d'identification et de classification des sols sont les premiers essais à réaliser sur un sol. Ils vont permettre de déterminer les caractéristiques élémentaires de ce dernier et d'établir ainsi ses propriétés physiques.

I.A.2.2 Teneur en eau naturelle (NF P 94-050) : [5]

Cette teneur est le premier essai à effectuer, elle permet de connaître le pourcentage d'eau présent dans l'échantillon.
Elle définit le rapport en pourcentage du poids d'eau $\mathbf{P_W}$ que le sol contient au poids P_S de ses éléments secs. L'obtention des éléments secs s'obtient par dessiccation du sol pendant 24 heures à l'étuve à 105°C.

La teneur en eau permet de déterminer:

- L'indice des vides,
- La porosité,
- Le degré de saturation,
- La masse volumique du sol sec,
- D'apprécier la consistance d'un sol.

I.A.2.3 Analyse granulométrique:[5]

La dimension des particules a un effet considérable sur le comportement de certains sols, en particulier sur les sols grenus. Il peut être donc intéressant afin de classer les sols de connaître la grosseur des particules et leurs distribution relative. La gamme des grosseurs des grains est très étendue. Les sols peuvent être formés de blocs, de cailloux de grand diamètre ou de matériaux ultra-fins). C'est pourquoi, on met en graphique la relation entre le logarithme du diamètre des grains et la distribution dimensionnelle en poids cumulative de ces derniers en pourcentage. Pour établir cette distribution par le procédé est appelé analyse granulométrique. Cette analyse comprend deux opérations :

- Le tamisage pour le cas des sols grossier.
- La sédimentométrie pour les sols à grains fins comme les limons.

I.A.2.4 Sédimentomètrie ou analyse à l'hydromètre (NF P 94-057) : [5]

Si le granulat contient une proportion significative de particules passant le tamis d'ouverture 63µm, la granulométrie des éléments fins peut être obtenue par la sédimentométrie. Cet essai complète l'analyse granulométrique par tamisage qui est limitée aux grains de diamètre supérieur à 63µm. Elle permet de tracer la courbe granulométrique des particules fines jusqu'à un diamètre d'environ 2µm.

I.A.2.5 Les limites de consistance ou limite d'Atterberg : [5]

La présence de l'eau dans les ports d'un sol à grains fins pouvait en modifier son comportement de façon significative. Il importe non seulement de connaître la quantité d'eau présentée dans un dépôt naturel mais aussi de situer cette teneur en eau sur une échelle. Les limites de consistance permettent d'atteindre cet objectif et constituent un indice important en géotechnique.

Les limites d'atterberg (limites de liquidité et de plasticité) sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance. Par définition ; ce sont les teneurs en eau pondérales qui délimitent certains comportements critiques. Elles visent à déterminer le domaine hydrique dans lequel un sol argileux ait un comportement plastique.

I.A.2.6 Equivalent de sable (P 18-597) : [5]

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons, l'est aussi pour les sols mais, dans ce cas, son importance est moindre, le paramètre le plus significatif étant la valeur du bleu du sol. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers.

Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

I.A.2.7 Essais mécaniques : [5]

Ces essais, dont le but est généralement la détermination de la cohésion « **c** » et de l'angle de frottement « **φ** » des sols, en vue d'en déduire les sollicitations maximales auxquelles ces derniers peuvent être soumis, sont des essais de résistance à la rupture. Les trois principaux sont:

- L'essai de compression simple
- L'essai de cisaillement à la boite
- L'essai de compression triaxiale

I.A.2.8 Essai Oedométrique (XP P 94 - 091) : [5]

Afin de déterminer les contraintes effectives dues aux surcharges, à différentes profondeurs, le sol est placé dans une enveloppe rigide, on exerce à sa partie supérieure une pression variable à l'aide d'un piston et l'on mesure les affaissements observés. On détermine ainsi la relation entre contraintes et déformations il faut que :

- La hauteur de l'échantillon soit grande vis-à-vis de dimensions des grains pour que l'on puisse admettre que la répartition des charges est homogène.

- Le diamètre de l'échantillon soit grand vis-à-vis de la hauteur pour l'effet de frottement des parois latérales puisse être négligé.

- L'échantillon ne soit pas trop épais pour que les tassements soient rapidement stabilisés.

I.A.2.9 Essai Proctor [5]

Le compactage des sols a pour but d'augmenter leur masse volumique par la diminution des vides. Différents modes de compactage peuvent être utilisés, notamment le pétrissage, l'application d'une pression statique et le compactage dynamique.

Le but de l'essai est de déterminer la masse volumique sèche maximale qu'il est possible d'atteindre pour un sol donné avec l'effort de compactage fournit et à laquelle correspondra une teneur en eau qu'on qualifiera de teneur en eau optimale.

I.A.3 Conclusion

La destruction de la structure naturelle des échantillons extraits est inévitable. Le problème d'obtention d'échantillons intacts est l'un des plus délicats en géotechnique. Des techniques récentes ont été mises au point telles que la congélation des échantillons au cours du carottage, mais ces dernières sont trop sophistiquées pour un projet géotechnique courant. Ainsi, il est quasi-impossible d'extraire des échantillons de matériaux sableux ou graveleux sans modifier leur état physique et mécanique. De même, un soin particulier doit être porté aux sols fins et particulièrement l'argile molle afin que leurs échantillons reflètent l'état naturel du terrain étudié.

Cette difficulté a été jugée par les géotechniciens comme étant un des inconvénients majeurs des essais de laboratoire.

En outre, le coût élevé des sondages et des essais mécaniques au laboratoire limite la possibilité d'étudier aisément les caractéristiques mécaniques du terrain, et l'implantation d'un sondage est fait pour tirer le maximum d'information sur le sol.

Il est préférable de réaliser des essais géophysique au cours de la reconnaissance préliminaire afin d'avoir une idée sur la succession des couches du sol, et de fixer par la suite judicieusement les points de sondage carottés.

I.B - Prospections Géophysique

I.B.1 Introduction

Le modèle géologique est maintenant de plus en plus élaboré. Les techniques géophysiques de surface sont choisies en fonction du type de terrain rencontré ; Dans le processus de reconnaissance, la géophysique intervient donc à plusieurs stades. Elle sert à améliorer le premier modèle géologique en donnant une vision d'abord approximative de la structure du sous-sol en volume (en complétant en profondeur les observations de surface), puis elle est utilisée pour optimiser l'implantation des sondages mécaniques qui, à leur tour, permettent de préciser les interprétations géophysiques.

Avec la géologie, la géophysique permet d'évaluer le caractère représentatif des informations ponctuelles tirées des sondages mécaniques et des essais géotechniques en place et elle contribue à la cohérence du modèle géologique. C'est une discipline qui consiste à étudier (observer, mesurer) un champ physique à la surface du sol ou dans des cavités creusées dans le sol. Ce champ physique, dont l'origine peut être naturelle ou provoquée, dépend d'un ou plusieurs paramètres caractéristiques des matériaux dont on cherche à déterminer la répartition dans le terrain. [6]

Elle aide à la résolution de problèmes spécifiques comme les problèmes de terrassement, la détection de cavités souterraines ou d'autres types d'hétérogénéités, la détermination des masses volumiques ou des teneurs en eau, l'identification des argiles, l'évaluation de la fracturation, etc.

I.B.2 Méthodes des prospections géophysique [7]

Les méthodes géophysiques les plus utilisé par leurs simplicités dans le domaine des reconnaissances géotechnique sont :

- Prospection Gravimétrique
- Prospection Sismique
- Prospection Electrique

I.B.2.1 Prospection Gravimétrique [8]

La méthode gravimétrique, consiste à mesurer l'écart qui existe entre le champ de la pesanteur et un champ théorique rapporté à une surface de niveau du géoïde, ou surface équipotentielle de la pesanteur. L'écart relatif, qui est ainsi mesuré, s'appelle l'anomalie de "Bouguer". Cette anomalie revendique une explication géologique. Elle est dessinée sous forme de courbes isanomales tous les 0,2 mGal. La mesure, proprement dite doit atteindre une précision de quelques centièmes de mGal. (0,01 mGal).



Figure I.12 : Un gravimètre Autograv CG-5

En géotechnique, on utilise la gravimétrie pour repérer les vides naturels ou artificiels du sous-sol. D'un emploi relativement simple et fructueux à l'échelle d'une région pour en préciser les grandes structures, la gravimétrie est très difficile à mettre en œuvre à l'échelle d'un site géotechnique limité ; dans un tel cas, les variations de l'accélération de la pesanteur, paramètre que l'on mesure, sont infimes d'un point à un autre du site ; les corrections que l'on doit apporter aux mesures brutes pour tenir compte de la présence de masses parasites dans le site, sont identiques ou même supérieures aux variations significatives que l'on voudrait mettre en évidence.

Cela enlève parfois toute valeur aux résultats de calculs reposant sur des hypothèses de conditions aux limites irréalistes. Dans la plupart des cas, on ne peut utiliser avec profit cette technique que si l'on connaît bien le volume et la profondeur des vides, pour en préciser la forme et la profondeur, mais pas pour découvrir des vides inconnus.

I.B.2.2 Prospection Sismique [8]

La sismique est. une méthode de prospection qui permet de visualiser les structures géologiques en profondeur grâce à l'analyse des échos d'ondes sismiques. Il ne faut pas la confondre avec la sismologie, qui est l'étude des ondes sismiques et des séismes pour eux-mêmes.

En prospection sismique, une onde élastique est générée artificiellement grâce à un impact mécanique bref et violent à la surface du sol (coup de marteau, chute de poids, explosion d'une faible charge de dynamite…). La déformation ainsi provoquée se propage de proche en proche dans le matériau en formant des surfaces concentriques de rayon croissant. Ces surfaces sont les surfaces d'ondes ; elles se propagent à une vitesse, la vitesse des ondes P, qui dépend des propriétés du matériau :

$$v_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

Où λ et μ sont les coefficients de Lamé et ρ est la masse volumique du matériau.

Les ondes sismiques étudiées peuvent avoir des causes naturelles (tremblement de terre) ou artificielles (camion vibreur, explosif, canon à air, etc.) Dans tous les cas, elles suivent les mêmes lois que les ondes lumineuses. Les trois grandes techniques de prospection sismique sont donc:

- La diagraphie acoustique ;
- La sismique réflexion ;
- La sismique réfraction.

I.B.2.2.1- La diagraphie acoustique [8]

La diagraphie acoustique utilise la transmission directe des ondes pour mesurer la vitesse du son dans les roches traversées par un forage (Cette technique elle ne sera pas développée dans le cadre de ce travail).

I.B.2.2.2- La sismique réflexion [8]

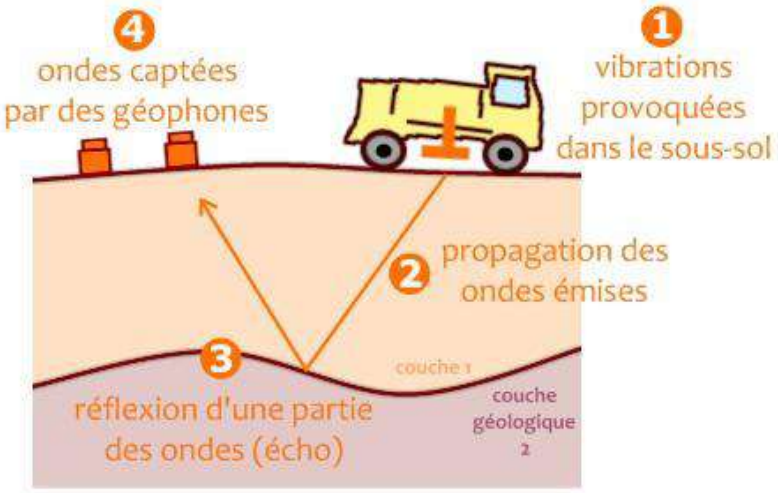


Figure I.13: Principe de la sismique réflexion

La sismique réflexion utilise la réflexion des ondes sur les interfaces entre plusieurs niveaux géologiques. On utilise des canons à air comprimé en mer, des camions vibreurs ou de la dynamite à terre pour créer des ondes. Les ondes émises se propagent et sont en partie réfléchies à chaque limite de couche. Elles sont reçues par des capteurs (hydrophones en mer ou géophones sur terre). La sismique réflexion peut être monotrace ou multitraces.

Dans ce dernier cas, en plus d'augmenter le rapport signal sur bruit, il est possible de calculer les vitesses des milieux traversés. Cette information permet ensuite de convertir les données en profondeur.

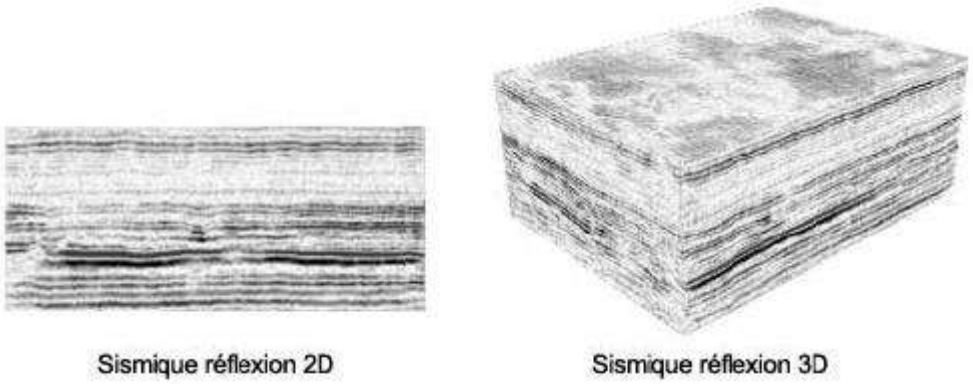


Figure I.14: Profile de la sismique réflexion

I.B.2.2.3- La sismique réfraction [8]

La sismique réfraction utilise la propagation des ondes le long des interfaces entre les niveaux géologiques. Cette méthode convient en particulier à certaines applications de génie civil et d'hydrologie. Elle permet d'estimer le modèle de vitesse et le pendage des couches.

Pour déterminer la vitesse sismique dans le sous-sol d'un site géotechnique et en étudier les variations, on fait un sondage de sismique réfraction : on mesure la durée du trajet d'un ébranlement entre son point de production et le point d'observation dont on fait varier la distance ; les ondes réfractent au contact de matériaux différents, à condition qu'ils soient de plus en plus compacts vers la profondeur. Par l'exploitation semi-graphique très simple des mesures de durées en fonction des distances, on obtient la vitesse sismique de chaque matériau et la profondeur de chaque contact ; les résultats sont fiables et reproductibles.

Le sondage de sismique réfraction permet donc d'établir le modèle géomécanique du site, par référence au modèle géologique précédemment esquissé ; il contribue ainsi à réussir le passage des échantillons au site, que ne permettent pas la théorie des ensembles et la géomécanique. Il permet aussi de prévoir avec une précision acceptable, la méthode de terrassement d'un massif rocheux.

Lors de n'importe quelle étude géotechnique, l'exécution d'une campagne de sondages de sismique réfraction est donc souhaitable sinon indispensable.

I.B.2.3 Prospection Electrique [9]

La prospection électrique est l'une des plus anciennes méthodes de prospection géophysique. Sa mise en œuvre est relativement simple.
On injecte du courant continu (en fait il s'agit souvent de créneaux) au moyen de deux électrodes dites d'injection et on mesure la différence de potentiel en résultant avec deux électrodes dites de mesure. Celle-ci dépend de la résistance électrique du sous-sol.

Elle mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes à partir de l'injection d'un courant depuis deux autres électrodes, en déterminer la résistivité apparente et son évolution en fonction de la géométrie du dispositif.

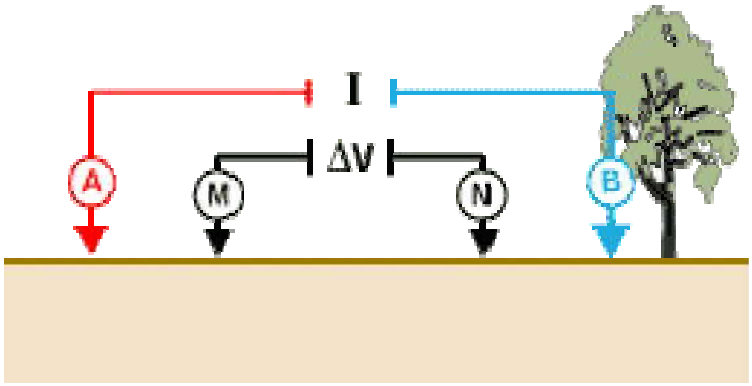


Figure I.15: Principe de la prospection Electrique

Dans le cas d'un milieu homogène isotrope, de résistivité ρ, la relation suivante est vérifiée :

$$\Delta V = \frac{°I}{2®} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right)$$

On introduit dans un cas réel, la notion de résistivité apparente qui pour un dispositif donné est définie par :

$$°_a = \frac{2® \cdot \Delta V}{I} \cdot (\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN})$$

On peut utiliser différentes dispositions des électrodes, en particulier la disposition Schlumberger, symétrique (où MN << AB), dans ce cas:

$$°a = \frac{®}{4} \cdot \frac{AB^2}{MN} \cdot \frac{\Delta V}{4}$$

Faire un sondage Schlumberger au point 0, c'es d'abord déterminer les valeurs de ρ_a quand on augmente la valeur de AB/2. Ceci sera possible, à quelques restrictions prêtes dans le cas de répartitions tabulaires de la résistivité.

I.B.2.3.1- Unicité et stabilité [9]

Si la structure est tabulaire, le problème est de déduire $\rho_{(z)}$ de ρ_a (AB/2).

On peut montrer que si ρ_a (AB/2) est une fonction susceptible d'être obtenue par sondage électrique sur un milieu tabulaire, il existe une et une seule distribution des résistivités $\rho_{(z)}$ qui la donne. Ceci est très satisfaisant, mais reste malheureusement très théorique car en pratique on ne connaît pas la fonction ρ_a (AB/2) mais seulement quelques valeurs de cette fonction (pour les AB/2 où l'on a fait des mesures) et encore avec des creux de mesures. Il faut donc examiner la "stabilité" des correspondances entre ρ_a et $\rho_{(z)}$. La correspondance $\rho_{(z)} \rightarrow \rho_a$ (AB/2) est stable (une petite variation de $\rho_{(z)}$ n'entraine qu'une petite variation de ρ_a (AB/2) mais l'inverse n'est pas vrai (une petite variation de ρ_a (AB/2) peut être causée par une "grande" variation de $\rho_{(z)}$). Il y aura donc nécessairement des indéterminations dans l'interprétation d'un sondage électrique.

I.B.2.3.2- Principe d'équivalence et de suppression [9]

Soit un milieu tabulaire à trois couches du type :



FigureII.16: Model 03 couches

I.B.2.3.2.1 Principe d'équivalence [9]

a) Une couche résistance est intercalée entre deux couches conductrices. $\rho_2 >> \rho_1, \rho_3$

La fonction ρ_a (AB/2) varie peu quand ρ_2 et h_2 varient de façon que la résistance transversale $\rho_2.h_2$ reste constante et que h_2/ρ_2 reste petit par rapport à h_1/ρ_1 et h_3/ρ_3.

b) Une couche conductrice intercalée entre deux couches résistantes. $\rho_2 < \rho_1, \rho_3$

La fonction ρ_a (AB/2) varie peu quand ρ_2 et h_2 varient de façon que la conductivité horizontale h_2/ρ_2 reste constante et que $\rho_2.h_2$ reste petit par rapport à $\rho_1.h_1$et $\rho_3.h_3$.

Ces résultats ont pour conséquence que, si lors de l'interprétation on trouve une situation de ce type alors le paramètre significatif est la résistance transversale ou la conductivité horizontale, et non l'épaisseur ou la résistivité du tendeur intercalé. Et ainsi on ne peut déterminer ρ_2 indépendamment de h_2.

I.B.2.3.2.2 Principe de suppression. [9]

Si ρ_2 est intermédiaire entre ρ_1 et ρ_3 et que l'épaisseur h_2 n'est pas très grande, l'effet de ce terrain sera négligeable. En particulier ce cas peut se rencontrer en hydrogéologie quand on cherche à mettre en évidence une nappe phréatique située au dessus d'un terrain très conducteur.

I.B.2.3.3- Relation de similitude. [9]

Les résultats de la loi de similitude montrent que :

On obtient le même ρ_a sur deux terrains électriquement identiques (k_ρ =1) et géométriquement semblables à condition de choisir des quadripôles dans le même rapport de similitude.

Si sur un terrain hétérogène, un quadripôle donné mesure $\rho_a = \rho'_a$ au point O, sur un second terrain hétérogène géométriquement identique au premier, mais dont les résistivités sont multipliées par un facteur k, le quadripôle précédent présentera en O' une résistivité apparente égale à $\rho'_a = k_\rho . \rho_a$

Les sondages de surfaces s'interprètent de la même façon que ceux en profondeur. IL s'agit de choisir des quadripôles à l'échelle du problème traité.

I.B.2.3.4 Type de sondages. [9]

Dans la plupart des quadripôles utilisés, les quatre prises sont disposées sur un même alignement. Les deux électrodes de mesure M et N sont le plus souvent, à l'intérieur de l'intervalle AB et en général symétriques par rapport au milieu O de cet intervalle. Parfois il peut être intéressant d'utiliser un dispositif dissymétrique, M et N étant beaucoup plus près de l'un des pôles d'envoi, l'influence du second pôle est alors très faible.

Il existe plusieurs dispositions des électrodes, on peut citer les principales utilisées dans la prospection électrique :

1-Dispositif Wenner. (Figure I.17)

Dispositif symétrique, les électrodes M et N sont placées à l'intérieur, A et B sont à l'extérieur. Equidistance des électrodes : AM = MN = NB = *a*

$$\Delta V = \frac{I^{\circ}{}_{a}}{2\circledR a}$$

V_M-V_N reste toujours grand donc aisément mesurable. Par contre lorsqu'on modifie *a* on doit déplacer les 4 électrodes (contrainte technique), de plus on modifie les conditions au voisinage de MN la courbe s'en trouve plus perturbée.

2-Dispositif Schlumberger (Figure I.17):

Dispositif symétrique, les électrodes M et N sont placées à l'intérieur, A et B sont à l'extérieur.

MN est fixe et très petit devant AB.

On ne modifie pas les propriétés au voisinage de MN, la profondeur d'investigation est proportionnelle à la longueur du dispositif

Cependant V_M-V_N devient faible pour des AB grand, donc difficile à mesurer.

3- Profil ou trainé de résistivité

Dispositif symétrique, les électrodes M et N sont placées à l'intérieur, A et B sont à l'extérieur.

On déplace un dispositif (généralement Wenner pour le coté pratique) le long de son axe *x*. On obtient ainsi $\rho_a = f(x)$

4- Méthode Dipôle / Dipôle

Le dispositif n'est pas symétrique et les électrodes sont regroupée en deux dipôles AB d'un côté MN de l'autre. ρ_a est donc fonction des longueurs AB et MN, généralement constantes sur une expérience. On écarte ensuite le dipôle MN du dipôle AB, le ΔV va donc être de plus en plus faible.

Avec l'éloignement on va s'intéresser aux lignes de courant venant de plus grandes profondeurs.

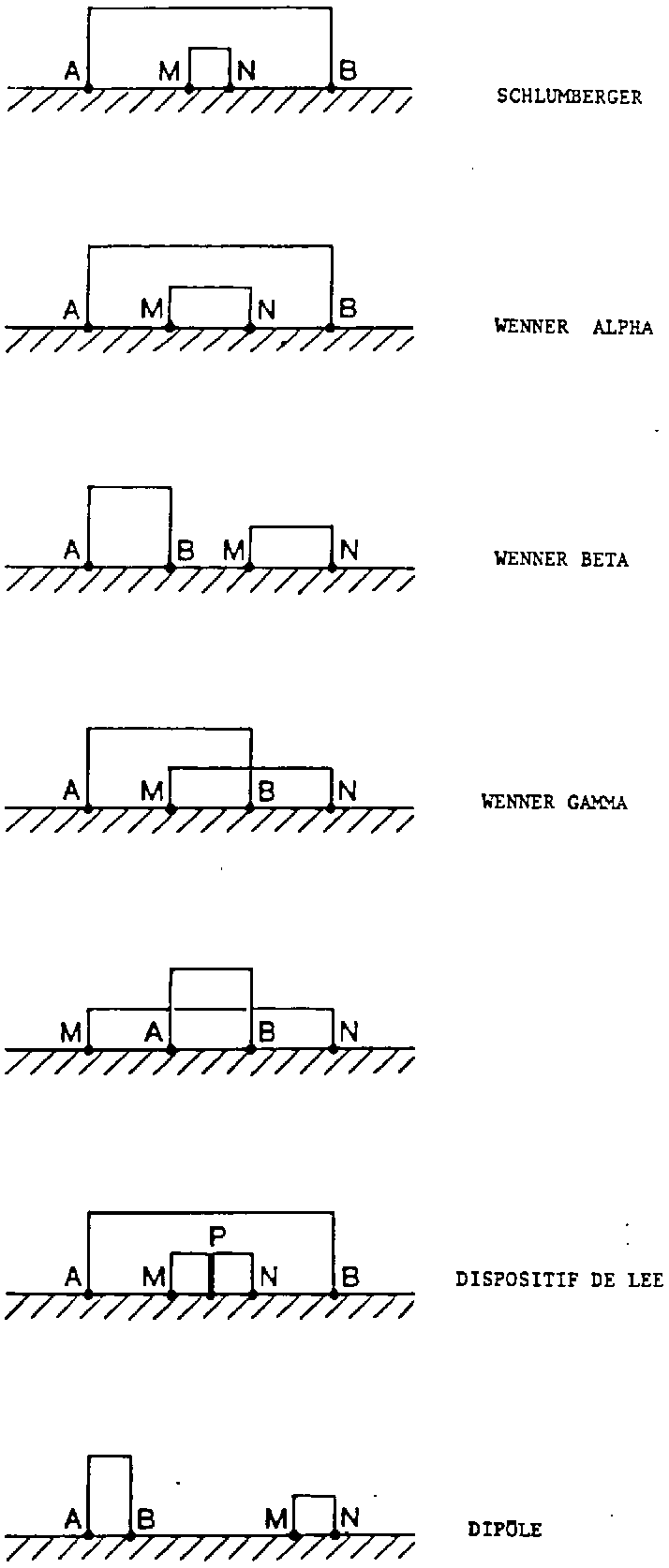


Figure I.17: Les principaux dispositifs quadripôles.

5- Panneaux ou imagerie électrique (Tomographie):

La tomographie électrique est une amelioration du traîné électrique: On superpose sur un meme profil des informations mesurées à partir de dispositif de longueur différentes. Nous obtenons ainsi une section 2D qui montrera les variations de résistivités vraies en fonction de la profondeur. La réalisation d'une section nécessite donc un grand nombre d'électrodes connectées à un câble multi-conducteur. Un résistivimètre possédant un disque dur sélectionne ensuite selon une sequence prédéfinie les électrodes utilisées pour l'injection du courant et la mesure du potentiel.

L'acquisition est programmée de façon à faire varier la position et la distance entre les électrodes utilisées. Les résultats après inversion des données de résistivité apparente collectées donnent une coupe des résistivités des terrains en présence, ce qui permet une interpretation quantitative des données.

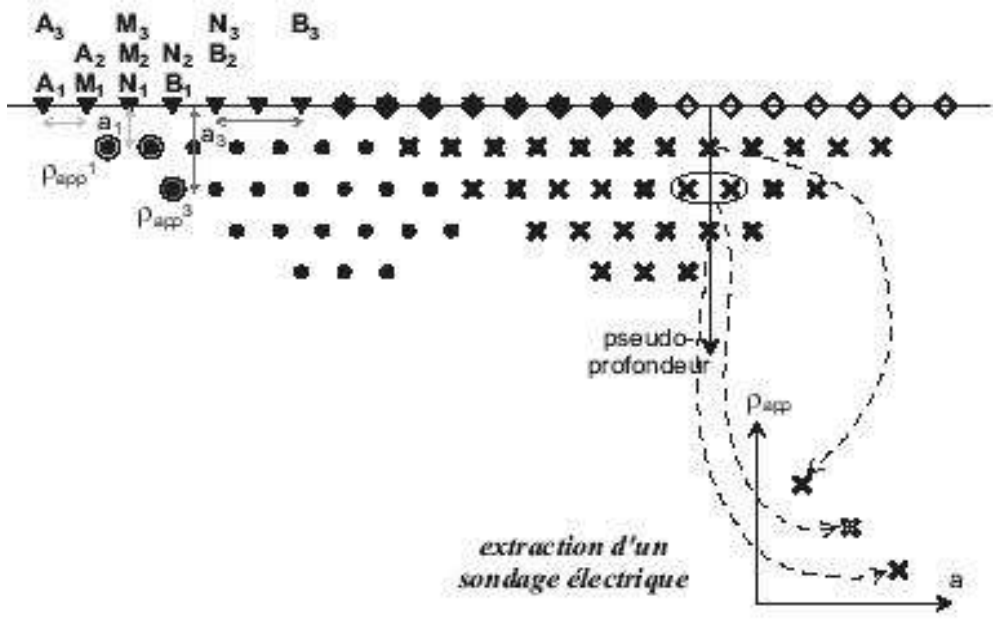


Figure I.18: Principe de panneau électriques



Figure I.19: Appareillages panneaux ou imagerie électrique

On dispose d'un grand nombre d'électrodes réparties régulièrement sur une ligne. Le boitier d'injection / acquisition va injecter automatiquement un courant sur un couple d'électrode et va mesurer le ΔV sur tout les autres couples d'électrodes possibles. Ensuite il injectera le courant sur un autre couple et effectuer a nouveau les mesures de ΔV sur tout les autres couples possibles. Et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il n'y a plus de couples d'injection / mesure possible.

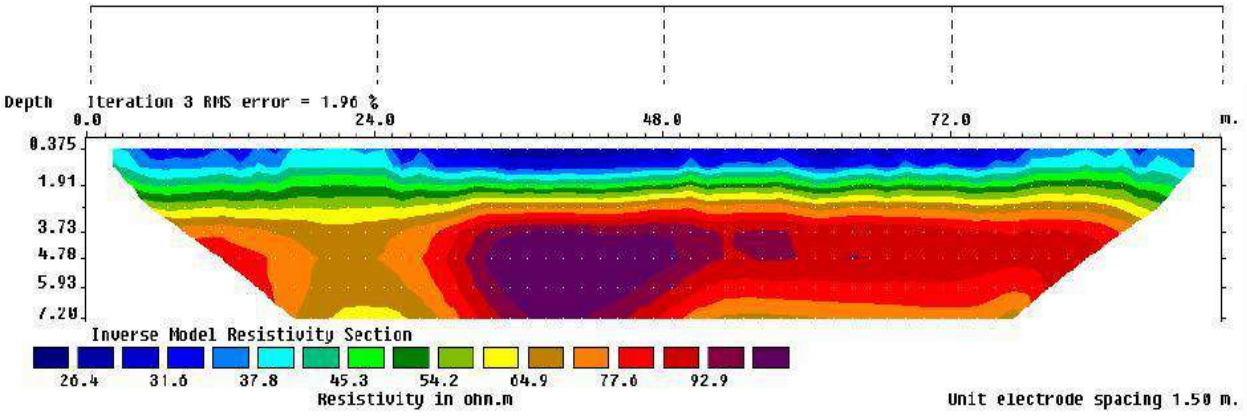


Figure I.20: La résistivité apparente observée en MNT

CHAPITRE II

PRESENTATION

DU SITE DU BARRAGE DE BENI SLIMANE

II- Présentation du site

II.A- Introduction

Lorsqu'on envisage de construire un barrage il importe avant tout de bien examiner les objectifs que devra satisfaire la retenue et de dégager les impératifs qui en découlent pour les caractéristiques de l'ouvrage à concevoir et son implantation.

On procède ensuite à la recherche d'un site apte à la réalisation d'un ouvrage répondant à ces caractéristiques, puis à l'étude de sa faisabilité sur ce site.

Les études préliminaires d'un projet de barrage sont celles qui sont relatives à la recherche et au choix du site, à la bonne connaissance des conditions topographiques, géologiques, géotechniques et hydrologiques du site.

Enfin dans les cas difficiles ou pour des ouvrages importants, il ne sera pas possible de se prononcer sur la validité du site et sur la faisabilité du barrage sans pousser relativement loin les etudes de base nécessaires à l'élaboration de l'Avant projet détaillé (APD).

II.A.1 Situation Géographique

La zone d'étude est localisée sur l'oued Mellah à environ 7 km au sud de la ville de Beni Slimane. L'oued Mellah est un affluent par la rive droite de l'oued Isser, et à environ 10 km du village de Souagui dans la bordure méridional de l'Atlas Tellien. Administrativement le site est situé dans la Wilaya de Médéa, a cheval sur les communes de Souagui, Djouab et Beni Slimane. La partie méridionale de l'Atlas Tellien est constituée par deux alignements montagneux parallèles (NW) séparés par une dépression étroite suivant l'axe Souagui-Djouab. (Figure II.1 et II.2)

Tableau II.1: Positionnement du site

LOCALISATION		
LOCALISATION ADMINISTRATIVE		**COORDONNÉES GEOGRAPHIQUES**
TOPONYMIE		**LAMBERT (KM)**
Wilaya	MEDEA	X = 557.664 Y= 318.777
Daira	Beni Slimane	
Commune	Beni Slimane	

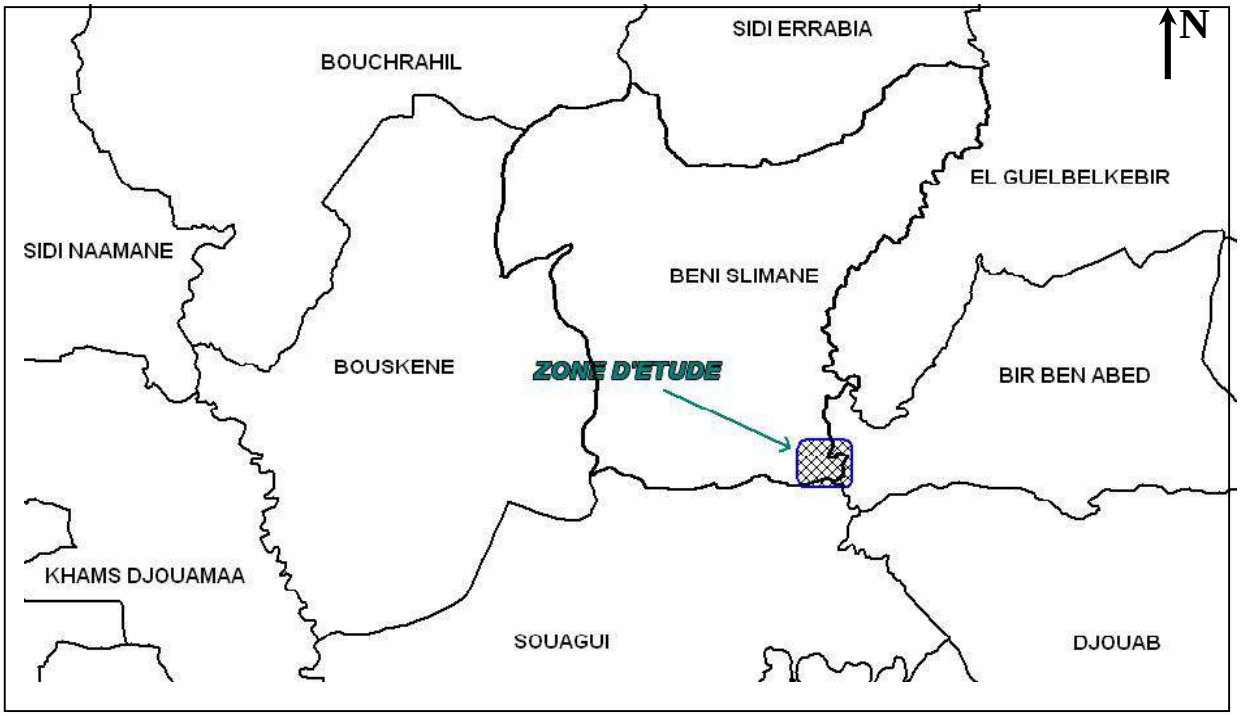


Figure III.1 : Situation administrative de la zone d'étude

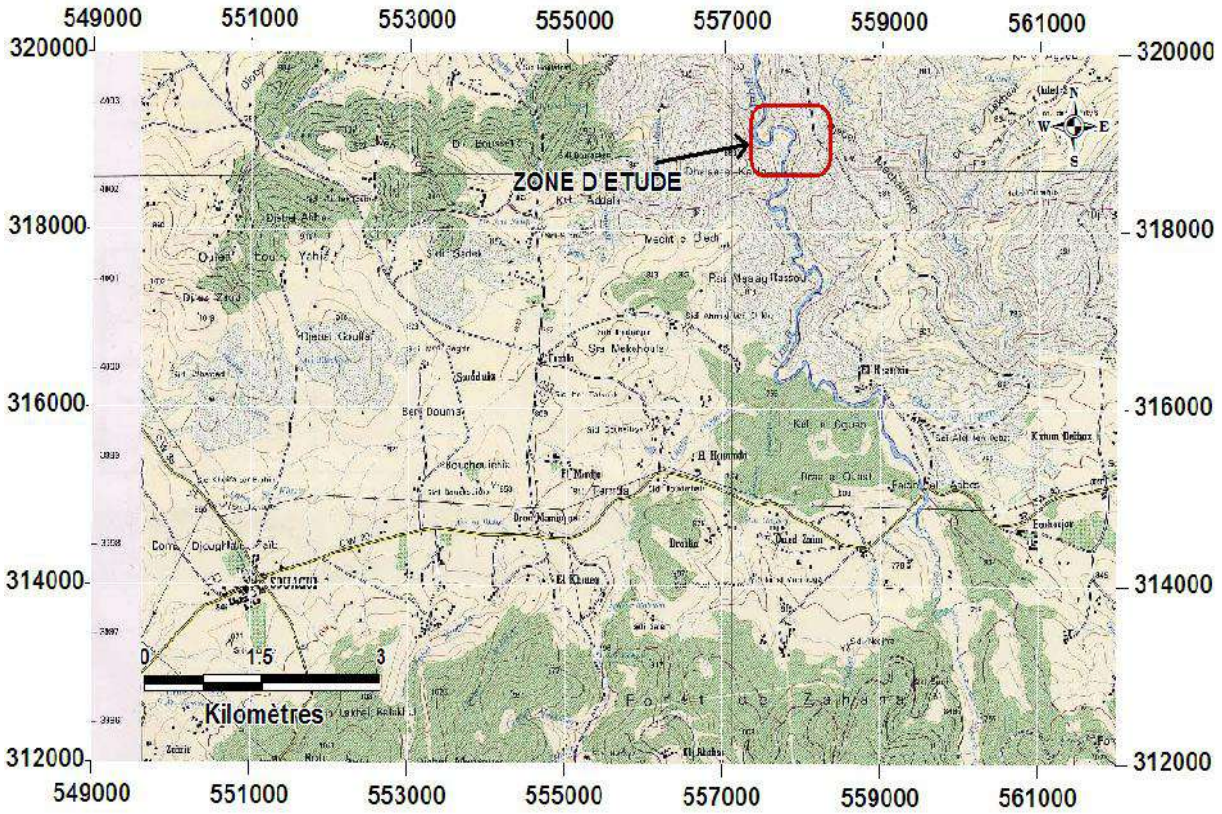


Figure III.2: Extrait de la carte topographique de Beni slimane au 1/25 000eme

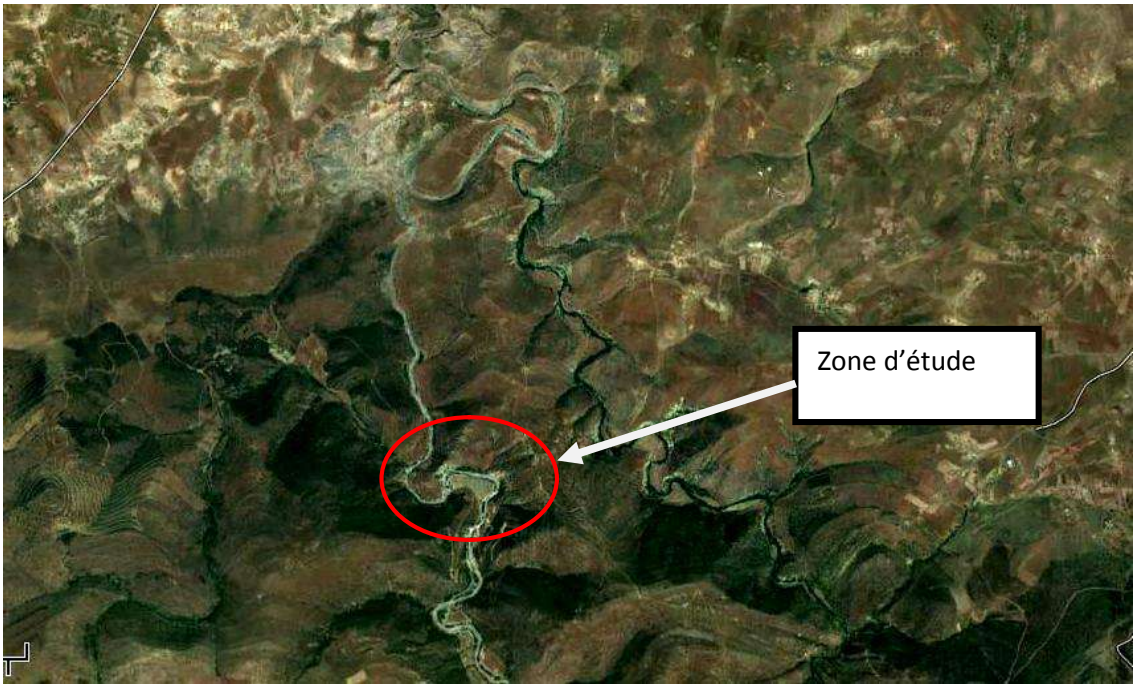


Figure II.3 : Image satellitaire de la zone d'étude

II.A.2 CLIMATOLOGIE : [10]

La région de Beni Slimane est située à la lisière méridionale du tell qui subit des influences du climat méditerranéen et du climat subdésertique des régions Hodnéennes. Donc la région présente un climat sub-humide sec qui se caractérise par une période sèche et chaude (Juin-Août) et un hiver humide et froid (Novembre-Février). Selon la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord établie par l'ANRH, 1993 la lame d'eau précipitée dans la zone d'étude varie dans une fourchette de 400 à 450 mm. Toutefois, les précipitations varient selon l'altitude de relief. Vers le Nord la pluviométrie est beaucoup plus importante lors en s'approche de la mer

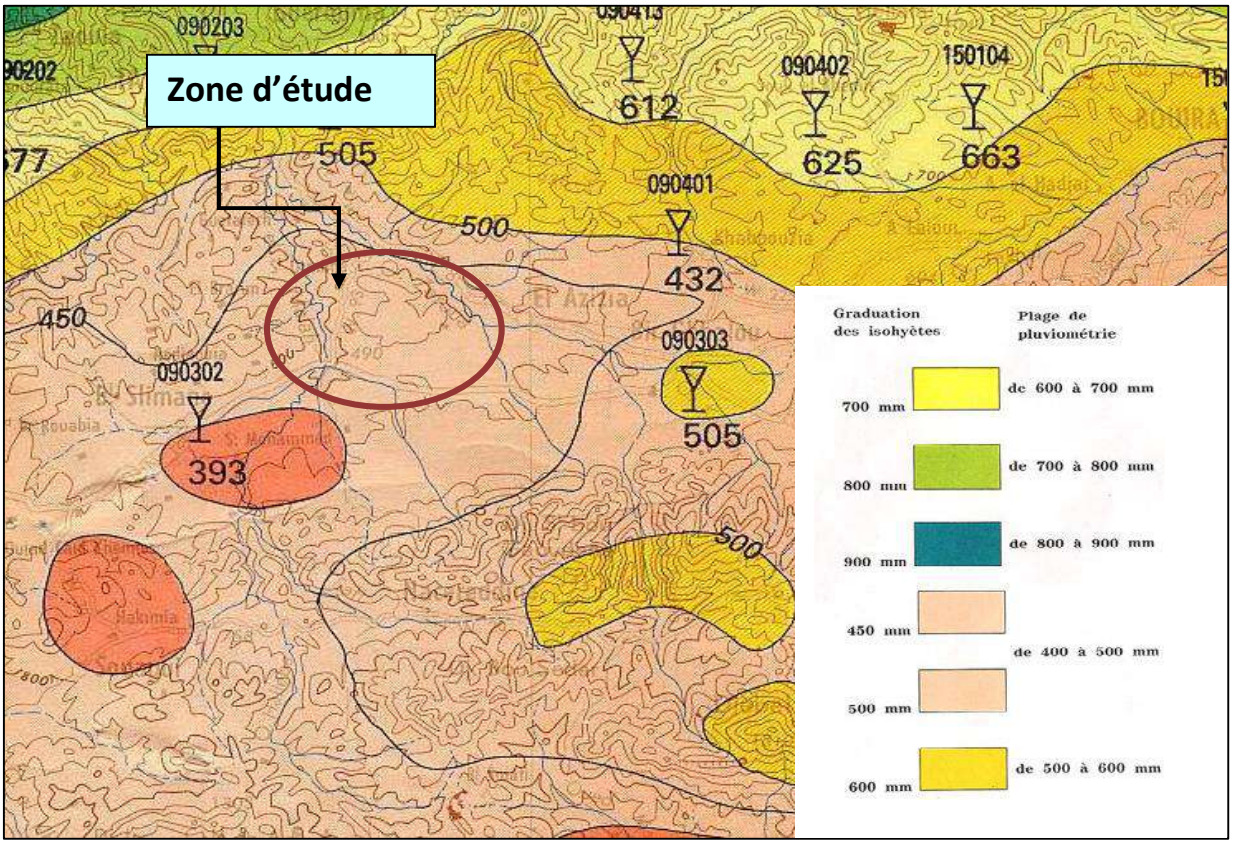


Figure II.4: Extrait de la carte pluviométrie de l'Algérie du Nord (ANRH).

II.A.3 GEOLOGIE DE LA ZONE D'ETUDE : [11], [12]

II.A.3.1 Géologie générale :

Le site du barrage de Béni Slimane est situé au Nord de l'Algérie, dans la région des montagnes de l'Atlas. La chaîne Atlasique est orientée Est-Ouest et s'étend du Maroc à l'Ouest jusqu'à la Tunisie à l'Est ; au Nord, est limité par la Méditerranée et, au Sud, par la grande faille Sud-Atlasique. C'est une région mobile très plissée, structurée par l'orogénèse alpine, englobant le domaine Tellien, les Hautes Plaines et l'Atlas Saharien.

L'Atlas Saharien se compose de dépôts sédimentaires de plateforme épicontinentale jusqu'à

10 000 m d'épaisseur, qui ont été moyennement plissées et fracturés. Les roches et matériaux actuels se composent de grès, d'argiles, de marnes et de roches calcaires.

L'Atlas Tellien inclut un ancien complexe cristallophyllien de base constitué par gneiss, schistes et granites, ainsi que des formations paléozoïques légèrement métamorphisées (les grès, les schistes et les pélites avec formations de « flysch » mésozoïques et cénozoïques) et quelques dépôts terrigènes et carbonatés. Ces roches ont été plissées et fracturées, formant une structure complexe.

Les Hauts Plateaux sont composés pour une épaisse séquence de dépôts marins et non marins provenant des montagnes adjacentes et d'autres dépôts sédimentaires continentaux, formant des versants assez stables.

II.A.3.2-Stratigraphie de la zone d'étude : [11], [12]

Le site de Mellah est situé dans une cluse creusée à travers les marnes et quartzites Albo-Aptien constituant le Djebel M'Chelfak.

En surface les dépôts sont constitués essentiellement de marnes de couleur gris-bleues, alternant avec des bancs de calcaires ou de calcaire marneux. L'ensemble est démontré à de distances régulières des bancs de grès quartzeux grossièrement orientés Est-Ouest.

Les formations géologiques rencontrées dans la zone délimitée par le site proprement dit, et la route Souagui-Djouab, se présentent du Sud vers le nord comme suit :

1-QUATERNAIRE :

a- Alluvions récentes : formés par un mélange de terres hétérogènes, de graviers et de cailloux assez peu roulés.

q- Alluvions anciennes : à éléments plus grossiers qui forment généralement des îots séparés, situés à des altitudes diverses.

A- Eboulis de pente : très abondants autours des massifs miocènes et même à l'intérieur de ces massifs, ces éboulis sont formés par de gros blocs de grés ou de calcaire emballés dans les argiles.

2- TERTIAIRE

2-1 SERIES AUTOCHTONES

mi^{e}- Miocène inférieur continental : Formation post-orogénique constituée par des argiles sableuses rouges qui cimentent des argiles et des gros blocs dolomies triasiques, de quartzites aptiens, de calcaires Cénomaniens, Sénoniens et Yprésiens.

mi^{d} - Miocène inférieur marin : Formation post-orogénique constituée d'argiles jaunes ou grises et de grés tendres hétérogènes à rare microfaune du Miocène inférieur.

2-2 SERIES ALLOCHTONES

mi^{b}-mi^{c}- Miocène inférieur marin : Formation marine d'argiles et de marnes grises à minces niveaux de calcaires gréseux, auxquelles succèdent des marnes grises entrecoupées de gros bancs de grés calcareux.

mi^{a} - Miocène inférieur continental : Formation continentale où les lits de cailloutis alternent avec des argiles rouges sableuses. Les cailloutis remanient des calcaires Sénoniens et Yprésiens, des grés oligocènes et des cargneules et ophites du Trias.

$C9\text{-}10$Maëstrichtienne – Danien : il débute par 200 mètres d'argiles et marnes feuilletées à lentilles de calcaire noir et minces lits de microgrès puis viennent environ 1000 mètres de marnes grises à bancs de calcaire marneux jaunâtres.

C8-Campanien : seul la partie supérieure du campanien affleure on y distingue :

A la base 350 à 400 mètres de marnes noires pyriteuses, associées à de rares bancs métriques de calcaires rubannés noirs. Au sommet 50 mètres de calcaires noirs, à patine blanche, bitumineux, à stratification finement rubannées.

3- SECONDAIRE

3-1 SERIES AUTOCHTONES

C^{6-7}- Turonien Supérieur- Sénonien Inférieur : puissante série homogène de marnes grises à altération blanchâtre ; rares et minces bancs de calcaire gris. Vers le sommet, apparaissent des lentilles de grés glauconieux.

C^{5}- Cénomanien Moyen Supérieur : il débute par 60 mètres de calcaires en gros bancs massifs, formant cuesta ; rares délits marneux. Puis des marnes grises et des bancs calcaires alternent sur plus de 200 mètres.

C^{4}- Cénomanien Inférieur : il début par 150 mètres de marnes noires à petits bancs de calcaires. Puis viennent environ 400 mètres de marnes grises à niveaux de calcaire fin, à patine gris clair, puis gris noir à noire en cassure fraîche.

C^{3}- Vraconien Albien supérieur : horizon essentiellement calcaire, qui forme une falaise aisément repérable. 25métre de calcaires noirs puis 30 mètres de marnes noirs puis 45 mètres de calcaires gris noir, déposés en bancs lenticulaires au sein de marnes noires.

C^{1-2}- Albo Aptien : série compréhensive, épaisse de 3000 mètres environ dans la quelle on peut distinguer de bat en haut : 1000 mètres de marnes noduleuses grises -30 mètres de calcaires à grain fin gris bleu, de calcaires plus grossies et de calcaires coquilliers -2000 mètres de marnes grises de grés moyens et de Quartzites brun-rouille.

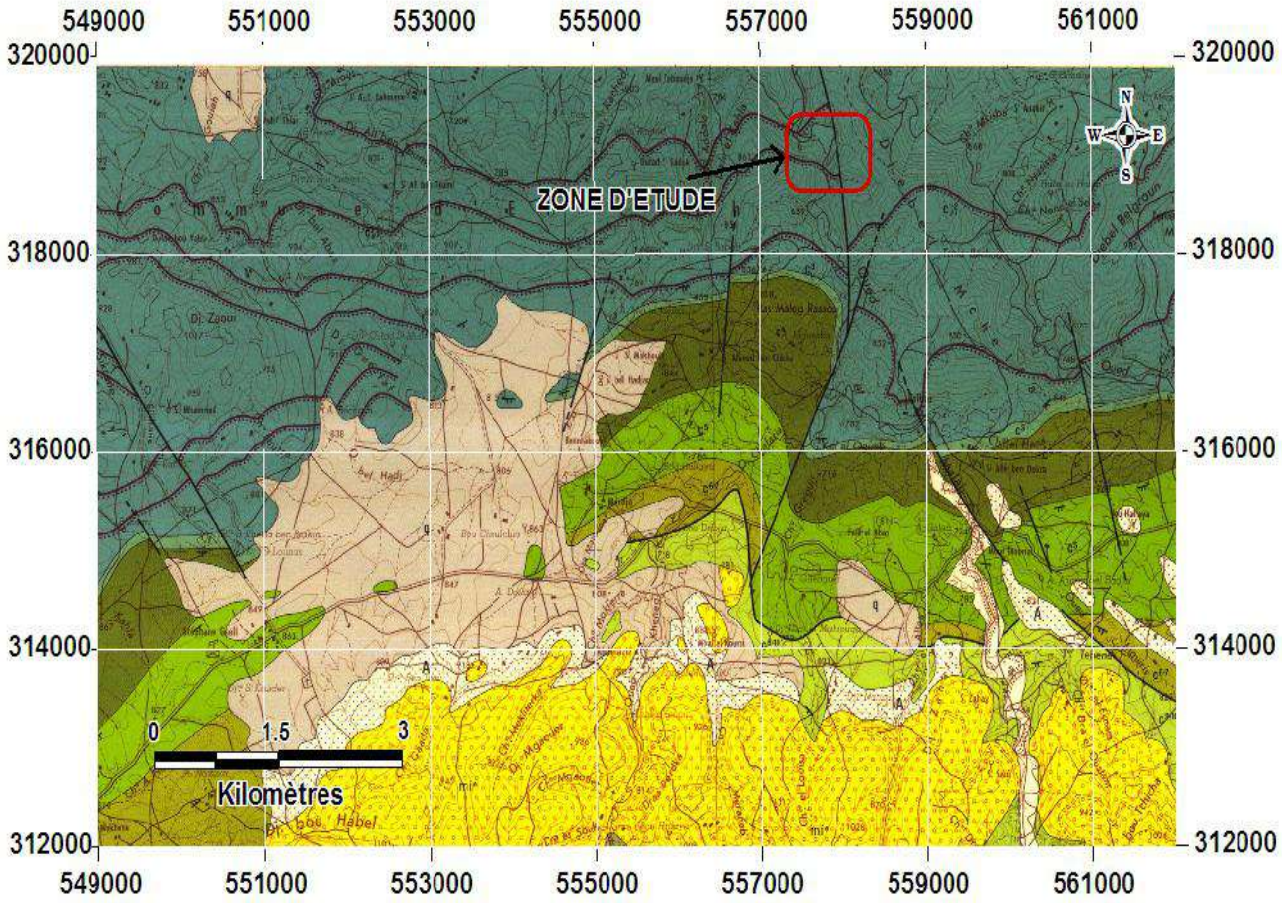


Figure II.5: Extrait de la carte géologique de la zone d'étude Ech: 1/50 000

Légende

- A — Eboulis de pentes
- q — Alluvions anciennes, à élements plus grossiers
- mi^e — Miocène inférier continental : formation continentale
- c^6-7 — Turonien Supérieur- Sénonien Inférieur
- c^5 — Cénomanien Moyen Supérieur
- c^4 — Cénomanien inférieur
- c^3 — Vraconien : Albien supérieur
- a c^1-2 — Albo - Aptien

II.A.4 Hydrologie [13]

II.A.4.1 Introduction

La zone d'étude est caractérisée par une altitude assez élevée de 600 à 650 m. Elle est incluse dans le grand bassin versant de Oued Isser (sous bassin versant Oued Zeroua).

Le sous bassin l'Oued Zeroua (0903) â une superficie de 1137 Km^2 et un périmètre de 175 Km.

Les eaux de ruissellement sont collectées par Oued Zeroua et ses affluents (Oued El Maleh,Oued Halleba), ce grand drains coupent orthogonalement la chaîne des Bibans et se jettent, plus au Nord, aux environs de Tablat, dans l'Oued Isser, qui gagne la Méditerranée après un périple assez tourmenté.

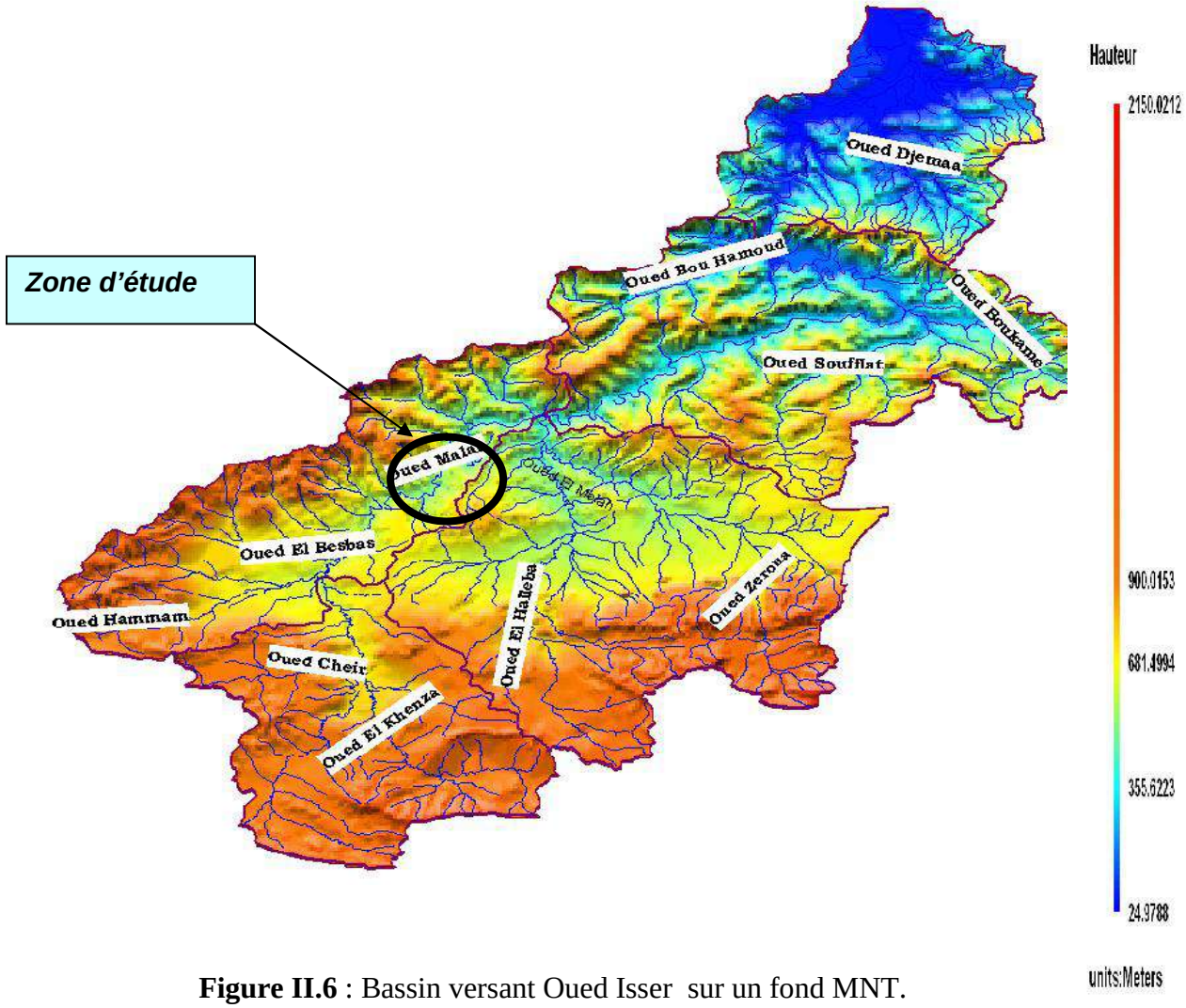


Figure II.6 : Bassin versant Oued Isser sur un fond MNT.

(Données A.B.H Algérois 2010)

II.A.4.2 Caractéristiques hydrologiques du bassin. [13]

Le site du barrage de Beni-Slimane est localisé sur l'oued Mellah, qui est un affluent par la rive droite de l'oued Isser. Le bassin versant dominé draine une superficie totale de 176 km2, confinant par le sud-ouest avec le bassin de l'oued Kherza/Mellah et par le sud-est avec le bassin de l'oued Zetoua. C'est la confluence de ces deux oueds qui donne origine à l'Isser. Par le sud, le bassin de Beni Slimane confine avec le bassin de l'oued El Ham, lequel draine vers le sud-est et qui appartient au bassin intérieur du chott el Hodna.

Les caractéristiques topographiques de la cuvette définie par le site du barrage permettent la création d'une retenue avec capacité de stockage importante, laquelle permettra la régularisation interannuelle des apports de l'oued. Le débit régularisé ainsi obtenu, assez significatif, sera utilisé pour l'irrigation de la vallée en aval.

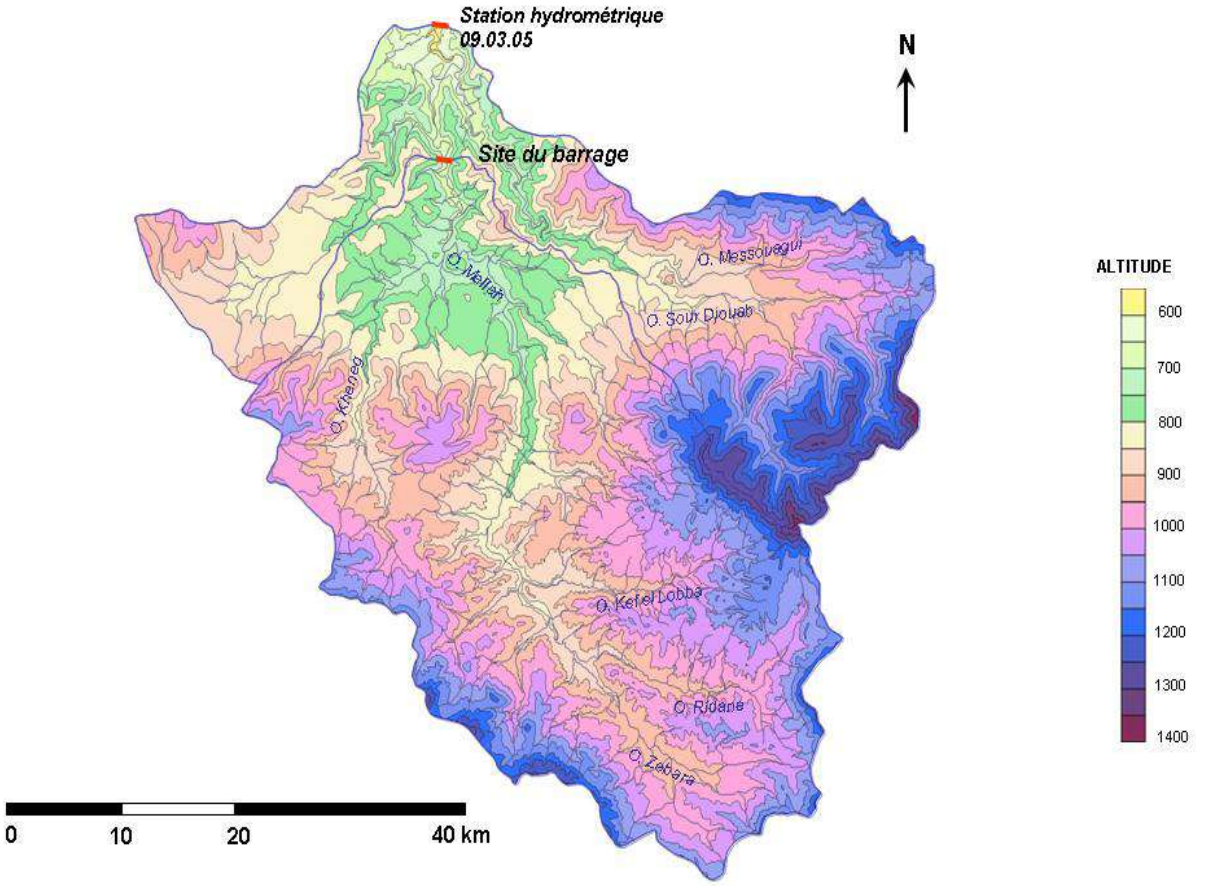


Figure II .7: Topographie des bassins versants de Beni Slimane MNT

(Données A.B.H Algérois 2010)

II.A.5- HYDROGEOLOGIE : [12]

La zone d'étude est située sur les formations des grès et calcaire marneux d'âge Albo-Aptien. Ces formations présentent une perméabilité de fracture dont l'extension latérale et verticale est faible.

La présence des grands décrochements de direction Nord-Ouest, Sud-Est qui va engendrer un compartimentage et une intense fracturation qui va favoriser l'écoulement des eaux souterraines. Les axes de drainages préférentiels ainsi créés, liés à de forts gradients, favorisent des vitesses de transit rapides des eaux souterraines. Ainsi que ces grès et calcaires marneux sont exploités par plusieurs forages recensés aux environs de Souagui et Bouskene et Sud de Beni Slimane fournissent des débits entre 2 à 7 l/s avec des profondeurs allons jusqu'à 150m.

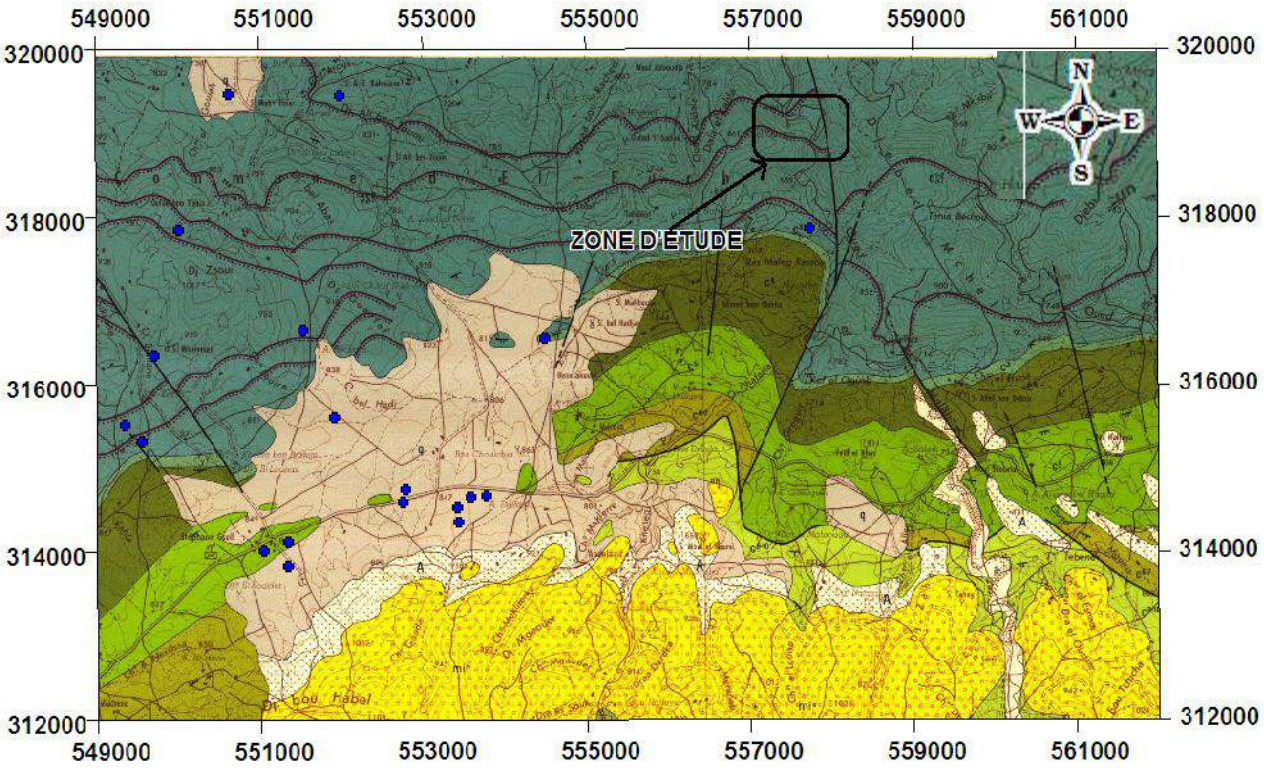


Figure II.8: Forages inventories dans la zone d'étude

CHAPITRE III

METHODOLOGIE DE L'ETUDE GEOTECHNIQUE

DU SITE DU BARRAGE

III- Méthodologie de l'étude géotechnique du site du Barrage

III.1-Travaux réalisés et techniques utilisées

Le but de cette étude et de fournir des éléments d'appréciation pour déterminer la géométrie et la nature, l'organisation sur la structuration des ensembles géologiques qui constituent le sou sols et les comparé avec les résultats du sondage carottier établie avec la méthode géotechnique.

Les études de géophysiques qui y seront menées serviront à bien calées dans l'espace la superposition des différents types de sols et des terrains sous-jacents représentant le substratum en place de ces secteurs.

Le Bureau d'étude COBA à réaliser au profit du Barrage de Beni Slimane une étude géotechnique très riche, les essais au laboratoire effectué sont : [14]

III.1.1- Reconnaissance par les Puits

Les essais et analyse réalisés sur le puits sont :

-Granulométrie et Analyse Sédimentométrique

– Limites d'Atterberg

– Teneur en Eau

– Equivalent de Sable

– Essai de Compactage Proctor (Normal/Modifié)

– Essai Oedométrique

– Essai Triaxial

– Essai de Perméabilité

– Densité des Particules

– Masse Volumique

– Analyse Minéralogique

– Teneur en Matière Organique

– Teneur en Sulfates

– Teneur en Carbonates

– Teneur en Chlorures

– Essai de Dispersivité

III.1.2- Reconnaissance par les tranchées

Les essais et analyse réalisés sur les tranchées sont :

– Granulométrie et Analyse Sédimentométrique
– Limites d'Atterberg
– Teneur en Eau
– Equivalent de Sable
– Essai de Compactage Proctor (Modifie)
– Densité des Particules
– Masse Volumique

III.1.3- Les Sondages carottés

Les essais et analyse réalisés sur les sondages carottés sont :

– Essais d'Absorption d'Eau et Poids Volumiques
– Compression Simple
– Essai Brésilien
– Los Angeles
– Analyse de la Réactivité de Type Alcalis – Silice
– Essai Pétrographique

III.1.4- Prospection géophysique

Une prospection sismique à été mené par le BET COBA dont les résultats ont permis de faire des comparaison avec la prospection électrique.

➢ TRAVAIL REALISE SUR LE TERRAIN

III.2- Planning et moyens humains :

III.2.1 Planning :

Nous avons mené une compagne de prospection électrique sur le site du Barrage. Les travaux ont débuté le 12 juin 2012, par la mise en chauffe et le réglage du résistivimètre, 12 sondages électriques verticaux (SEV) ont été réalisés sur 03 profils (Fig IV.4) et répartis sur et autour du périmètre de la digue ; Les coordonnées des SEV on été déterminés par GPS sur le terrain (Tableau IV1).

III.2.2 Moyens humains :

L'équipe de terrain est composée de :

- Un opérateur,
- Un ingénieur géophysicien,
- Deux manœuvres,

III.2.3 Equipement géophysique et de positionnement utilisés (Figure IV.1)

- Matériel de géophysique : l'instrument utilisé est le résistivimètre PASI Mode 16 Gl .
- GPS navigateur.
- Logiciel de traitement des données géophysique (SEV) WINSEV 3.0

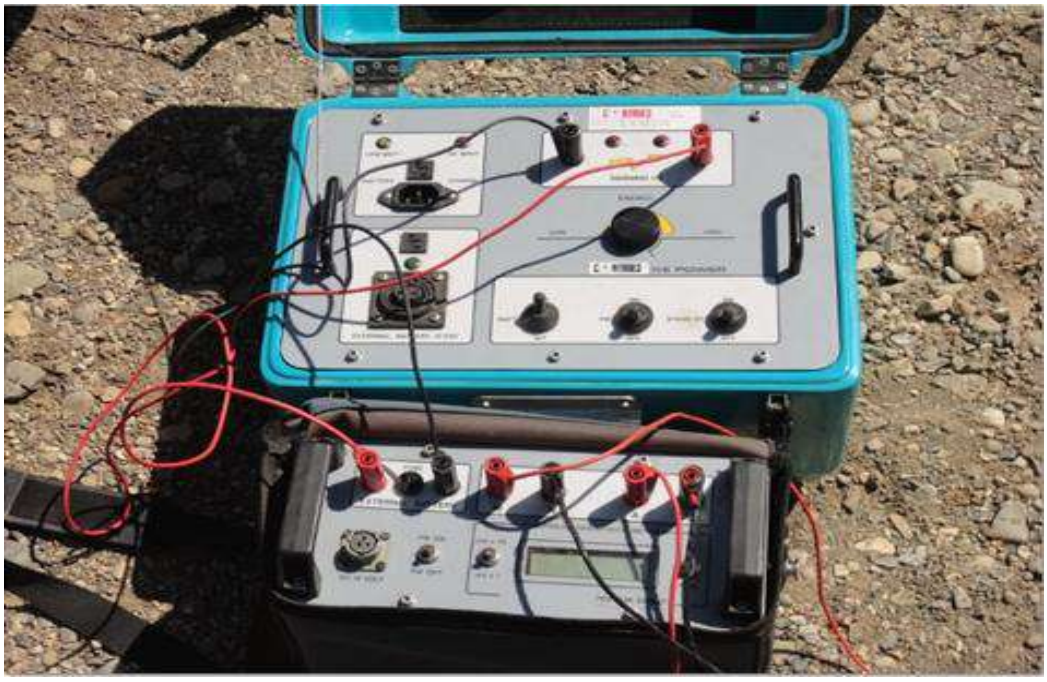


Figure III.1: Le résistivimètre utilisé sur le terrain PASI Mode 16 Gl



Figure III.1: Le résistivimètre utilisé sur le terrain PASI Mode 16 Gl



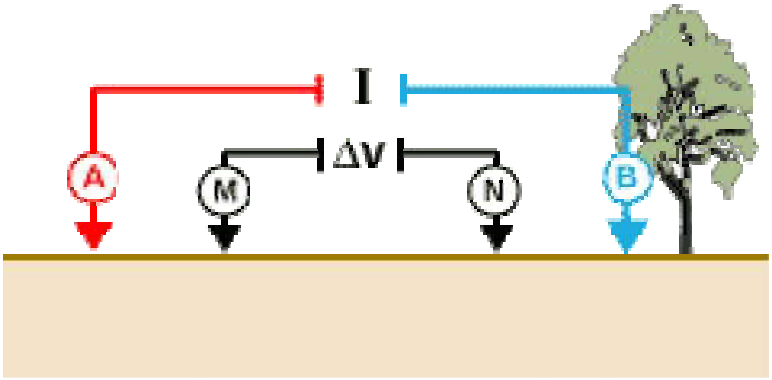
Figure III.2: GPS utilisé sur le terrain

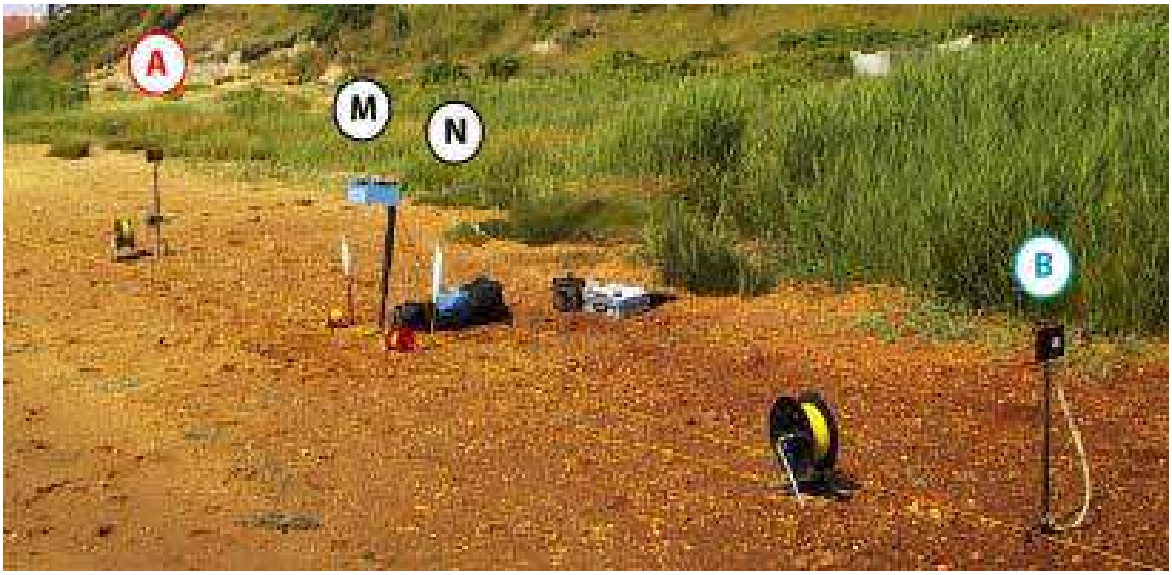
III.3- TRAVAUX DE TERRAIN :

Outre l'étude géophysique antérieure réalisée au niveau du Barrage Beni Slimane, il s'agit de la méthode sismique réfraction, nous avons réalisé une étude géophysique par la méthode des sondages électriques verticaux aux mêmes endroits des sondages carottiers effectués dans l'enceinte des terrains de ce barrage. Les sondages réalisés ont été exécutés à quelques mètres près de la digue proposée au futur barrage.

Le dispositif électrique qui a été appliqué est celui de Schlumberger qui consiste à envoyer un courant électrique (I) par le biais de deux électrodes A et B placées de part et d'autre du résistivimètre et d'enregistrer la différence de potentiel (ΔV) entre les électrodes M et N.

L'appareillage utilisé est un résistivimètre PASI Mode 16GL à compensation du potentiel spontané automatique, avec une gamme de courant Output de 0 à 1.5 A, tension max : 600 V, puissance max : 100W.







Figures III.3 : Dispositif d'exécution des sondages électrique

Tableau III.1 : Coordonnées des sondages électriques verticaux réalisés sur site

	Coordonnées UTM	
Sondage électrique	**X (m)**	**Y (m)**
S2	530546	4002212
S3	530563	4002200
S4 bis	530652	4002214
S5	530687	4002215
S6	530739	4002208
S7	530837	4002216
S8	530653	4002082
S9	530687	4002396
S10	530742	4002082
S13	530821	4002460
S14	530804	4002490

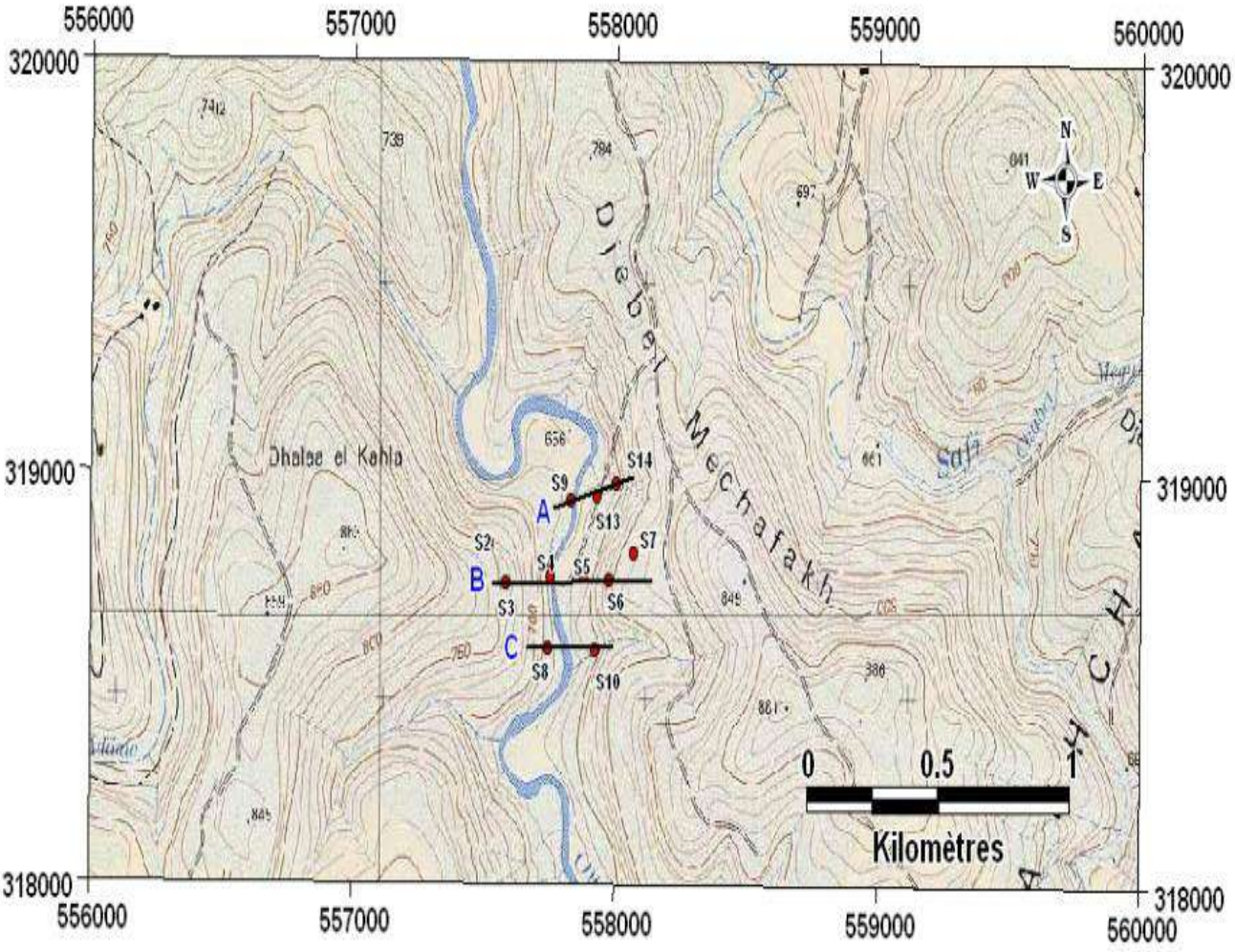


Figure III.4 : Carte de positionnement des SEV

III.4-Présentation des données obtenues :

Les données électriques sont présentées sous forme de courbes établies par le logiciel d'interprétation des sondages électriques (WINSEV 3.0). Ces courbes constituent l'élément de base du traitement et d'interprétation.

1- Etalonnage du sondage électrique S2 a l'aide du sondage mécanique S2

Le model électrique effectué, montre que nous sommes en présence d'un sondage électrique a trois (3) couches.

- La résistivité de 65 Ohm.m du premier terrain correspond terre végétale qui surmonte des grès fins.

- La résistivité de 20 Ohm.m est représentative des argiles sableuses sous-jacentes.

- La résistivité élevée du dernier terrain (250 Ohm.m) est attribuée aux alternances de formations dures constituées principalement de calcaires gréseux et de calcaires marneux.

2-Etalonnage du sondage électrique S3 a l'aide du sondage mécanique S3

Le sondage mécanique montre que le toit des formations dures se trouve à 4,1 m de profondeur. Cette valeur correspond approximativement à l'épaisseur du premier terrain conducteur donné par le modèle électrique. La résistivité de 40 Ohm.m de ce terrain correspond donc aux argiles ocre et beiges.

- Quant à la résistivité de 140 Ohm.m du deuxième terrain, elle peut être attribuée aux alternances de terrains durs composés principalement de calcaires gréseux et marneux.

3-Etalonnage du sondage électrique S4 a l'aide du sondage mécanique S4

Les cuttings du sondage mécanique S4, réalisé prés du sondage électrique S4 montrent que l'épaisseur des alluvions est de 7 m.

Le modèle à deux (2) couches obtenu, nous permet d'attribuer la résistivité de 50 Ohm.m aux alluvions, dont l'épaisseur est légèrement surestimée par le modèle. La résistivité de l'horizon résistant sous-jacent (220 Ohm.m) correspond aux alternances de calcaires gréseux et marneux.

4-Etalonnage du sondage électrique S5 a l'aide du sondage mécanique S5

Le sondage mécanique S5, a recoupé 4.7 m d'argiles, de galets et de graviers avant d'atteindre l'alternance des calcaires gréseux et calcaires marneux.

La courbe électrique montre deux (2) terrains où le premier ayant une résistivité de 35 Ohm.m correspond aux argiles, graviers et galets et celles du deuxième 140 Ohm.m est représentative de l'alternance de calcaires marneux et calcaires gréseux.

5-Etalonnage du sondage électrique S6 à l'aide du sondage mécanique S6

Le sondage mécanique S6, montre 6 m d'alluvions, reposant sur une alternance de calcaires marneux, marno-calcaires et calcaires gréseux. La courbe du sondage électrique exécuté auprès du sondage mécanique, permet d'identifier trois (3) couches.

La résistivité de 8 Ohm.m, peut être attribuée aux argiles de surface, alors que la résistivité 36 Ohm.m, correspond aux alluvions. L'horizon résistant à 90 Ohm.m est représenté par l'alternance de calcaires gréseux, et calcaires marneux.

6-Etalonnage du sondage électrique S7 a l'aide de sondage mécanique S7

Le sondage mécanique montre 3 m d'argiles sableuses avant d'atteindre une alternance de grès calcaires, calcaires marneux et grès appartenant à l'Albo-Aptien. La courbe électrique montre trois (3) couches. Cette courbe ressemble a celle du sondage précédent, elle nous permet de faire correspondre la résistivité de 7 Ohm.m aux argiles sableuses de la surface et la résistivité de 35 Ohm.m aux graviers, sable et marnes sous-jacents. En ce qui concerne la résistivité de 90 Ohm.m du dernier terrain, elle correspond aux formations de l'Albo-Aptien constituées principalement de calcaires gréseux et calcaires marneux.

7-Etalonnage du sondage électrique S8 a l'aide de sondage mécanique S8.

Avant d'atteindre les formations albo-aptiennes, le sondage mécanique S8, a traversé 5.5 m d'alluvions quaternaires constituées d'argiles sableuses, blocs et galets de calcaires gréseux et des argiles sablo-graveleuses.

La courbe électrique obtenue montre deux (2) couches, avec respectivement de haut en bas une résistivité de 45 Ohm.m et 100 Ohm.m. La première caractérise l'horizon alluvionnaire de surface dont l'épaisseur est légèrement sous-estimée par le modèle (5 m) et la résistivité de 100 Ohm.m est représentative de l'alternance de calcaires gréseux, calcaires marneux et grès d'âge Albo-Aptien.

8- Etalonnage du sondage électrique S9 a l'aide de sondage mécanique S9.

L'interprétation de la courbe du sondage électrique S9 montre que le recouvrement sableux de faible épaisseur a une résistivité apparente de 40 Ohm.m et les calcaires gréseux de l'Albo-Aptien ont une résistivité de 110 Ohm.m.

9- Etalonnage du sondage électrique S10 a l'aide de sondage mécanique S10.

Ce sondage ressemble au précédent, il met en évidence deux terrains qui se superpose où la résistivité de 35 Ohm.m correspond au sable limono-graveleux reposant sur des blocs de calcaires gréseux avec une épaisseur totale identique a celle du sondage mécanique et une alternance de calcaires gréseux et calcaires marneux résistant avec une résistivité de 230 Ohm.m.

10-Etalonnage du sondage électrique S13 a l'aide du sondage mécanique S13

Le model électrique effectué, montre que nous sommes en présence d'un sondage électrique a deux (2) couches.

La résistivité de 30 Ohm.m de la première couche correspond aux alluvions de l'Oued qui sont constituées par des argiles sableuses reposant sur des sables argileux, galets et graviers.

La résistivité de 70 Ohm.m de la deuxième couche est caractéristique des marnes alternées de marno-calcaires.

11-Etalonnage du sondage électrique S14 a l'aide du sondage mécanique S14

Les cuttings du sondage mécanique S14, montrent que l'épaisseur des alluvions est de 4.8 m. Le sondage électrique S14, met en évidence un modèle à trois (3) couches. Ceci nous permet d'attribuer la résistivité de 40 Ohm.m aux alluvions, dont l'épaisseur est surestimée par le modèle. La résistivité de 70 Ohm.m est caractéristique de l'alternance de marnes, marno-calcaires et calcaires marneux recoupés par le sondage mécanique jusqu'à 20 m. A partir d'une trentaine de mètre de profondeur et selon le modèle électrique, apparaît un horizon conducteur dont le toit à une résistivité de 20 Ohm.m, cet horizon peut être constitué par une formation à dominance marneuse.

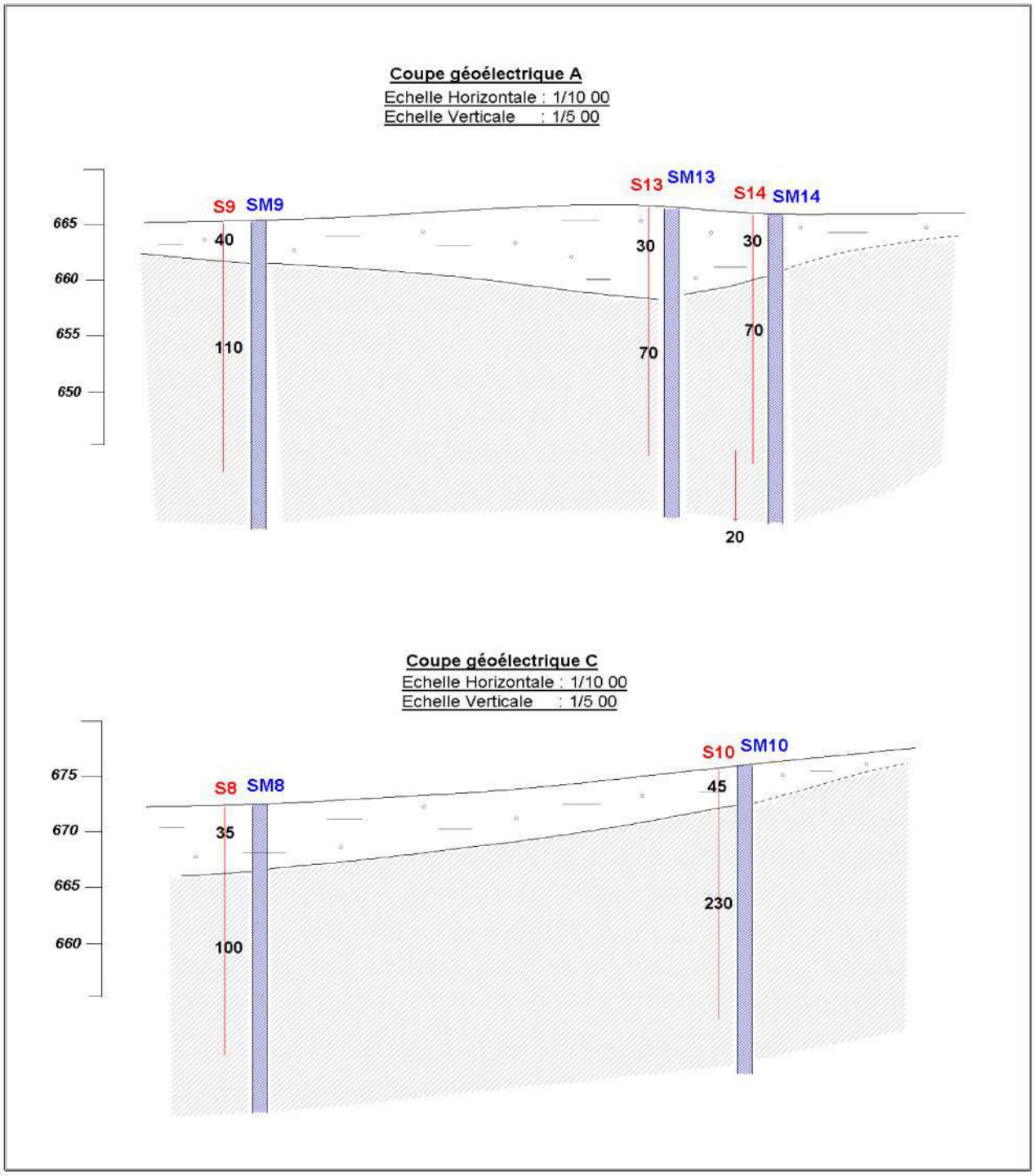


Figure IV.5: Coupes géoélectriques A et C

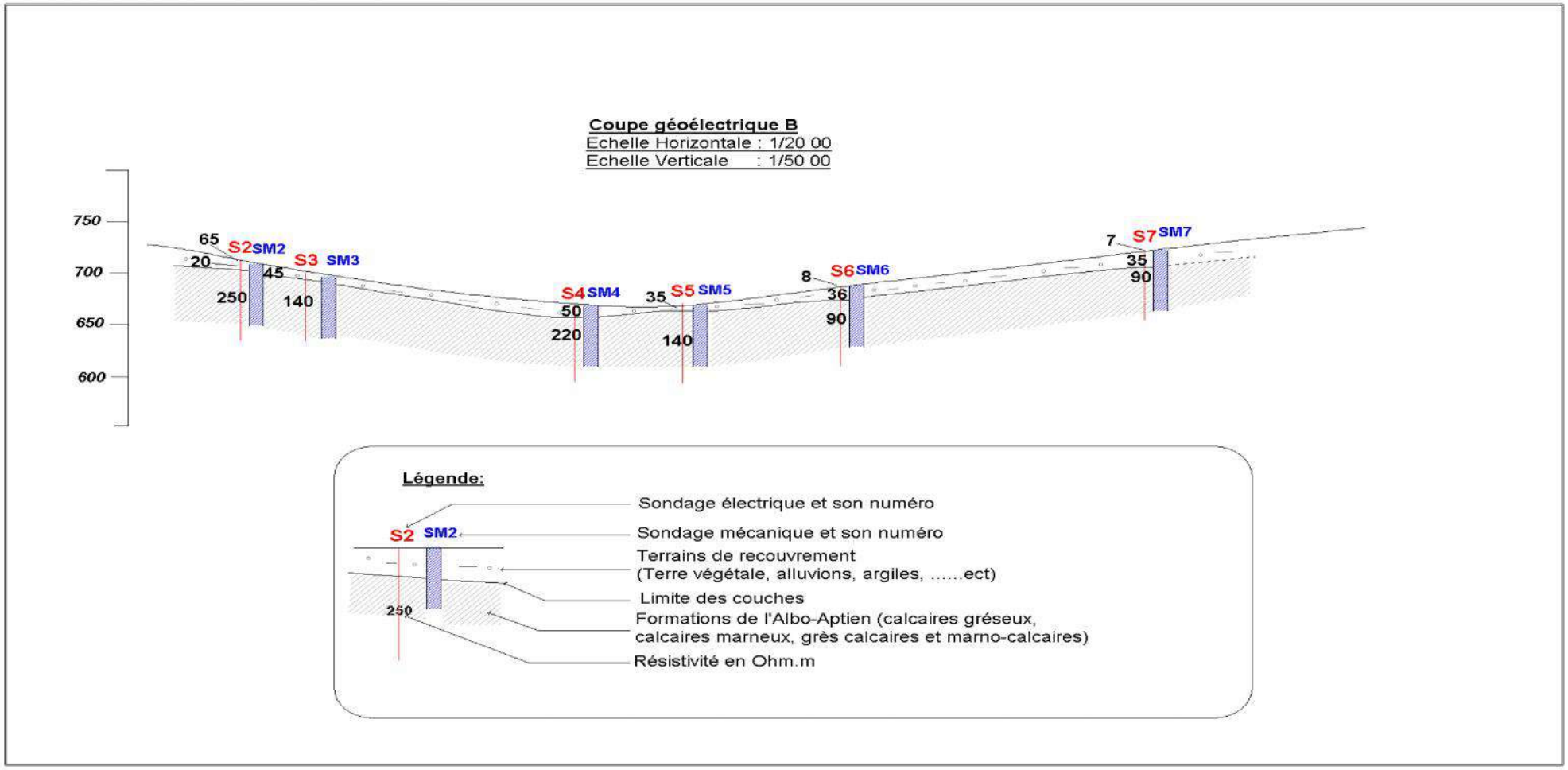


Figure IV.6: Coupe géoélectrique B

CHAPITRE IV

PRINCIPAUX RESULTATS

IV-Principaux Résultats:

IV.1-Essais Géotechnique

IV.1.1- Travaux de reconnaissance exécutes [14]

Tenant compte de l'importance du barrage et des ouvrages hydrauliques annexes, les programmes de reconnaissance furent composés par des sondages avec carottage continu, des essais SPT, des essais de perméabilité du type Lefranc et Lugeon, des tranchées et des profils sismiques de réfraction. Dans le cadre de la recherche de zones d'emprunt et/ou de carrières, le programme fut composé par la réalisation des sondages avec carottage continu, des profils sismiques et des puits de reconnaissance.

La probable présence d'une zone de glissement importante en rive gauche, a conduit, aussi, à l'exécution des sondages, profils sismiques et tranchées. Le tableau V.1 et tableau V.2 (Voir annexe 1- Géotechnique) présentent une synthèse des quantités des travaux d'investigation et des essais de laboratoire réalisés.

IV.1.2 - Sismique de réfraction [14]

Compte tenu de l'importance du barrage, le programme d'investigation géophysique a inclut l'exécution de 26 profils sismiques de réfraction visant à éclaircir les conditions d'excavation et de fondation des différents axes et ouvrages en étude.

Dans la phase de faisabilité, sept profils sismiques (PS1 à PS7) ont été réalisés avec une longueur variable, comprise entre 66 m (PS7) et 390 m (PS1). 19 profils sismiques ont été réalisés, avec 60 m de longueur d'investigation et une distance maximale entre les géophones de 5 m. Pour l'obtention d'une meilleure définition, le dispositif mis en œuvre comprenait cinq points de tir: normal déporté, normal, centré, inverse et inverse déporté.

L'examen des vitesses détermines les terrains traverses correspondent au premier niveau aux sols alluvionnaires, colluvionnaires, dépôts de terrasse, terre végétale et sols résiduels avec des vitesses variant du 290 m/s à 550 m/s et le deuxième niveau plus consolidé et fractionné avec des vitesses variant entre 730 m/s et 3000 m/s correspondant essentiellement à l'intercalations de marne, marno-calcaire, calcaire gréseux ou marneux et grès calcaire altérés.

Le tableau V.3 et V.4 (Voir annexe 1- Géotechnique**)** présente une synthèse des profils sismiques de réfraction réalisés.

IV.1.3 - Tranchées de reconnaissance [14]

Envisageant la caractérisation du terrain de fondation, 12 tranchées de reconnaissance (T101 a T110) ont été ouvertes avec une profondeur maximale de l'ordre de 8,0 m et avec prélèvement d'échantillons pour la réalisation d'essais au laboratoire (terrains non rocheux).
Le tranchée T101 a été réalisée dans la rive gauche, les tranchées T102 à T104 ont été réalisés dans le fond de la vallée, et les tranchées T105 à T109 en rive droite. La tranchée T110 fut creusée dans la zone de glissement identifiée dans la rive gauche. Avec la réalisation des tranchées, il a aussi été possible de déterminer l'épaisseur des fouilles, d'observer directement la nature des terrains impliqués, ainsi que permettre le recueil d'échantillons pour la réalisation d'essais de laboratoire. .
D'après l'ensemble de tranchées réalisées on peut conclure que l'assise de fondation est constituée par un massif de nature marneuse avec une couverture composée par des dépôts alluvionnaires et de terrasses à différents niveaux. On peut observer aussi la présence de dépôts colluvionnaires dans les rives, en particulier, en rive gauche, où ces dépôts présentent une épaisseur importante, supérieure à 2,9 m.

Le Tableau V.5 (Voir annexe 1- Géotechnique**)** présente une synthèse des tranchées de reconnaissance réalisées

IV.1.4 - Sondages carottés [14]

Un total de 21 sondages carottés fut réalisé dont l'implantation a concerné le site de barrage et les ouvrages hydrauliques, pendant les différentes phases d'étude. L'exécution des sondages carottés a eu pour objectif principal la reconnaissance des caractéristiques de perméabilité, déformabilité et de résistance au cisaillement du massif de fondation du barrage et respectifs appuis, ainsi que des ouvrages hydrauliques annexes. Dans les formations rocheuses le carottage continue a possibilité l'obtention d'informations

D'après l'ensemble des sondages réalisés ont peut conclure que le massif de fondation est composé par des alluvions, des dépôts de terrasses, des colluvions, du sol résiduel (matériaux broyés et décomposés) et des unités plus compactes composés par une alternance de marnes, marnes calcaires, calcaires et grès, parfois quartzitique. De l'analyse des résultats obtenus ont peut faire les suivants commentaires :

1- la partie plus superficielle des terrains d'assise est essentiellement composée par des matériaux broyés et décomposés (alluvions, dépôts de terrasse, colluvions, et sols d'altération des marnes, grès et grès calcaire). En termes géotechniques, il s'agit de matériaux à RQD nul, pourcentage variable, en générale peut résistants ; Au fond de la vallée, l'épaisseur est de l'ordre de 1-6 m, associés à des sols alluvionnaires, et de 7-10 m, associés aux dépôts de terrasse, étant parfois inexistante en s'observant la présence de couches marno-calcaires très résistantes et affleurantes ; Sur les rives, la partie superficielle est composée par des colluvions et des sols résiduels d'altération. La rive gauche présente de plus importantes épaisseurs, de l'ordre de 3 à 9 m. En rive droite, l'épaisseur est plus réduite, de l'ordre de 2-6 m ; Dans l'ancienne zone de glissement, en rive gauche (à l'aval de l'axe du barrage), la partie superficielle des terrains présente des épaisseurs plus importantes, associées à l'occurrence d'une déposition colluvionaire plus expressive, pouvant atteindre les 16,5 m d'épaisseur.

2- Au-dessous de cette zone plus superficielle, on peut observer l'occurrence d'une alternance de marnes, marnes calcaires, grès calcaire et grès quartzitique, avec un pourcentage de récupération de l'ordre de 45 à 100%, un pourcentage de RQD très variable, en général compris entre 0 et 60%, et valeurs de perméabilité comprises entre 4 et 100 UL; en général, le massif se présente moyennement dégradé (SIMR)

Cette zone intermédiaire présente une épaisseur variable, en résultat de la fréquente alternance de lithologie, en atteignant des profondeurs de l'ordre de 15-35 m, en rive droite, 21 à 45 m, en rive gauche, et 3 à 5 m, en fond de vallée ;

3- Au-dessous des zones auparavant décrites on observe des formations rocheuses peu dégradées (SIMR), avec un pourcentage de récupération de l'ordre de 80 à 100 %, un pourcentage de RQD très variable, en général compris entre 0 et 100% et valeurs de perméabilité inférieurs à 3 U.L.

Pendant l'exécution des sondages carottés des essais de perméabilité du type Lefranc et Lugeon ont été réalisés. Les adaptations au programme de reconnaissance initial ont résulté essentiellement des difficultés d'accès aux sites prévus pour l'exécution des sondages dans les rives.

Le Tableau V.6 (Voir annexe 1- Géotechnique**)** présente les principales caractéristiques des sondages réalisés.

IV.2- Essais Géophysique (prospection électrique)

L'étalonnage des différents sondages électriques réalisés à proximité des différents ouvrages mécaniques, a permis l'établissement de l'échelle de résistivité suivante:

Tableau V.1 : L'échelle de résistivité

AGE DE LA FORMATION	CARECTERISTIQUE LITHOLOGIQUE	ECHELLE DE RESISTIVITE (en Ohm.m)
QUATERNAIRE	Recouvrement de surface et alluvions constituées d'argiles, de sable, de limons et de galets.	7 à 65
ALBO-APTIEN	-Alternance résistante composée de calcaires gréseux, grès calcaires et calcaires marneux. -Alternance conductrice formée de marne et de marno-calcaires	90 à 250 20 à 70

L'examen de cette échelle de résistivité permet de prévoir à priori, les difficultés d'interprétation qui peuvent être rencontrées du fait de l'équivalence des valeurs de la résistivité à savoir:

- La délimitation exacte entre recouvrement (alluvions, terre végétale, argiles…..ect) et formations albo-aptiennes conductrices sera difficile lorsque ces horizons auront les mêmes résistivités.
- Confusion possible entre calcaires gréseux, calcaires marneux et grès du faites qu'ils ont les mêmes caractéristiques électriques.

IV.3-Interpretation des coupes Géoélectriques

Trois coupes géoélectriques correspondant aux profils désignés par les lettres alphabétiques allant de A, B et C.

Les principaux niveaux reconnus de haut en bas sont:

- Le recouvrement constitué principalement de terre végétale, d'alluvions, d'argiles…….ect. Il a une épaisseur comprise entre 0.6 et 9m qui diminue au fur et a mesure qu'on se déplace vers les deux rives de l'Oued jusqu'à l'affleurement des formations de l'albo-Aptien. La résistivité de ce premier terrain mis en évidence par les sondages électriques varie entre 8 et 65 Ohm.m où les faibles résistivités indiquent un recouvrement à éléments fins et les plus fortes sont caractéristiques de matériaux grossiers.
- Le toit des formations albo-aptiennes qui sont constituées essentiellement par des calcaires gréseux, calcaires marneux, des grès, des marnes et des marno-calcaires. Il est a noter que les résistivités sont comprises entre 20 et 70 Ohm.m correspondent aux terrains à dominance marneuse (marnes, marno-calcaires…ect) tandis que les résistivités supérieures à 90 Ohm.m sont représentatives de formations dures (calcaires gréseux, calcaires marneux et grès).

IV.4- Conclusion

L'étude menée dans le cadre de ce travail à permis d'appliquer et de comparer les résultats obtenus par les essais géotechniques et les essais géophysiques (sismique et électrique) :

- D'après l'ensemble des puits et des tranchées réalisées on peut conclure que la lithologie de terrain est constituée par un massif de nature marno-calcaires avec une couverture composée par des dépôts alluvionnaires et de terrasses à différents niveaux.
- Les sondages carottés réalisés ont conclu que le massif de fondation est composé par des alluvions, des dépôts de terrasses, et des unités plus compactes composés par une alternance de marnes, marno-calcaires, calcaires et grès, parfois quartzitique.
- Selon les profils sismiques et d'après les vitesses d'oscillation deux couches on été enregistré la première correspond à la couche de terres végétal et éboulis et la deuxième correspond au marno-calcaires à dominance marneuse.
- La prospection électrique à montré où les faibles résistivités indiquent un recouvrement à éléments fins constitué principalement de terre végétale, d'alluvions, d'argiles, tandis que les résistivités les plus fortes enregistré, constituées essentiellement par des calcaires gréseux, calcaires marneux, des grès, des marnes et des marno-calcaires.

IV.5- Recommandations

Dans le futur, il serait intéressant de recommander des méthodes plus pointues utilises actuellement tel que :

- La Tomographie (panneau électrique) ou ont utilise des profilages et sondage simultanés grasse à la méthode Pseudo section, qui peu encor déterminer les cavités (vide) et les fissure dans le sous-sol.

- Le géo radar permet de déceler l'existence, la forme, la position ou la nature d'un objet grâce à l'étude de la réflexion des ondes électromagnétiques transmise à la structure auscultée par l'intermédiaire d'une antenne.

ANNEXE 1 – GEOTECHNIQUE

Tableau V.1 - Synthèse des travaux d'investigation géotechnique exécutés.

Travaux d'investigation	Unité	Étude de Faisabilité	Avant Projet Détaillé (Mission 1)	Total
Puits de reconnaissance	U	16	36	52
Tranchées de reconnaissance	U	-	12	12
Profils sismiques	U	7	19	26
Sondages	U	14	16	30
Forages	m	560	602,5	1162,5
Essais Lefranc	U	-	14	14
Essais Lugeon	U	90	66	156
Essais SPT	U	5	10	15

Tableau V.2 - Synthèse de quantité des essais de laboratoire réalisés.

	Désignation	Unité	Quantité réalisée									
			Étude de Faisabilité	Avant Projet Détaillé (Mission 1)								Total
				Zones d'emprunt					Fondation du barrage		Carrière potentielle	
				A1	A2	A4	A5	Alluvions	Tranchées	Sondages	Sondages	Carrière Romada
Matériaux meuble	Teneur en eau	U	39	12	5	11	21	11	25	-	-	-	107
	Densité des particules	U	-	4	2	4	1	1	11	-	-	-	23
	Granulométrie	U	43	20	9	18	28	12	29	-	-	4	142
	Limites d'Atterberg	U	36	12	5	11	19	11	24	-	-	-	103
	Analyse sédimentométrique	U	43	8	4	5	5	1	4	-	-	-	70
	Triaxial consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle (CU+U) (3 échantillons)	U	-	3	1	2	2	-	-	-	-	-	8
	Perméabilité	U	-	3	1	2	2	-	-	-	-	-	8
	Essai œnométrique	U	-	3	1	2	2	-	-	-	-	-	8
	Essai de compactage Proctor	U	16	3	1	2	2	2	4	-	-	-	30
	Essai de dispersivité	U	-	3	1	2	2	-	-	-	-	-	8
	Analyse minéralogique	U	-	4	2	4	4	-	-	-	-	-	14
	Détermination de la teneur en carbonate	U	38	4	2	4	3	4	-	-	-	-	55
	Essai de perméabilité	U	-	3	1	2	2	-	-	-	-	-	8
	Détermination de la teneur en sulfates	U	-	4	2	4	3	4	-	-	-	-	17
	Masse volumique	U	37	5	2	3	4	5	11	-	-	-	67
	Equivalent de sable	U	-	1	2	0	0	11	7	-	-	-	21
Échantillons rocheux	Compression simple	U	-	-	-	-	-	-	-	-	29	15	-	44
	Essai d'abrasion Los Angeles	U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	8
	Essai Brésilien	U	-	-	-	-	-	-	-	-	8	11	-	19
	Analyse pétrographique	U	-	-	-	-	-	-	-	-	8	10	-	18
	Masse volumique, porosité et absorption d'eau	U	-	-	-	-	-	-	-	-	32	16	-	48
	Réactivité du type alcali-silice	U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	9
	Micro deval	U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	4

Tableau V.3 - Synthèse des profils sismiques réfraction réalisés.

Désignation	Synthèse des résultats			Localisation
	V_L(m/s)	Longueur du profil (m)	Profondeur (m)	
PS1(1)	370-660 1500-2000 2000-3000 >3500	390	< 1,4-4,3 1,4-4,3 à 4,3-7,9 4,3-7,9 à 5,0-14,3 > 5,0-14,3	Rive gauche
PS2(1)	400-700 1200 3000	145	< 1,0-6,0 1,0-6,0 à 10,0-20,0 > 10,0-20,0	Rive gauche
PS3(1)	500-700 900-1400 1500-2000 2000-4000 > 4000	135	< 0,0-4,0 0,0-4,0 à 8,0-15,5 8,0-15,5 à 11,0-18,0 11,0-18,0 à 22,0-29,0 > 22,0-29,0	Rive gauche
PS4(1)	330-570 730-1260 2000-3000 > 2500 > 3000	250	< 0-5,0 0-5,0 à 3,6-17,1 3,6-17,1 à 9,3-25,0* 7,9-12,5 à 15,7-26,1* > 9,3-26,1	Axe du barrage
PS5(1)	500 1200-1600 2500-3000 >3200	260	< 0-5,0 0-5,0 à 8,0-16,5 8,0-16,5 à 11,0-31,0 > 11,0-31,0	Rive droite
PS6(1)	350-600 2000 3000-4000	138	< 4,5-6,0 4,5-6,0 à 6,0-16,0 > 6,0-16,0	Rive droite
PS7(1)	600-900 1500 2500 > 4000	66	< 2,0-5,0 2,0-5,0 à 4,5-9,0 4,5-9,0 à 5,0-17,5 > 5,0-17,5	Rive droite
PS101	330-390 1000-1250 2500-2850	60	< 2,0-4,1 2,0-4,1 à 11,2-16,5 > 11,2-16,5	Rive gauche
PS102	430-590 1150-1430	60	< 3,3-5,7 > 3,3-5,7	Rive gauche
PS103	270-390 1900-2500 3700	60	< 2,3-3,7 2,3-3,7 à 12,3-15,6 > 12,3-15,6	Rive gauche
PS104	310-410 2500-2630	60	< 2,4-4,3 > 2,4-4,3	Rive gauche
PS105	300-500 2220-2350 3750-5000	60	< 1,8-4,2 1,8-4,2 à 7,2-18,5 > 7,2-18,5	Rive droite
PS106	325-590 880-1200 2000-2600	60	< 2,3-5,4 2,3-5,4 à 10,2-12,3 > 10,2-12,3	Rive droite
PS107	330-440 1050-1800	60	< 2,3-4,3 > 2,3-4,3	Rive droite
PS108	330-390 770-830 1330-2000 2850	60	< 1,2-3,1 1,2-3,1 à 7,0-7,8 2,4-7,8 à 18,2-19,9 > 18,2-19,9	Rive droite
PS109	260-560 720 1500-2000 5000	60	< 0-3,9 < 0-5,6 2,1-5,6 à 11,8-12,5 > 11,8-12,5	Rive droite

Tableau V.3 - Synthèse des profils sismiques réfraction réalisés (suite)

Désignation	Synthèse des résultats			Localisation
	V_L(m/s)	Longueur du profil (m)	Profondeur (m)	
PS110	250-570 770-870 1360-2100 4000-4280	60	< 1,1-5,3 1,1-5,3 à 7,3-7,8 5,1-7,8 à 15,8-18,8 > 15,8-18,8	Rive droite
PS111	420-580 1430-2000 2860-2920	60	< 3,6-5,2 3,6-5,2 à 10,0-18,4 > 10,0-18,4	Rive droite
PS112	400-520 1500-2000 2600-3570	60	< 3,6-5,9 3,6-5,9 à 9,9-16,1 > 9,9-16,1	Rive droite
PS113	380-570 1180-1500 2100-2300	60	< 2,4-3,9 2,4-3,9 à 13,1-14,5 > 13,1-14,5	Zone de glissement
PS114	330-480 680-830 1500-2000	60	< 0-3,3 < 0-9,8 > 3,3-9,8	Zone de glissement
PS115	380 500-900 1430-1870	60	< 0-1,5 0-1,5 à 5,7-12,1 > 5,7-12,1	Zone de glissement
PS116	370-450 2140-2730 5000	60	< 2,2-3,1 2,2-3,1 à 13,2-16,9 > 13,2-16,9	Zone de carrière potentielle
PS117	380-450 2220-5000	60	< 3,5-6,1 > 3,5-6,1	Zone de carrière potentielle
PS118	380-440 2000-2220 4000-4440	60	< 2,5-5,3 2,5-5,3 à 12,1-19,2 > 12,1-19,2	Zone de carrière potentielle
PS119	360-440 900-1430 2500 3700-4280	60	< 0-4,9 0-4,9 à 4,9-9,5 4,9-6,0 à 15,2-16,2 > 15,2-16,2	Zone de carrière potentielle

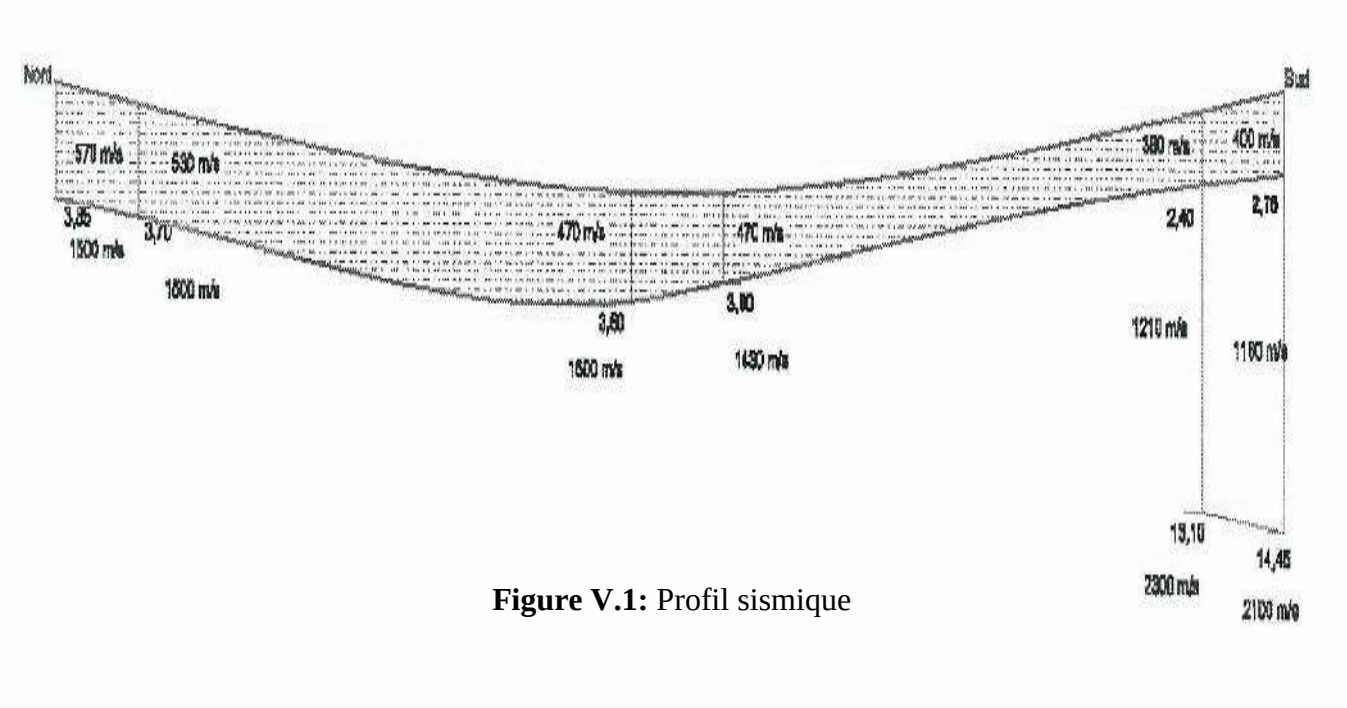


Figure V.1: Profil sismique

Tableau V.4 : Analyse des résultats obtenus et identification des horizons sismiques.

Horizons sismiques	V_L(m/s)	N_{SPT}	Degré d'altération	Formations géologiques intéressées
HS1	290-550	16->55	W_5 (parfois W_{3-4})	Associés aux sols alluvionnaires, colluvionnaires, dépôts de terrasse, terre végétale et sols résiduels.
HS2	730-1000	> 44	W_3 (parfois W_4 et W_2)	Essentiellement associés aux intercalations de calcaire gréseux et marneux plus altérés et aux sols alluvionnaires, colluvionnaires et dépôts de terrasse.
HS3	1000-2000	-	W_4-W_2 (parfois W_5 et W_1)	Intercalations de marne, marno-calcaire, calcaire gréseux ou marneux et grès calcaire altérés.
HS4	2000-3000	-	W_4-W_2 (parfois W_4 et W_1)	Intercalations de marne moyennement dure à très dure, marno-calcaire, grès calcaireux et de calcaire gréseux et marneux.
HS5	>3000	-	W_{2-1} (parfois W_4 et W_1)	Alternance de marne moyennement dure à dure, marno-calcaire, grès calcaire et calcaire marneux ou gréseux.

Tableau V.5 - Synthèse des tranchées de reconnaissance réalisées.

Désignation	Profondeur maximale (m)	Niveau d'eau (m)	Épaisseur de terre végétale (m)	Formation géologique intéressée (Epaisseur moyenne, m)	Échantillons (profondeur, m)
T101	6,0	Sec	0,7-1,1	- Terre végétale (Tv) (0 à 1,1 m) - Marne verdâtre altérée (M) (1,1 à 6,0 m)	0,7-5,5m
T102	7,0	0,8	-	- Argile limoneuse avec fragments de roches colluvionnaires (Co) (0 à 2-5,5 m) - Colluvions à matrice silteuse (Co) (2-5,5 à 7,0 m)	0,5-2,2m 2,2-4,0m 4,0-5,0m 4,4-5,2m
T102-2	5,5	0,8	1,2	- Terre végétale (Tv) (0 à 1,2 m) - Argile limoneuse gravelo-caillouteuse (Co) (1,2 à 4,5m) - Argile verdâtre peu sableuse (4,5 à 5,5m)	1,9-4,5m 4,5-5,5m
T103-1	6,0	1,2	1,0	- Terre végétale (Tv) (0 à 1,0m) - Blocs et fragments de roche à matrice argileuse (Co) (1,0 à 2,5-4,3 m) - Marne très altérée (M) (2,5-4,3 à 6,0m)	0,3-2,65m 2,4-4,1m 2,0-2,9m
T103-2	6,5	1,5	0,5	- Terre végétale (Tv) (0 à 0,5m) - Alluvions à matrice sableuse (0,5 à 3,5-5,0m) - Marne grisâtre (M) (3,5-5,0 à 6,5m)	2,1-4,8m 4,8-6,0m
T104	8,0	Sec	-	- Colluvions (Co) (argile et blocs) (0 à 6,0m) - Limon sableuse alluvionnaire (Al) (0 à 2,9m) - Marne altérée (M) (2,9-6,0 à 8,0m)	0,5-8,0 m
T105	5,5	Sec	1,0-1,5	- Terre végétale (Tv) (0 à 1,0-1,5m) - Argile renferment de roche (M) (0 à 4,5 m) - Marne altérée (M) (0 à 5,5m)	1,0-3,2m 1,4-3,7m 3,5-5,5m
T106	4,0	Sec	0,5-1,2	- Terre végétale (0 à 0,5-1,2m) - Colluvions à matrice sablo-argileuse (Co) (0,5-1,2 à 4,0 m) - Marne altérée (M) (1,2 à 4,0m)	0,5-2,6m 2,6-4,1m 1,6-3,2m
T107	3,6	Sec	1,0-1,2	- Terre végétale (Tv) (0 à 1,0-1,2m) - Marne limoneuse (M) (1,0-1,2 à 3,6m)	1,2-2,4m 2,4-3,6m
T108	5,5	Sec	-	- Argile limoneuse (0 à 1,5m) - Cailloutis à matrice argilo-limono-sableuse (Dt) (1,0-1,5 à 2,0-2,5m) - Argile (Dt) (2,0-2,5 à 5,5 m)	1,5-2,4m 0-1,5m 2,4-5,5m 1,5-5,5m
T109	5,0	Sec	0,5-0,7	- Terre végétale (Tv) (0 à 0,5-0,7m) - Cailloutis à matrice argilo-limoneuse (Dt) (0,5-0,7 à 2,5-3,0m) - Argile (Dt) (2,5-3,0 à 5,0m)	0,5-3,45m 2,7-5,0m
T110	4,0	Sec	0,5-1,0	- Terre végétale (Tv) (0 à 0,5-1,0m) - Cailloutis à matrice argilo-limono-sableuse (Dt) (0,5-1,0 à 4,0m)	0,5-2,9m

Note Tv – terre végétale ;Co – dépôt colluvionnaire ; Dt – dépôts de terrasse; Al – alluvions ; M – marne crétacée.

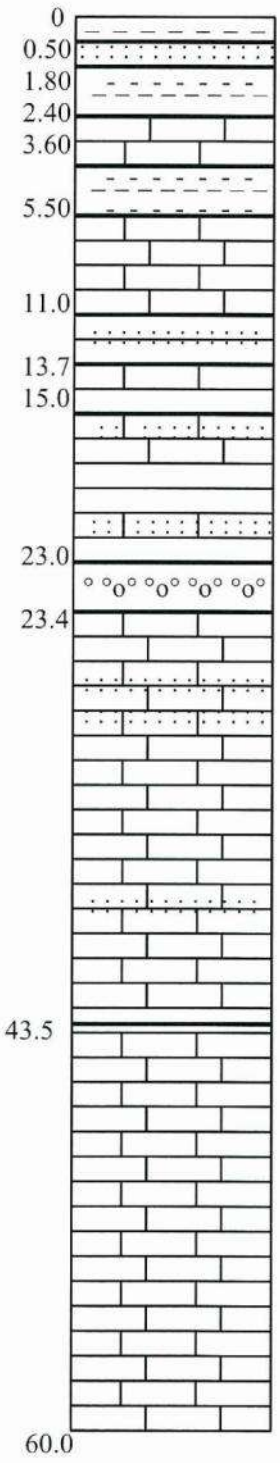
Tableau V.6 - Principales caractéristiques des sondages réalisés.

Sond. N°	Prof. (m)	Inclin. (°)	Niveau d'eau (m)	Formations géologiques intéressées		Localisation
				Prof. (m)	Description	
S2[1]	60,0	60° Nord	12,2	0-0,5	Argiles limoneuses marrons (Terre végétale)	Rive gauche (axe)
				0,5-1,8	Grès fins fracturés avec traces d'oxydation	
				1,8-5,3	Alternance de calcaires gréseux fracturés et de argiles marrons. Parfois renfermant des galets et graviers et sont plus marneuses	
				5,3-23,0	Alternance de calcaires gréseux et de marnes argileuses parfois calcaires	
				23,0-23,4	Galets et graviers dans matrice argilo-marneuse et sableuse	
				23,4-60,0	Alternance de calcaires gréseux au marneux et de marnes	
S3[1]	60,0	90°	8,3	0-0,3	Argile marron avec cailloux	Rive gauche (axe)
				0,3-1,4	Grès fracturé et argile beige renfermant des graviers anguleux	
				1,4-5,4	Alternance de argile beige gréseux et gravier anguleux	
				5,4-16,6	Alternance de calcaire gréseux et de marnes altérées	
				16,6-25,0	Marnes calcaires grises bleus	
				25,0-30,0	Alternance de calcaire gréseux, marneux, marno-calcaire et marnes friables	
				30,0-32,0	Marnes altérés au sommet friables et calcaires marneux gris blues	
				32,0-35,0	Calcaires gréseux avec joints et dépôts de calcites avec passage de marno-calcaire fracturé	
S4 bis[1]	65,0	60° est	5,0	0-2,3	Sable moyen et argile sableuse grise	Fond de la vallée (axe)
				2,3-5,0	Alluvions avec galets, graviers et blocs	
				5,0-30,0	Alternance de calcaire marneux et gréseux gris bleu avec passage de marne altérée	
				30,0-38,5	Alternance de calcaires gréseux et marneux avec passage de marnes altérées	
				38,5-43,5	Alternance de calcaires marneux gris bleu et calcaire gréseux avec passage de marne	
				43,5-51,5	Alternance de calcaires gréseux et marneux	
				51,5-65,0	Calcaire marneux noire avec joints de calcite intercalé par calcaire gréseux compact	
S5[1]	65,0	90°	4,7	0-3,3	Alternance d'argile sable-argileuses et galets	Fond de la vallée (axe)
				3,3-4,7	Alternance de galets, marnes dégradées grise bleues, graviers et sables	
				4,7-21,5	Alternance de calcaire marneux bleu friable et de marnes altérées friable bleues	
				21,5-24,0	Alternance de calcaire gréseux gris bleu, durs et marne gris bleue altérées	
				24,0-27,3	Alternance de marne bleue friable et de calcaire gréseux blanchâtre	
				27,3-57,3	Alternance de calcaires marneux et gréseux avec passage de marne altérée	
				57,3-60,3	Alternance de calcaires marneux noirs et clairs	
				60,3-65,0	Alternance de calcaires gréseux, calcaire marneux et marno-calcaire	
S6[1]	51,0	90°	28,3	0-5,0	Argile beige au brune, plus marneuse ou sableuse, parfois avec galets et graviers	Rive droite (axe)
				5,0-6,0	Alluvions avec galets, graviers et argiles	
				6,0-13,0	Alternance de calcaires gréseux, calcaire marneux et marne	
				13,0-18,3	Alternance de calcaires gréseux, parfois marneux et grès fin gris avec micas	
				18,3-20,0	Marne calcaire bleu	
				20,0-21,0	Alternance de calcaires gréseux et marneux	
				21,0-50,0	Alternance de calcaires marneux et marne calcaire, les deux, parfois bleus	
				50,0-51,0	Alternance de calcaires gréseux et marneux	
S7[1]	60,0	90°	-	0-11,0	Argile parfois sableuse, avec blocs de grès calcaire et grès calcareux	Rive droite (axe)
				11,0-21,3	Grès calcareux avec passage de marne tendre	
				21,3-22,2	Sables argileux avec concrétions de marne	
				22,2-34,0	Alternance de grés calcareux, marnes calcaires et marnes altérées	
				34,0-60,0	Alternance de grés calcareux, calcaire marneux et marnes altérées	

Tableau V.6 - Principales caractéristiques des sondages réalisés (suite).

Sond. N°	Prof. (m)	Inclin. (°)	Niveau d'eau (m)	Formations géologiques intéressées		Localisation
				Prof. (m)	Description	
S8(1)	30,0	90°	-	0-2,0	Argile sableuse avec graviers	Axe de la vidange de fond - amont
				2,0-9,0	Alternance de galets et calcaire gréseux avec passage de marnes	
				9,0-13,6	Calcaire marneux parfois gréseux bleu	
				13,6-16,3	Grès blanchâtre	
				16,3-17,3	Marnes bleues altérées et calcaires gréseux	
				17,3-30,0	Calcaire gréseux avec intercalation de niveaux marneux	
S9(1)	30,0	70° Azimut 323°	4,6	0-0,6	Sables limoneux fins	Axe de la vidange de fond - amont
				0,6-9,0	Alternance de calcaires marneux et gréseux avec passage de marne altérée	
				9,0-10,3	Calcaire gréseux brèchique bleu	
				10,3-12,0	Alternance de calcaires gréseux et marneux	
				12,0-13,0	Alternance de calcaires gréseux bleu et marneux gris	
				13,0-14,6	Alternance de calcaires marneux et gréseux avec intercalation de marne tendre altérée	
				14,6-30,0	Alternance de calcaires gréseux et marneux bleus et de marnes	
S10(1)	30,0	90°	3,5	0-3,0	Sables limoneux graveleux et blocs de calcaire gréseux	Axe de la vidange de fond alternative - amont
				3,0-9,0	Alternance de calcaire gréseux bleu à blanc, calcaire marneux gris et grès fin	
				9,0-15,7	Alternance de calcaires gréseux, calcaires marneux et de marnes altérées	
				15,7-30,0	Alternance de calcaires marneux et gréseux bleu à blanc, avec passage de marnes altérées tendres	
S13(1)	20,0	60 Azimut 100°	5,6	0-0,5	Terre végétale	Evacuateur de crue rive droit
				0,5-5,0	Alternance de argile limoneuse ou sableuse, sable argileux et galets	
				5,0-9,0	Alternance de calcaire gréseux, gravier sableux et galets	
				9,0-11,0	Alternance de marnes bleues parfois brèchiques et marnes calcaires	
				11,0-12,0	Marnes calcaires, calcaires marneux et calcaires gréseux	
				12,0-16,0	Calcaire gréseux, calcaire marneux bleu et marnes bleus, parfois sableuses	
				16,0-20,0	Alternance de marnes sableuses d'aspect brèchique et calcaires, et calcaires marneux	
S14(1)	20,0	90°	1,2	0-3,0	Argiles sableuses limoneuses brune ou jaune avec galets et graviers	Axe de l'évacuateur de crue - Bassin de dissipation
				3,0-4,8	Galets graviers avec blocs de calcaires gréseux et marno-calcaires altérés tendre à la base	
				4,8-20,0	Alternance de calcaires marneux et marno-calcaires, avec passage de marnes altérées	

FIGURE A-1 SONDAGE S2 - RESUME



Terre végétale, argile limoneuse marron.
Grès fins fracturés avec trace d'oxidation.
Argile sableuse marron

Calcaire gréseux fracturé avec trace d'oxydation.
Argile marron renfermant des galet et gravier.

Calcaire gréseux, fracturé, oxydé avec intercalation de marnes grises altérées

Marnes argileuse consolidée et tendre avec passage de niveau grèseux.
Marnes et calcaire gréseux fracturés avec trace d'oxydation et dépôt de calcite

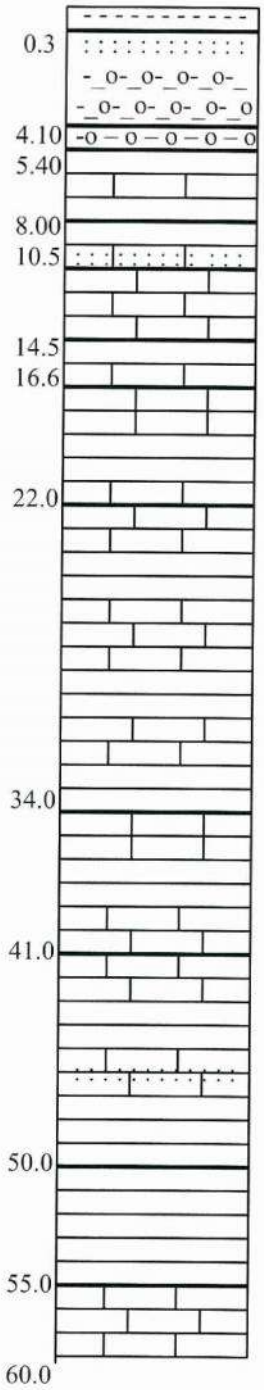
Alternance de calcaire gréseux, de marne sableuse friable, de calcaire marneux et de grès argileux vers la base

Galets et graviers dans matrice argilo-marneuse et sable

Alternance calcaire marneux bleu fracturé (80%) avec trace d'oxydation et joint de calcite de marnes altérées de calcaire gréseux dur fracturé avec trace d'oxydation

Calcaire marneux gris, dur, fracturé avec trace d'oxydation, et joints de calcite, avec intercalation de marnes tendre, altérée, vers la base (57.5 à 60.0) alternance de calcaire marneux dur de couleur bleu avec joint de calcite et petit passage de marne tendre altérée.

FIGURE A-2 SONDAGE S3 - RESUME



argile ocre avec cailloux

argile beige avec intercalation, de grès, et de gravier anguleux

Gravier gréseux dans matrice argileuse beige avec à la base calcaire gréseux bleu, fracturé

Alternance de marnes beiges altérées et de calcaire gréseux fracturé

Marnes grises et calcaires gréseux fracturés avec traces d'oxydation

Alternance de marnes calcaires, de calcaires gréseux et de marnes altérées

Alternance de calcaire gréseux altéré et de marnes grises altérées

Alternance de marnes calcaires gris bleues altérées tendre , et de marnes gris bleues altérées friable

Alternance de calcaire gréseux dur, de calcaire marneux dur, de marnes Calcaires fracturés avec dépôts de calcite et de marnes altérées friable

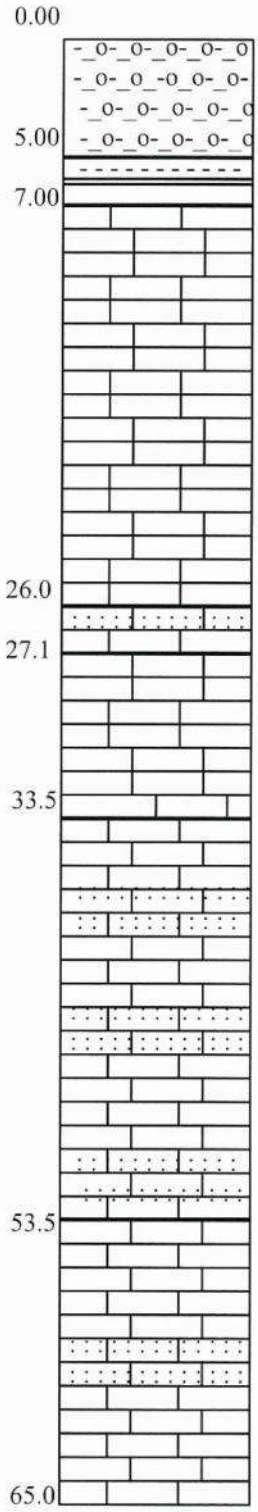
Alternance de calcaires gréseux fracturés bleus, de calcaires marneux avec joints de calcite, de grès, et de marnes altérées.

Calcaire marneux fracturés avec joints de calcite et intercalation de calcaire gréseux fracturé et de marnes altérées friables

Marnes grises altérées friables

Alternance de calcaire marneux bleus fracturé, de calcaire marneux noirs et de marnes bleues altérées

FIGURE A-3 SONDAGE S4 bis - RESUME



Alluvions (sable moyens, argiles sableuses, galets, graviers)

Argiles graveleuses beiges (25 cm), marnes calcaires, et marnes altérées (10 cm)

Calcaire marneux se débitant en plaques et fissuration (80°) avec traces d'oxydation

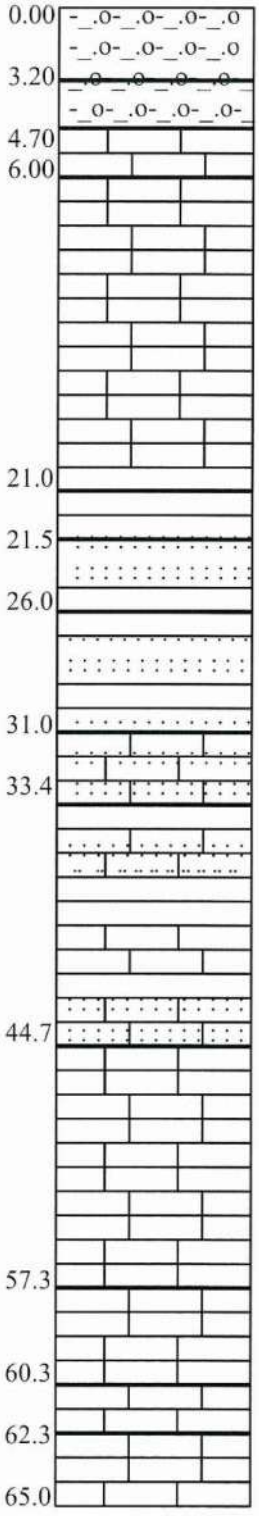
Alternance de calcaire gréseux, de marnes et de calcaire marneux

Alternance de calcaire et de calcaire marneux gris fissuré ( )

Alternance de calcaire marneux et de calcaire gréseux gris – bleu avec passage de marnes friables fracturés.

Calcaire marneux noirs compact avec joints de calcite et intercalation de calcaires gréseux fracturés.

FIGURE A-4 SONDAGE S5- RESUME



Argile grise sablo – graveleuses, galets

Galets, marnes, dégradées, graviers, sable

Alternance de calcaire marneux, et marne altérées friables

Calcaire marneux bleu, fissuré (80°), traces d'oxydation

Marnes altérées bleues, friables

Grès calcaire blanchâtre, fissuration (80°), avec à la base des marnes gris bleues

Alternance de marnes bleues, friables de grès calcaire blanchâtre avec joint de calcite

Calcaire, gréseux, blanchâtre, dur fissuré

Alternance de marnes altérées, friables, gris-bleues et de calcaires gréseux blanchâtre fissuré (80°)

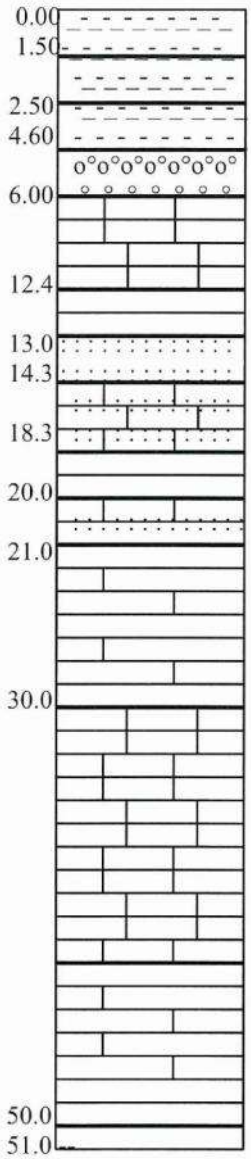
Calcaire marneux se débitant en plaques , fissuré (80°) et dépôt de calcite

Alternance de calcaire – marneux noirs et calcaire marneux clair

Alternance de marnes calcaire et de calcaire gréseux fracturés

Calcaires marneux et marnes calcaires

FIGURE A-5 SONDAGE S6 - RESUME



Argile sableuse brune

Argile beige

Argile marneuse

Alluvions (galet et graviers)

Calcaire marneux, gris, fissuré avec passages de calcaire gréseux fracturé avec traces d'oxydation et de marnes

Marnes beige avec traces d'oxydation

Grès fin micacé, fissuré, fin avec passage de calcaire gréseux

Calcaire gréseux, dur, fissuré avec traces d'oxydation avec passage de calcaire marneux

Marnes calcaire bleues se débitant en plaques et traces d'oxydation

Alternance de calcaire gréseux et calcaire marneux fissuré avec traces d'oxydation

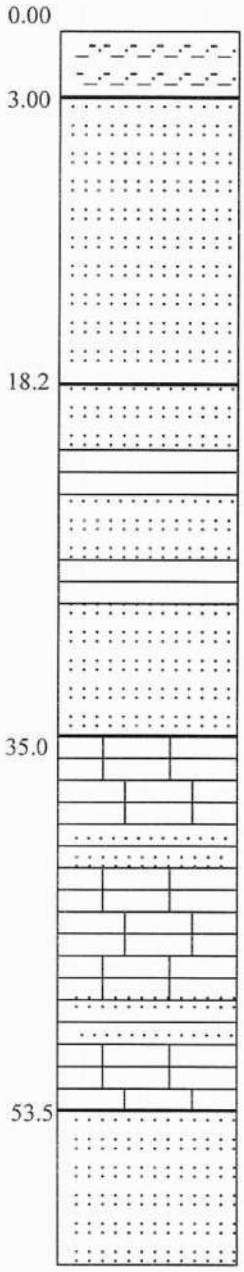
Marnes calcaires gris bleues avec fissuration 80° et dépôt de calcite

Alternance de marnes calcaires et de calcaire marneux fracturés (80°), avec joints de calcite

Marnes calcaires bleues, joints de calcite, avec intercalation de calcaire gréseux

Alternance de calcaire marneux et de calcaire gréseux

FIGURE A-6 SONDAGE S7 - RESUME



Argile sableuse de couleur jaune avec présence de cailloux de grès calcaire de couleur ocres

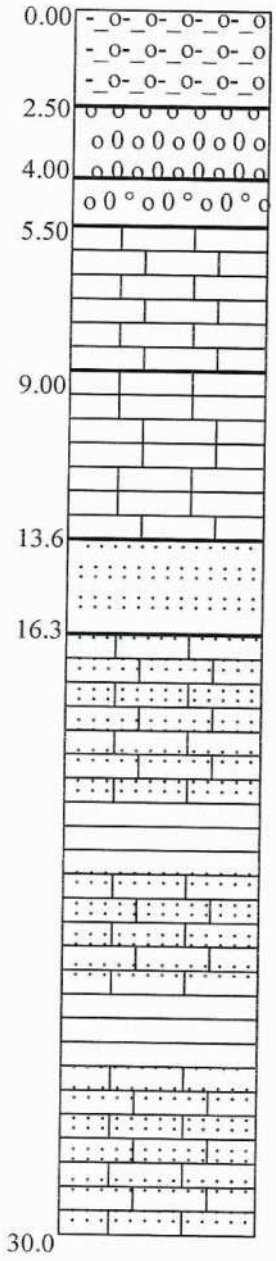
Grès calcaire, gris blanchâtre, dur fracturé (80°) oxydé avec dépôts de calcite avec intercalation de marnes grises tendre (11.0 et 11.03 m) de marnes beige compactes (18.2 et 18.5)

Alternance de grès gris blanchâtre calcaire, dur très fracturé, oxydé avec joints de calcite, de marnes calcaires compacte grises, de marnes de couleur beige altérées, présence d'un petit niveau de sable argileux, avec concrétions de marnes tendres (21.3 et 22.2m)

Calcaire marneux gris dur avec dépôt et joints de calcites, fracturé, oxydé alternant avec de petits niveaux de marnes grises tendres altérées et présence banc de grès calcareux (10 c) dur fracturé (80°) et dépôt de calcite (48.5 – 49.6 m)

Grès calcaire de couleur gris – blanc, dur, fracturé, oxydé avec dépôt de calcite, avec intercalation de calcaire marneux, gris, dur (53.5 – 55.0 m) et de marnes grises tendre altérée (55.0 et 56.4 m) et (59.0 et 60.0 m)

FIGURE A-7 SONDAGE S8 - RESUME



Argile sableuse brune avec gravier à la base (2.0 et 2.50 m)

Blocs de calcaires gréseux

Galets, blocs, et sable argilo – graveleux

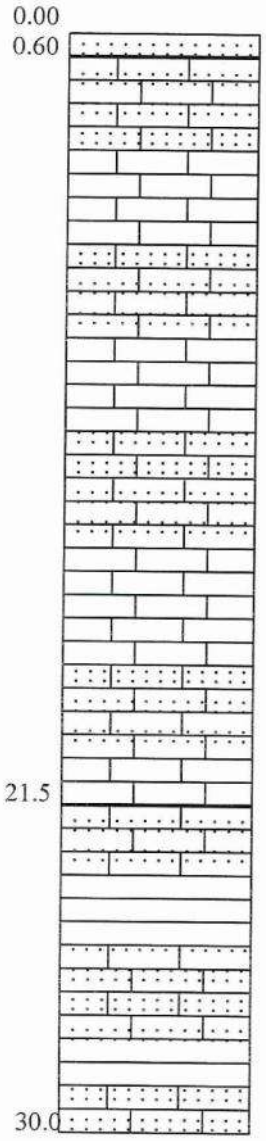
Calcaire gréseux dur fracturé (80°), avec trace d'oxydation et marnes altérée vers la base

Calcaire marneux bleu, dur, fracturé avec intercalation de petit bancs Marneux (9.80 – 10.5 m) et de calcaire gréseux bleu vers la base

Grès blanchâtre fracturé (80°) avec trace d'oxydation

Calcaire gréseux blancs fracturé avec trace d'oxydation, dépôts et joints de calcite. Marnes bleues altérées, friables (16.3 – 17.3 m) et (26.4 – 27.0 m) (27.0 – 29.0 m). Calcaire marneux à la base.

FIGURE A-8 SONDAGE S9 - RESUME

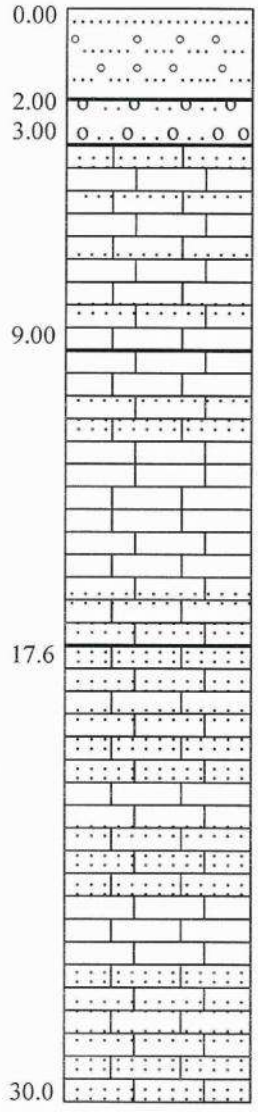


Sable limoneux fins

Calcaire gréseux couleur bleu, dur, fracturé (80°) avec trace d'oxydation, dépôt de calcite, avec intercalation de calcaire marneux fracturé

Calcaire gréseux, bleu, dur fracturé (80°) avec intercalation de marnes grises de couleur gris clair, tendre dont l'épaisseur varie entre 10 cm et 50 cm.

FIGURE A-9 SONDAGE S10 - RESUME



Sable limono-graveleux

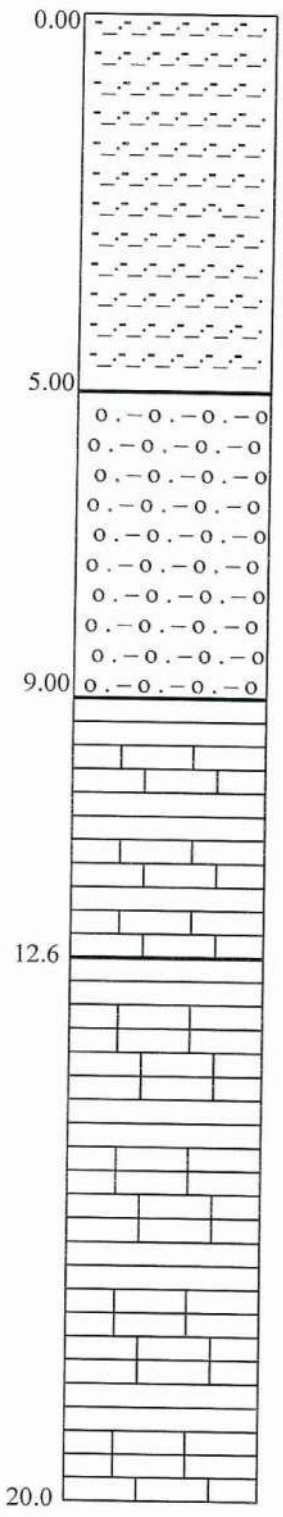
Blocs de calcaire gréseux, fracturé oxydés

Calcaires gréseux, bleue, légèrement blanchâtre, fracturé (80°) avec traces d'oxydation passage de marnes grises altérées tendre (5.0 et 5.50 m) et grès fins oxydé, fracturé (80°) entre (7.00 et 8.40)

Alternance calcaire marneux, dur, bleu, fracturé avec traces d'oxydation et de calcaire gréseux bleu avec joints de calcite et passage de marne altérée tendre (10.0 et 11.1 m)

Calcaire gréseux de couleur bleue a aspect blanchâtre fracturé (75 à 80°) avec dépôt et joints de calcite.
Petit passages de marnes tendre altérée entre (19.2 et 21.4 m) et (27.4 et 28.0 m) – (29.0 et 30.0 m). Intercalation de calcaire marneux (18.0 et 19.2 m) et 29.0 et 30.0 m.

FIGURE A-12 SONDAGE S13 - RESUME



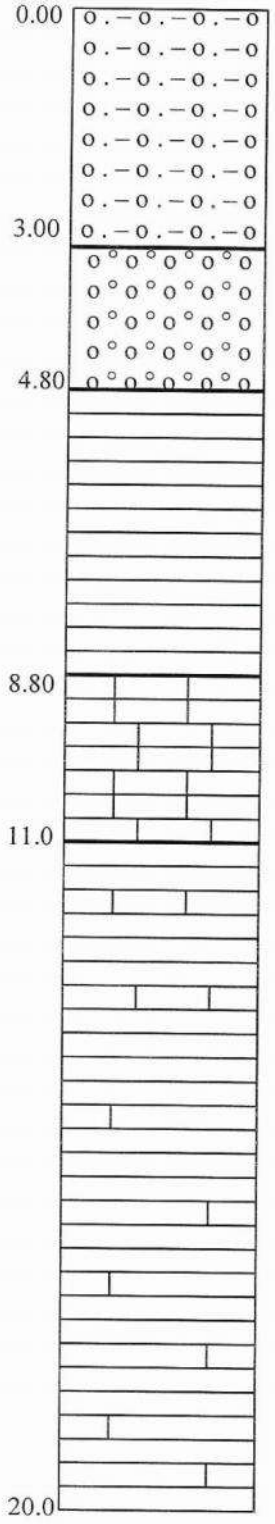
Argile limoneuse, brune sableuse vers la base, et présence de galets

Sables argileux, galets et graviers

Alternance marnes bleues altérées, friables parfois a aspect brechique.
de calcaire marneux fracturé et calcaire gréseux avec trace d'oxydation

Alternance de marnes bleues altérées friables, de calcaires marneux fracturé,
de marnes sableuses bleues a aspect brechique (concrétions) et de marnes
calcaires bleues

FIGURE A-13 SONDAGE S14 - RESUME



Argile sableuse limoneuse brunes graveleuse

Graviers et galets et blocs de calcaires gréseux

Alternance de marnes calcaires grises fracturées compactes, tendre avec joints de calcite et de marne altérées tendre

Calcaire marneux gris, dur, fracturés avec joints de calcite

Marnes calcaires grise, dure, avec joints de calcite, fracturé avec traces d'oxydation – intercalation de petits niveaux de marnes altérées tendre.

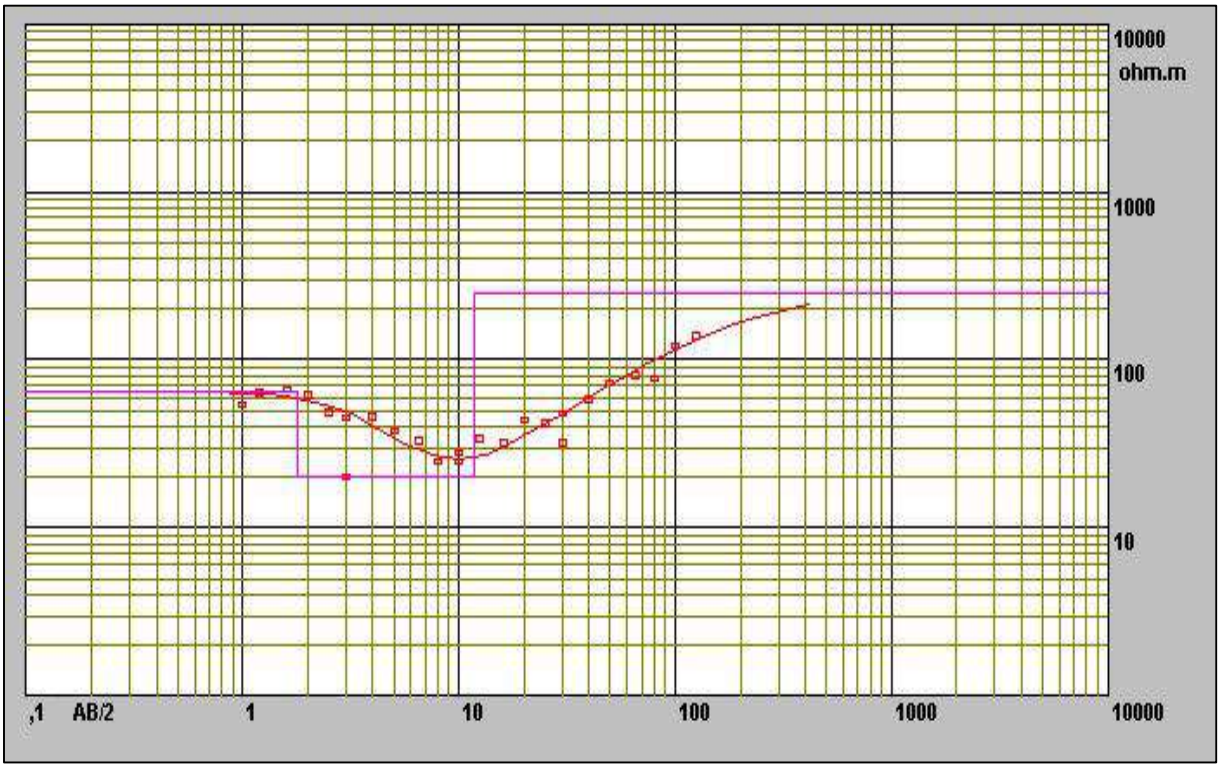
ANNEXE 2- GEOPHYSIQUE

Tableau B-1: Sondage électrique Schlumberger S2 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	36	5	7.53	54
.2	1.2	29	5	10.99	64
.2	1.6	17	5	19.79	67
.2	2	10	5	31.1	62
.2	2.5	5	5	48.77	49
.2	3	3.2	5	70.37	45
.8	3	6	5	16.41	20
.8	4	7.6	5	30.15	46
.8	5	4	5	47.83	38
.8	6.5	2	5	81.7	33
.8	8	1	5	124	25
.8	10	4	28	195	28
2.5	10	12	28	58.9	25
2.5	12.5	10.1	28	94.24	34
2.5	16	5.7	28	157	32
2.5	20	5	28	247	44
2.5	25	3	28	389	42
2.5	30	2.4	28	562	48
7.5	30	5	28	177	32
7.5	40	5	28	323	58
7.5	50	4	28	512	73
7.5	65	2.6	28	873	81
7.5	80	5	86	1329	77
7.5	100	5	86	2083	121
7.5	125	7	164	3261	139

S2



Résistivité	épaisseur	profondeur
65	1.8	
20	10	
250		12

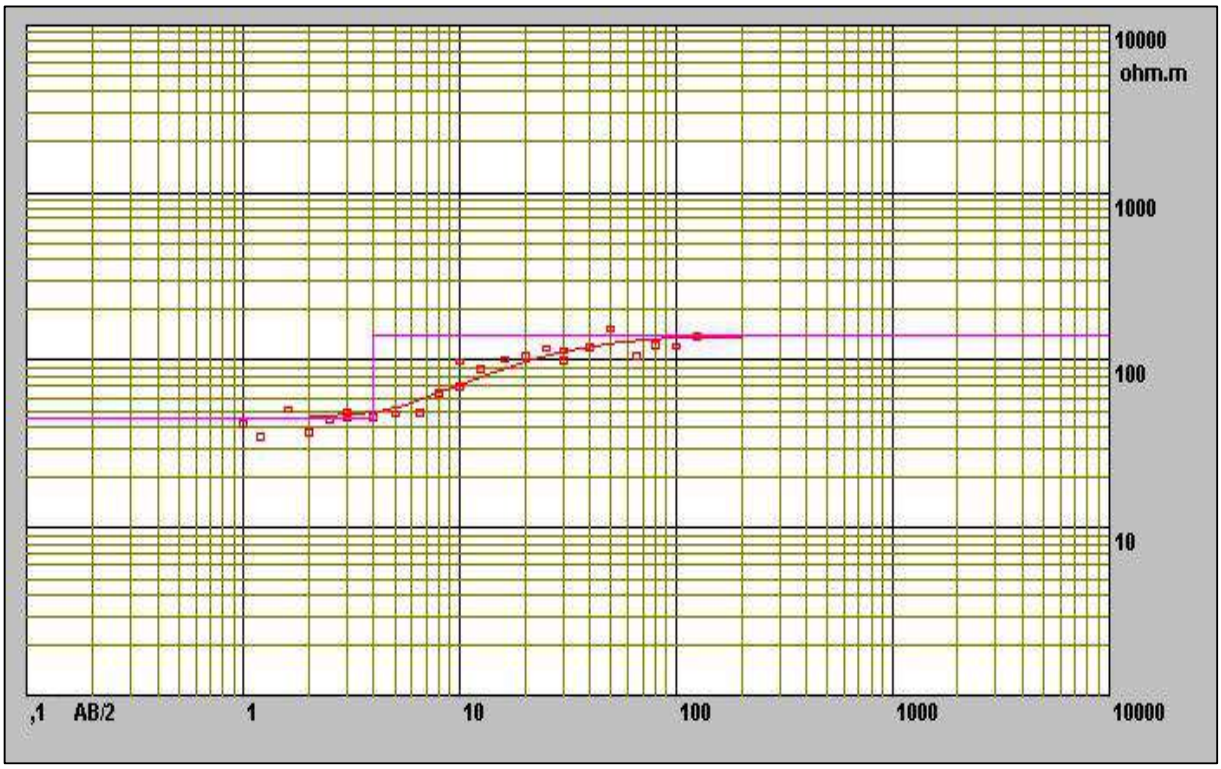
Figure B-1: Courbe de sondage S2

Tableau B-2: Sondage électrique Schlumberger S3- WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	28	5	7.53	42
.2	1.2	16	5	10.99	35
.2	1.6	13	5	19.79	51
.2	2	6	5	31.1	37
.2	2.5	4.5	5	48.77	44
.2	3	3.2	5	70.37	45
.8	3	15	5	16.41	49
.8	4	7.6	5	30.15	46
.8	5	5	5	47.83	48
.8	6.5	3	5	81.7	49
.8	8	2.6	5	124	64
.8	10	10	28	195	70
2.5	10	47	28	58.9	99
2.5	12.5	26	28	94.24	88
2.5	16	18	28	157	101
2.5	20	12	28	247	106
2.5	25	8.5	28	389	118
2.5	30	5	28	562	100
7.5	30	18	28	177	114
7.5	40	10.4	28	323	120
7.5	50	8.5	28	512	155
7.5	65	3.4	28	873	106
7.5	80	8	86	1329	124
7.5	100	5	86	2083	121
7.5	125	7	164	3261	139

S3



Résistivité	épaisseur	profondeur
45	4	
140		4

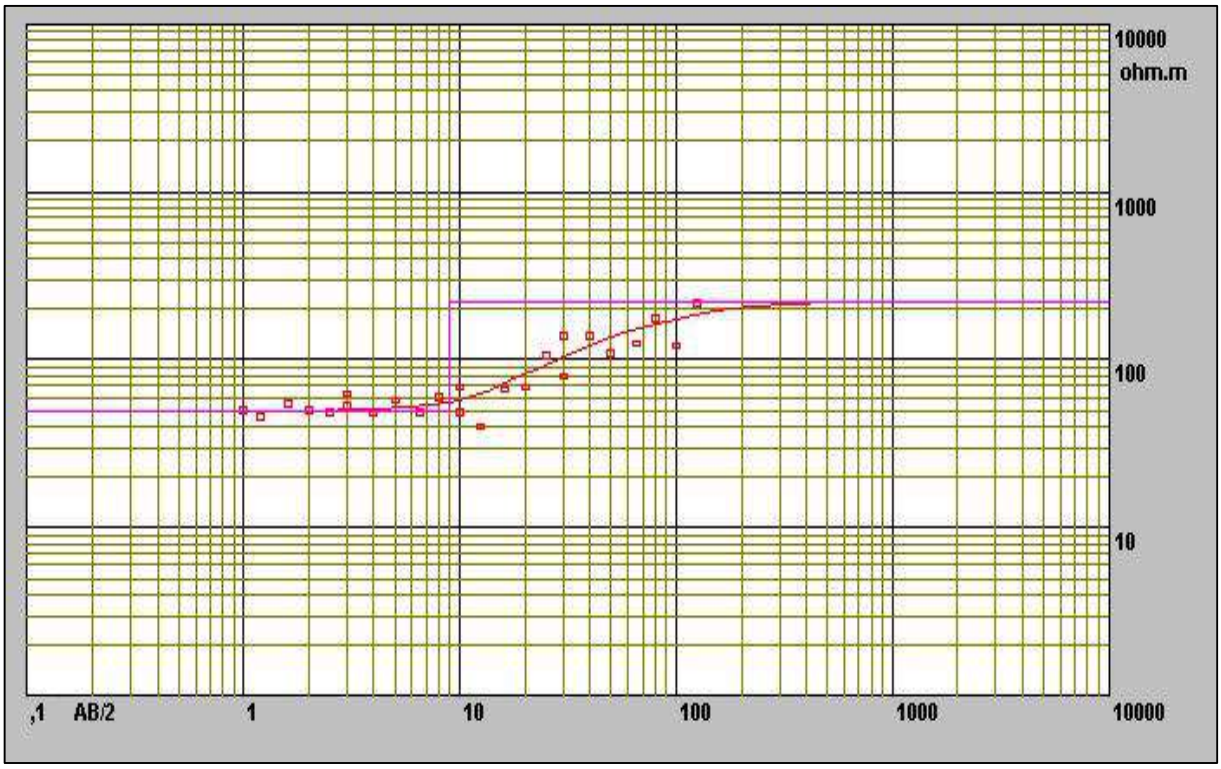
Figure B-2: Courbe de sondage S3

Tableau B-3: Sondage électrique Schlumberger S4 bis - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	33	5	7.53	50
.2	1.2	21	5	10.99	46
.2	1.6	14	5	19.79	55
.2	2	8	5	31.1	50
.2	2.5	5	5	48.77	49
.2	3	4;5	5	70.37	63
.8	3	16	5	16.41	53
.8	4	8	5	30.15	48
.8	5	6	5	47.83	57
.8	6.5	3	5	81.7	49
.8	8	2;4	5	124	60
.8	10	7	28	195	49
2.5	10	33	28	58.9	69
2.5	12.5	12	28	94.24	40
2.5	16	12	28	157	67
2.5	20	7;8	28	247	69
2.5	25	7;6	28	389	106
2.5	30	4	28	562	80
7.5	30	22	28	177	139
7.5	40	12	28	323	138
7.5	50	6	28	512	110
7.5	65	4	28	873	125
7.5	80	11;4	86	1329	176
7.5	100	5	86	2083	121
7.5	125	11	164	3261	219

S4



Résistivité	épaisseur	profondeur
50	9	
220		9

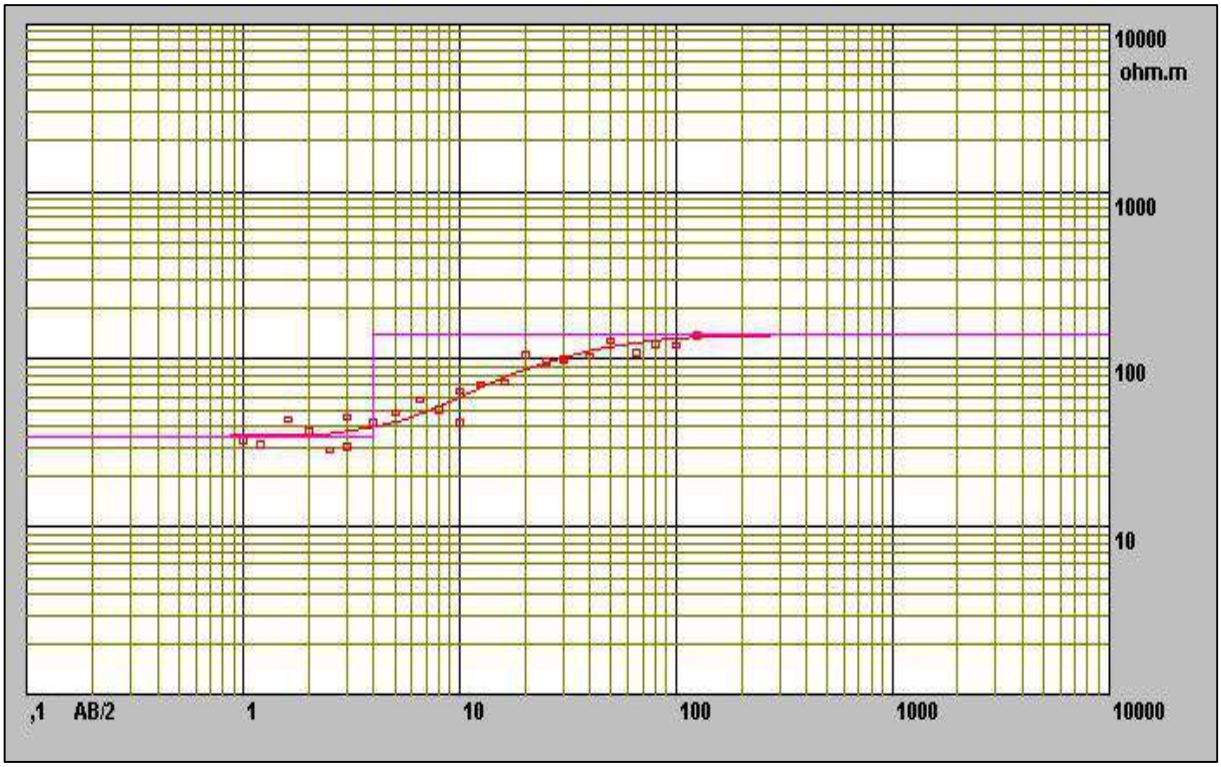
Figure B-3: Courbe de sondage S4

Tableau B-4: Sondage électrique Schlumberger S5 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	22	5	7.53	33
.2	1.2	14	5	10.99	31
.2	1.6	11	5	19.79	44
.2	2	6	5	31.1	37
.2	2.5	3	5	48.77	29
.2	3	3.2	5	70.37	45
.8	3	9	5	16.41	30
.8	4	7	5	30.15	42
.8	5	5	5	47.83	48
.8	6.5	3.5	5	81.7	57
.8	8	2	5	124	50
.8	10	9.4	28	195	65
2.5	10	20	28	58.9	42
2.5	12.5	21	28	94.24	71
2.5	16	13	28	157	73
2.5	20	12	28	247	106
2.5	25	7	28	389	97
2.5	30	5	28	562	100
7.5	30	16	28	177	101
7.5	40	9	28	323	104
7.5	50	7	28	512	128
7.5	65	3.5	28	873	109
7.5	80	8	86	1329	124
7.5	100	5	86	2083	121
7.5	125	7	164	3261	139

S5



Résistivité	épaisseur	profondeur
35	4	
140		4

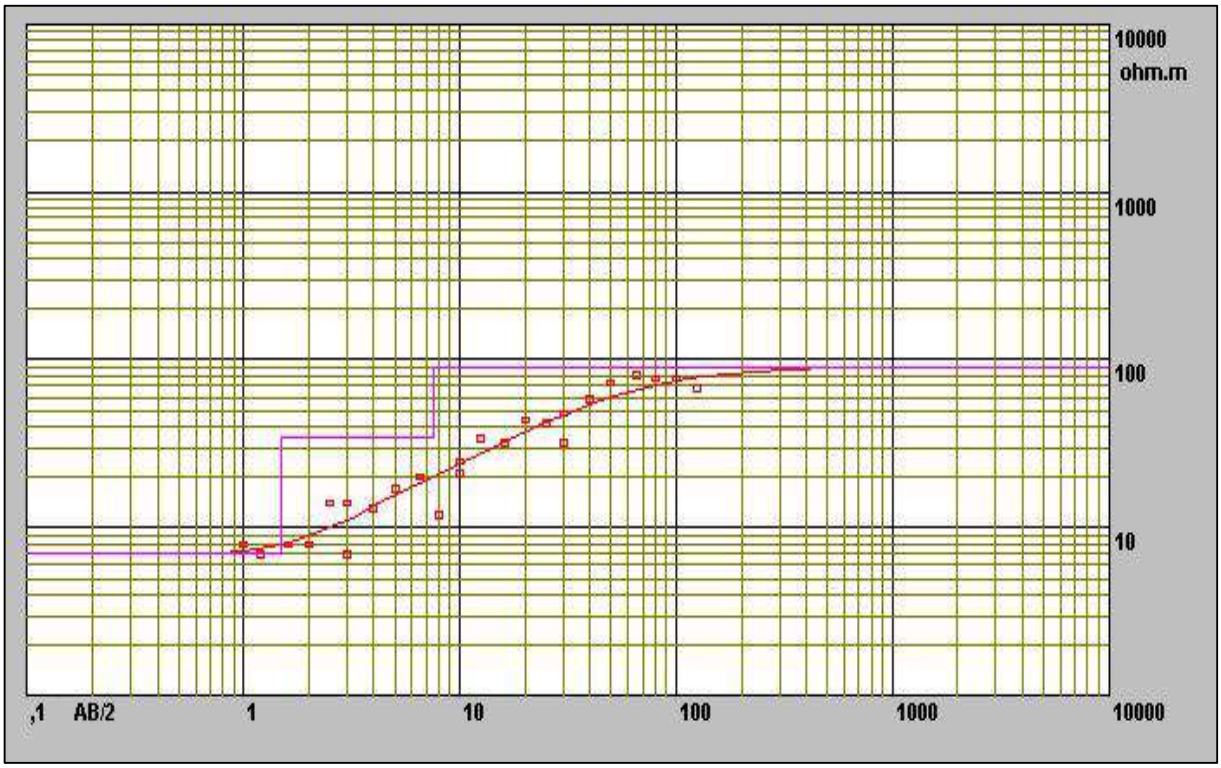
Figure B-4: Courbe de sondage S5

Tableau B-5: Sondage électrique Schlumberger S6- WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	5	5	7.53	8
.2	1.2	3	5	10.99	7
.2	1.6	2	5	19.79	8
.2	2	1.3	5	31.1	8
.2	2.5	1.4	5	48.77	14
.2	3	1	5	70.37	14
.8	3	2.1	5	16.41	7
.8	4	2.2	5	30.15	13
.8	5	1.8	5	47.83	17
.8	6.5	1.2	5	81.7	20
.8	8	5	5	124	12
.8	10	3	28	195	21
2.5	10	12	28	58.9	25
2.5	12.5	10.1	28	94.24	34
2.5	16	5.7	28	157	32
2.5	20	5	28	247	44
2.5	25	3	28	389	42
2.5	30	2.4	28	562	48
7.5	30	5	28	177	32
7.5	40	5	28	323	58
7.5	50	4	28	512	73
7.5	65	2.6	28	873	81
7.5	80	5	86	1329	77
7.5	100	3.2	86	2083	78
7.5	125	3.4	164	3261	68

S6



Résistivité	épaisseur	profondeur
7	1.5	
35	6	1.5
90		7.5

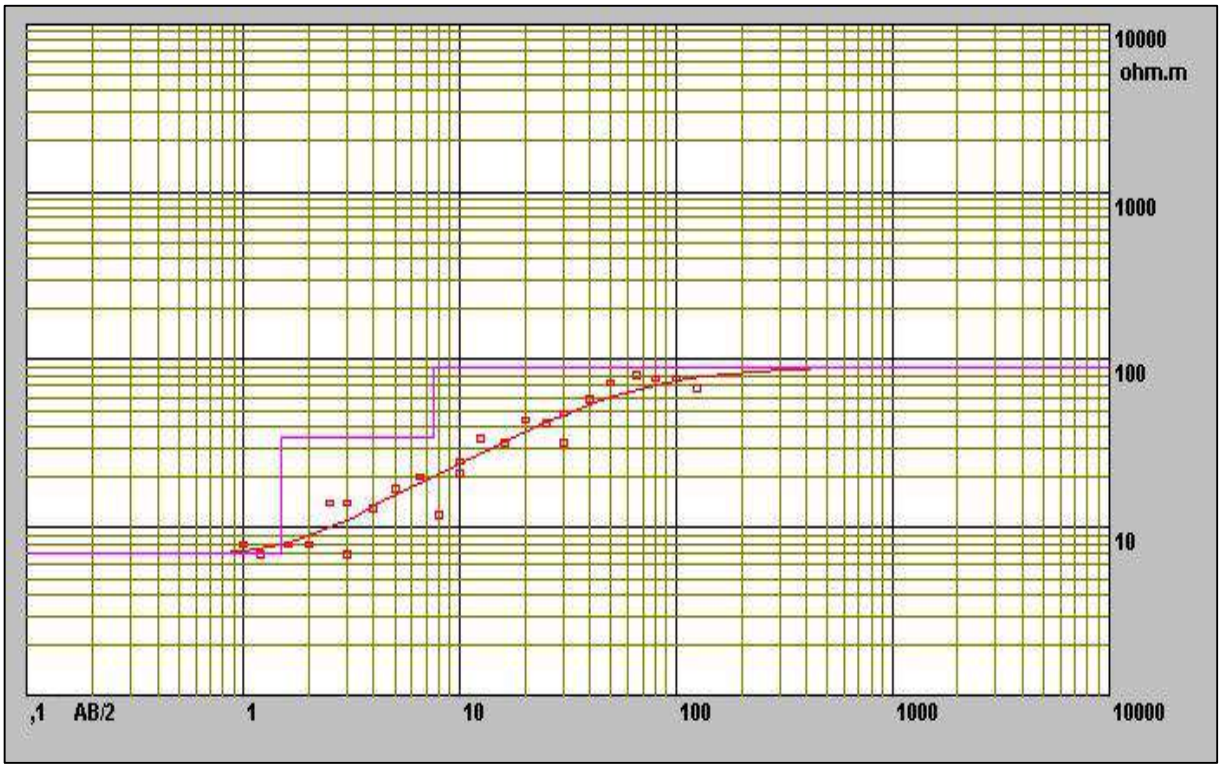
Figure B-5: Courbe de sondage S6

Tableau B-6: Sondage électrique Schlumberger S7 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	5	5	7.53	8
.2	1.2	3	5	10.99	7
.2	1.6	2	5	19.79	8
.2	2	1.3	5	31.1	8
.2	2.5	1.4	5	48.77	14
.2	3	1	5	70.37	14
.8	3	2.1	5	16.41	7
.8	4	2.2	5	30.15	13
.8	5	1.8	5	47.83	17
.8	6.5	1.2	5	81.7	20
.8	8	5	5	124	12
.8	10	3	28	195	21
2.5	10	12	28	58.9	25
2.5	12.5	10.1	28	94.24	34
2.5	16	5.7	28	157	32
2.5	20	5	28	247	44
2.5	25	3	28	389	42
2.5	30	2.4	28	562	48
7.5	30	5	28	177	32
7.5	40	5	28	323	58
7.5	50	4	28	512	73
7.5	65	2.6	28	873	81
7.5	80	5	86	1329	77
7.5	100	3.2	86	2083	78
7.5	125	3.4	164	3261	68

S7



Résistivité	épaisseur	profondeur
8	1.5	
36	6	1.5
90		7.5

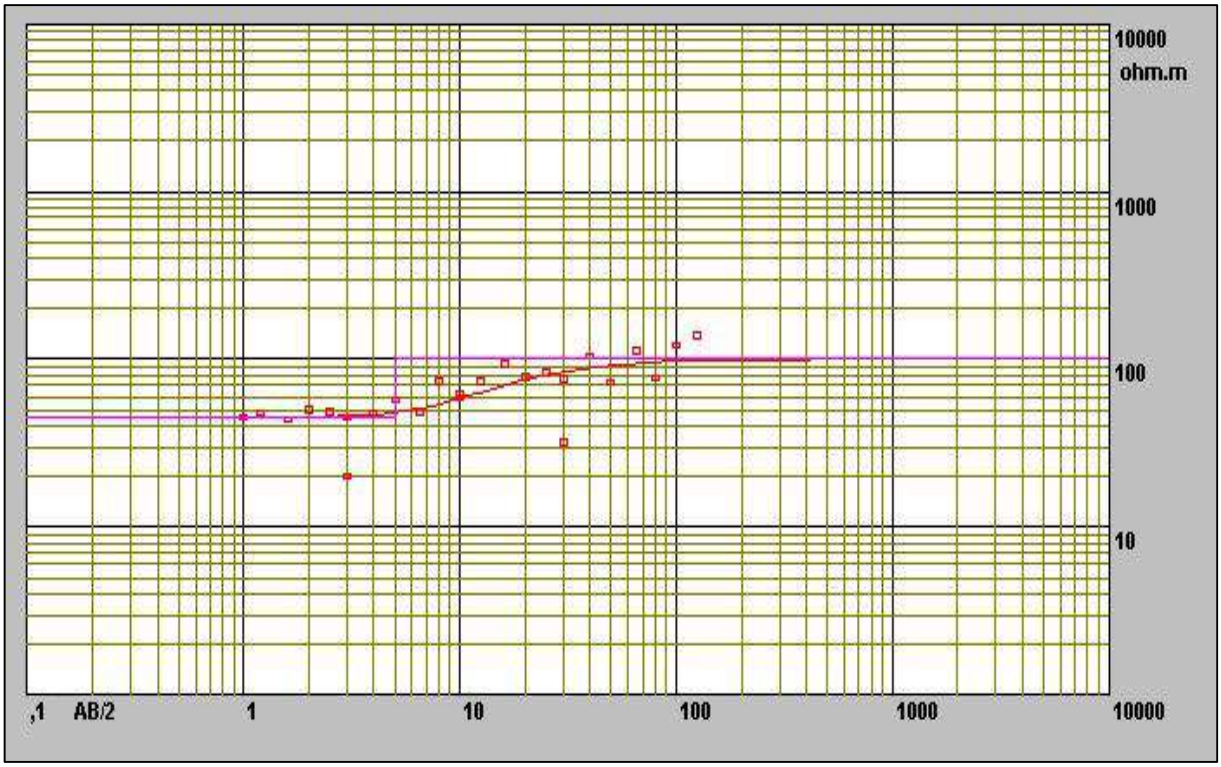
Figure B-6: Courbe de sondage S7

Tableau B-7: Sondage électrique Schlumberger S8 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	30	5	7.53	45
.2	1.2	22	5	10.99	48
.2	1.6	11	5	19.79	44
.2	2	8	5	31.1	50
.2	2.5	5	5	48.77	49
.2	3	3,2	5	70.37	45
.8	3	6	5	16.41	20
.8	4	8	5	30.15	48
.8	5	6	5	47.83	57
.8	6.5	3	5	81.7	49
.8	8	3	5	124	74
.8	10	9	28	195	63
2.5	10	28	28	58.9	59
2.5	12.5	22	28	94.24	74
2.5	16	15	28	157	84
2.5	20	9	28	247	79
2.5	25	6	28	389	83
2.5	30	3,8	28	562	76
7.5	30	5	28	177	32
7.5	40	9	28	323	104
7.5	50	4	28	512	73
7.5	65	3,6	28	873	112
7.5	80	5	86	1329	77
7.5	100	5	86	2083	121
7.5	125	7	164	3261	139

S8



Résistivité	épaisseur	profondeur
45	5	
100		3

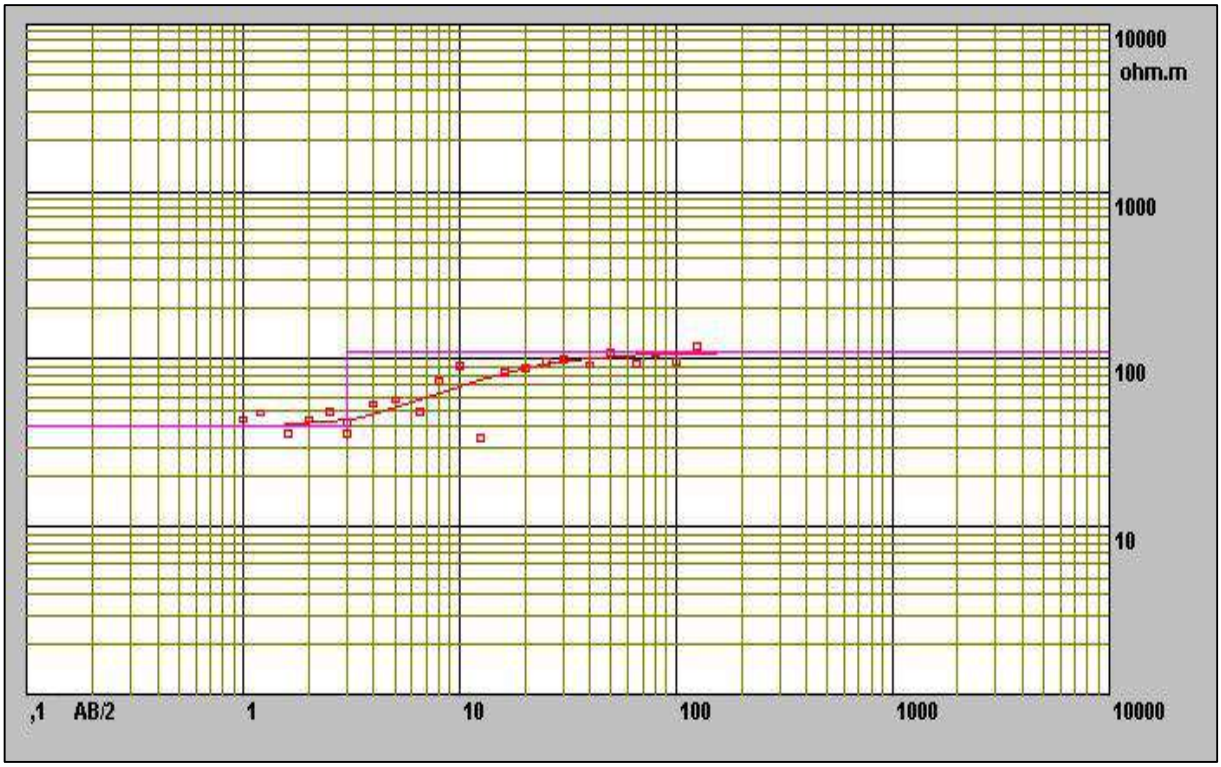
Figure B-7: Courbe de sondage S8

Tableau B-8: Sondage électrique Schlumberger S9 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	29	5	7.53	44
.2	1.2	22	5	10.99	48
.2	1.6	9	5	19.79	36
.2	2	7	5	31.1	44
.2	2.5	5	5	48.77	49
.2	3	3	5	70.37	42
.8	3	11	5	16.41	36
.8	4	9	5	30.15	54
.8	5	6	5	47.83	57
.8	6.5	3	5	81.7	49
.8	8	3	5	124	74
.8	10	13	28	195	91
2.5	10	44	28	58.9	93
2.5	12.5	10.1	28	94.24	34
2.5	16	15	28	157	84
2.5	20	10	28	247	88
2.5	25	7	28	389	97
2.5	30	5	28	562	100
7.5	30	16	28	177	101
7.5	40	8	28	323	92
7.5	50	6	28	512	110
7.5	65	3	28	873	94
7.5	80	7	86	1329	108
7.5	100	4	86	2083	97
7.5	125	6	164	3261	119

S9



Résistivité	épaisseur	profondeur
40	3	
110		3

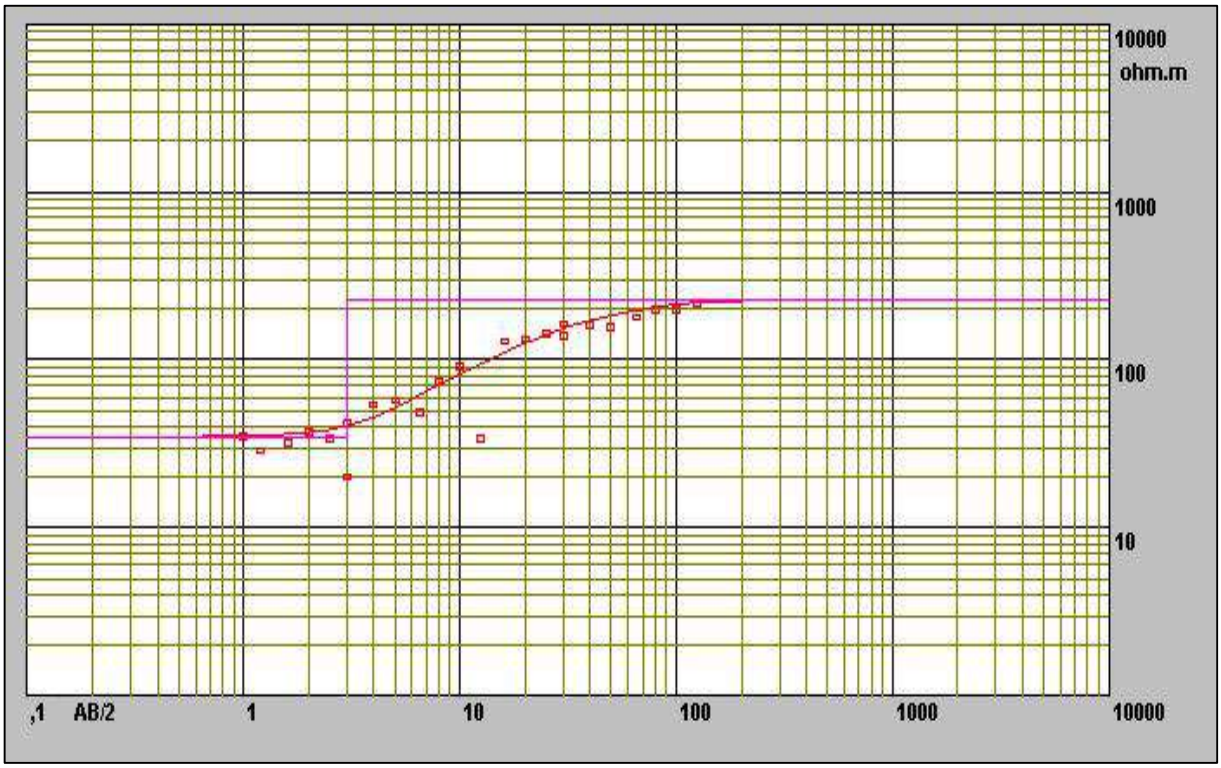
Figure B-8: Courbe de sondage S9

Tableau B-9: Sondage électrique Schlumberger S10 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	23	5	7.53	35
.2	1.2	13	5	10.99	29
.2	1.6	8	5	19.79	32
.2	2	6	5	31.1	37
.2	2.5	3.5	5	48.77	34
.2	3	3	5	70.37	42
.8	3	6	5	16.41	20
.8	4	9	5	30.15	54
.8	5	6	5	47.83	57
.8	6.5	3	5	81.7	49
.8	8	3	5	124	74
.8	10	13	28	195	91
2.5	10	44	28	58.9	93
2.5	12.5	10.1	28	94.24	34
2.5	16	23	28	157	129
2.5	20	15	28	247	132
2.5	25	10.3	28	389	143
2.5	30	8.2	28	562	165
7.5	30	22	28	177	139
7.5	40	14	28	323	162
7.5	50	8.6	28	512	157
7.5	65	5.7	28	873	178
7.5	80	12.8	86	1329	198
7.5	100	8.2	86	2083	199
7.5	125	11	164	3261	219

S10



Résistivité	épaisseur	profondeur
35	3	
230		3

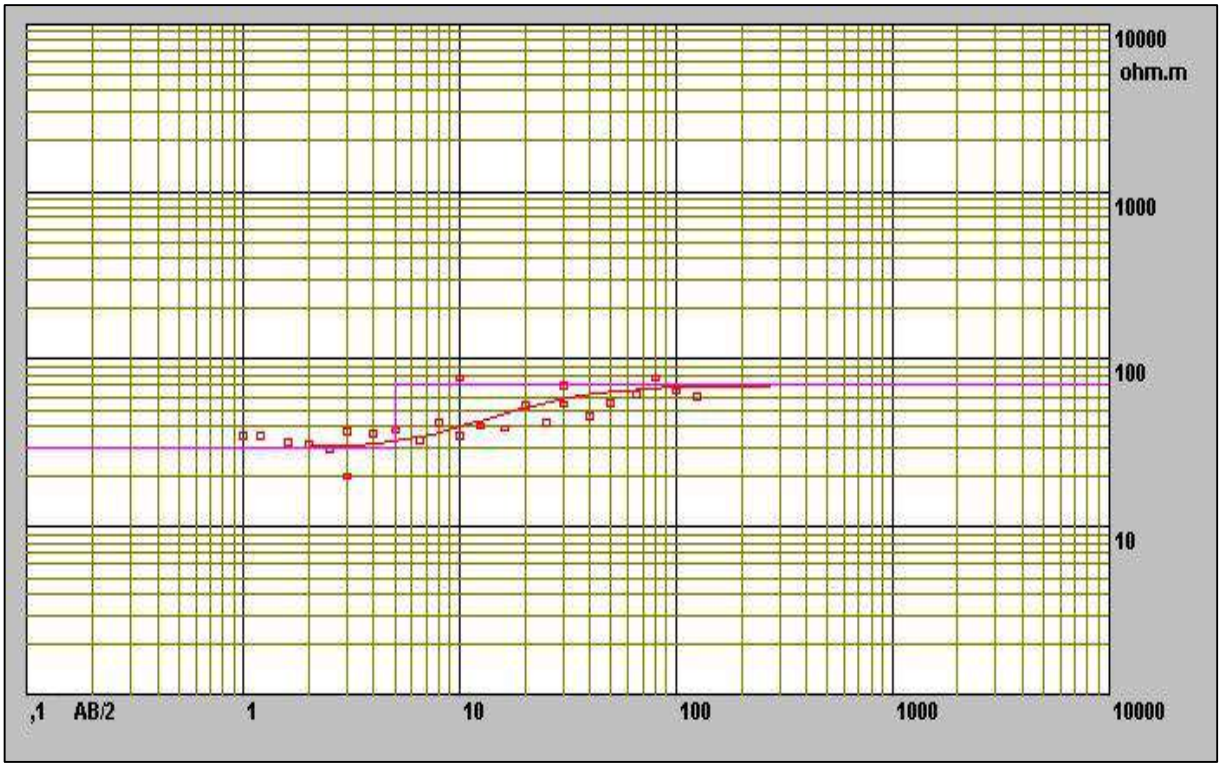
Figure B-9: Courbe de sondage S10

Tableau B-10: Sondage électrique Schlumberger S13 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	23	5	7.53	35
.2	1.2	16	5	10.99	35
.2	1.6	8	5	19.79	32
.2	2	5	5	31.1	31
.2	2.5	3	5	48.77	29
.2	3	2.6	5	70.37	37
.8	3	6	5	16.41	20
.8	4	6	5	30.15	36
.8	5	4	5	47.83	38
.8	6.5	2	5	81.7	33
.8	8	1.7	5	124	42
.8	10	5	28	195	35
2.5	10	37	28	58.9	78
2.5	12.5	12	28	94.24	40
2.5	16	7	28	157	39
2.5	20	6	28	247	53
2.5	25	3	28	389	42
2.5	30	2.7	28	562	54
7.5	30	11	28	177	70
7.5	40	4	28	323	46
7.5	50	3	28	512	55
7.5	65	2	28	873	62
7.5	80	5	86	1329	77
7.5	100	2.7	86	2083	65
7.5	125	3	164	3261	60

S13



Résistivité	épaisseur	profondeur
30	5	
70		5

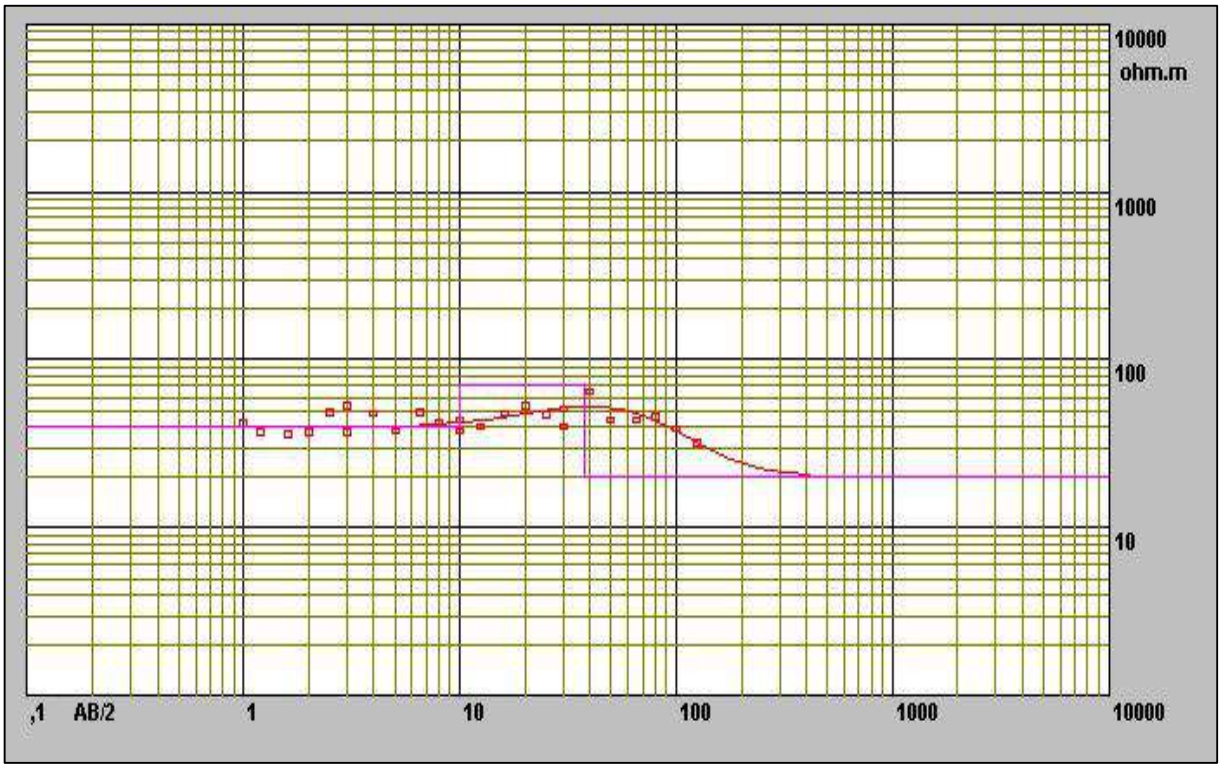
Figure B-10: Courbe de sondage S13

Tableau B-11: Sondage électrique Schlumberger S14 - WINSEV3

Mesure de terrain et valeur calculées

MN/2 [m]	AB/2 [m]	Delta V [mV]	I [mA]	K	Resistivity [ohm.m]
.2	1	23	5	7.53	35
.2	1.2	16	5	10.99	35
.2	1.6	8	5	19.79	32
.2	2	5	5	31.1	31
.2	2.5	3	5	48.77	29
.2	3	2.6	5	70.37	37
.8	3	6	5	16.41	20
.8	4	6	5	30.15	36
.8	5	4	5	47.83	38
.8	6.5	2	5	81.7	33
.8	8	1.7	5	124	42
.8	10	5	28	195	35
2.5	10	37	28	58.9	78
2.5	12.5	12	28	94.24	40
2.5	16	7	28	157	39
2.5	20	6	28	247	53
2.5	25	3	28	389	42
2.5	30	2.7	28	562	54
7.5	30	11	28	177	70
7.5	40	4	28	323	46
7.5	50	3	28	512	55
7.5	65	2	28	873	62
7.5	80	5	86	1329	77
7.5	100	2.7	86	2083	65
7.5	125	3	164	3261	60

S14



Résistivité	épaisseur	profondeur
40	10	
70	28	10
20		38

Figure B-11: Courbe de sondage S14

Références Bibliographiques

[1]- Berga Abdelmadjid (2004) : Eléments de Mécanique des Sols - Centre Universitaire de Béchar Département de Génie Civil

[2]- Samuel .A : Propriétés mécaniques des sols déterminées en place - Adjoint au chef de la division Mécanique des sols,Géologie de l'ingénieur au Laboratoire central des Ponts et chaussées

[3]- Pierre Martin (2eme édition, 2005) : Géotechnique appliquée au BTP

[4]- Ali BOUAFIA (2006) : Les essais in-situ dans les projets de fondations - Maître de conférences à l'université de Blida

[5]- Jezequel J.F: Propriétés mécaniques des sols - **Chef** de groupe de Mécanique des sols et ouvrages d'art au Laboratoire régional des Ponts et chausses de Saint-Brieuc

[6]- STADELHOFEN. M (1991): Application de la géophysique aux recherche d'eau

[7]- LAGABRIELLE .R (2002 : Géophysique appliquée au géni civil - Chef de la Division Reconnaissance et Mécanique des Sols – France.

[8]- Ghilain .T (2004): Apport de nouvelles techniques géophysique à la connaissance des aquifers socle – these doctorat, université Paris 6. France

[9]- Professeur Chapellier.D (2000) : Prospection électrique de surface - Université de Lausanne – Institut Français du Pétrole – France

[10]- Agence Nationale des ressources Hydrauliques (ANRH) 1993: Carte et données pluviométrique Éch: 1/25 000 – Direction Régionale de l'ANRH Centre – Soumaa – Blida.

[11]- Kieken.M (1922): Notice explicative de la carte géologique (Souagui) au 1/50 000^{e}- Direction des resources en eau de la Wilaya de Médéa.

[12]- Grégoire .J-P (1954): Carte géologique de Souagui Èch: 1/50 000^{e}- Direction des resources en Eau de la Wilaya de Médéa.

[13]- Agence des Bassins Hydrographiques (A.B.H) 2010: Carte et données de bassin versant de Oued Isser – (Algérois) sur un fond MNT.

[14]- B.E.T COBA (2008): Etude d'APD Barrage Beni Slimane- Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) -Alger