

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Faculté: Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département: Sciences de la Terre

Domaine: Science de la Terre et de l'univers

Filière: Géotechnique

Spécialité: Géotechnique

*Apport de la tomographie électrique dans l'étude des
glissements de terrains dans le sahel d'Alger : cas de
« Parc Dounia »*

Présenté par :

M^{lle} BOUALI Zeynab.

M^{me} SAIB Nassira.

Devant le

Jury

Présidente : M^{lle} HADJ MOHAMED.N

Promotrice : M^{me} FILALI Mira

Examineurs :

M^{me} BENHANI.N

M^R BRAHMI.G

Année universitaire : 2017/2018



Dédicace

Je dédie ce modeste travail a' ceux qui sont les plus chères : A ma mère pour sa tendresse, et ses sacrifices dont elle me comblait, ou son ombre n'a cessé de me suivre.

A mon père que je remercie vivement pour son soutien moral et matériel et pour sa profonde complicité durant l'élaboration de ce modeste mémoire.

A mes frères AHMED, MOHAMED, HAMZA,

A mes chères sœurs KAIRA, FATIMA, NADIA, AICHA.

A Ma binette et ma chère ZINEB pour sa foi durant toute La période de réalisation de ce projet.

A mes amies : FATIMA, SAKINA, SARA, LAMYA, ATIKA, AMINA.

Aux étudiants de la promotion 2016-2017 de

Géo technique. Pour les bons moments qu'on a passés ensemble.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet soit possible.

Special dédicace a mon Marie et sa famille précieuse.

NASSIRA





Dédicace

*Je dédie Ce Modest travail, à l'ame de Mon père, qui dieu l'accueille
dans son vaste paradis*

*A ma chere maman, à qui je dois toute ma résussite, pour son
soutient, encouragement et prière , que dieu me la garde.*

A mes frères :Youcef et Mohammed

A mes soeurs : Djamila ,Hayat, Noura,Meriem et Amina

A mes tantes et mes oncles;

*A mes cousins et mes cousines: Mohammed; abdEnour; Ismail; Abd
Eraouf, Yasmina ; Soumia ; Hanan ; Houria ; Zahra ; Ikram ;Iman
et Siham*

A ma chere amie : Marwa

*A mes collègues : Fatima, sakina. tous le étudiants de ma promotion
de géotechnique master II*

Spéciale dédicace a mon fianncé et sa famille précieuse

Zeynab





REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions « ALLAH », le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.

Nous tenons particulièrement à remercier notre promotrice madame M.FILALI pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses encouragements, orientations et ses conseils précieux

Nos remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail et de nous avoir honorés par leur présence.

Nous remercions vivement, les ingénieurs du département géophysiques du laboratoire LNHC (oued smar) pour leurs aides disponibilité.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la mise en œuvre de ce travail.

Nous aimerons bien de remercier tous les étudiants de nos promotion de géotechnique, hydrogéologie et eau et environnements

Nous adressons nos sincères remerciements à toute la famille, les amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la mise en œuvre de ce travail.



Résumé

Les glissements de terrain sont des phénomènes complexes et évolutifs, difficiles à caractériser. La région d'Alger compte plusieurs sites affectés par ces mouvements. Dont celui du parc Dounia

Les méthodes géophysiques tel la tomographie électrique semble être bien adaptées à l'étude des glissements de terrains. La tomographie électrique est une méthode non destructive, dont la variation de la résistivité corrélée aux paramètres géotechniques permet d'identifier les masses en mouvement ainsi que d'identifier les surfaces de rupture.

Cette méthode a été appliquée pour l'étude des glissements de terrain apparus dans le parc Dounia au sud-ouest d'Alger. Les mesures de la résistivité ont montré que la zone étudiée présente une certaine homogénéité. Qui peuvent de la composition des masses en mouvement identifiées par les différents sondages par la marne plaisancienne. Les faibles valeurs de la résistivité (1- 10 $\Omega.m$) ont permis de mettre en évidence d'éventuelles surfaces de rupture

Mots clé : tomographie électrique, géophysique, glissement, marnes.

Abstract

Landslides are complex and evolving phenomena, difficult to characterize. The Algiers region has several sites affected by these movements. Including that of Dounia Park

Geophysical methods such as electric tomography seem to be well suited to the study of landslides. Electric tomography is a non-destructive method whose variation of the resistivity correlated with the geotechnical parameters makes it possible to identify the masses in movement, also to identify the fracture surfaces.

This method has been applied for the study of landslides in the Dounia park south-west of Algiers. Measurements of the resistivity showed that the studied area exhibited some homogeneity. Who can of the composition of the masses in motion identified by the various soundings by the marina joker. The low values of the resistivity (1-10 $\Omega.m$) revealed possible fracture surfaces

Key words: electric tomography, geophysics, sliding, marls.

ملخص

الانهيارات الأرضية هي ظواهر معقدة ومتطورة، من الصعب أن تميز. منطقة الجزائر لديها العديد من المواقع المتضررة من جراء هذه الحركات. بما في ذلك دونيا بارك

الطرق الجيوفيزيائية مثل التصوير المقطعي الكهربائي يبدو أن تكون مناسبة تماما لدراسة الانهيارات الأرضية التصوير المقطعي الكهربائي هو غير مدمرة، والاختلافات في المقاومة المترابطة مع المعلمات الجيوتقنية لتحديد الكتلة المتحركة وكذلك تحديد السطوح كسر.

هذه الطريقة تم تطبيقها لدراسة الانهيارات الأرضية في الحديقة دنيا جنوب غرب العاصمة. أظهرت قياسات المقاومة أن منطقة الدراسة قدمت التجانس معين. الذي يكون كتل المتحركة التي حددتها المسوحات المختلفة للمارل القديم. قيم المقاومة المنخفضة (من 1 إلى 10 $\Omega.m$) تسمح بالكشف عن أي سطوح كسر

كلمات المفتاحية: التصوير المقطعي الكهربائي، الجيوفيزياء، انزلاق، المارل.

SOMMAIRE

Dédicace

Remerciement

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des photos

***Introduction générale* 01**

Chapitre I : Généralités

I-1 Introduction..... 04

I-2 prospection géophysique par la méthode électrique 06

I-2-1 le paramètre géophysique mesuré (résistivité)..... 06

I-2-2 les facteurs influant sur la résistivité..... 07

a) Porosité..... 07

b) Teneur en eau..... 07

c) Présence de la fraction argileuse 08

d) Salinité du fluide 08

e) Température et viscosité..... 09

I-2-3 la loi d'Archie 09

1) L'influence de la température 10

2) La saturation..... 10

I-3 la tomographie électrique 11

I-3-1 principe 11

I-3-2 procédure..... 11

A : instrument de mesure..... 11

B : protocole de mesure 13

C : les différentes configurations..... 13

1. configuration Schlumberger..... 13

2. configuration wenner 14

D : traitement des données.....	16
a-définition d'une pseudo-section.....	16
b- le modèle d'inversion.....	17
c- pseudo-section calculé.....	18
I-4 conclusion.....	19
<i>Chapitre II : présentation de la zone d'étude</i>	
II-1 situation géographique.....	21
II-2 Etats des lieux.....	21
II-3 cadre géologique	25
II-3-1 géologie régionale	25
II-3-2 géologie locale.....	26
II-4 aperçu hydrogéologique.....	28
1- Aquifer astien.....	28
2-Aquifère alluvial quaternaire.....	28
II-5 Aperçu hydrologique	28
II-6 Aperçu climatologique	29
II-7 Aperçu sismique.....	30
II-8 Aperçu géotechnique.....	30
A) Sondages carottés.....	32
B) Résultats d'essai au laboratoire.....	33
1-l'analyse granulométrique	33
2-Densité.....	34
3-Teneur en eau	35
4-Limite d'atterberg.....	35
a) Limite de liquidité.....	35
b) Indice de plasticité.....	36
C) Résultats d'essai in-situ.....	37
A. Essai de pénétration dynamique	37
B. Sondage pressiometrique	39
II-9 Conclusion.....	41
<i>Chapitre III : Résultats des données de tomographie électrique</i>	
III-1 Introduction.....	43
III-2 prospection géophysique du site	43
III-2-1 Investigation par tomographie électrique.....	43
III-2-2 principe et mise en œuvre	44
a) Instrument de mesure	44
b) Acquisition des données	45
III-2-3 traitement des données.....	47

1) Concept d'inversion.....	47
2) Qualité du modèle (RMS)	48
III-3 Résultats et discussion.....	49
III-4 Identification des surfaces de rupture.....	53
III-5 Conclusion.....	54
<i>Conclusion générale</i>	56
<i>Références bibliographique</i>	

Liste des figures

Liste de figures

Figure 01	: gamme de résistivité des principaux sols terrestres (D. Chapellier).....	06
Figure 02	: Principe de dispositif d'injection de courant dans le sol.....	11
Figure 03	: Illustration de la technique tomographique	13
Figure 04	: la géométrie de configuration Schlumberger	14
Figure 05	: La géométrie de configuration wenner	15
Figure 06	: Principe de construction d'une pseudo-section pour la configuration Wenner.....	16
Figure 07	: Exemple d'une pseudo-section.....	16
Figure 08	: Modèle d'inversion	17
Figure 09	: carte pseudo-section calculé	18
Figure 10	: Localisation du site étudié (Google Earth, 2017)	21
Figure 11	: Fissures de tractions sur l'accotement de la route.	22
Figure 12	: Affaissement important de la chaussée	22
Figure 13	: Arrachement des talus	23
Figure 14	: Déplacement et d déformation de la couche du remblai.	23
Figure 15	: Rupture des ouvrages de soutènement	24
Figure 16	: Les surfaces de ruptures sont tangentes aux formations d'argile marneuse ...	24
Figure 17	: rupture de canalisation et déversement des eaux pluviales et d'assainissements dans le talus	25
Figure 18	: Le pliocène de la région d'Alger (Djediat .Y, 1996)	26
Figure 19	: carte géologique de la région d'étude (extrait de la carte de chéraga 1/50000)	27
Figure 20	: Histogramme des données pluviométrique de l'année (2011)	29
Figure 21	: Carte des zones sismiques de l'Algérie selon RPA99/version2003.....	30
Figure 22	: plan d'implantation des essais in-situ	31
Figure 23	: coupe lithologique à partir des sondages carottés.....	32
Figure 24	: coupe géotechnique	33
Figure 25	: courbe granulométrique	33
Figure 26	: courbe de variation densité sèche	34
Figure 27	: courbe de variation de teneur en eau	35

Liste des figures

Figure 28	: courbe de limite de liquidité	35
Figure 29	: courbe d'indice de plasticité	36
Figure 30	: Abaque de Cazagrande	37
Figure 31	: variation de la résistance de pointe en fonction de la profondeur.....	38
Figure 32	: levé topographique de la zone d'étude montrent les profils réalisées.....	44
Figure 33	: Instruments de mesure de résistivité électrique	45
Figure 34	: les pseudo-sections des profils	46
Figure 35	: distribution des blocs utilisés dans la modélisation □ et points de mesure × (J.Poton).....	48
Figure 36	: pseudo-sections calculés.....	49
Figure 37	: la section de profile 01.....	50
Figure 38	: coupe géoélectrique de profile 01.....	51
Figure 39	: la section de profile 02.....	51
Figure 40	: coupe géoélectrique de profile 02.....	52
Figure 41	: surface de rupture de profile 02.....	53
Figure 42	: surface de rupture de profile 01.....	54

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01	principe des méthodes géophysiques.....	05
Tableau 02	les différentes configurations.....	15
Tableau 03	Données pluviométriques de la station ANRH.....	26
Tableau 04	résultats des essais de pénétration dynamique.....	38
Tableau 05	Lithologie des sondages pressiométrique.....	40
Tableau 06	Résultats des paramètres pressiométrique.....	40
Tableau 07	Description des quatre profils	47
Tableau 08	Recap	48

Liste des photos

Liste des photos

Photo 01	Résistivimetre.....	12
Photo 02	Système d'acquisition.....	12
Photo 03	électrodes.....	12
Photo 04	Batterie.....	12
Photo 05	câble noir.....	12
Photo 06	bobine du câble.....	12

Introduction
générale

Introduction générale

Les glissements de terrain sont des phénomènes géologiques complexes qui peuvent avoir des conséquences socio-économiques considérables. L'investigation de ce phénomène nécessite une approche multidisciplinaire. Les déformations interne générés par les mouvements peuvent provoquer des changements dans les paramètres géophysique (*Bièvres et al 2008*), d'où les techniques géophysiques sont l'une des approches, utiliser pour mesurer paramètres physiques liées directement ou indirectement avec les caractéristiques lithologique, hydrogéologique ou géotechnique (*D.Jangmans et S. Garambois 2007, A.Perrone 2014*).

Les méthodes non intrusives de la géophysique, telles que la tomographie électrique, sont plus adaptées à l'étude structurale des glissements de terrain, et à la compréhension de leurs mécanismes internes de déformation et de rupture. (*G.Graudjau et al*)

La résistivité électrique est un paramètre qui expose des valeurs très variées, elle est influencée par différents facteurs à savoir la minéralogie, plus particulièrement la fraction argileux, la teneur en eau et sa conductivité et l'altération et fissuration de la roche, ce qui explique sa large utilisation dans l'investigation des glissements de terrain (*D.Jangmans et S.Grambois 2007*)

Le risque de glissement de terrain est très fréquent en Algérie du Nord et particulièrement au niveau de la ville d'Alger, ou il est lié étroitement a la présence de formation marneuse de pliocène, qui présente des caractéristiques géotechniques médiocres près de la surface.

Pour évaluer ce risque, une bonne connaissance de celui-ci est nécessaire. Pour ce faire, on se propose dans le cadre de ce mémoire d'analyser les glissements de terrain observés au niveau du parc « Dounia » au sud-ouest d'Alger dont les principales formations sont les marnes plaisanciennes concrètement, ce travail consiste à analyser les données géophysique disponible dans la région.

Ce mémoire et organisé de la façon suivante :

Première chapitre: généralité sur les méthodes géophysiques employées dans l'étude de glissement de terrain, par la suite nous avons parlés sur la méthode électrique. Nous avons concentrés sur la technique de tomographie électrique

Introduction générale

Un second chapitre : qui consiste à une présentation de la zone d'étude du point de vue géologique, hydrogéologique, hydrologique et géotechnique.

Un troisième chapitre : consacré à la présentation des résultats de tomographie électrique et interprétation et discussion des résultats.

Chapitre I

I-1 Introduction

Depuis 20 ans, la prospection géophysique à faible profondeur a considérablement évoluée avec l'apparition de techniques d'imagerie 2D, puis 3D et maintenant 4D qui permettent de considérer les variations spatiales et temporelles des objets géologiques étudiés (*D. Jongmans et S. Garambois, 2007*).

Les méthodes géophysiques permettent potentiellement d'imager en 2D et 3D la structure des terrains, les variations des paramètres mécaniques ainsi que les écoulements préférentiels d'eau. Elles présentent, les avantages d'être :

- rapides,
- faciles à mettre en œuvre,
- non destructives,
- large couverture des zones étudiées.

La prospection géophysique appliquée aux mouvements de terrain a pour objet principalement d'identifier les limites latérales de la masse en mouvement, la surface de glissement en profondeur, ainsi que l'imagerie de la structure interne du corps en mouvement. Etant donné que l'eau constitue un facteur primordial dans l'activation des glissements de terrain, les techniques électriques et électromagnétiques sont les plus souvent employées (*Caris, J., et T. Van Asch 1991 ; T. Lebourg et al 2005*)

Les modifications du sol générées par un mouvement de terrain entraînent généralement des variations des paramètres géophysiques qui caractérisent le sous-sol. La mesure de ces derniers peut donc être utilisée afin d'imager le corps du mouvement et suivre son évolution.

L'application des méthodes géophysiques à l'étude des mouvements de terrains comporte généralement trois étapes :

1. Le choix de la ou des méthodes géophysiques les plus adaptées du mouvement
2. L'acquisition et le traitement des données.
3. l'interprétation des résultats

Méthode	Principe et paramètre mesure	Propriété physiques	Document produits	application
gravimétrie	Mesure d'anomalie de pesanteur	densité	Carte et profils d'anomalie de bougure, reseduelles, transformation, modilisationdirectes, inversions	Tout type de cavités zones décomprimées
Radar géologique (GPR)	Etude de propagation des ondes électromagnétique haute freonse (ondes radar, corament de 20 a'2500 MHZ) et de leur interaction avec les structures du sol	Résistivité, permittivité	Radagrammes (section radar en temps ou en profondeur Traitements : deconvolution, migration, filtratrage, simulation, sondage radar (sondages de vitesse),	Réseaux et cuves enterrés tout type d'interfaces (couches anthropiques, remblais, sols roches, caves, souterrains, arsis
Méthode électriques	Mesure de tension résultante de l'injection de courent électriques dans le sol.	résistivité	Sondage électrique (log de résistivité 1-D) Panneau électrique (profils de résistivités 2-D) similtation, inversions	Zones humides, altereés, fracturées, polluées. Tout type d'interfaces. cavités (suivant contrastes)
Méthode électromagnétiques	Etude de la propagation d'ondesélectromagnétiques et de leur interface avec les structures de sol. -Méthodes basses fréquences : régime de diffusion (phénomènes de conduction).méthodes VLF, EM34) -Méthodes hautes fréquences : régime de propagation (phénomènes de polarisation)-Méthodes radar.	Diffusion : résistivité Propagation : permittivité	Profils et cartes de résistivité, de phasage. simulation	Zones humides,altereés,altereés,fracturées,polluées . Tout type d'interfaces. Cavites (CF.rapport C . fouchard . LCPC)
Polarisation spontané(SP)	Détection de phénomènes d'electrfiltration (mesure de la différence de potentiel apparaissant spontanément entre deux points lorsqu'un fluide électrolytique circule dans la porosité d'une roche sous l'effet hydrostatique	Potentiels de flux, électrochimiques ou thermoélectrique	Profils et cartes de potentiel électrique	Circulationd'eau dans les milieux : proches de sable, fossés, murs, rembais, zones de drainage vers des cavités ou des puits de mine karsts
Sismiques réfraction	Etude de la propagation des ondes réfractées	Vitesse sismique	Coupes, anomalies de retard	Variation de profondeur des terrains (substratum), lois des vitesse
Sismiques réflexion	Etude de la dispersion de ondes de réfléchies	Vitesse sismique	Section sismiques	Interfaces sédimentaire hétérogénéités (y compris cavités)
Sismiques en ondes de surface(SASW)	Etude de la dispersion d'ondes de surface	Vitesse sismique dispersion	Section sismiques courbes de dispersion	Interfaces sédimentaire hétérogénéités (y compris cavités) caractéristique mecaniquesdes sols et des roches
Méthodes magnétique	Mesure des anomalies du champ magnétique terrestre	Aimantation susceptibilités.	Profils et cartes du champ magnétique residuelle, reduction au pole, etc Simulations	Cavités, puits et forages a' structure métallique cavités dans un encaissant magnétique
Résonance magnétique protonique(RMP)	Détection directe de la présence ou de l'abrence d'eau souterraine	Transmissivité RMP	Sondage RMP	Nappe superficielle de l'epikarst. Conduits karstiques annoyés (?)

Tableau 1:principe des méthodes géophysiques

I-2 prospections géophysique par la Méthode électrique :

Cette méthode repose sur la mesure d'une différence de potentiels électriques engendrée suite à l'injection d'un courant électrique dans le sous-sol dont le but est de déterminer la distribution des résistivités électriques des structures étudiées.

I-2-1 Le paramètre géophysiques mesuré (la résistivité) :

La **résistivité ρ** d'un milieu est la propriété physique qui détermine l'aptitude de ce milieu à s'opposer au passage du courant électrique. La résistivité est la résistance ohmique d'un cylindre de section S et de longueur unitaire L (*D. Chapellier 2000*)

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{01}$$

Avec :

R= résistance (Ω)

ρ = résistivité ($\Omega.m$)

La résistivité électrique est une propriété intrinsèque du matériau conducteur et elle ne dépend donc pas des dimensions des plaques conductrices et de leur distance de séparation.

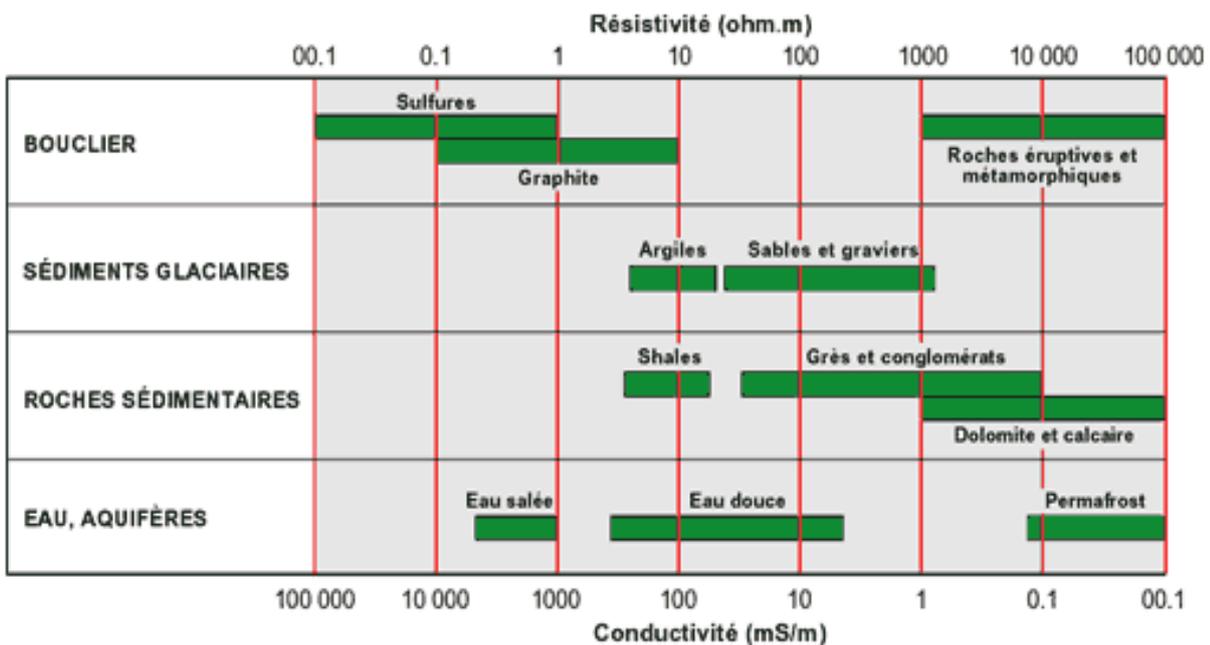


Figure 1: gamme de résistivité des principaux sols terrestres (D. Chapellier)

I-2-2 Les facteurs influant sur la résistivité :

a) La porosité

La porosité Φ d'un matériau est définie par le rapport du volume des vides sur le volume total d'un échantillon:

$$\Phi = \frac{V_v}{V_T} \quad (02)$$

V_v : volume des vides ;

V_T : volume total et où le volume des vides ;

La résistivité électrique augmente avec la diminution de la porosité.

Lorsque la porosité diminue et que la taille des pores diminuent et la longueur des capillaires qui relient les pores augmente. La longueur effective L du trajet parcouru par le courant électrique est ainsi augmentée et la section transversale effective A est diminuée, puisque les pores sont d'une taille plus petite (*J.Dubois 2011*).

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (03)$$

D'après l'équation (03), puisque la résistance électrique est directement proportionnelle à la longueur du trajet suivi par le courant et inversement proportionnelle à la section transversale à la circulation du courant. La diminution de la porosité, augmente donc la résistance et la résistivité électrique. En effet, la résistivité électrique est directement proportionnelle à la résistance.

b) La teneur en eau

C'est la fraction d'eau contenue dans les pores. Elle est définie comme suite :

$$S_e = \frac{V_e}{V_v} \quad (04)$$

Où :

V_e : est le volume occupé par l'eau dans les pores d'un matériau

V_v : est le volume total occupé par les pores ou le volume des vides.

La circulation du courant s'effectue au travers de l'électrolyte présent dans les pores. Par conséquent, plus le contenu en eau est élevé, plus les ions peuvent circuler facilement dans le matériau et plus la résistivité électrique du matériau est faible (*J.Dubois 2011*).

$$\rho = \frac{\rho_e a \Phi^{-m}}{S_e^n} \quad (05)$$

c) Présence de la fraction argileuse

Les argiles possèdent une structure composée de feuillets microscopiques qui peuvent être chargées négativement. Lorsque les argiles se retrouvent en présence d'eau, même en très faible quantité, les ions qui sont contenus dans l'eau peuvent être échangés avec les cations peu liés aux argiles. Le courant électrique peut donc passer librement à la surface de l'argile et la résistivité électrique est alors très faible.

Par ailleurs, une argile complètement sèche possède une faible conductivité électrique car les échanges ioniques sont presque impossibles en absence d'eau. Tous les matériaux qui contiennent une certaine quantité d'argile possèdent une conductivité électrique plus élevée qu'en son absence (*J.Dubois 2011*).

d) La salinité du fluide

Le courant électrique est favorisé par la présence des ions des sels en solution. La conductivité électrique d'un électrolyte dépend de la quantité d'ions présents dans l'eau, mais également de la viscosité de l'eau qui affecte la vitesse de déplacement des ions (*J.Dubois 2011*).

e) Température et viscosité

Les variations de résistivité électrique de l'électrolyte en fonction de la concentration des minéraux et de la température sont importantes. La viscosité du fluide varie en fonction de la température.

Une augmentation de la température diminue la viscosité de l'eau. Les ions contenus dans l'eau deviennent alors plus mobiles. Cette augmentation de la mobilité des ions augmente leur vitesse de déplacement sous une différence de potentiel et il s'ensuit une augmentation de la conductivité électrique (*J.Dubois 2011*).

I-2-3 La loi d'Archie

Cas d'une roche saturée

Dans le cas d'une roche saturée, « ARCHIE » a établi une relation expérimentale liant la résistivité de la roche à la porosité et à la résistivité de l'eau d'imbibition.

$$\rho_r = \rho_w a \Phi^{-m} \quad (06)$$

Avec :

ρ_w = résistivité de l'eau d'imbibition ;

Φ = porosité ;

a = facteur qui dépend de la lithologie et qui varie entre 0.6 et 2 ;

m = facteur de cimentation

On a l'habitude de regrouper sous le terme de **facteur de formation** $F = a \Phi^{-m}$.

Dans la pratique on admet pour les formations meubles, sables et grès, la formule de «

HUMBLE » : $F = 0,62. \Phi^{-2,15}$ et pour les roches bien cimentées: $F = 1. \Phi^{-2}$

En définitive nous obtenons pour la loi d'Archie :

$$\rho_r = F \rho_w \quad (07)$$

1) Influence de la température

La résistivité dépend aussi de la température à laquelle la roche est soumise, on a la relation suivante:

$$\rho_t = \frac{\rho_{18}}{1+0.025(T-18)} \quad (08)$$

Le gel augmente beaucoup la résistivité des roches, cependant l'effet est relativement progressif car les sels en solution abaissent le point de congélation de l'électrolyte qui remplit les pores de la roche (J.Dubois 2011).

1) La saturation

La loi d'Archie a été établie pour des roches saturées en eau, il faut maintenant tenir compte d'un nouveau paramètre: **la saturation**

La loi d'Archie devient alors

$$\rho_r = F \rho_w S_w^{-1} \quad (09)$$

On peut aussi écrire:

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{F \rho_w}{\rho_r}} \quad (10)$$

Avec :

$F \rho_w$ = résistivité de la roche saturée en eau ;

ρ_r = résistivité de la roche désaturée en eau ; $n \approx 2$.

L'exposant n varie très peu avec les formations, sa valeur est environ de 2 pour la plupart des formations de porosité normale dont la teneur en eau est comprise en 20 et 100 %.

Parfois l'air peut être remplacé par de l'huile ou du gaz, ce qui a le même effet sur les résistivités ces trois fluides étant infiniment résistants. Le paramètre saturation est très important en pétrole, c'est de lui que dépend la mise en production. D'une manière générale, la désaturation augmente la résistivité. Dans certains cas très particuliers l'effet de la

désaturation peut être inverse. En effet, l'évaporation charge en sels la zone déshydratée, qui devient plus conductrice que la zone saturée de par sa grande concentration en sels, c'est le cas par exemple de certaines régions d'Egypte. (D. Chapellier2000)

I-3 la tomographie électrique :

I-3-1 Principe :

La tomographie électrique est une méthode d'imagerie non destructive qui permet de définir un milieu en termes de résistivité électrique à partir de mesures du potentiel

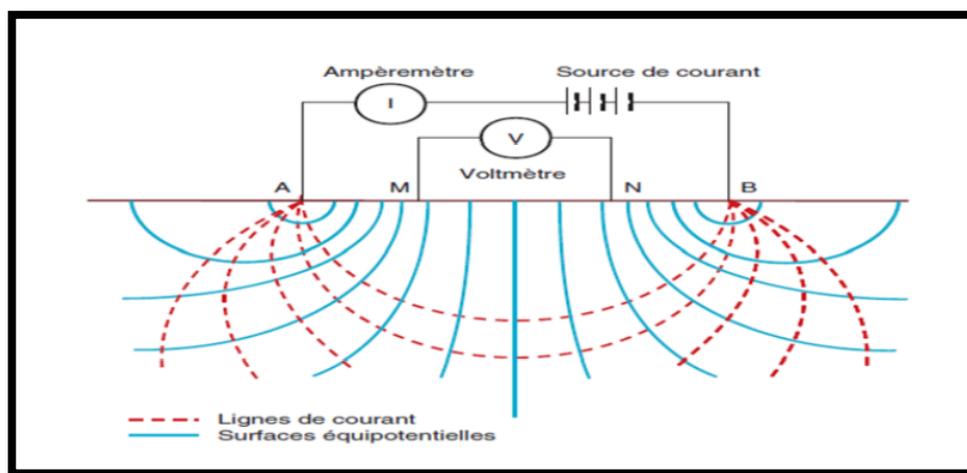


Figure02: Principe de dispositif d'injection de courant dans le sol

I-3-2 Procédure

a) Instrument de mesure :

L'appareillage se constitue de :

- Un système d'acquisition qui contient les protocoles de mesures,
- Un résistivimètre qui mesure la résistivité apparente du milieu
- Une batterie de 12 V (chargée),
- câbles pour relier les électrodes au système d'acquisition, avec leurs bobines,
- des électrodes en acier inoxydable,
- Des connecteurs de câbles,
- Ordinateur portable.



Photo 01 : résistivimetre



Photo 02 : système d'acquisition



Photo 03 : électrodes



Photo 04 : batterie



Photo 05 : câble noir



Photo 06 : bobine du câble

b) Protocole de mesure

L'installation des câbles et des électrodes, le long d'un profil, se fait après l'observation du terrain et un temps de réflexion pour essayer de recouper au mieux les accidents géologiques. Il faut ensuite connecter tous les câbles à l'entrée du résistivimètre, lui-même relié à la centrale d'acquisition qui enregistre les résistivités apparentes mesurées. Cet appareil, grâce à une batterie de 12V injecte le courant électrique entre les électrodes A et B et mesure le potentiel électrique entre les électrodes M et N (fig 03). La centrale d'acquisition nous permet de choisir un des dispositifs (Schlumberger, Wenner, Dipôle-dipôle...). Cet appareil contrôle la matrice de relais sur laquelle les câbles sont connectés et toutes les électrodes peuvent jouer, tour à tour, le rôle A, B, M ou N. (fig 03.)

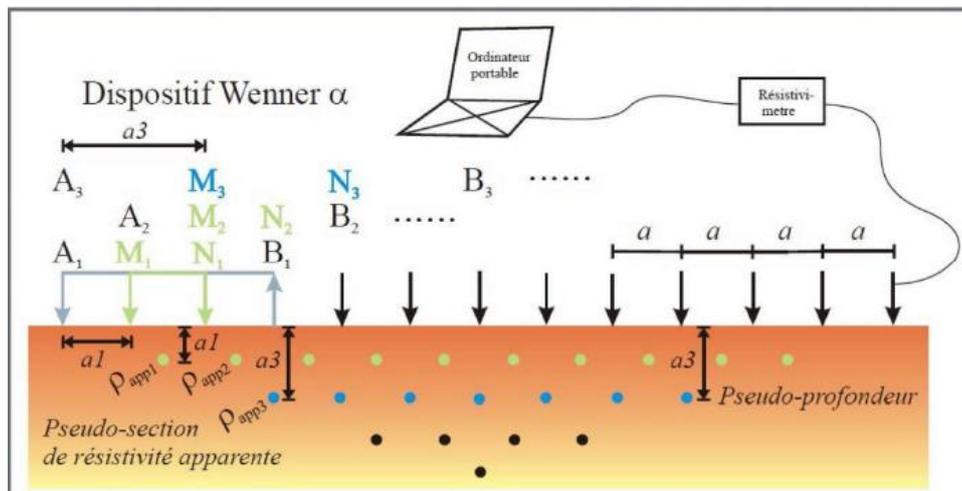


Figure03: Illustration de la technique tomographique

c) Les différentes configurations

Les principales configurations utilisées dans la tomographie électrique sont:

1 : La configuration Schlumberger :

Dans le dispositif Schlumberger, les électrodes de mesure sont immobiles au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection. On obtient ainsi un sondage de la résistivité en profondeur sous le centre du dispositif.

$$L = \frac{\overline{AB}}{2} \quad (11)$$

La géométrie du dispositif est illustrée sur la figure02

$$\rho a = \frac{\pi.L^2-l^2 V}{2l I} \quad (12)$$

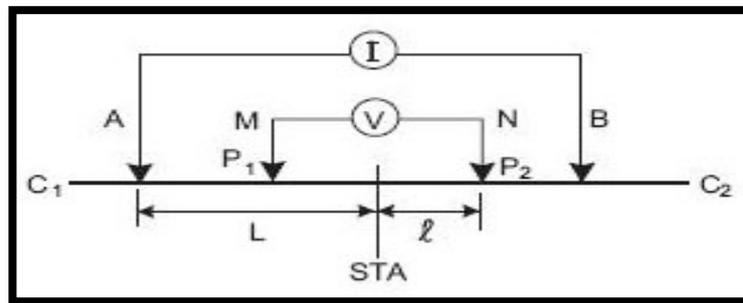


Figure0 2: la géométrie de configuration Schlumberger

2 : La configuration Wenner :

Le dispositif de mesure le plus fréquemment utilisé en tomographie électrique est le dispositif Wenner. Avec ce dispositif, les résistivités apparentes sont moins affectées par les variations latérales superficielles. Pour ce dispositif, l'écartement entre électrodes est constant (distance a) et les électrodes de courant entourent les électrodes de potentiel.

$$a = \overline{AM} = \overline{MN} = \overline{NB} \quad (13)$$

La géométrie du dispositif est illustrée sur la figure

$$\rho a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (14)$$

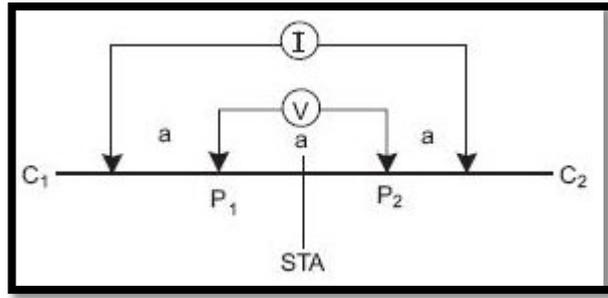


Figure05:La géométrie de configuration wenner

Les autres configurations sont résumées dans le tableau ci-dessous

Tableau N°02 : les différentes configurations

Dipôle-dipôle	A-M-N-B a' l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte)	$AB = MN$ a' l'extérieur du dipôle AB	Projection de la mesure en surface entre les dipôles AB et MN	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre AB et MN
Pôle-dipôle	A-M-N-B a' l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte) et B a' l'extérieur, a l'infini	$AB = MN$ et/ ou $AM > MN$ A a' extérieur du dipôle MN	Projection de la mesure en surface centre du dipôle MN ou entre le centre de MN et A	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre A et MN
Pôle-dipôle réciproque	A-M-N-B a' l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte) et N a' l'extérieur, a l'infini	$AB = BM$ et/ ou $BM > AB$ M a' extérieur du dipôle AB	Projection de la mesure en surface entre M les dipôles AB	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre M et AB
Pôle-pôle	A-M- a' l'intérieur du réseau d'électrodes (câble flûte) puis B et N a' l'extérieur, a l'infini		Projection de la mesure en surface entre A et M	Profondeur d'investigation croit avec l'écart entre A et M

d) *Traitement des données :*

a-*Définition d'une pseudo-section*

La première étape dans l'interprétation des données en tomographie électrique consiste à construire une pseudo-section (fig 06). Celle-ci est obtenue en reportant la valeur de la résistivité apparente mesurée au centre du dispositif et à une profondeur dépendant de l'écartement entre les électrodes.

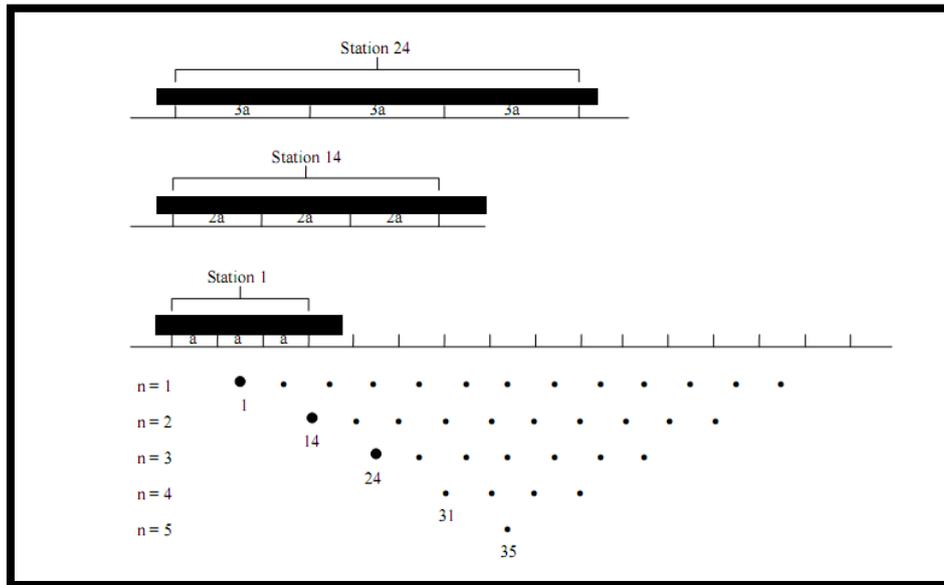


Figure06:Principe de construction d'une pseudo-section pour la configuration Wenner

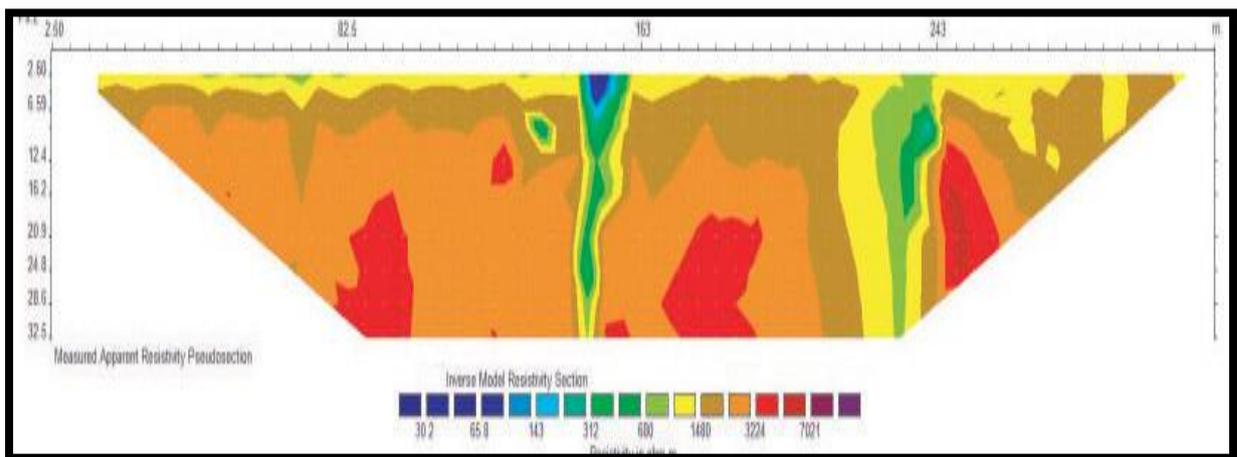


Figure07:Exemple d'une pseudo-section

b- Le modèle d'inversion

Afin d'obtenir une image quantitative représentant les variations de résistivité réelle (et non apparente) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section. Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible.

Toutes les méthodes d'inversion tentent essentiellement de déterminer un modèle de subsurface qui se rapproche au mieux des mesures. Un modèle est une représentation mathématique idéalisée d'une portion de la Terre. Il existe une application mathématique : la méthode des éléments finis ou des différences finies qui permet de passer de l'espace des mesures : la résistivité apparente à l'espace des paramètres physiques du modèle à estimer : la valeur de la résistivité en chaque point de la section.

Le programme d'inversion peut être utilisé pour différentes configurations d'électrodes. Chaque type de configuration a ses avantages et inconvénients. Il faudra donc choisir, à l'aide du logiciel d'inversion, la meilleure configuration en fonction des structures géologiques que l'on cherche à mettre en évidence.

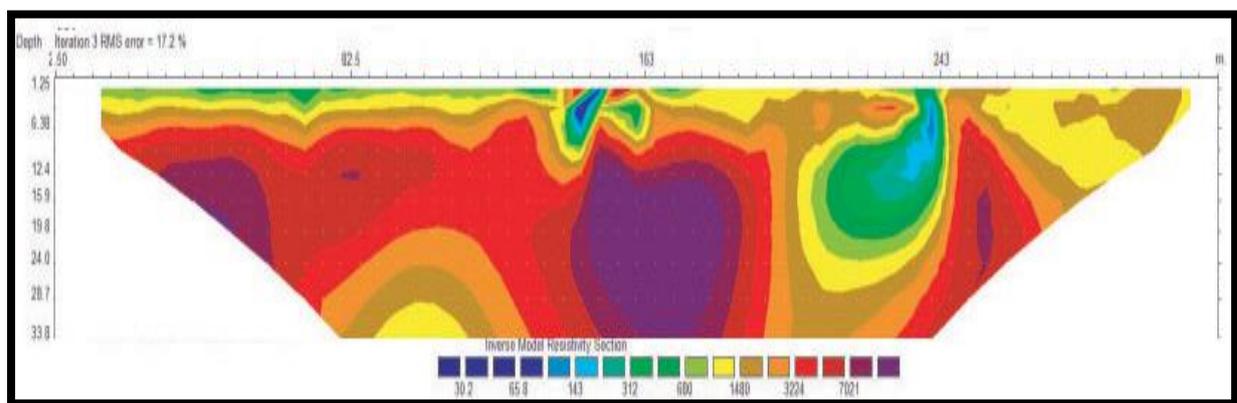


Figure08:Modèle d'inversion

Plusieurs méthodes d'inversion (robuste, moindres carrées, simple ...) sont fournies avec le logiciel et il est conseillé d'en tester plusieurs afin de choisir celle qui correspondra le mieux au terrain. Le logiciel permet de supprimer les "mauvaises" mesures afin qu'elles ne soient pas incluses dans le calcul du modèle. Il existe deux types d'erreurs : systématiques et

aléatoires. Les erreurs systématiques se produisent lorsqu'un problème surgit au cours de l'acquisition des données (problèmes de câbles, mauvais contact entre le sol et les électrodes). Les erreurs aléatoires concernent les paramètres que l'on ne peut pas contrôler (variation diurne, tempête magnétique) et qui sont plus difficiles à mettre en évidence.

c-Pseudo-section calculée

La distribution des résistivités calculées à partir du modèle. Il donne la résistivité apparente que l'on aurait mesurée si l'on avait une distribution de résistivités du sous-sol identique au modèle calculé. On l'appelle la pseudo-section calculée.

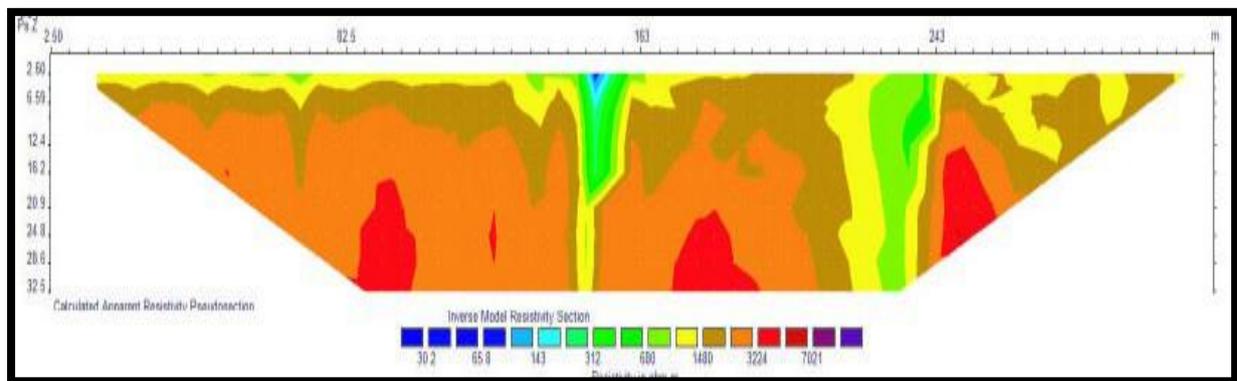


Figure09:carte pseudo-section calculé

Simplement : on fait des mesures de résistivités apparentes, l'inversion des données nous donne une carte de résistivité (le modèle) et si on calcule à partir de ce modèle les résistivités apparentes, on obtient une pseudo-section calculée.

Le logiciel compare ensuite la pseudo-section mesurée et modélisée et fournit un pourcentage d'erreur entre les deux. Il faut choisir le modèle de résistivité de façon à minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et calculée.

Le problème des méthodes d'inversion dans le domaine de la géophysique concerne la non unicité des solutions.

I-4 Conclusion :

- ❖ Les méthodes géophysiques permettent potentiellement d'imager en 2D et 3D la structure des mouvements de terrain, elles présentent les avantages d'être rapide, facile à mettre en œuvre non destructive et de couvrir des zones étendues

CHAPITRE II

II-1 Situation géographique

Le site objet de cette étude est situé au sud ouest de la wilaya d'Alger (fig 10) au lieu dit parc des grands vents où plusieurs instabilités ont été observées. Ce dernier est délimité par :

- L' autoroute (Route nationale n°01), au Nord.
- Le reste du terrain et habitations, à l'Est.
- Le reste du terrain (terrain vague), à l'Ouest.
- Chemin de Wilaya et reste du terrain, au Sud



Figure10: Localisation du site étudié (Google Earth, 2017)

II-2 : Etats de lieux :

Le parc des grands vents a été sujet à différentes formes d'instabilités telles que :

- fissures de traction, très ouvertes sur l'accotement de la route et inclinaison des arbres vers le bas de pente attestant d'un mouvement continu du remblai de la route (fig 11)



Figure 11 : Fissures de tractions sur l'accotement de la route.



Figure 12 : Affaissement important de la chaussée.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- déformation des talus qui se traduit par de grands escarpements (Figure 13)

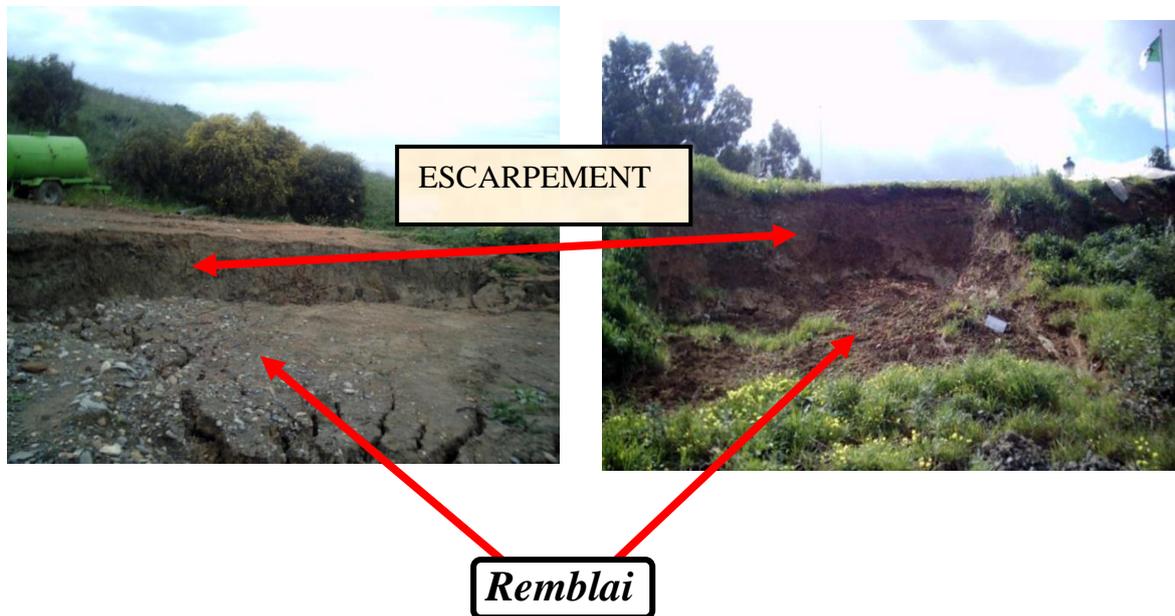


Figure 13 : Arrachement des talus.

-Déplacement et d déformation de la couche du remblai (Figure 14)



Figure 14: Déplacement et d déformation de la couche du remblai

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- rupture des ouvrages de soutènement préexistant (Figure 15 et 16).



Figure 15: Rupture des ouvrages de soutènement

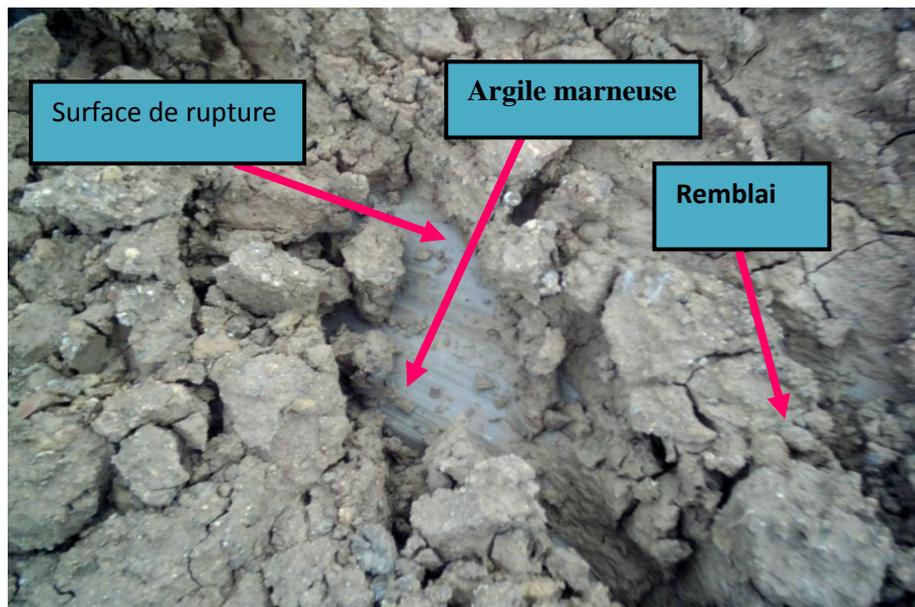


Figure 16 : Les surfaces de ruptures sont tangentes aux formations d'argile marneuse.

- rupture de canalisation (figure 17).



Figure 17 : rupture de canalisation et déversement des eaux pluviales et d'assainissements dans le talus.

II-3 Cadre géologique :

II-3-A. Géologie régionale :

La zone d'étude est située au sud- Ouest d'alger dans le massif ancien (cristallophyllien) de Bouzaréah. Elle appartient au domaine du sahel d'Alger, où les formations géologiques sont essentiellement d'âge Pliocène (fig 18) On y distingue:

_ La marne grise **Plaisancienne**, servant de substratum à toutes les autres formations.

Ce faciès occupe la base de l'étage dont il peut représenter la plus grande épaisseur.

_ La molasse **Astienne** débutant par des marnes-sableuses de couleur jaunâtre, où les fossiles sont abondants ; surmontées par des calcaires gréseux où s'intercalent des lits sableux à argileux; et des grés-sableux.

La molasse est surmontée par son produit d'altération constitué de limons brunâtres à rougeâtres, sable argileux ou argile limoneuse rougeâtre du **Villafranchien**. (fig 18)

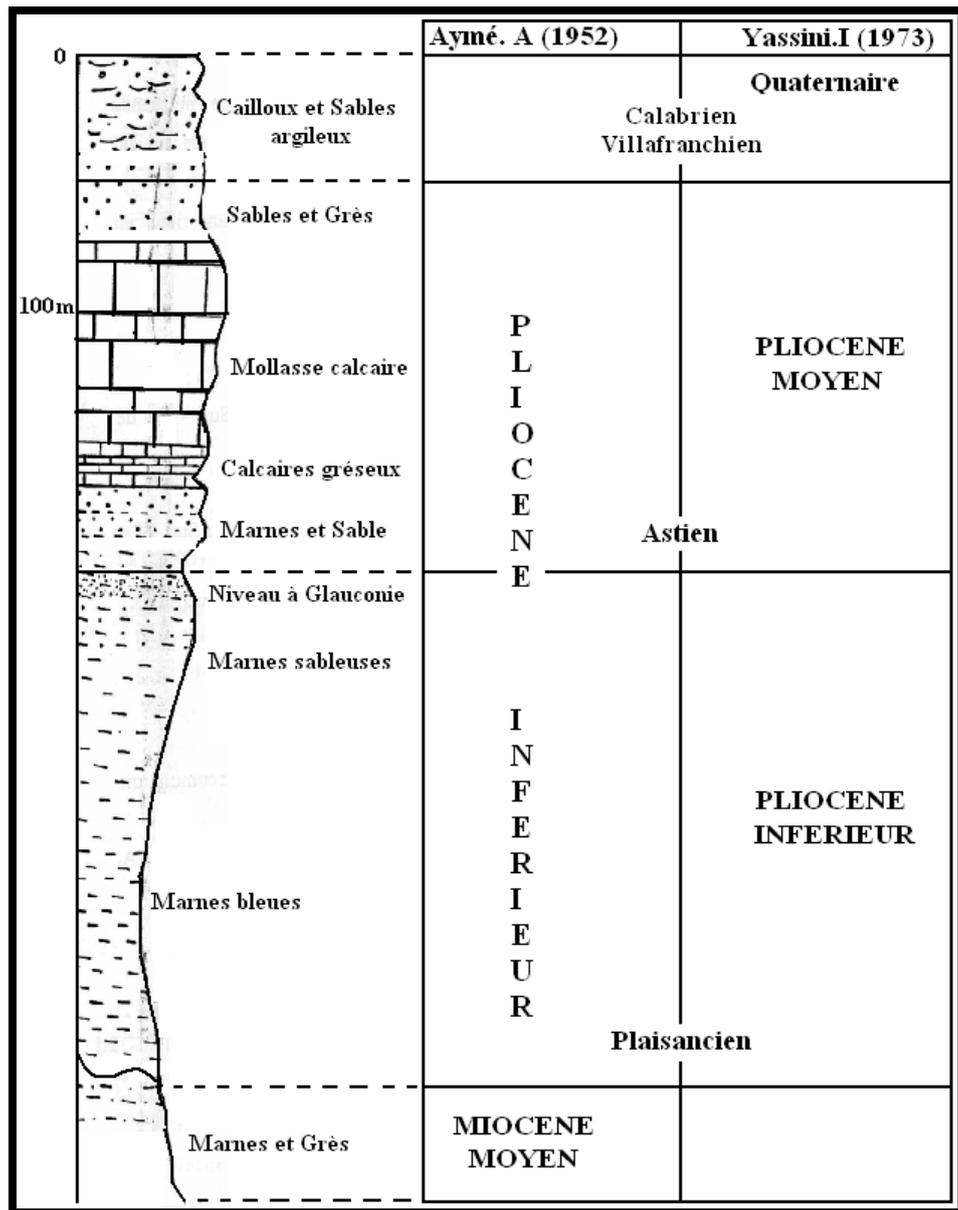


Figure18 : Le pliocène de la région d'Alger (Y.Djediati, 1996).

II-3-B. Géologie locale :

La région d'étude est constituée principalement par des formations marneuses d'âge Plaisancienne (Glangeand et Al 1952). Les marnes plaisanciennes sont massives. Elles ont une puissance de plus de 200 mètres. Elles sont recouvertes par des dépôts récents par endroits et elles sont parfois sableuses. Elles ont une couleur gris bleu. En profondeur la marne est saine. Elle se présente comme une roche compacte indurée, surmontée par une zone

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

décompressée, fissurée et légèrement altérée. Cette zone intermédiaire peut atteindre les 8.0 mètres. Les marnes altérées présentent un aspect terreux à la cassure, une grande porosité liée à leur remaniement et perdent toute cohésion en présence d'eau (*Bougdel, 2007*).

Les glissements de terrains se produisent dans les niveaux plaisanciens franchement marneux altérés, lorsque les pentes égalent ou dépassent 10%, ils sont du type fluage et sont reconnaissables à leur morphologie.

Dans les zones où elles affleurent, Prés de la surface, la marne est très altérée, de couleur gris à jaune-gris et verdâtre, t souvent bariolée à cassure franchement terreuse. L'épaisseur de cette couche varie suivant l'intensité de l'altération et l'importance de la déclivité des versants. Dans les fortes pentes, les marnes altérées ne peuvent pas se développer. Très souvent, les marnes sont recouvertes par de la terre végétale ou du remblai (*Derriche et Cheikh Lounis, 2004*)

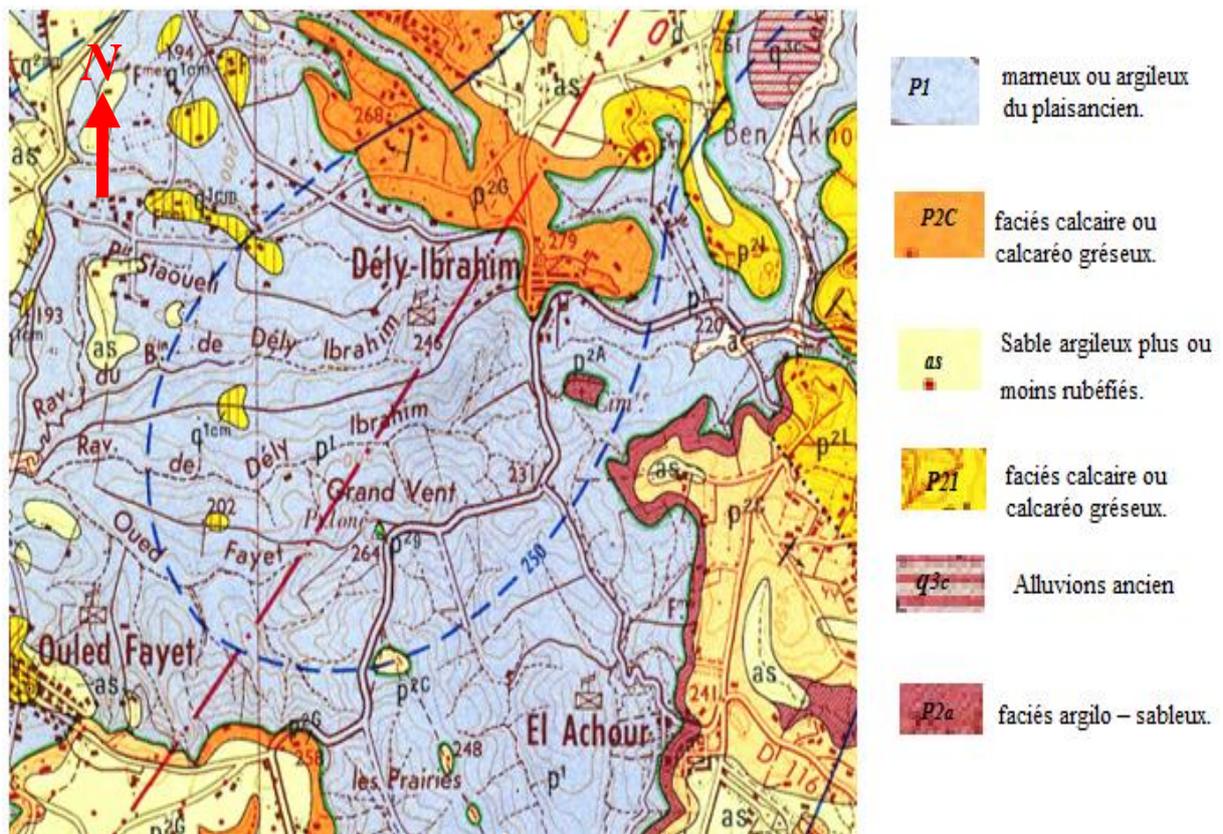


Figure 19: Carte géologique de la région d'étude (extrait de la carte géologique de chéraga 1/50000)

II-4 Aperçu hydrogéologique :

Dans la région d'Alger, on distingue deux principaux réservoirs aquifères :

1. **L'aquifer Astien** : dont le mur est constitué par les marnes plaisanciennes qui s'étendent sous le majeure partie du bassin.

Les principales caractéristiques de cet aquifère sont :

- Une grande surface d'affleurement et de large épaisseur qui varie de 100 à 130 m ;
- Une forte perméabilité ;
- Une recharge assez régulière assurée par la forte pluviométrie.

2. **L'aquifère Alluvial quaternaire** :

Il est formé principalement par des alluvions récentes, qui passent latéralement aux sables rouges, constitués par le produit d'altération astiens, un certain nombre de puits traditionnels captent ces formations. (*H.Askri et al. 1982*).

II-5 Aperçu hydrologique :

Les cours d'eau, nés dans l'atlas, traversent la plaine du nord au sud, et franchissent l'obstacle du sahel par des cluses (vallées) ces cluses au nombre de Cinq, assurent le drainage de la plaine, et qui sont d'ouest en est : (*H.Askri et al, 1982*).

- Oued nador
- Oued mazafran
- Oued El-harrache
- Oued El-Hamiz
- Oued Rghaia

La perturbation des précipitations sur la région d'Alger a engendré un régime hydrographique irrégulier. Durant l'été, les lits d'oued sont à sec, par contre, la période pluvieuse favorise un écoulement et un transport de sédiments, les crues de ces oueds provoquent parfois des inondations.

II-6 Aperçu climatologique :

La région d'Alger possède un climat méditerranéen tempéré marqué par une période pluvieuse et une période sèche. La température moyenne varie entre 5°C enregistré en décembre et 35°C en aout, l'humidité relative varie en moyenne de 75% en hiver à 60% en été (*Derriche et Cheikh Lounis, 2004*)

L'analyse pluviométrique obtenue à partir des données collectés au niveau de l'ANRH et qui s'étale sur une période allant de 2001 à 2011, montre que la période humide s'étale du mois d'**Octobre au mois de Mai**, par contre la période allant de **Juin à Septembre** est la moins pluvieuse. La faible pluviosité est enregistrée dans le mois de **Juillet** avec une pluviométrie égale à (2.01) (tab 03)

Tableau 03 : Données pluviométriques de la station ANRH

Précipitation mensuels Moyennes (mm)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
	30.24	24.15	21.7	24.71	25	3.73
	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	2.01	12.4	17.29	23.99	46.28	33.34

D'après les données de précipitations de l'année 2011, la plus forte pluviosité est enregistrée durant le mois de **Novembre** avec une valeur de 222.5 mm (fig20).

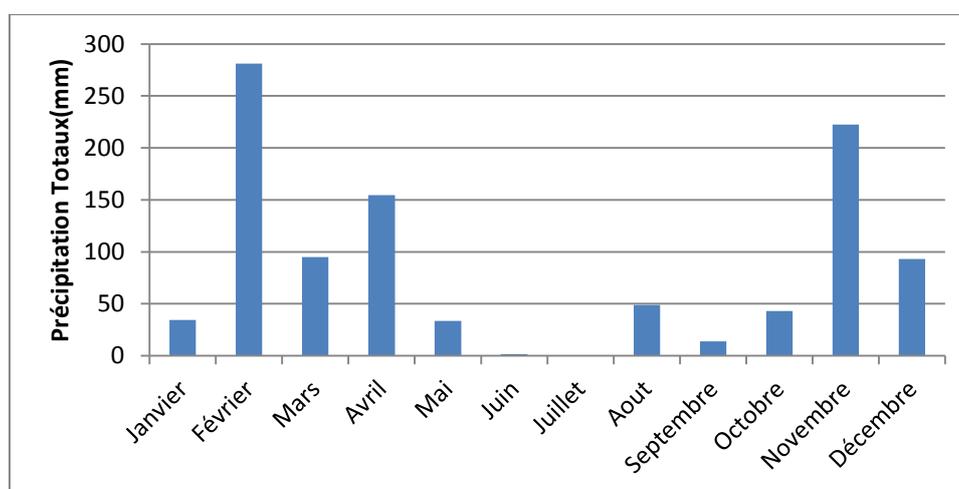


Figure 20 : Histogramme des données pluviométrique de l'année (2011)

II-7 Aperçu sismique:

Le Nord d'Algérie est connu par ses activités sismiques, le paramètre sismique est un facteur déterminant dans le calcul des structures à long terme, de ce fait, la sismicité de la zone objet d'étude est déterminée en se référant aux règles parasismiques algériennes (RPA, 2003).

D'après la carte de zonage sismique (fig21), la région d'Alger appartient à la **Zone IIIA** (sismicité élevée).

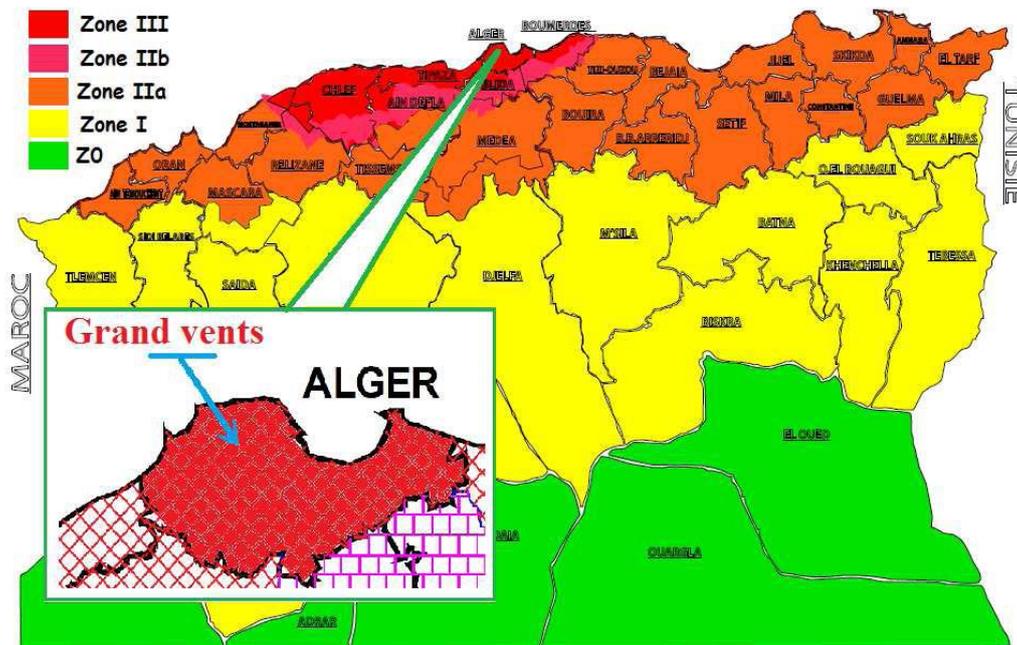


Figure 21: Carte des zones sismiques de l'Algérie selon RPA99/version 2003.

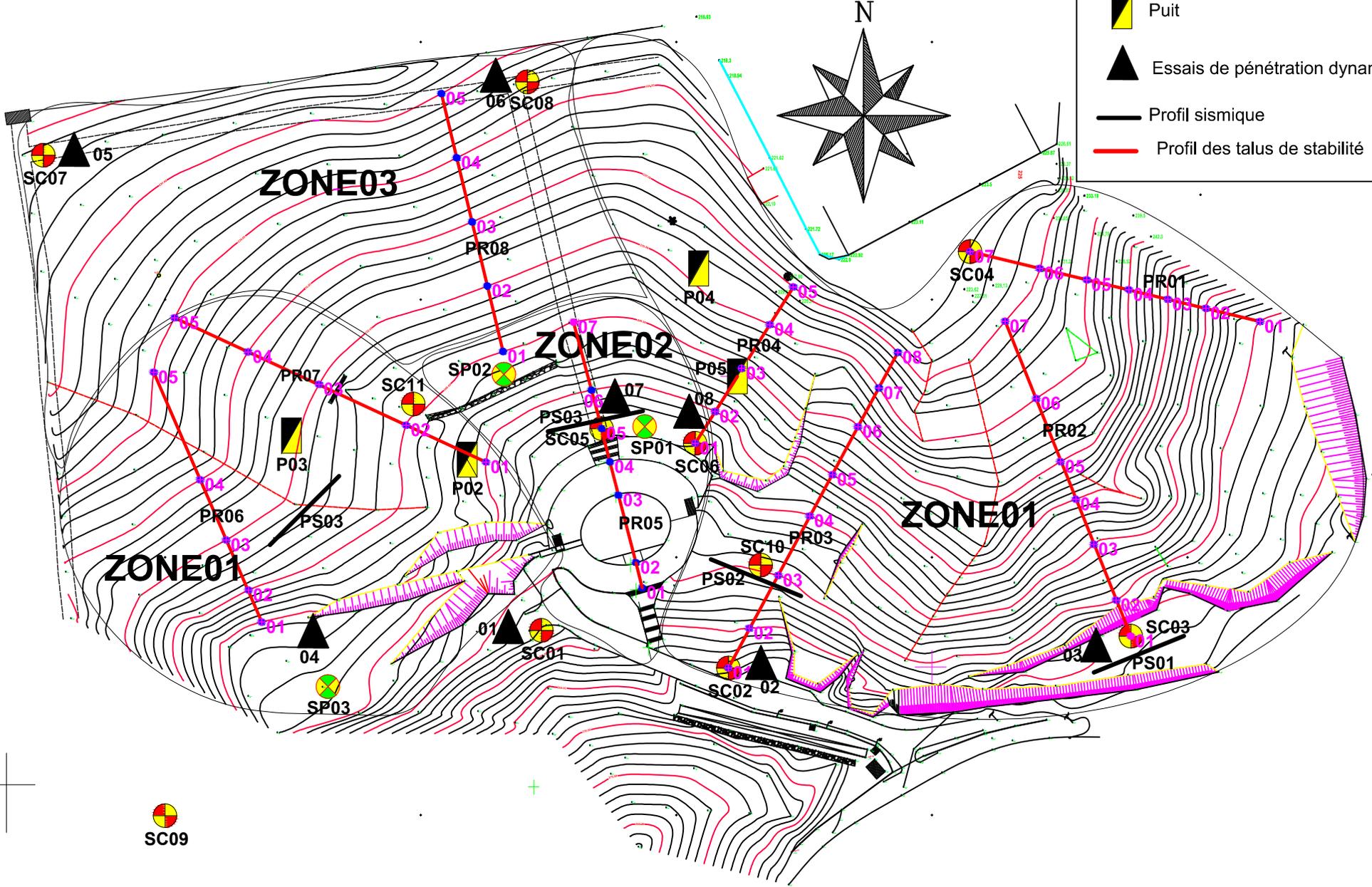
II-8 Aperçu géotechnique :

Les données utilisées dans cette étude proviennent des compagnes de reconnaissances géotechniques réalisées par le laboratoire d'habitat et de construction au niveau du parc des grands vents; suite aux désordres causés par les glissements de terrain (fig 22)

Plan d'implantation des essais IN-SITU

Légende

-  Sondage corotté
-  Sondage pressiométrique
-  Puit
-  Essais de pénétration dynamique
-  Profil sismique
-  Profil des talus de stabilité



Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Des échantillons ont été prélevés de différents sondages et à différentes profondeurs et qui ont fait l'objet d'analyse au laboratoire.

Des essais in situ au pénétromètre dynamique et pressiomètre ont été réalisés sur site afin d'évaluer la qualité des terrains traversés.

A/ Sondages carottés

L'analyse des différentes coupes stratigraphiques a permis de mettre en évidence des formations argilo-marneuses compactes en profondeur, surmontées par des argiles marneuses altérées, friables et de couleur beige à grisâtre, recouvertes par endroits par une couche de remblai d'épaisseur allant jusqu'à 2.5 m.

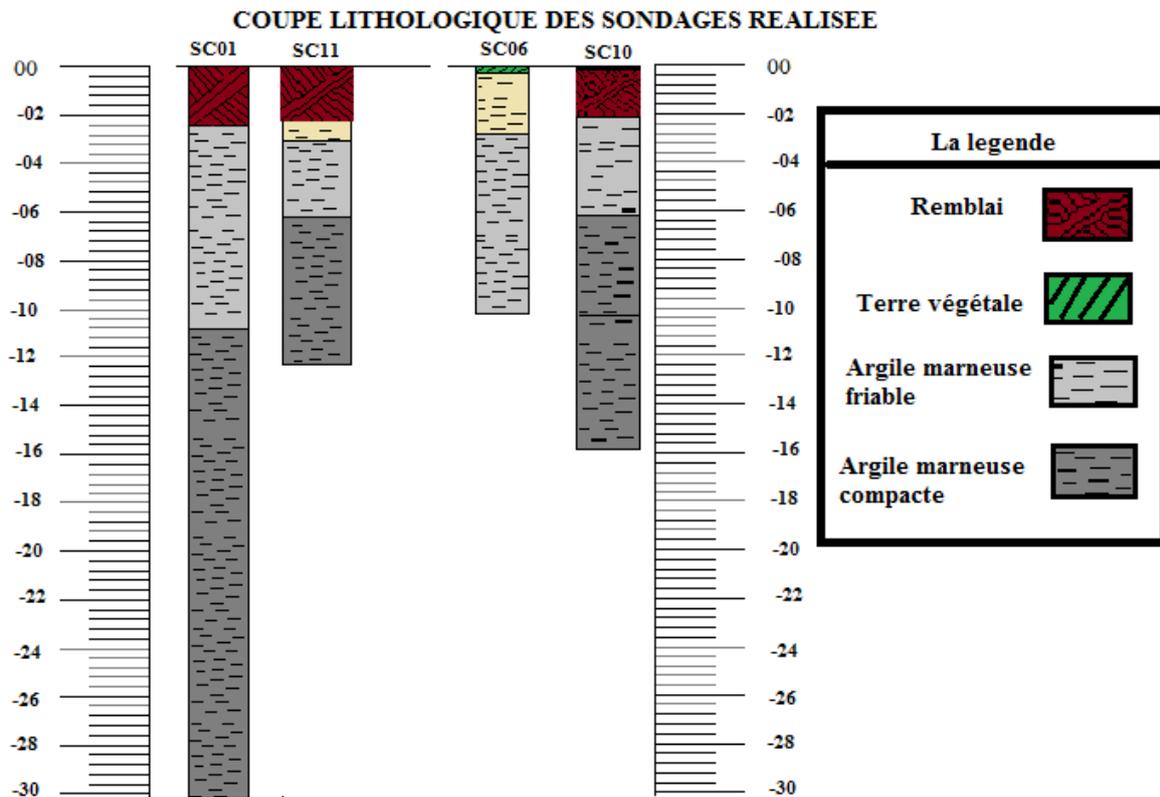


Figure 23: coupe lithologique à partir des sondages carottés

A l'aide des logs des sondages réalisés au niveau de la zone, on a établie une coupe géotechnique typique des terrains en place. (fig24)

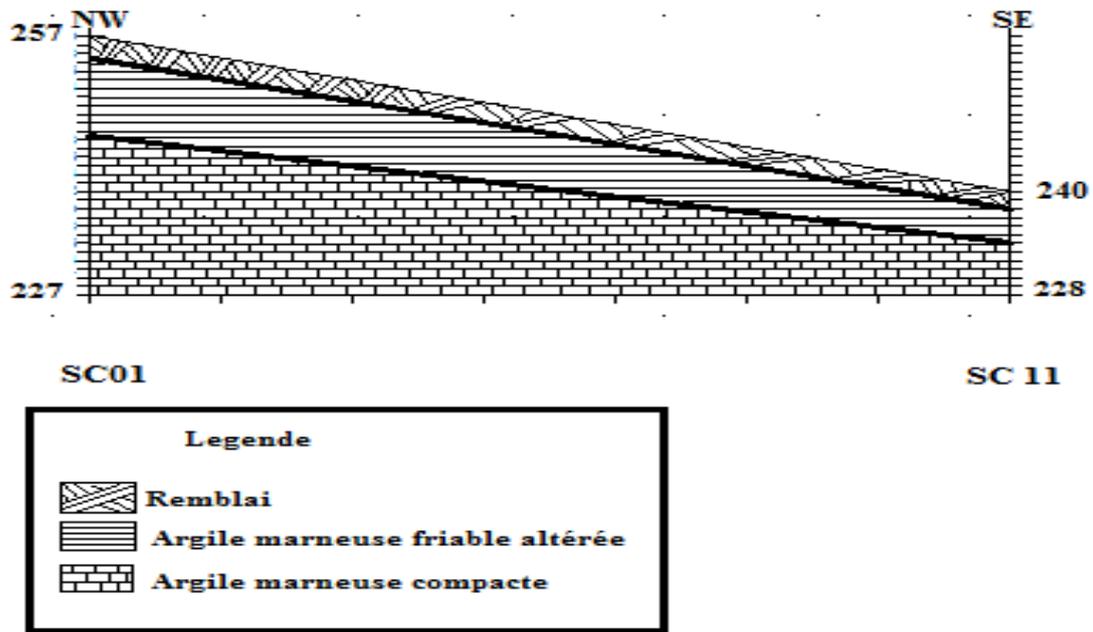


Figure24 : Coupe géotechnique

B/ Résultats d'essai au laboratoire :

1-L'analyse granulométrique

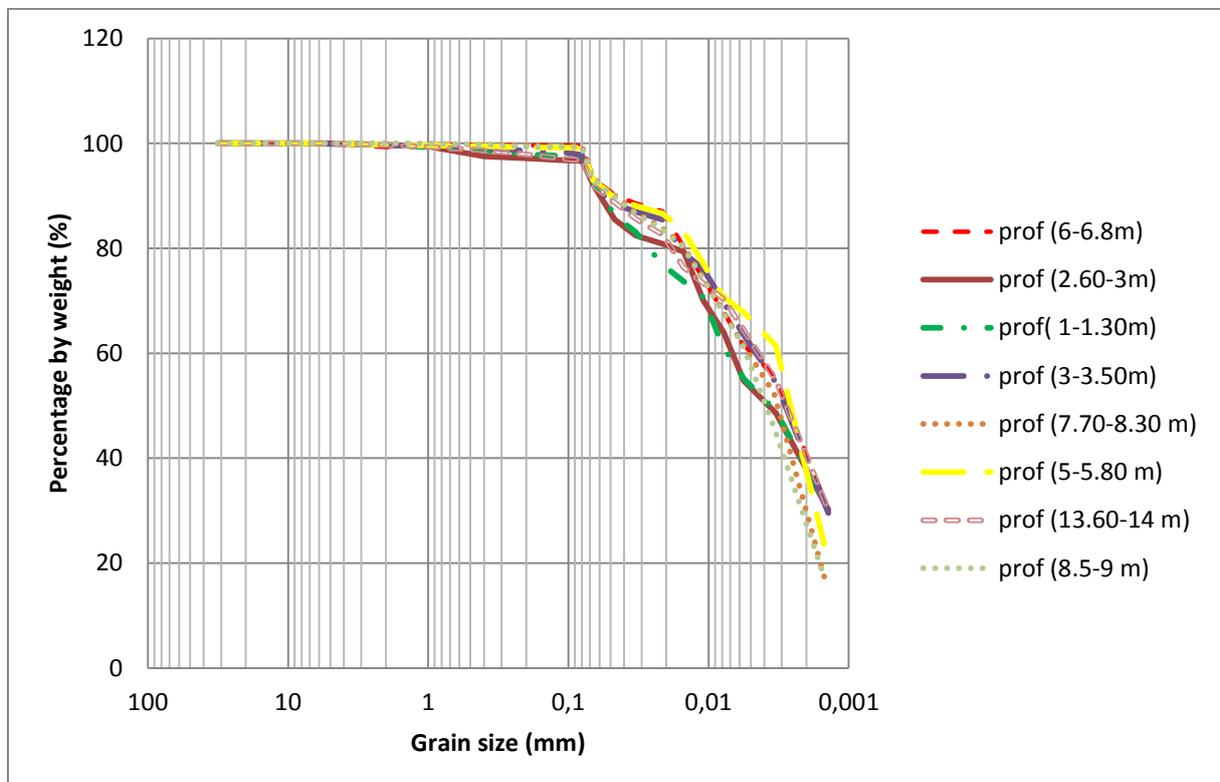


Figure25 : courbe granulométrique

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent que le sol étudié est un sol fin, le pourcentage des particules dont les dimensions sont inférieures à $80 \mu m$ varie de 97% à 99%

2-La densité :

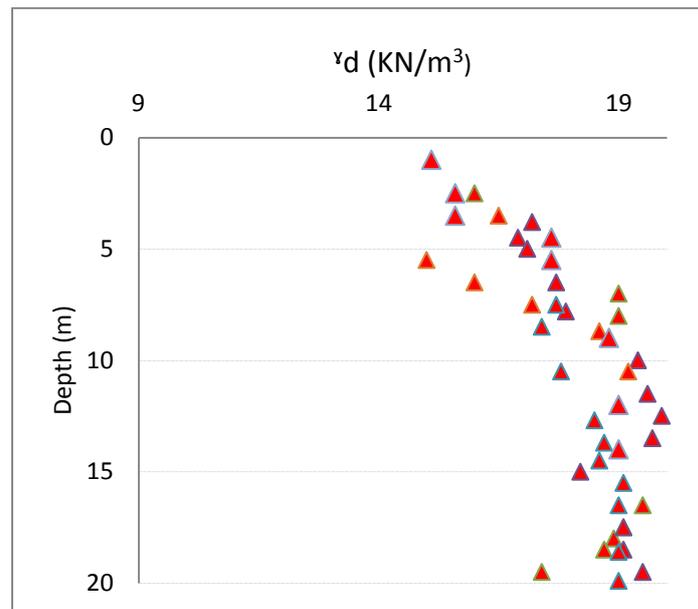


Figure 26: courbe de variation de densité sèche

La figure 26 représente la variation de la densité sèche en fonction de la profondeur. On constate que la densité augmente avec la profondeur. Ceci permet de conclure que les formations en surface sont moins compactes que celles en profondeur, ceci est dû principalement à l'altération qui touche les couches superficielles.

3-La teneur en eau :

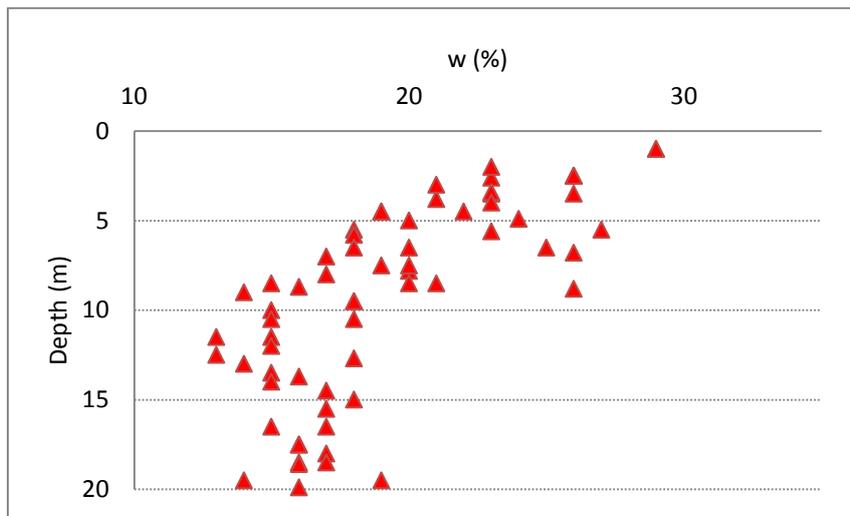


Figure 27: courbe de variation de teneur en eau

La teneur en eau représenté dans la figure 27 montre que les couches superficielles (0-10 m) caractérisées par des teneurs élevées en eau, qui tend à diminuer en profondeur.

4-Limite d'Atterberg :

A : Limite de liquidité :

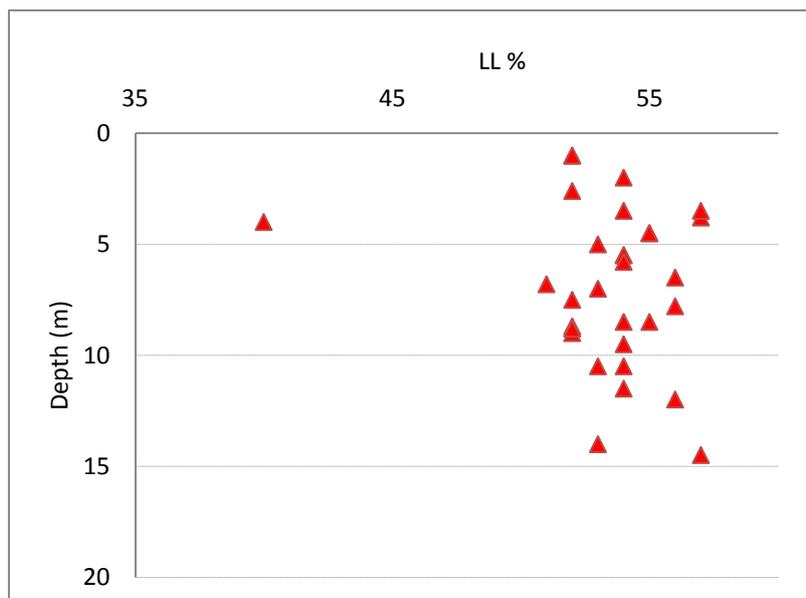


Figure 28 : courbe de limite de liquidité

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

La courbe représente les limites de liquidité des échantillons qui montre que les limites de liquidité varie peut avec la profondeur.

B : L'indice de plasticité :

La courbe au-dessous représente la variation de l'indice de plasticité en fonction de la profondeur montre que les échantillons presque ont les même indice de plasticité (observé entre 20 et 30%)

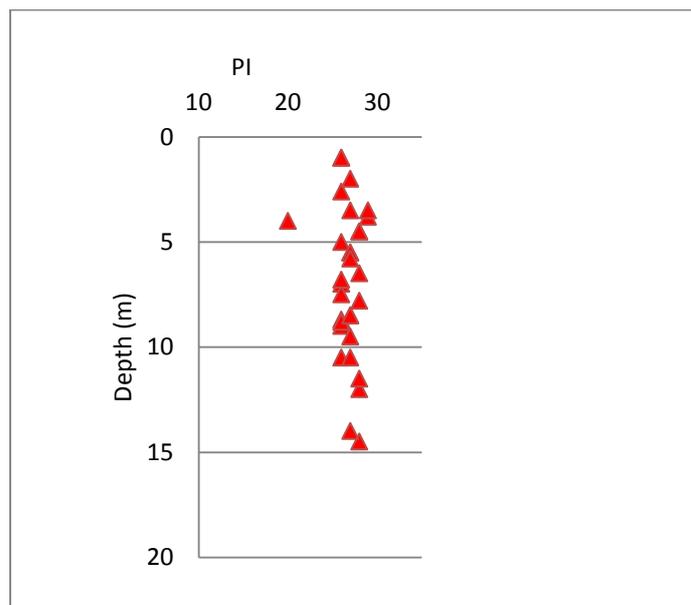


Figure29 : courbe d'indice de plasticité

Les résultats obtenus ont permis de classer les sols dans l'abaque de plasticité de casagrande (fig30)

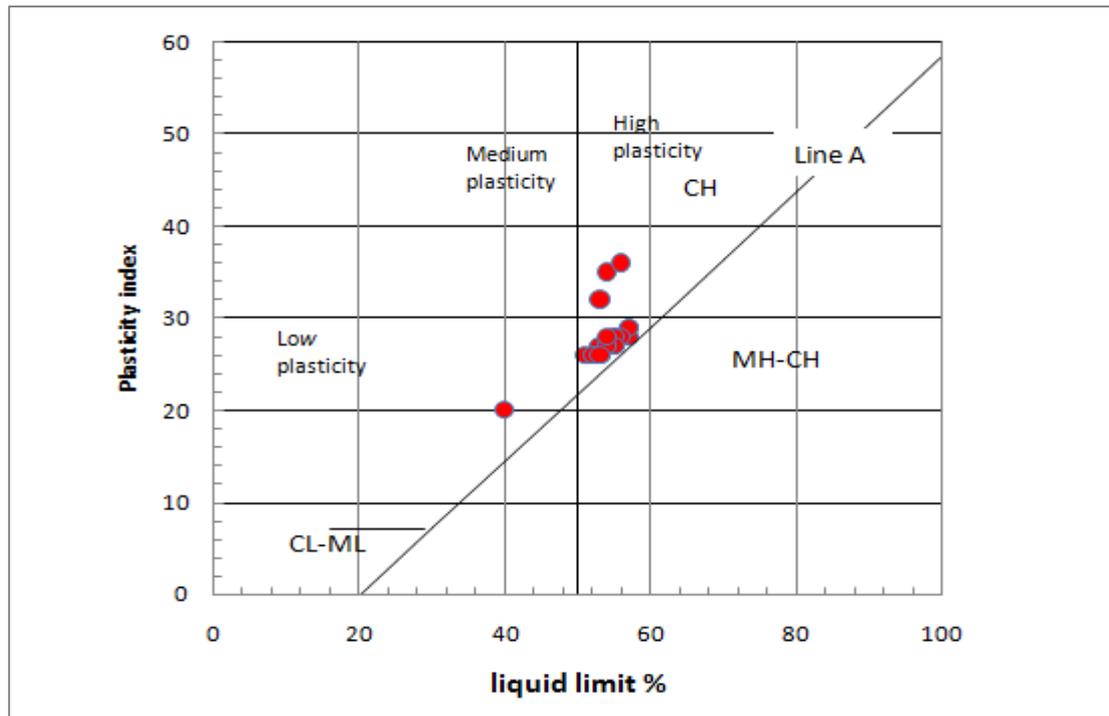


Figure30 : Abaque de Casagrande

On remarque que les points représentatifs se regroupent principalement au-dessus de la ligne A, ce qui montre que le sol est une argile très plastique.

C) Résultats d'essai in-situ

A-Essais de pénétration dynamique

L'essai de pénétration dynamique est un essai géotechnique qui teste le terrain en place et fournit une caractéristique du sol dénommée résistance dynamique. Il consiste à mesurer l'enfoncement d'une pointe soumise à une énergie de battage.

L'essai de pénétration dynamique permet d'apprécier :

- La succession de différentes couches de terrain.
- L'homogénéité d'une couche ou présence d'anomalies.
- La position d'une couche résistante.

Les résultats obtenus par cet essai sont résumés dans le tableau et figure 31 :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau 04 : résultats des essais de pénétration dynamique

Numéro de l'essai de pénétration dynamique	Profondeur du refus (m)	Valeur min de résistance en pointe (bars)	Valeur max de résistance de pointe (bars)
Essai N° 01	Sans refus	09	500
Essai N° 02	10.8	36	500
Essai N° 03	6.8	09	135
Essai N° 04	13	10	500
Essai N° 05	13.4	19	500
Essai N° 06	Sans refus	09	226
Essai N° 07	Sans refus	09	265
Essai N° 08	Sans refus	10	245

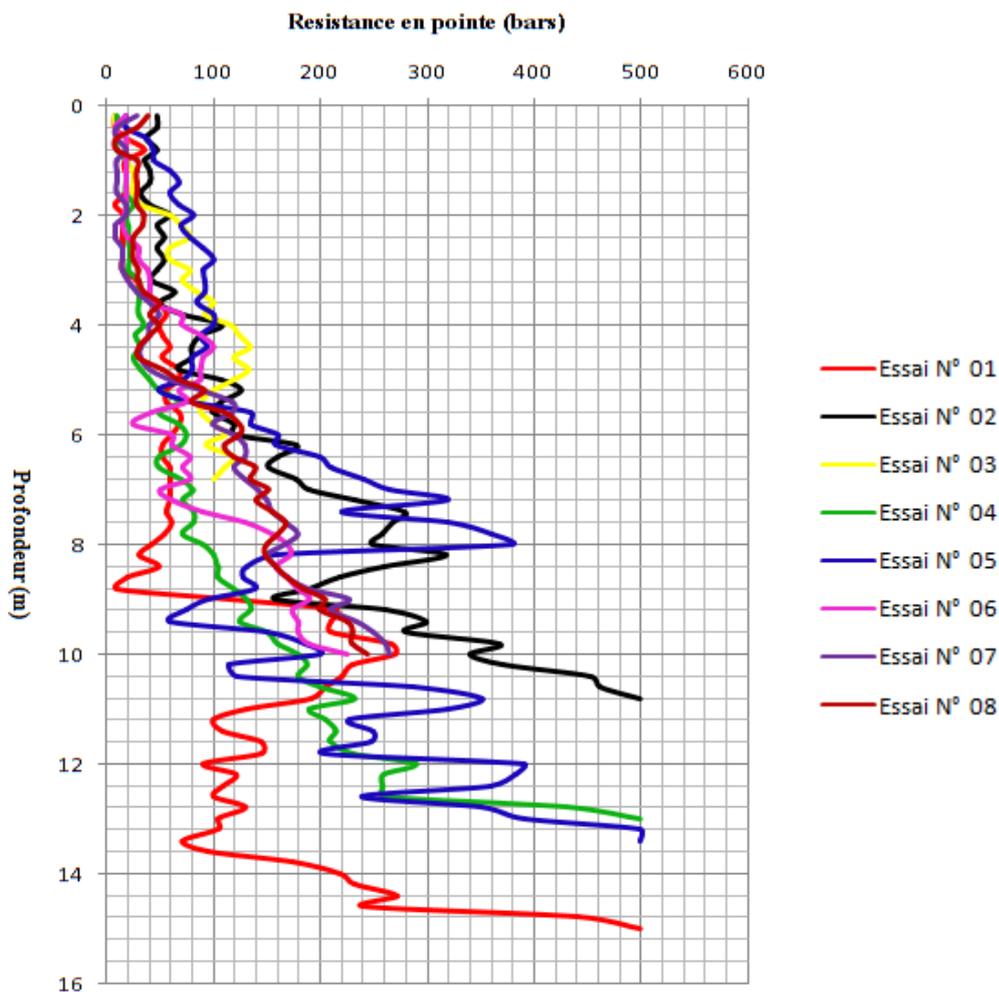


Figure31 : variation de la résistance de pointe avec la profondeur

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Les valeurs de la résistance de pointe montre que :

Les très faible résistance de pointe (de 5 à 20 bars) sont observés dans les couches superficielles allant de 0- 2,5 m qui correspondent à la terre végétale ou remblai

Apartir de 03- 10 m ,on enregistre des valeurs de la resistance de pointe allant de 20 à 150 bars qui correspondent probablement a un argile marneuse altérée.

Les fortes resistance de pointe (supérieure à 150bars). Elles correspondent la marne compacte, sont enregistrée au dela de 10 m

La faible résistance en pointe varie entre 20 à 150 bars observé dans le profondeur de 3 à 10 m correspond probablement l'argile marneuse altérée friable

B.Sondages pressiométrique

L'essai pressiométrique est un essai de chargement du sol en place .Il consiste à dilater radialement au sein de sol une sonde cylindrique et à déterminer la relation entre la pression imposée et le déplacement de la paroi de la sonde.

Cet essai permet de déterminer à différents niveaux les paramètres suivants :

- P_l : pression limite.
- E_p : module pressiométrique.

Il permet aussi de :

- D'apprécier la succession des couches de sol et éventuellement leur nature.
- De définir l'aptitude des terrains à recevoir certain type de constructions et d'orienter le choix des fondations d'ouvrages.
- De dimensionner les fondations.

D'évaluer les déplacements des structures en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises.

La lithologie de deux sondages (pressiométrique) effectués est résumée dans le tableau suivant :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau 05 Lithologie des sondages pressiométrique

N° du sondage	Profondeurs	Descriptions du sol
SP01	0.0-9.0 m	Argile marneuse grisâtre altérée.
	9.0-15.0 m	Argile marneuse compacte grisâtre.
SP02	0.0-9.0 m	Argile marneuse grisâtre altérée.
	9.0-15.0 m	Argile marneuse compacte grisâtre.
SP03	0.0-6.0 m	Argile marneuse grisâtre altérée peu graveleuse.
	6.0-15.0 m	Argile marneuse compacte grisâtre.

Les résultats des paramètres pressiométrique sont résumés dans le tableau suivant

Tableau06 : Résultats des paramètres pressiométrique

Sondage	Pl (bars)	Ep (bars)	\bar{Pl} (bars)	\bar{Ep} (bars)	\bar{Ep} / \bar{Pl}	Etat de consolidation
SP01	7.46-35.99	98.37-726.15	12.33	196.88	15.97	Surconsolidé
SP02	5.35-36.8	152.57-1085.43	20.27	509.49	25.14	Surconsolidé
SP03	11.12-26.12	163.79-1870.17	28.0	415.33	14.83	Surconsolidé

II-9 Conclusion :

Le site étudié est formé principalement par des formations marneuses altérées en surface mise en évidence par les essais in situ.

En générale les essais géotechniques montrent que le sol est homogène. que les variation dans les différents paramètres sont dues essentiellement à l'altération

Chapitre III

III-1 Introduction :

La variation de la Lithologie joue un rôle majeur dans le déclenchement des glissements de terrain, mais cet effet peut rester inaperçu en raison de la faible couverture spatiale au cours des campagnes de reconnaissance géotechniques (*Bièvre et al 2016*). La technique de la résistivité électrique en 2D a fait ses preuves dans l'imagerie de nombreux types de mouvements de terrain. Elle permet de détecter les surfaces de glissement (*Chunling.and al, 2014*).

III-2 Prospection géophysique du site :

Dans le but de caractériser les glissements de terrain observés dans le Parc des grands vents et comprendre leurs mécanismes internes de déformation et de rupture, une campagne de reconnaissance géophysique à l'aide de la tomographie électrique a été effectuée par le laboratoire Nationale de l'Habitat et de Construction dont les résultats ont fait l'objet de cette analyse.

III-2-1 Investigation par tomographie électrique :

En Mai 2011, quatre (04) profils d'imagerie électrique ont été réalisés au niveau du parc des grands vents (parc Dounia)

03 profils ont été exécutés dans la direction de la pente, et un quatrième perpendiculaire au plan de glissement (fig 32).

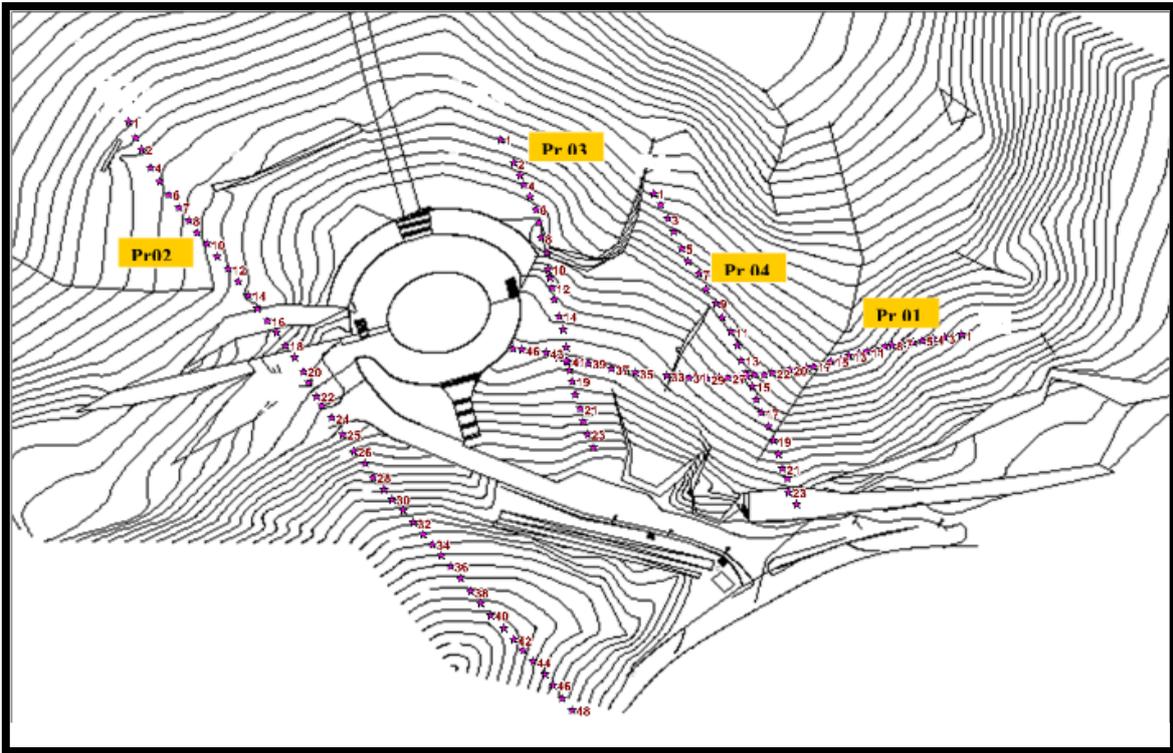


Figure32 : levé topographique de la zone d'étude montrent les profils réalisées

III-2-2 Principe et mise en œuvre:

a) Instruments de mesure

Les mesures ont été effectuées par le dispositif suivant (fig 33):

- Un Résistivimètre de type ABEM muni d'un ordinateur interne de haute résolution, Un convertisseur de courant,
- quarante-huit (48) électrodes d'injection et de réception de courant, relié avec le résistivimètre et le convertisseur à l'aide d'une flûte et des pinces appropriées .

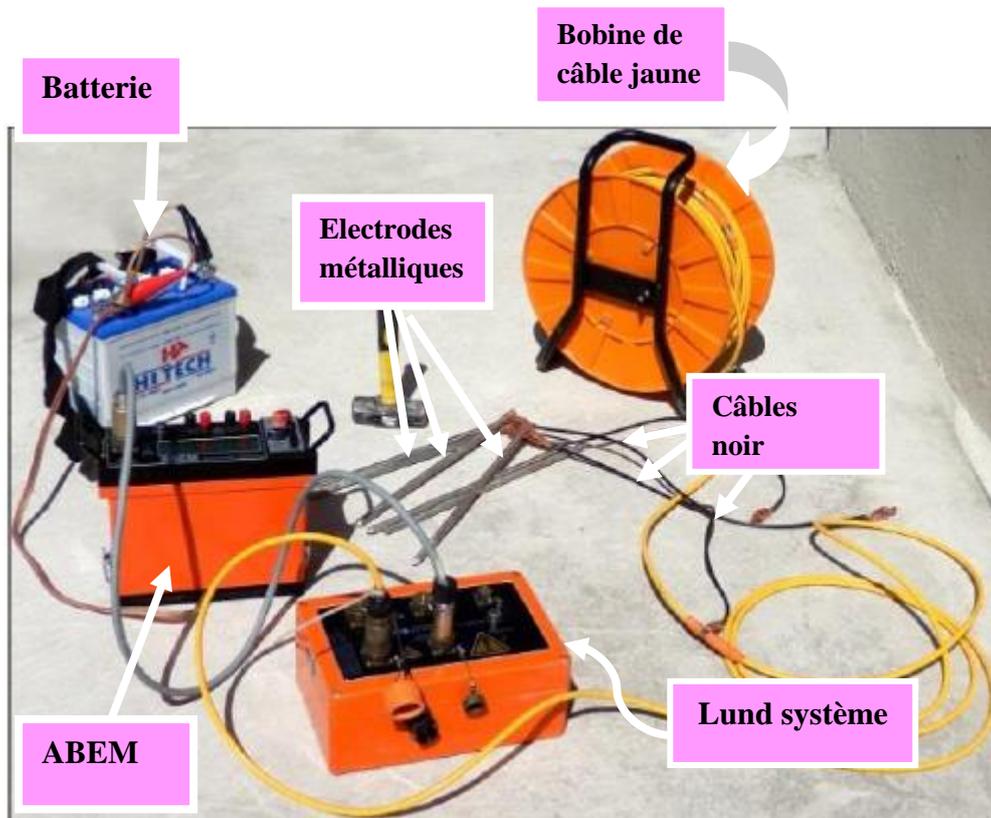


Figure 33: instrument de mesure de résistivité électrique

b) Acquisition des données :

Les données de résistivités électriques ont été acquises le long de 04 profils :

- 01 profil transversal : le profil 01 a été placé perpendiculairement au sens de la pente,
- 03 profils longitudinaux parallèles à la pente.

L'acquisition des données de résistivité électrique a été réalisée en mode wenner pour les quatre profils, les valeurs de la résistivité électrique apparente sont représentées en fonction de la distance le long de la ligne de levé ; et de la longueur totale de la configuration. Cette représentation est appelée pseudo-section (fig34).

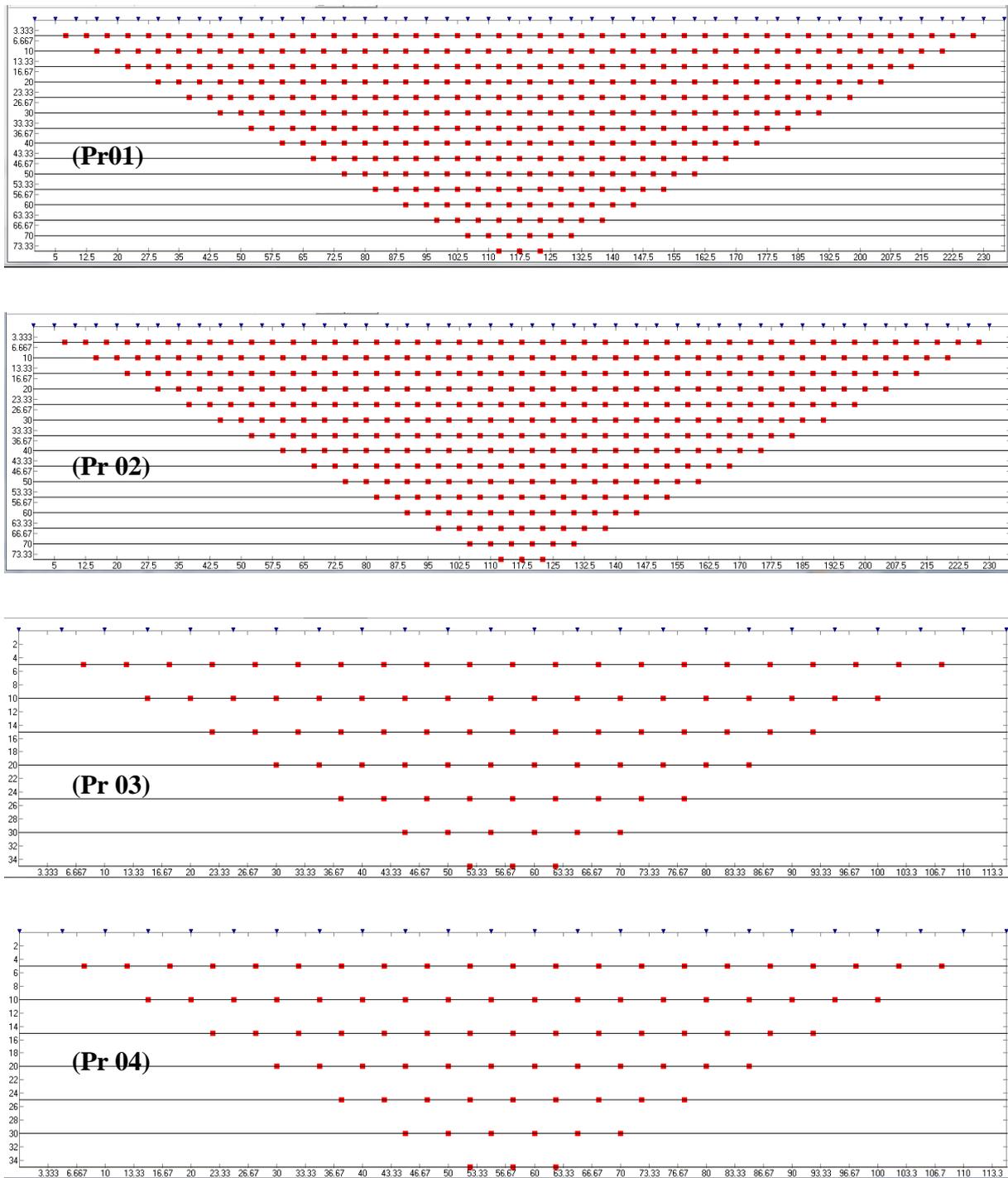


Figure 34 : les pseudo-sections du profil

Tableau 07 : description des quatre profils réalisés sur site

Profile	Longueur de profile (m)	Nombres d'électrode	Nombre des mesures	Profondeur d'investigation (m)	Espacement
Profile 01	235	48	360	75	05
Profile 02	235	48	360	75	05
Profile 03	115	24	84	35	05
Profile 04	115	24	84	35	05

III-2-3 Traitement des données :

Les valeurs obtenues sur le terrain sont des résistivités apparentes relatives à un certain volume de sous-sol, à partir desquelles on détermine les résistivités vrais du terrain à l'aide du logiciel RES2DINV de Loke et Barker (1996). Ce programme est basé sur une méthode d'optimisation par moindres carrés généralisés.

1) Concept d'inversion :

L'inversion est une méthode itérative automatique qui peut fournir un modèle de la résistivité électrique réelle afin de placer les structures à une profondeur adéquate. Afin d'obtenir une image représentant les distributions spatiales de la résistivité réelle (et non plus apparente) en fonction de la profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section. Cette inversion est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée et une pseudo-section calculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une corrélation acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible.

Le modèle 2-D utilisé par le programme RES2DINV est constitué de blocs dont la répartition et la taille sont définies par la distribution des données de la pseudo-section qui elle-même dépend de la configuration des électrodes (fig34).

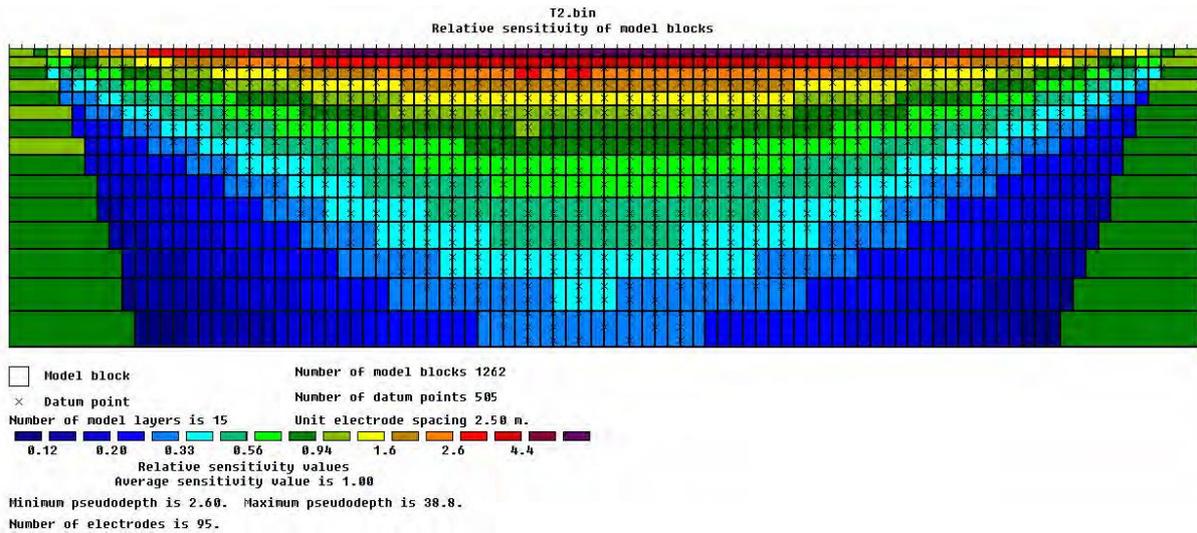


Figure 35 : distribution des blocs utilisés dans la modélisation □ et points de mesure × (J.Poton)

2) Qualité du modèle (RMS) :

A chaque pseudo-section de résistivités calculées est associée une valeur RMS.

Le processus d'inversion du programme essaie de réduire la différence entre les valeurs résistivités apparentes mesurées et les résistivités apparentes calculées par le programme en ajustant les valeurs de résistivités associée à chaque bloc du modèle de résistivité vraie. La mesure de cette différence est donnée par le facteur d'erreur appelé RMS (Root-Mean-Squared). On considère qu'un modèle ayant une RMS inférieure à 3 est acceptable.

Dans notre cas d'étude le RMS obtenue (tab 08) est inférieure à 03 pour les trois profils 01,02 et 04. Qui en peut considère comme satisfaisante.

Tableau 08 : recap

Profile	Nombre d'itération	RMS erreur
Profile 01	05	2,8
Profile 02	05	2,8
Profile 03	05	3,3
Profile 04	05	1,9

III-3 Résultats et Discussion:

Les résultats de l'inversion sont donnés sous forme de pseudo-section (fig36). A partir de ces dernières, on peut déduire la variation de la résistivité dans les différentes couches constituantes le sous sol.

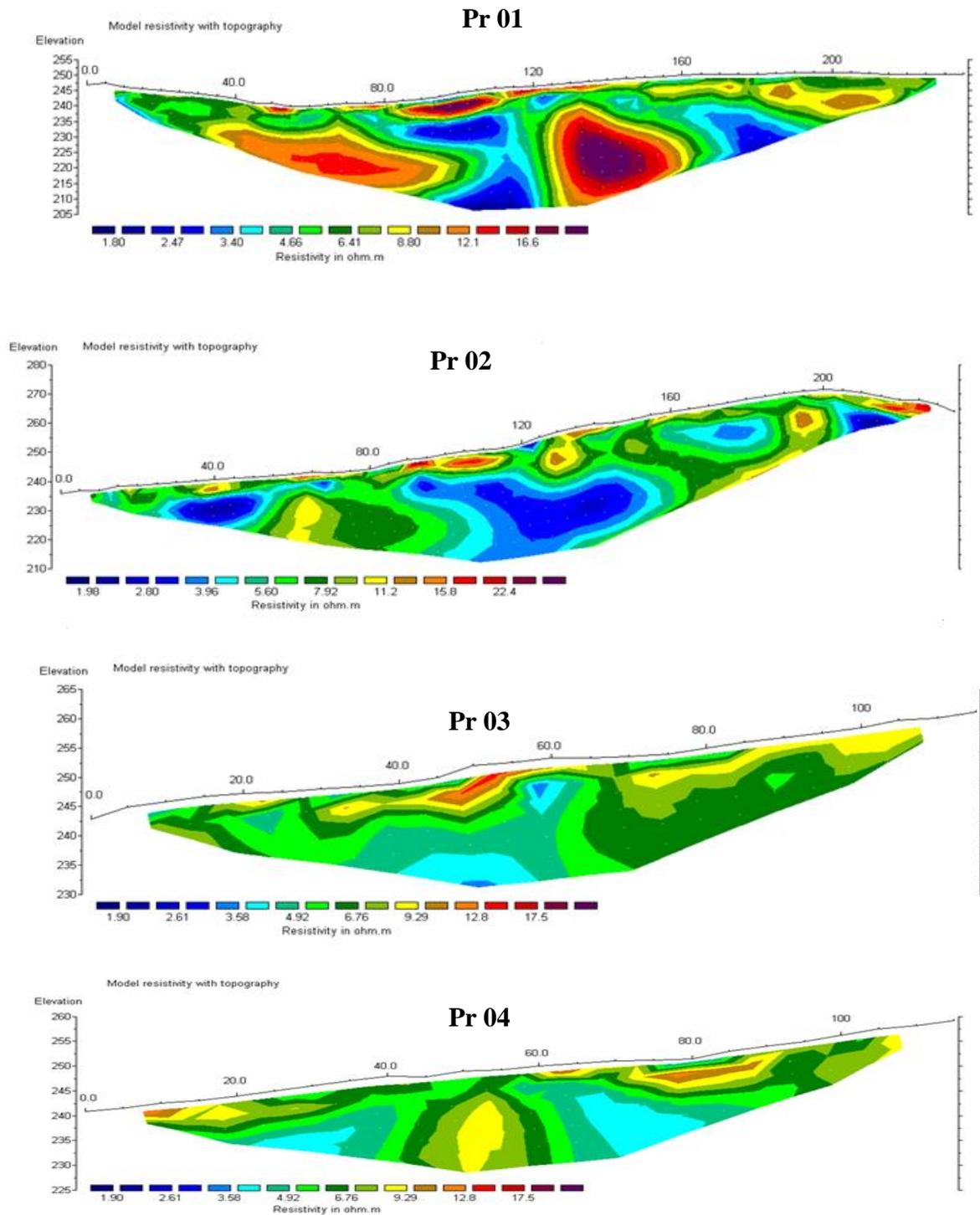


Figure 36 : pseudo-sections calculés des profiles

Chapitre III : Résultat des données de tomographie électrique

- Les résistivités enregistrées le long du profil 01 et 02 dont la longueur est de 235 m, varient de 1,80 et 22 Ω .m. Les mêmes valeurs de résistivité ont été enregistrées dans les profils 03 et 04.

- Les surfaces interprétées coïncident avec des résistivités faibles, indiquant une teneur en eau élevée ou éventuellement une teneur en argile plus élevée. Comparée avec les résultats de l'investigation géotechnique, on remarque une certaine concordance avec les teneurs en eau mesurées qui présentent des valeurs assez élevées.

Les résultats de la tomographie électrique ont été combinés avec les données de sondages pour en déduire les profils géologiques correspondants (fig 38 et 40)

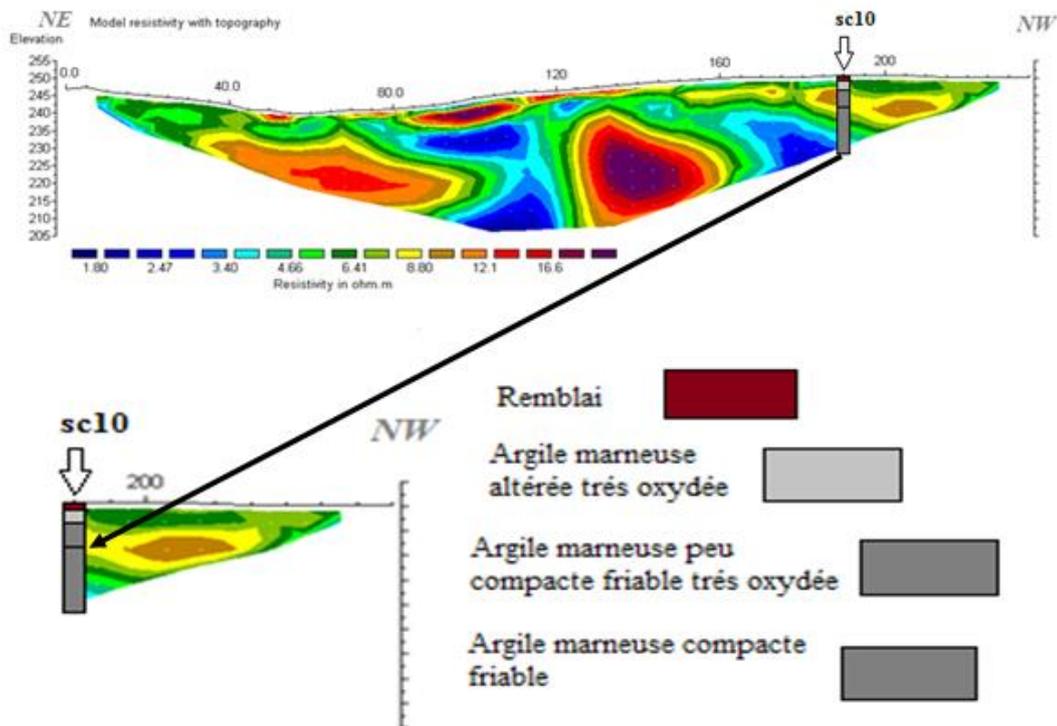


Figure 37 : la section de profil électrique 01

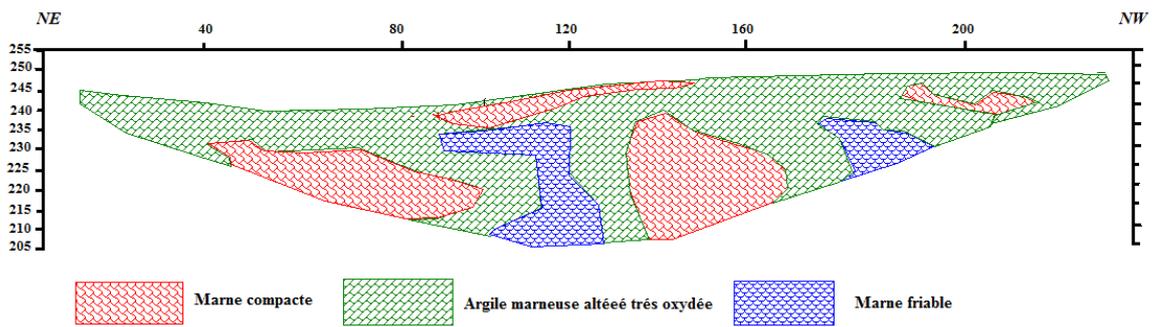


Figure 38 : coupe géoélectrique de profile 01

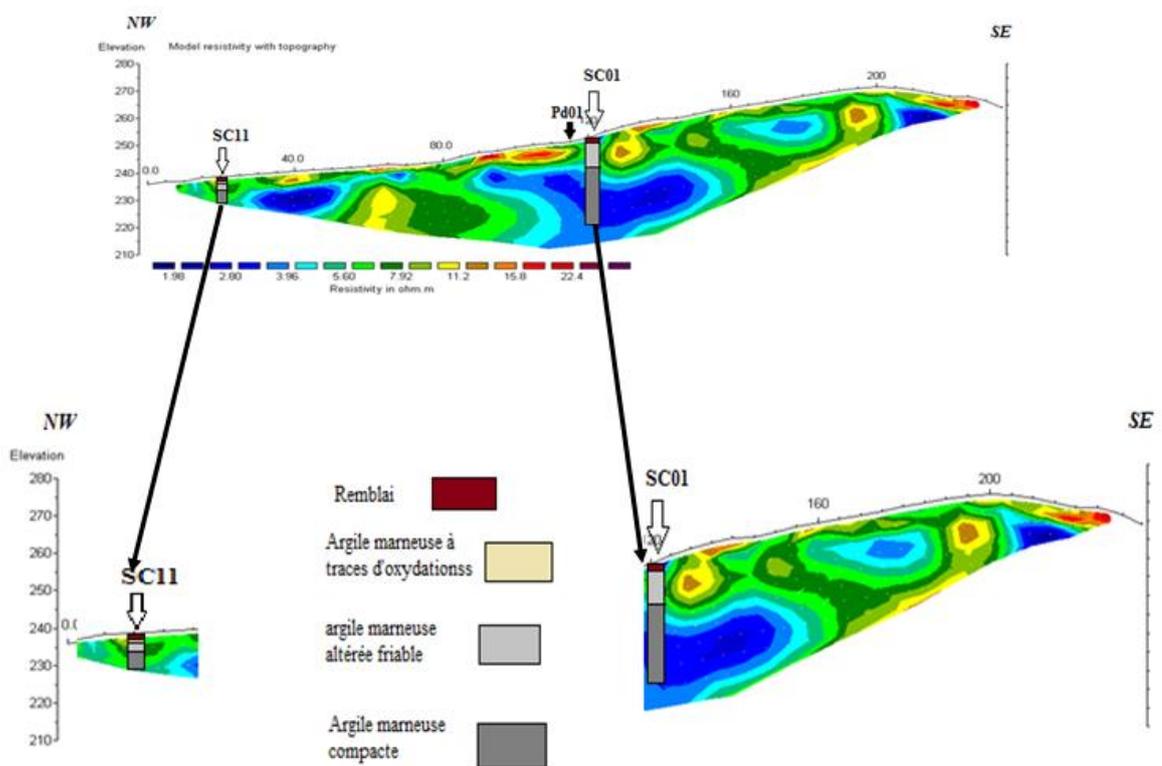


Figure 39 : la section de profile électrique 02

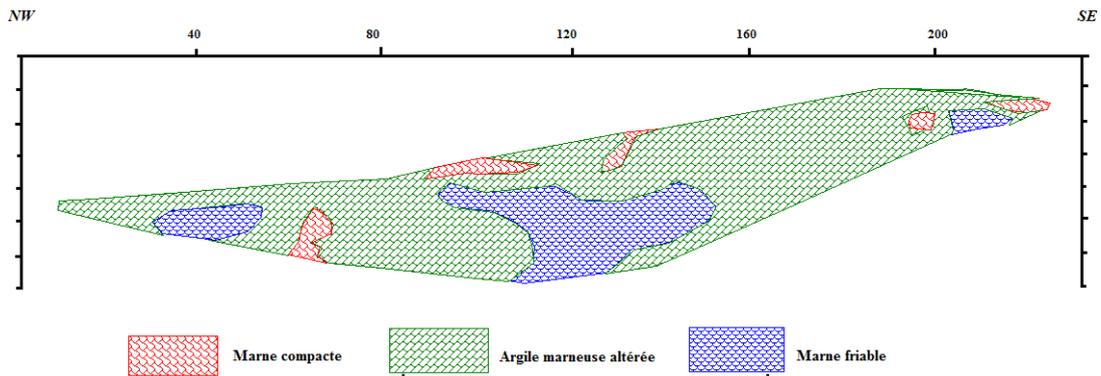


Figure 40 : coupe géoélectrique de profil 02

Le profil 03 n'a pas été pris en considération car le RMS est supérieur à 03 indiquant des résultats d'inversion insatisfaisant.

L'observation des section des profiles de résistivité étalonnées à partir des sondages carottés montre que: les zones de faible résistivité (varie entre $1,80\Omega.m$ et $2,47\Omega.m$) caractériser par les couleurs bleu correspondant probablement à des argile marneuse compacte de teneur élevée en eau ; ou à des argiles marneuse altérée très oxydé saturé en eau, les moyenne résistivité varie de $3,40\Omega.m$ à $10\Omega.m$ de couleurs vert à jaune correspondant à des argiles marneuse altérée de teneur en eau élevée , les fortes résistivité $> 10\Omega.m$ caractériser par les couleur rouge correspondant à des argile marneuse compacte. Néanmoins les faibles résistivités mesurées en profondeur dans les profiles 01 et 02 peuvent s'expliquer par l'important pouvoir de rétraction des marnes plaisanciennes, provoquant des fissures de dessiccation qui augmente en fréquence et profondeur avec chaque cycle de retrait et gonflement. Chaque hiver les pluies remplissent les fissures d'eau et poussent les actions d'altération en profondeur dans la formation saines (*Derriche et C.Lounis 2004*).

III-4 Identification des surfaces de rupture :

Généralement les glissements de terrain qui affecte les formations homogènes peut conduire des variations de résistivité avec le mouvement de masse dans les couches argileuse. Ceci peut s'expliquer par la présence d'eau qui est un facteur important dans la réduction des caractéristiques mécanique des sols combinés à la présence de pourcentage important de la fraction argileuse (*Guéguen et al 2004*) .

- Pour une première interprétation on peut divisées les résultats obtenues en deux plage de résistivité la première varie de 1,80 à 10 $\Omega.m$, la deuxième plage supérieure à 10 $\Omega.m$.

Plusieurs auteurs associés ces faibles résistivités (inferieur à 10 $\Omega.m$) à la présence de surface de rupture (*D.Jongmans et al 2000, Wisen 2003*).

dans les zones de glissement le long du profil 02, on peut observer des couches de résistivité élevée allant jusqu'à 30 $\Omega.m$.pris de la surface et par endroit, des zones de faible résistivité apparaissent ($< 10\Omega.m$) sous la haute résistivité (verts). dué principalement à la présence d'eau (terrain saturé). Cette continu à descende par endroit dans les couches en contact avec l'eau. Cette zone peut être interprétée comme un probable surface de rupture

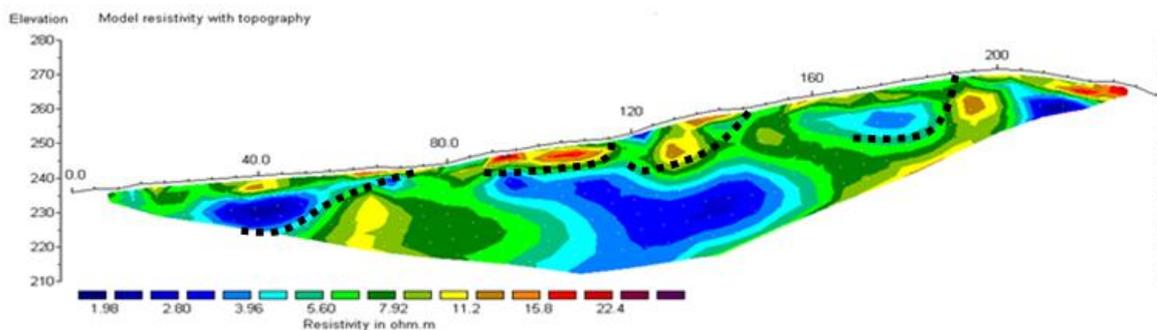


Figure41: Surface de ruptures de profil 02

Pour le profil 01 qui est perpendiculaire à la pente est en haute. Le constrate entre les résistivités est claire. On peut interpréter que ces bordure peuvent constituer une surface de rupture dans les marnes altérée

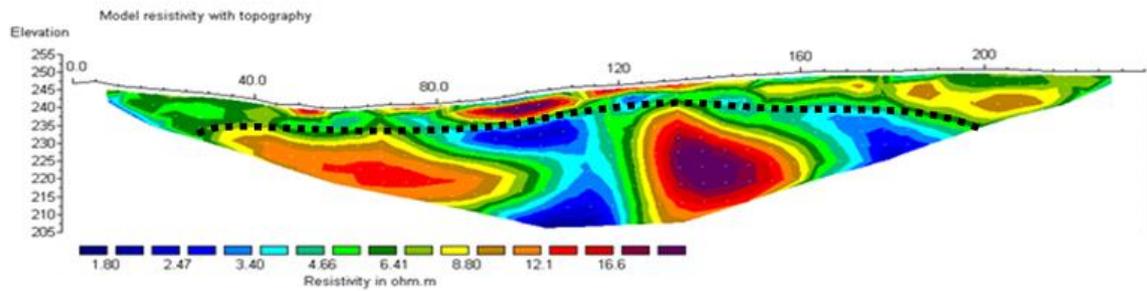


Figure42: Surface de ruptures de profile 01

III-5 Conclusion :

Les résistivités électriques enregistrées le long de tous les profils sont faible à moyennement faibles ($\leq 30 \Omega.m$) témoignant de la présence d'un sol saturé. La résistivité diminue en contact avec les couches à teneur en eau élevée ce qui permet d'identifier des surfaces de rupture probable qui peuvent s'étendre en profondeur.

Conclusión générale

Conclusion générale

La présente étude, nous avons utilisé la méthode de tomographie électrique sur une zone de glissement actif dans la région du Parc Dounia dans la wilaya d'Alger. Cette méthode peu coûteuse et rapide à mettre en œuvre permet d'obtenir une image du sous sol en fonction de ses propriétés électrique.

Sur les quatre profils examinés, nous avons pris en considération trois dont la qualité de l'inversion et du modèle obtenu sont considérer comme satisfaisant. Effectivement le RMS calculées pour les trois profils est inférieur à 03.

Les résultats obtenus soulignent clairement l'importance de la tomographie électrique dans la détection du risque de glissement de terrain.

Les mesures de résistivité électrique ont été réalisées le long de 03 profils implantés suivant la direction de la pente et un profil perpendiculaire à la direction de la pente. Les résultats obtenus, comparés à la stratigraphie des forages ont permis de caractériser les différentes couches du sous sols. Les faibles résistivités étaient des indicateurs d'humidité élevée, ce qui peut être un indicateur de probable surface de rupture (*Rhambatla et al 2006*).

les faibles résistivités sont concentrées principalement dans les couches peu profondes et qui correspondent aux formations marneuses altérées. Ces dernières ont été identifiées par plusieurs auteurs (*Derriche et Cheikh Lounis 2004, Bougdel 2007*) comme le siège de différentes instabilités.

Néanmoins, Ces faibles résistivités s'étendent par endroit en profondeur, révélant des teneurs élevées en eau, ce qui peut indiquer la présence de surface de rupture plus profonde.

Les glissements de terrains du Parc Dounia sont considérer comme des mouvements lents, souvent déclenchés par des pluies intenses ou de longue durée.

Compte tenu des résultats obtenus, les études géophysiques peuvent être un guide pour les études géotechniques ultérieures de manière à concevoir des mesures correctives.

La tomographie intégrée à l'information géologique S'est avéré être un outil puissant pour l'investigation des glissements de terrain.

Recommandation

La tomographie électrique doit être combinée avec d'autres méthodes géophysique pour une meilleurs identification de la profondeur de la surface de glissement.

*Références
Bibliographique*

Références bibliographiques

- **Aski. H. et al**, *Géologie, hydrogéologie et hydrogéologie de l'Algérie''*, contribution de sonatrach division exploration, centre de recherche Schlumberger wec Sonatrach I- 93 1982
- Bruyant. C, 2011 (E.D.G)** *Spécialisation dans le domaine de la géophysique, rapport de stage (Europe)*
- **Bièvre. G., Jangmans. D, Goutland .D et Pathier. E, Zumbo. V**, *geophysical characterization of the lithological control on the kinematic pattern in a large clayey landslide (Avignonet, French Alps) 2015*
- Bouaziz. N, Melbouci. B ;** *Apport de la tomographie électrique à l'étude des glissements de terrain en Grande Kabylie, Algérie 2015*
- **Boutelja. M, Neggazi. Z, et Ourari. S** *gonflement des marnes du piliocène d'Alger 1997*
- **Boudlal. O.** *étude expérimentale du comportement mécanique des fines dans la stabilité des talus et des fondations (thèse de doctorat) 2013*
- **Bougdal. R., (2007)** *Urbanisation et mouvements de versants dans le contexte géologique et géotechnique des bassins néogènes d'Algérie du Nord,, thèse doctorat 2007''*
- **Caris. J.P.T, et Th.W.J.Van Asch** *geophysical, geotechnical and hydrological investigation of a small landslide in the French Alps 1991*
- **Chapellier. D,** *cours online géophysique 2000*
- **Derriche, Z et Cheikh lounis, G.** 2004, " *Caractéristiques géotechniques des marnes plaisanciennes d' Alger*", Bull Eng Geol Environ, 63: 367-378.
- DDRM,(2007)***dossier d'information « les mouvements de terrain » Ministère de l'ecologie et du développement durable*
- DeGroot-Hedlin. C. et S. Constable** *Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data (1990)*
- .-**Dubois. J, Diament. M. , et Jean-Pascal. C.** *livre de géophysique cours et exercices corrigés 2011*
- **Dhlin. T, et Bing. Z.** *A numerical comparison of 2D resistivity imaging with ten electrode arrays 2003*

Références bibliographiques

- **Jangmans . D et Garambois. S.**, *geophysical investigation of landslides*2007
- Jongmans. D. et al 2000** *Application of 2D electrical and seismic tomography techniques for investigating landslides –European J. Env.Eng.Geophys.*
- Guéguen et al.2004***Geotechnical, geophysical and seismological methods for surface sedimentary layers analysis.*,
- **Lebourg. T, Binet. S,Tric. E, Jonard. H, El Bedoui. S.** ;*geophysical survey to estimate the 3D sliding surface and the 4D evolution of the water pressure on part of a deep seated landslide 2005*
- Meric. O** *étude de mouvements de terrain par méthode géophysiques thèse 2006 Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2006. France.*
- Poton. J**, *caractérisation hydro-géophysique par tomographie électrique d'un glissement de terrain argileux de type "coulée "à l'échelle de parcelle et du versant (rapport de stage) 2008*
- Rambhatla G. Sastry, Suman K. Mondal***, **Ashok K. Pachauri**, 2006, "2D Electrical Resistivity Tomography of a Landslide in Garhwal Himalaya" **6th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics**
- Thierry Sérot**, tomographie électrique : 0681275880/Tserot@géxplore.fr
- Wisén 2003***Application of 2D laterally constrained inversion and 2D smooth inversion of CVES resistivity data in a slope stability investigation*