

*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*وزارة التعليم العالي والبحث العلمي*

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

*جامعة الجبلاي بونعامة خميس مليانة*

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière



*Mémoire de fin d'étude*

*En vue de l'obtention d'un diplôme de **Master** en Physique.*

*Spécialité: Physique du globe*

**Thème :**

**Caractérisation d'un site par la méthode  
Électrique et Sismique**

**Soutenu le : .....juillet 2019**

**Devant le jury composé de :**

- Présidente : M<sup>me</sup> Amel MAZOUZ
- Encadreur : M<sup>me</sup> Doria AITADJEDJOU
- Co-Encadreur : M<sup>r</sup> Hamza BOUABDELLAH
- Examineur : M<sup>r</sup> Lamine HAMAI

**Présenté par :**

M<sup>lle</sup> Ikram BENIDIR

M<sup>lle</sup> Nadia KARA

*Année universitaire :2018 /2019*



*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*وزارة التعليم العالي والبحث العلمي*

*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

*جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة*

Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière



*Mémoire de fin d'étude*

*En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Physique.*

*Spécialité: Physique du globe*

**Thème :**

**Caractérisation d'un site par la méthode  
Électrique et Sismique**

**Soutenu le : .....juillet 2019**

**Devant le jury composé de :**

- Présidente : M<sup>me</sup> Amel MAZOUZ
- Encadreur : M<sup>me</sup> Doria AITADJEDJOU
- Co-Encadreur : M<sup>r</sup> Hamza BOUABDELLAH
- Examineur : M<sup>r</sup> Lamine HAMAI

**Présenté par :**

M<sup>lle</sup> Ikram BENIDIR

M<sup>lle</sup> Nadia KARA

**Année universitaire :2018 /2019**

# Remerciements

---

Nos remerciements les plus sincères vont à toute personne ayant eu la bonté et la patience de satisfaire notre curiosité et de nous aider dans notre travail par leurs précieux conseils, réponses et recommandations.

A notre encadrante, M<sup>me</sup> AIT ADJEDJOU Doria nous adressons notre plus profonde reconnaissance pour son bon encadrement et pour les conseils fructueux qu'elle n'a cessé de nous prodiguer.

Nous tenons à remercier Mr BOUABDELLAH Hamza, le directeur du Bureau d'étude GEOEXPO. Une personne qui nous inspire le plus grand respect.

Nous adressons par la même occasion nos remerciements aux ingénieurs du bureau qui n'ont épargné ni temps ni effort pour nous aider et pour répondre à nos questions.

Nous devons chaque bribe de notre connaissance à nos enseignants de la spécialité plus précisément Mr BENTRIDI, qui ont si bien mené leur noble quête d'enseigner les bases de la physique du globe. Nous les remercions non seulement pour le savoir qu'ils nous ont transmis, mais aussi pour la fierté et l'ambition que leurs personnes nous aspirent.

Que messieurs les membres du jury trouvent ici l'expression de notre reconnaissance pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce travail, qu'elles voient en ces mots l'expression de notre gratitude pour leur présence, pour leur dévouement et pour l'aide inestimable qu'elles nous ont apportées tout au long de ce parcours. Un petit bout de chemin certes, mais un grand enrichissement.

Ikram et Nadia

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère mère mon père  
Pour leur soutien et encouragements.  
Pour leur soutien moral et leurs sacrifices le long de ma  
Formation.*

*Et à mes frères Mohammed Chérif et Abdelmalek.  
A tous ceux qui me sont chers et proches et à toute ma  
famille.*

*A mon binôme Nadia et à toute la famille Kara.*

*A toutes mes chères amies et mes collègues de  
Notre promotion*

*A tous mes enseignants de notre filière physique du globe  
plus particulièrement Mr. BENTRIDI.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que  
ce projet soit possible, je vous dis merci.*

*Ikram*

## *Dédicace*

*Merci pour Allah de m'avoir dévoilé le chemin de la réussite et du savoir.*

*Il m'est particulièrement agréable d'adresser à l'occasion de la réalisation du projet de fin d'études mes meilleurs vœux de santé, de prospérité et de bonheur à mes parents tout en priant Dieu de prolonger leur vie dans des conditions favorables et les guider sur le juste chemin qui les emmène inchaallah au paradis.*

*Je suis également heureuse de consacrer ce modeste travail à :*

*A mes frères Mohamed, Hakim, Omar et mes sœurs Fatima et Meriem et tout la famille de KARA chacun de son nom.*

*A mon binôme Ikram et son père Ahmed.*

*A mes chères amies particulièrement Meriem, Nabila, Linda.*

*A mes collègues de la promotion Master 2 Physique du Globe.*

*A tous mes enseignants de spécialité de la Physique du Globe particulièrement Mr. BENTRIDI.*

*Sans oublier d'adresser nos meilleurs vœux à tous ceux qui m'ont aidé et encouragé de près ou de loin en leur souhaitant un avenir plein de succès.*

*Nadia.*

## ملخص:

تقع منطقة الدراسة على أراضي ولاية جيجل ، في منطقة تقع بين بلدية تكسانا وبن ياجيس حيث لاحظنا آثار الانهيار الأرضي. استخدمنا الطريقة الكهربائية والطريقة الزلزالية، يتكون البرنامج الجيوفيزيائي من ملفين للتصوير الكهربائي مع اثنين من ملامح الانكسار الزلزالي. تشير النتائج الجيوفيزيائية إلى تشكيل سطحي متغير من 10 أمتار إلى 15 أمتار. هذا هو التكوين الذي ينزلق. يمكن افتراض أن الانزلاق قد يكون بسبب التربة المضافة الى موقع الدراسة وليس لأسباب طبيعية.

## Résumé :

La région d'étude est sur le territoire de la Wilaya de Jijel, dans une région qui se situe entre la commune de Texanna et Ben Yadjis où nous avons observé les effets d'un glissement de terrain. Nous avons utilisé La méthode électrique et la méthode sismique. Le programme géophysique consiste en de deux profils d'imagerie électrique confondue avec deux profils de sismique réfraction. Les résultats géophysiques indiquent une formation de surface altérée de 10m à 15m d'épaisseur. Il s'agit de la formation qui est entrain de glisser. On peut supposer que le glissement est peut-être au remblais de conglomérat ajouter dans le terrain et n'est pas de causes naturelles.

## Abstract:

The study area is on the territory of the Wilaya of Jijel, in a region that lies between the municipality of Texanna and Ben Yadjis where we observed the effects of a landslide. We used the electrical method and the seismic method. The geophysical program consists of two electrical imaging profiles combined with two seismic refraction profiles. Geophysical results indicate an altered surface formation of 10m to 15m thick. This is the training that is slipping. It can be assumed that slippage is perhaps at the conglomerate fill in the field and is not natural causes.

**Mots clés:** glissements de terrains, méthodes géophysiques, imagerie électrique, sismique de refraction

# **SOMMAIRE**

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : Partie théorique</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Généralité sur les méthodes géophysique utilisé</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 La méthode électrique</b> .....	<b>3</b>
1.2.1 Principe de la méthode électrique.....	3
1.2.2 Les dispositifs de mesure.....	6
1.2.3 La résistivité électrique.....	6
1.2.4 Le sondage électrique.....	7
1.2.5 La trainé électrique.....	8
1.2.6 La tomographie électrique.....	9
<b>1.3 La méthode sismique</b> .....	<b>10</b>
1.3.1 Principe de la méthode.....	10
1.3.2 Le mécanisme de la sismique de réfraction.....	11
1.3.3 Les ondes sismiques.....	13
1.3.3.1 Les ondes de surface.....	13
1.3.3.1.1 Ondes de Rayleigh.....	13
1.3.3.1.2 Ondes de Love.....	14
1.3.3.2 Les ondes de volume.....	14
1.3.3.2.1 Les ondes P.....	14
1.3.3.2.2 Les ondes S.....	15
1.3.3.2.3 Les gammes de vitesse des ondes P et S de divers types de terrain.....	16
<b>CHAPITRE 2 : Problématique</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Situation de la zone d'étude</b> .....	<b>18</b>
2.1.1 Situation géographique.....	18
2.1.2 Le contexte géologie.....	19
2.1.3 Etude géotechnique.....	20
<b>2.2 Glissement de terrain</b> .....	<b>20</b>
2.2.1 Définition.....	20
2.2.2 Classification des glissements de terrain .....	21
2.2.3 Facteurs d'instabilités.....	21



2.2.4	<i>La morphologie d'un glissement de terrain.....</i>	22
2.2.5	<i>Types de glissement de terrain.....</i>	23
2.2.5.1	<i>Glissement rotationnel ou circulaire.....</i>	23
2.2.5.1.1	<i>Glissement rotationnel simple.....</i>	23
2.2.5.1.2	<i>Glissement rotationnel complexe.....</i>	23
2.2.5.1.3	<i>Glissement transrotationnel ou Plan.....</i>	24
2.2.5.1.4	<i>Glissements quelconques.....</i>	24
2.2.6	<i>Le choix des méthodes.....</i>	24
	<b>CHAPITRE 3 : Acquisition, traitement et interprétation des données.....</b>	<b>26</b>
3.1	<b>Acquisition des données.....</b>	<b>26</b>
3.1.1	<i>Matériels mobilisés pour l'étude.....</i>	26
3.1.1.1	<i>La méthode sismique .....</i>	26
3.1.1.2	<i>La méthode électrique.....</i>	27
3.1.2	<i>Dispositif.....</i>	28
3.2	<b>Traitement des données.....</b>	<b>29</b>
3.2.1.2	<i>Les paramètres modifier durant le traitement.....</i>	30
3.2.1.2.1	<i>Eliminer les mauvaises données.....</i>	30
3.2.1.2.2	<i>Raffinement du model.....</i>	31
3.3	<b>Interprétation des données.....</b>	<b>36</b>
3.3.1	<i>La méthode électrique.....</i>	36
3.3.1.1	<i>Profil P1.....</i>	36
3.3.1.2	<i>Profil P2.....</i>	37
3.3.2	<i>La méthode sismique.....</i>	38
3.3.2.1	<i>Profil 01 (Ps1).....</i>	38
3.3.2.2	<i>Profil 02 (Ps2).....</i>	38
3.3.3	<i>La corrélation des résultats de la méthode électrique et sismique.....</i>	39
	<b>CHAPITRE 4 : Rapport d'acquisition de glissement de terrain à Belaâs.....</b>	<b>41</b>
4.1	<b>Problématique.....</b>	<b>41</b>
4.2	<b>Acquisition des données.....</b>	<b>41</b>
4.2.1	<i>L'imagerie électrique.....</i>	43
4.2.2	<i>Les profils sismiques.....</i>	44
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>47</b>

**Caractérisation d'un site**  
**Par la méthode**  
**Électrique et Sismique**

# *Introduction*

L'exploration géophysique est une technique non destructive très répandue, elle permet une investigation rapide et peu coûteuse d'un grand volume de sols et capable de caractériser des sols sur une surface étendue ainsi qu'éventuellement de détecter des variations latérales à l'échelle du site. Elle met en œuvre un ensemble de méthodes indirectes où l'on cherche, à partir d'une ou plusieurs propriétés physiques à déterminer la structure du milieu souterrain

L'objectif de ce travail consiste à appliquer des méthodes géophysiques pour la caractérisation des profondeurs d'un glissement de terrain au niveau de la région de Ben Yadjis.

Le glissement de terrain est un déplacement généralement lent sur une pente, le long d'une surface de rupture identifiable, d'une masse terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variable. C'est un phénomène dangereux pour les installations environnantes.

Le site d'étude se trouve au sud-ouest de la wilaya de Jijel, commune Boudriaa Ben Yadjis aux proximité du barrage Tabellout.

L'investigation géophysique a été réalisé par l'équipe du bureau d'étude GeoEXplo, qui ont mobilisé tous les moyennes nécessaires en équipements et matériels, afin d'assurer le bon déroulement de l'étude.

Pour cette étude deux méthodes ont été employé: la méthode électrique qui repose sur la mesure du paramètre « résistivité électrique » d'un terrain et la méthode sismique de réfraction qui mesure la vitesse de propagation des ondes acoustiques.

Ces paramètres et l'information géologique vont nous aider à définir les caractéristiques de ce glissement.

# *Chapitre 1*

## *Partie Théorique*

## Chapitre 1: Partie théorique

### 1.1 Généralité sur les méthodes géophysique utilisées.

L'exploration géophysique est une technique non destructive très répandue, elle permet une investigation rapide et peu coûteuse d'un grand volume de sols et capable de caractériser des sols sur une surface étendue ainsi qu'éventuellement de détecter des variations latérales à l'échelle du site. Elle met en œuvre un ensemble de méthodes indirectes où l'on cherche, à partir d'une ou plusieurs propriétés physiques à déterminer la structure du milieu souterrain.

### 1.2 La méthode électrique :

#### 1.2.1 Principe de la méthode électrique:

Cette méthode repose sur la mesure de la différence de potentiel électrique associée à l'injection d'un courant électrique continu dans le sol. Pratiquement, la mesure de la résistivité en un point est réalisée à la surface du sol; à partir d'un quadripôle formé de deux électrode A et B pour injecter le courant et deux autre électrodes M et N pour mesurer la différence de potentiel. [2]

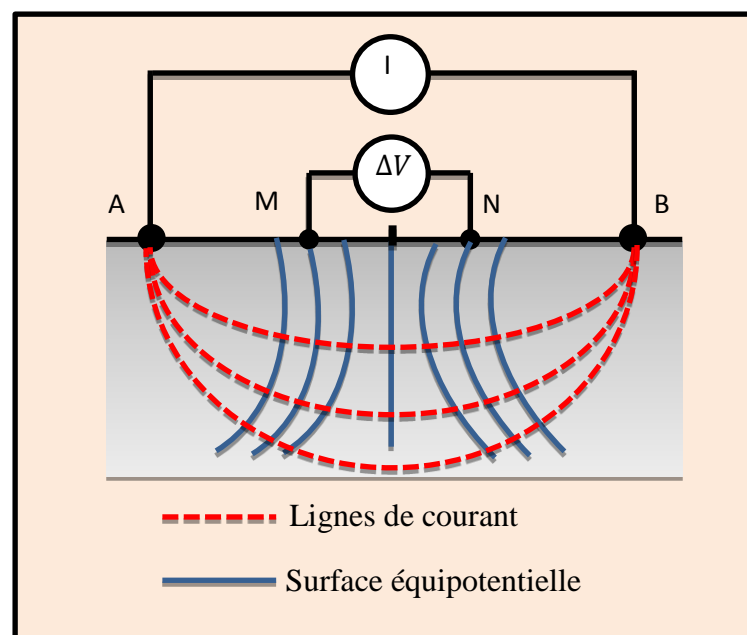


Figure.1.1: Le principe de la méthode électrique

Théoriquement dans un milieu homogène et isotrope l'expression du potentiel mesuré au niveau des électrodes M ou N est donnée par :

D'après la loi de coulomb :

$$\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho} \quad (1.1)$$

Avec  $\vec{j}$  est la densité du courant,  $\rho$  la résistivité électrique,  $r$  la distance entre l'électrode d'injection et de mesure et  $\vec{E}$  le champ électrique au niveau de l'électrode de mesure exprimé par la relation suivante :

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2} \quad (1.2)$$

Dans cette équation  $\epsilon_0$  est la densité superficielle des charges sur une sphère élémentaire,  $Q$  est la charge électrique et  $I$  représente l'intensité du courant .

$$Q = \epsilon_0 \rho I \quad (1.3)$$

En remplaçant (3) dans (2) on obtient :

$$\vec{E} = \frac{\rho I}{4\pi r^2} \quad (1.4)$$

Le potentiel est relié au champ par l'expression  $\overrightarrow{grad}V = -\vec{E}$  où :

$$V = \frac{\rho I}{4\pi r} + cte \quad (1.5)$$

Comme  $V=0$  pour  $r=\infty$  ;  $cte=0$

$$V = \frac{\rho I}{4\pi r} + cte \quad (1.6)$$

$$V = \frac{\rho I}{4\pi r} \quad (1.7)$$

Puisque on est dans un demi-espace (1.7) devient :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (1.8)$$

Le potentiel au niveau des électrodes de mesure M et N est exprimé par les deux expressions :

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (1.9)$$

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (1.10)$$

La différence de potentielle est exprimé par :

$$\Delta V = V_M - V_N \quad (1.11)$$

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (1.12)$$

On peut alors écrire la différence d'un potentiel qui est donné par la loi d'Ohm :

$$\Delta V = RI. \quad (1.13)$$

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho_a I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (1.14)$$

Et la résistivité apparente " $\rho_a$ " est exprimée par la relation :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1.15)$$

Avec

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (1.16)$$

" $\rho_a$ " Est exprimer en Ohm.m

"AM", "BM", "AN", "BN" désigne les distance entre les électrodes.

"K" désigne le facteur géométrique qui traduit la disposition géométrique des électrodes dans l'espace, plusieurs configurations sont possible permettant de caractériser différemment le sol.

### 1.2.2 Les dispositifs de mesure :

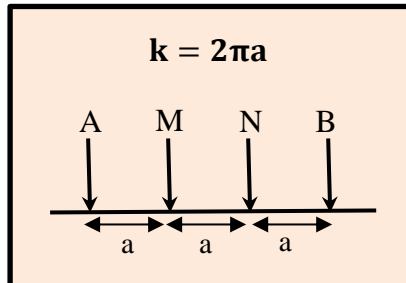


Figure.1. 2 : Le dispositif Wenner

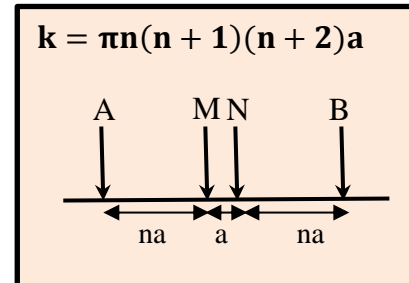


Figure.1.3: Le dispositif Wenner-Schlumberger.

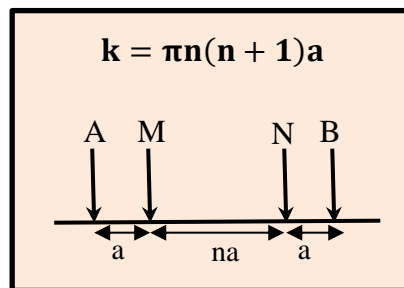


Figure.1. 4: Le dispositif Dipôle - Dipôle.

Le choix de la disposition des électrodes a une grande importance, car chaque dispositif a des avantages et des inconvénients différents. Le choix du dispositif peut dépendre de la structure à imager, du bruit de fond et de la sensibilité de l'appareil de mesure. Il y'a aussi les différentes caractéristiques de chaque dispositif à prendre en considération, comme la sensibilité d'un dispositif aux changements verticaux et horizontaux de la résistivité, la profondeur d'investigation ou la force du signal [16]. Les dispositifs utilisés dans ce travail sont les dispositifs Wenner et Wenner-Schlumberger.

### 1.2.3 La résistivité électrique :

La résistivité électrique " $\rho$ " d'un milieu est par définition la propriété physique qui détermine l'aptitude d'un milieu à s'opposer au passage du courant électrique. Elle est exprimée en Ohm. Mètre ( $\Omega.m$  ou  $Ohm.m$ ). [3]

Théoriquement Le courant continu injecté peut s'écouler dans un terrain de deux manières différentes : soit par « le transport d'électrons » dans la matrice même de la roche



comme dans le cas des minerais métalliques, soit (et c'est le cas le plus fréquent) par « déplacement des ions » contenus dans de l'eau d'imbibition. La résistivité dépend alors :

- de la porosité,
- de la conductibilité de l'eau d'imbibition,
- de la répartition et la forme des fissures éventuelles ...

On ne peut donc attribuer une valeur précise de résistivité à un milieu donné, néanmoins, on peut fixer certaines limites comme celles données dans le tableau suivant. [5]

Eaux ou roches	Résistivité ( $\Omega.m$ )
Eau de mer	0,2
Eau de nappes	10-30
Alluviales	50-100
Eau de sources	1 000-10 000
Sables et graviers secs	50-500
Sables et graviers	50-500
Imbibés d'eau douce	2-20
Imbibés d'eau salée	300-10 000
Argiles	50-300
Marnes	300-10 000
Calcaires	20-100
Grès argileux	300-10 000
Grès, quartzites	0,5-5
Cinérites, tufs volcaniques	100-300

Tableau.1.1: Les gammes de résistivités apparente de quelque milieux.[5]

#### 1.2.4 Le sondage électrique :

Cette technique permet de réaliser une investigation verticale du sous-sol, où les courants injectés pénètrent de plus en plus profondément dans le sol. En écartant les électrodes du quadripôle, tout en gardant la symétrie du dispositif autour du point central, on obtient des mesures de résistivité apparente à des profondeurs croissantes. [5]

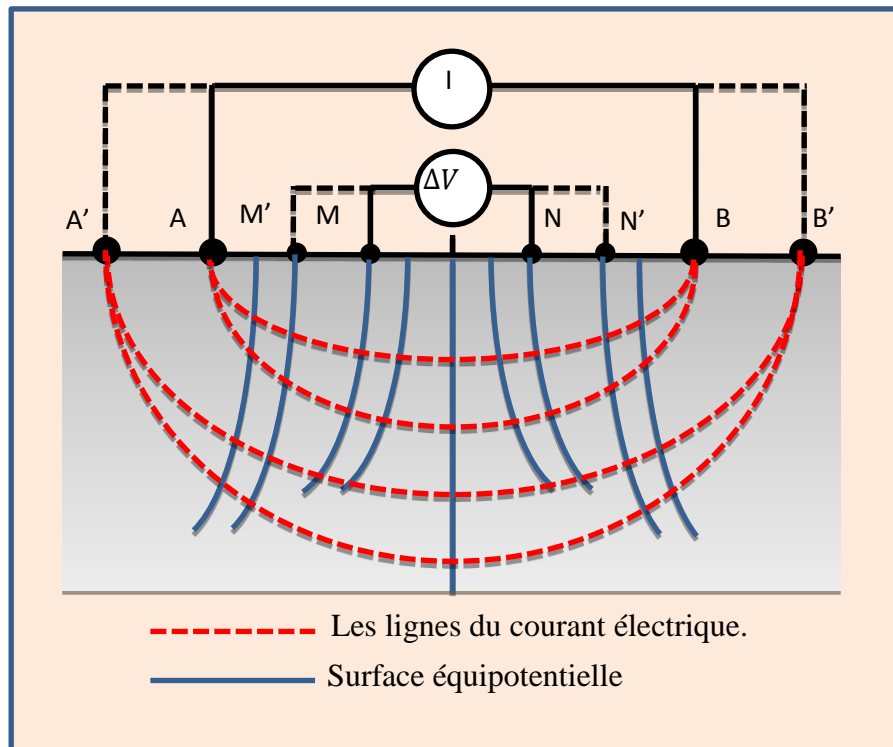


Figure.1.5: Le principe de sondage électrique vertical

### 1.2.5 La trainé électrique :

C'est une technique qui permet d'avoir les variations latérales de la résistivité apparente à une profondeur quasi-constante. En gardant l'écartement entre les électrodes constantes, le long d'un profil, et en déplaçant le dispositif de mesures à pas régulier. [5]

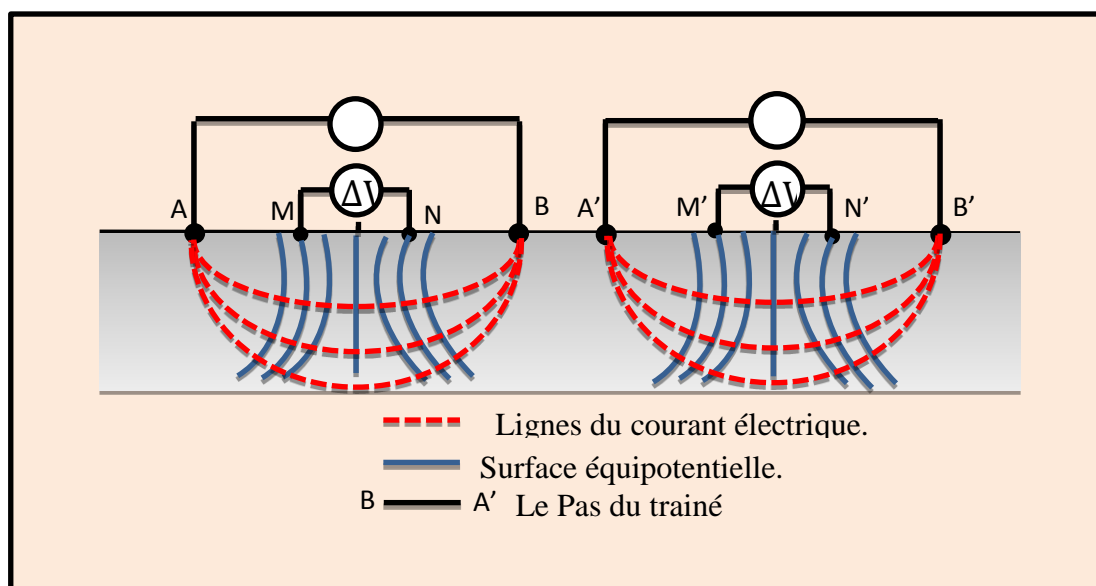


Figure.1.6: Le principe du trainé électrique

### 1.2.6 La tomographie électrique :

La tomographie électrique appelé aussi l'imagerie électrique ou ERT (Electrical Resistivity Tomography) est une méthode qui correspond à la conjonction de deux technique (trainé et sondage électrique). On peut dire qu'un profil d'imagerie résulte d'une succession de trainés électriques à différentes profondeurs d'investigation [11]. La méthode d'imagerie électrique est réalisée dans le but d'obtenir un modèle du sous-sol où la répartition de la résistivité varie verticalement et horizontalement le long d'un profils (2D).

Le résultat permet d'imager verticalement les variations de  $\rho_a$  en fonction de l'écartement des électrodes le long d'un profil, ce que l'on nomme une pseudo-section.

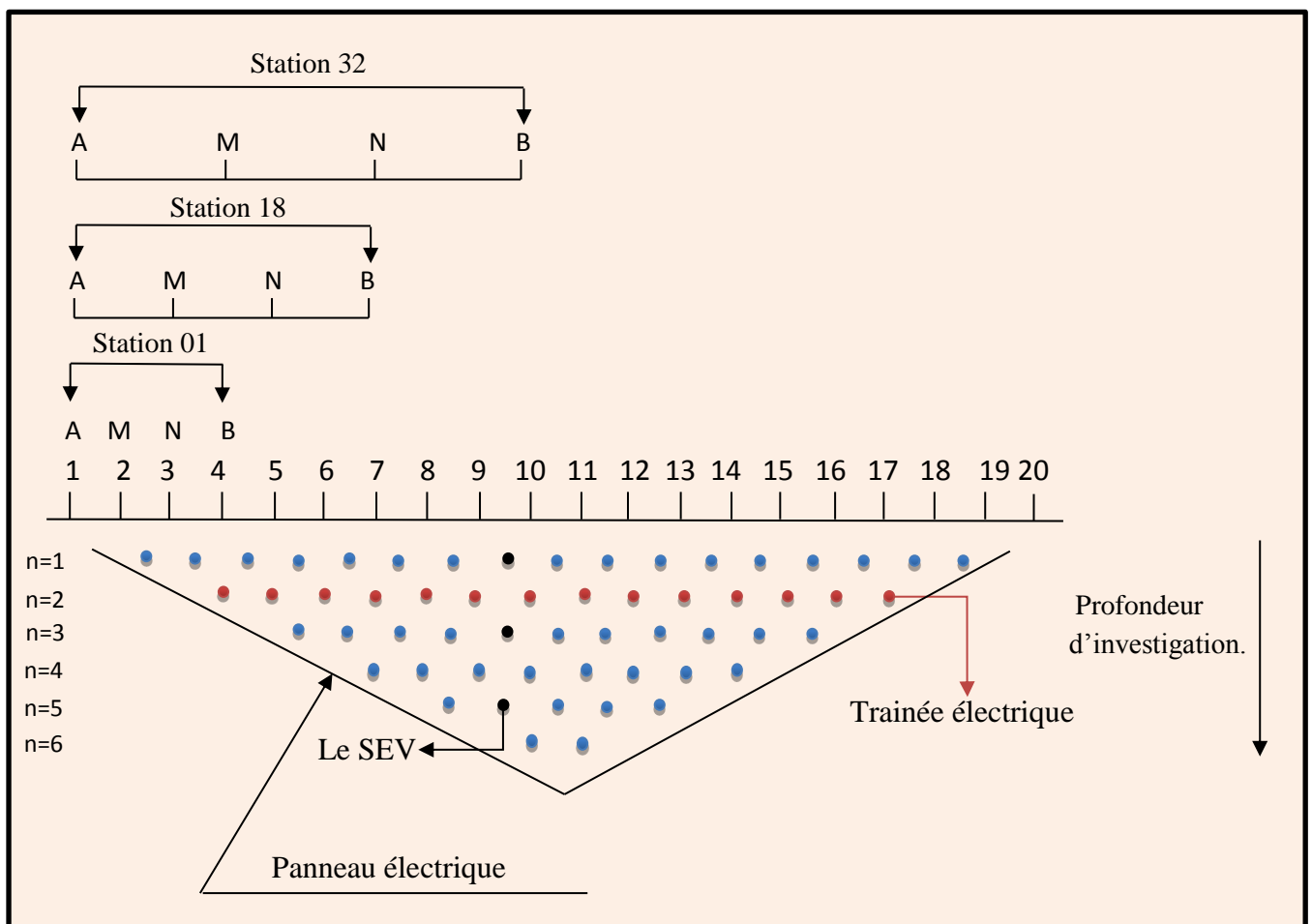


Figure.1.7: Le principe de la tomographie électrique[11]

### 1.3 La méthode sismique

#### 1.3.1 Principe de la méthode :

La sismique est une méthode géophysique permettant d'imager la géométrie des différentes couches du sous-sol [2]. Elle est basée sur l'étude de la propagation des ondes sismiques en profondeur. L'objectif est d'obtenir une répartition de la vitesse de propagation des ondes en fonction de la profondeur. Ces ondes sont provoquées par un choc (ou ébranlement) appelé source.

Il existe 4 modes de propagation ou d'ondes qui se propagent selon un front sphérique vers les récepteurs (les ondes directes, réfléchies, réfractées et transmises).

Cette répartition est due au contraste d'impédance mécanique (variation de vitesse de propagation de l'onde et/ou de la densité des roches) que l'onde peut subir et à l'ouverture angulaire en incidence.

Il existe deux types de méthode sismique qui sont distingués suivant la répartition d'énergie que l'onde subisse lors de sa propagation. : on parle de sismique réflexion quand l'onde est réfléchi et de sismique réfraction quand l'onde est réfractée. [1]

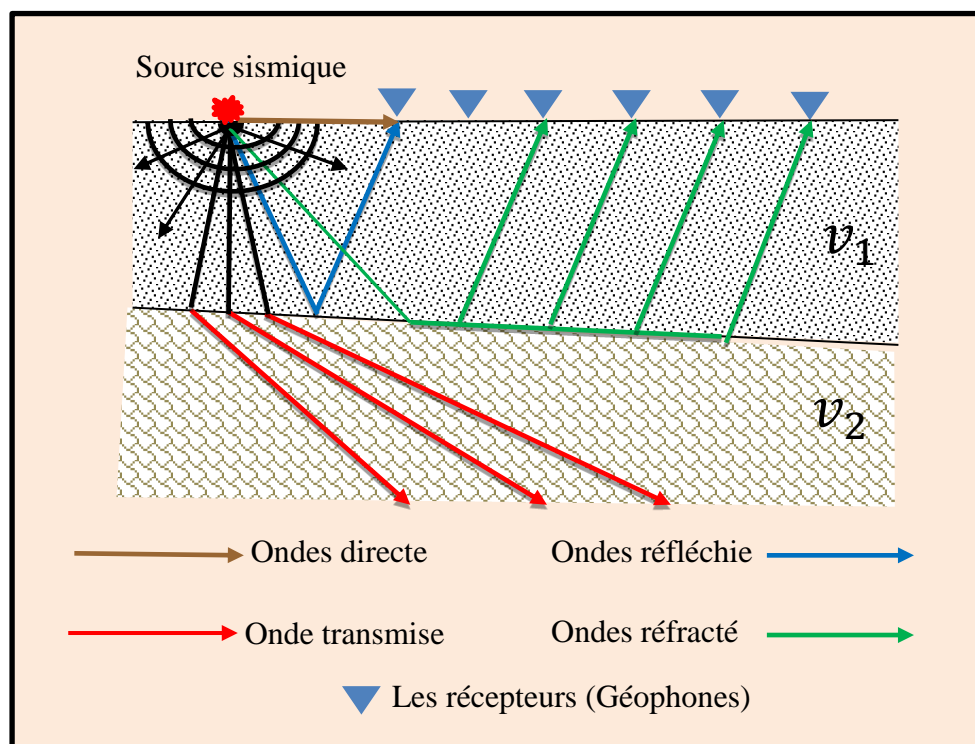


Figure.1.8: Le principe de la sismique.

La condition incontournable pour avoir une réfraction des ondes au contact de deux formations est d'avoir une vitesse de propagation de la couche inférieure ( $V_2$ ) plus élevée que la vitesse du terrain supérieur ( $V_1$ ).

En sismique réfraction, on ne s'intéresse qu'au temps de parcours de la première onde reçue « les arrivées premières » les ondes P qui conduit à définir les vitesses sismiques et à caractériser les structures multicouches. [6]

### 1.3.2 Le mécanisme de la sismique de réfraction :

Pour un modèle simple a deux couches de vitesses différentes  $v_1$  et  $v_2$ , la loi de Snell-Décartes nous donne la relation suivante pour une onde arrivant à l'interface de deux couche :

$$\frac{\sin i_1}{v_1} = \frac{\sin i_2}{v_2} \quad (1.17)$$

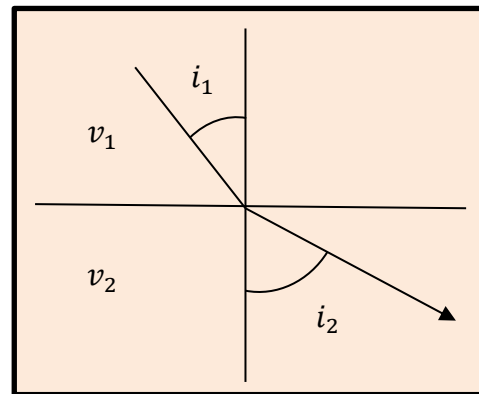


Figure.1.9: la loi de Snell-Décartes

Dans le cas ou  $v_2 > v_1$  il existe un angle d'incidence critique pour lequel :

$$i_2 = \frac{\pi}{2} \quad (1.18)$$

La relation de Snell-Décartes devient alors :

$$\frac{\sin i_1}{v_1} = \frac{1}{v_2} \quad (1.19)$$

Et donc

$$i_1 = i_c = \sin^{-1} \left( \frac{v_1}{v_2} \right) \quad (1.20)$$

$i_1$ : l'angle d'incidence.

$i_2$ : l'angle de réfraction.

$i_c$ : angle critique

$v_1$ : la vitesse de la première couche

$v_2$ : la vitesse de la deuxième couche

Dans le cas précis d'un angle d'incidence critique l'onde sismique va se propager le long de l'interface puis va remonter vers la surface : cet interface sert de guide d'onde, c'est le phénomène de réfraction totale. Ce phénomène nous permet de quantifier la vitesse des ondes sismiques dans les couches superficielles qui composent le sous-sol. [9]

Voici un exemple d'une réfraction total dans un terrain à deux couches où on va extraire les équations des ondes directes et réfractés. [17]

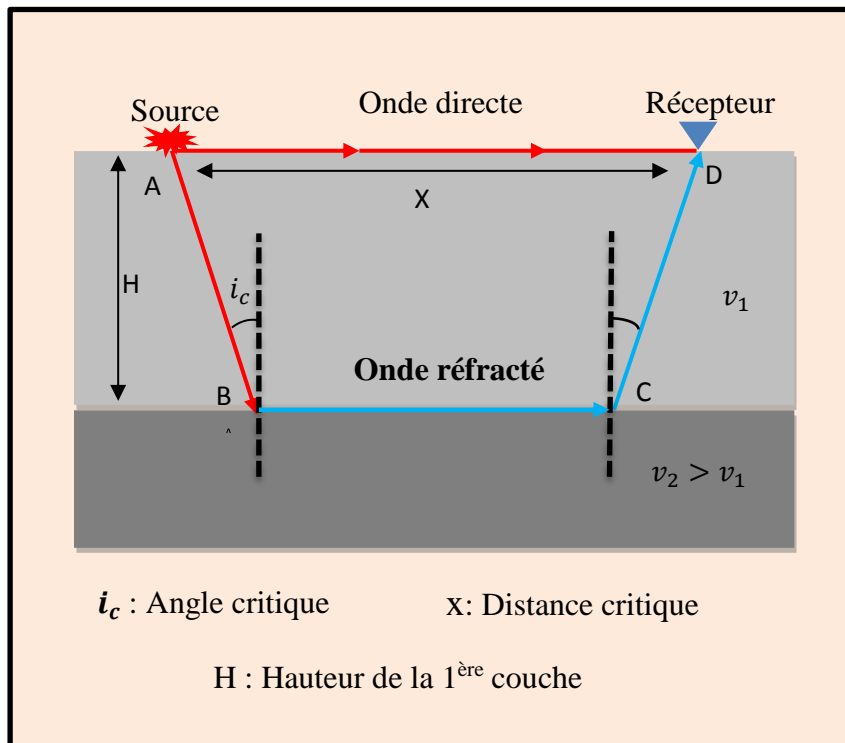


Figure.1.10: Principe de la sismique de réfraction

Les temps d'arrivées sont estimés de la façon suivante :

Pour l'onde directe:

$$t_d = \frac{x}{v_1}. \tag{1.21}$$

Le temps de propagation de l'onde réfractée ( $t_r$ ) sur le trajet ABCD est obtenu par le développement de l'équation suivante :

$$t_r = \frac{AB}{v_1} + \frac{BC}{v_2} + \frac{CD}{v_1} \quad (1.22)$$

$$AB = CD = \frac{H}{\cos i_c} \quad (1.23)$$

$$BC = x - 2H \tan i_c \quad (1.24)$$

$$t_r = \frac{x}{v_2} + \frac{2H}{v_1} \cos i_c \quad (1.25)$$

Si l'on fixe arbitrairement  $x=0$ , on prend lors les temps sur l'axe des point de tir, temps appeler intercepte times  $I_i$ , donne par l'équation :

$$I = \frac{2H}{V_1} \cos i_c \quad (1.26)$$

Nous pouvons généraliser l'équation (25) pour un modèle de n couches horizontale :

$$t_n = \frac{x}{v_n} + \sum_{p=1}^{n-1} \frac{2H_p}{v_p} \cos i_{pn} \quad (1.27)$$

D'où vient l'intercepte de n couches :

$$I_{n-1} = \sum_{p=1}^n \frac{2H_p}{v_p} \cos i_{pn} \quad (1.28)$$

### 1.3.3 Les ondes sismiques :

#### 1.3.3.1 Les ondes de volumes :

##### 1.3.3.1.1 Les ondes P :

Aussi appelés les ondes de compression, ondes longitudinales ou ondes primaires Puisqu'elles arrivent toujours en premier à une station d'enregistrement donnée à la suite d'un séisme. Le mouvement de l'onde ce fait selon un mouvement de compression et de dilatation, Ce type de mouvement existe parce que les roches résistent à la compression, et va rebondir

élastiquement lorsque les forces de compression sont supprimées. Le sens de vibration des particules est parallèle à l'axe de propagation. [15]

$$v_p = \sqrt{\frac{\gamma + 2\mu}{\rho}} \quad (1.29)$$

Où  $\mu$  et  $\gamma$  sont deux coefficients appelés coefficient de Lamé et  $\rho$  la densité.

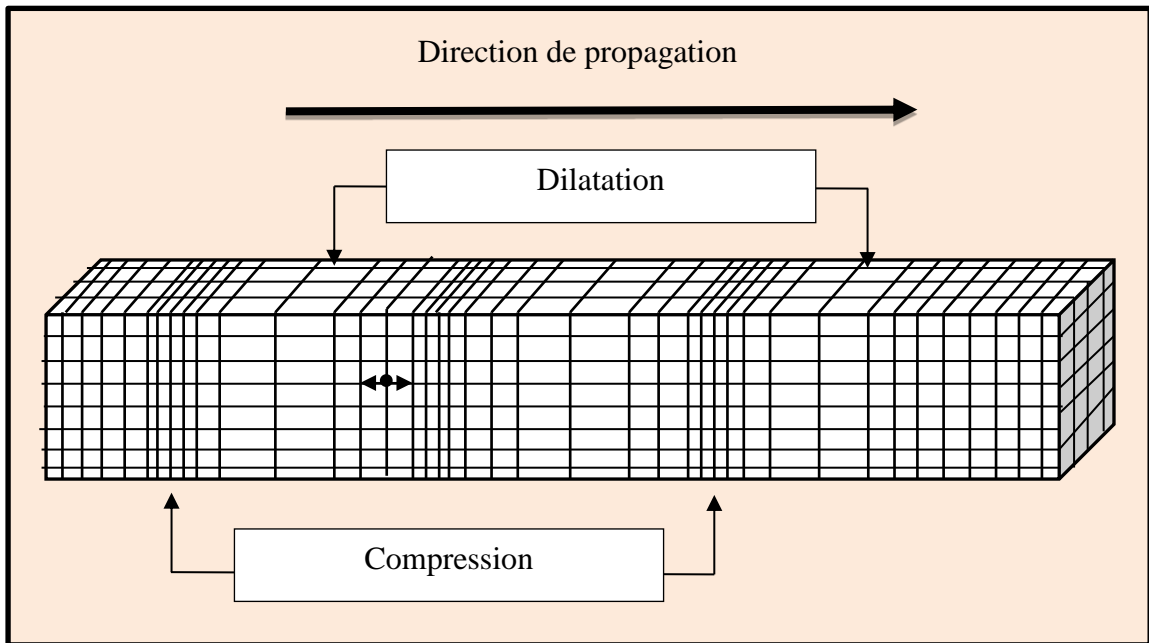


Figure.1. 11: déformation élastique et mouvement des éléments du milieu élastique lors de la propagation des ondes de compression P. [5]

### 1.3.3.1.2 Les ondes S :

Ondes de cisaillement (également appelées ondes transversales). Étant donné que les ondes de cisaillement voyagent toujours plus lentement que la compression elles étaient appelées ondes S (en raison de la nature "secondaire" des arrivées). Le mouvement des particules dans ce cas se fait perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde. [15]



$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (1.30)$$

ou  $\mu$  est un coefficient de Lamé et  $\rho$  est la densité.

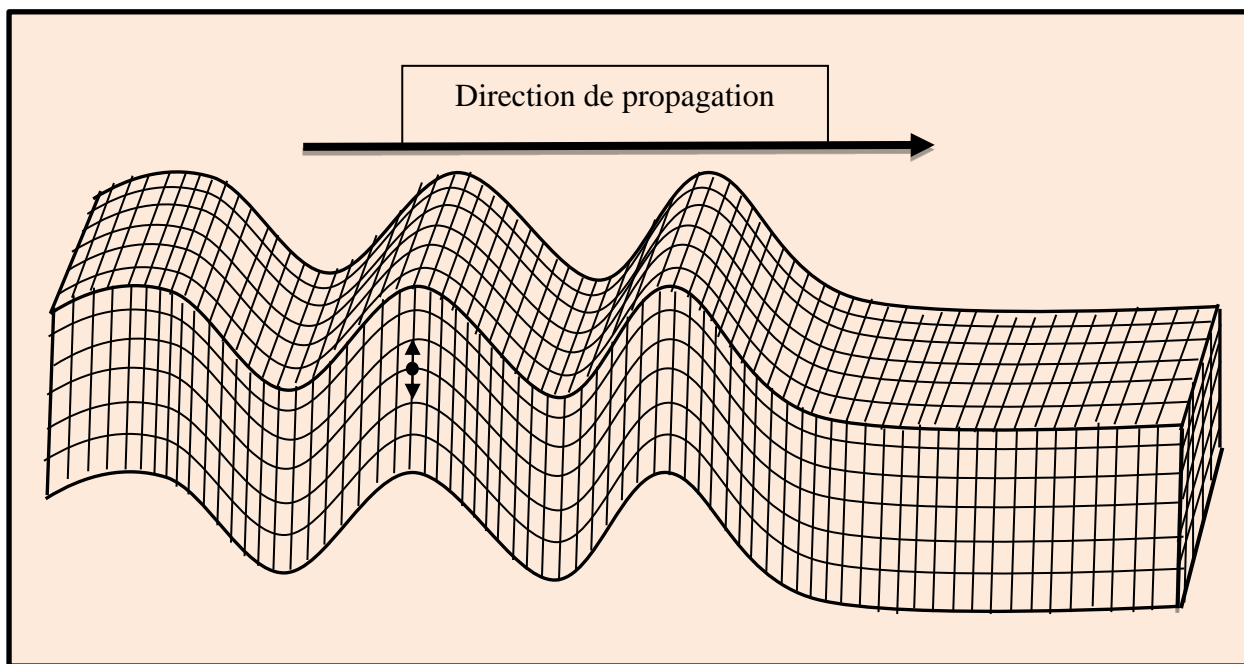


Figure.1.12 : déformation élastique et mouvement des milieux élastique lors de la propagation des ondes de cisaillement S [5]

### 1.3.3.1.1 Les gammes de vitesse des ondes P et S de divers types de terrain :

Cette répartition va nous permettre une interprétation des résultats obtenues de la méthode et la réalisation d'un modèles géologiques fiable.

Nature des terrains	Vitesse des ondes P [m/s]	Vitesse des ondes S [m/s]
Eboulis, terre végétale	300-700	100-300
Sable sec	400-1200	100-500
Sable humide	1500-4000	400-1200
Argiles	1100-2500	200-800
Marnes	2000-3000	750-1500
Grés	3000-4500	1200-2800
Calcaire	3500-6000	2000-3300
Craie	2300-2600	1100-1300
Sel	4500-5500	2500-3100
anhydrite	4000-5500	2200-3100
Dolomie	3500-6500	1900-3600
Granite	4500-6000	2500-3300
Basalte	5000-6000	2800-3400
Charbon	2200-2700	1000-1400
Eau	1450-1500	-
Glace	3400-3800	1700-1900
Huile	1200-1250	-

Tableau.1.2 : Les gammes de Vitesses des ondes P et S.[5]

# *Chapitre 2*

## *Problématique*

## Chapitre 2 : Problématique

Le but de cette investigation géophysique est d'étudier le problème d'un glissement de terrain, ce problème est localisé au niveau de la wilaya de Jijel, exactement la commune de Boudria Ben Yadjis, Daïra de Djimla, Le terrain glissé est situé dans la zone de construction du pont de la route national 77 et il est à 200 mètre du barrage hydraulique de Tabellout.

### 2.1 Situation de la zone d'étude :

#### 2.1.1 Situation géographique :

La wilaya de Jijel située au Nord-Est de l'Algérie, c'est une wilaya côtière elle est limitée par les wilayas suivantes : au Nord par la mer méditerranéenne, Skikda à l'Est, et Mila et Sétif au Sud, Bejaïa à l'Ouest.,

La commune de Boudria Ben Yadjis, est situé à 18 mètre au sud-ouest de la wilaya de Jijel, à la limite nord de la wilaya de Mila.

Les coordonnées d'un point du site d'étude en UTM (m) zone 31S est :

$X = 751805.84$  m et  $Y = 4056544.69$  m.



Figure.2.1: L'implantation du Site d'étude dans Google Earth.

Les figures ci-dessous illustre l'état du site d'étude :



Figure.2.2. Le site d'étude.

### **2.1.2 Le contexte géologie :**

La zone d'étude est localisée à la limite sud des massifs de la petite Kabylie ; elle s'étale à travers une limite géodynamique majeure de l'Algérie du nord. Géologiquement parlant, cette limite est associée à plusieurs unités structurales fortement tectonisées et encadrées par les plus grands contacts tectoniques d'âge alpins de l'Algérie du nord. Ces contacts sont à l'origine de la formation de l'orogène magrébin. L'édifice de ce dernier résulte de la structuration du bassin magrébin et de ses marges, bassin qui se situait entre les marges continentales européenne et africaine. [18]

Le site d'étude est localisé non loin de l'accident de Tabellout ou accident Sud Kabyle (Dorsale sud Kabyle) qui est considéré comme la limite géodynamique majeur de l'Algérie du Nord.

Les conditions géologiques de la région d'étude sont complexes composées par les formations superficielles d'argiles marneuses du Flysch Numidienne, qui sont altérées.

### **2.1.3 Etude géotechnique :**

Un sondage carotté sert à faire des prélèvements d'échantillons de sol sur des profondeurs importantes. Ces prélèvements ont pour objet de réaliser des observations et des mesures sur les matériaux prélevés (nature et qualité, épaisseurs, etc.).

Nous savons les résultats d'un sondage carottés réalisée dans notre région d'étude que nous pouvons exploiter.

0-5,30 m Argile schisteuse marron grisâtre, légèrement graveleuse avec des cailloux de Grés de 0.75 à 0.85m et de 3.20 à 3.38m.

5.30-20.44 m Schiste gris a bleuâtre, sains, compacte, tendre et friable.

20.44-30 m Schiste gris bleuâtre, sains, compacte et dur.



Figure.2.3: Le sondage carotté au niveau de la région étudié

## **2.2 Glissement de terrain :**

### **2.2.1 Définition :**

Mouvement de masse rapide vers le bas, d'une partie du matériel d'un versant, les déplacements des matériaux rocheux peuvent atteindre la vitesse de quelques mètres par seconde au moment du déclenchement du glissement. Certains matériaux réagissent particulièrement aux glissements de terrain, comme les argiles, les marnes, les gypses ou les formations superficielles d'altérites [4]

On peut en distinguer deux grandes catégories, celle où une partie d'un versant se détache en bloc, soit le long d'un plan de glissement déjà existant (diacalse, surface de stratification), soit avec formation d'une cassure souvent courbe (aussi arrachement, collapse structure, décoiffement, faille panaméenne) et celle que l'on nomme **solifluxion** où le glissement, en général moins rapide, est dû au fait que les terrains sont gorgés d'eau, et s'écoulent comme une masse boueuse à partir d'une niche de décollement ou niche de solifluxion (coulées boueuses ou coulées de solifluxion).[7]

Les glissements peuvent être de type **rotationnel** (surface de glissement circulaire) ou **translationnel** (déplacement plus ou moins parallèle à la topographie). En outre, les glissements de terrain peuvent être classés selon leurs profondeurs.

**2.2.2 Classification des glissements de terrain :**

Les glissements de terrain peuvent être classés selon la profondeur estimée de la surface de glissement :

Glissement	Profondeur
Superficielle	0-2 m
Glissement semi profond	2-10 m
Glissement profond	>10 m

Tableau 2.1: La classification des glissements selon la profondeur. [14]

**2.2.3 Facteurs d'instabilités :**

- La nature des terrain (lithologie : Marne, Argile, substratum schisteux.)
- La pente
- La structure de terrain (fracturation, faille, joint de stratification).
- L'eau diminue la résistance au frottement, modifie les caractéristiques de certains matériaux et augmente le poids des terrains.
- Les activités humaines (terrassment, rejet, les surcharges)
- Phénomène vibratoire (Les séismes, explosions)
- Les conditions climatiques. [14]



### 2.2.4 La morphologie d'un glissement de terrain :

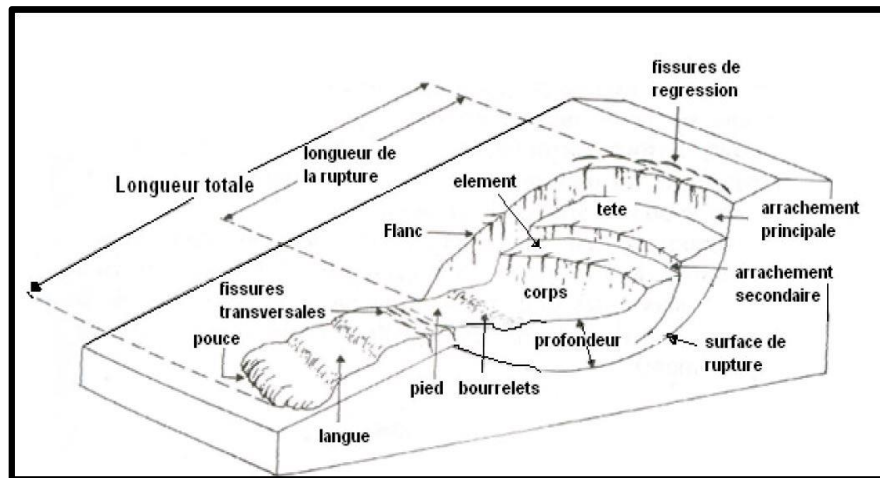


Figure.2.4 : Illustration des différentes composantes d'un glissement de terrain [8]

**Arrachement ou escarpement principale :** surface inclinée ou verticale, souvent concave limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongée en profondeur par la surface de glissement.

**Couronne :** Se situe au-dessus de l'escarpement principal souvent peu affecté par le désordre.

**Tête :** C'est la limite amont du glissement et plus précisément partie où le matériau glissé se trouve en contact avec l'escarpement principal.

**L'arrachement ou escarpement secondaire :** Circulaire semblable à l'escarpement principal, mais visible dans la masse remaniée. Ces escarpements confèrent à la masse en mouvement une structure en escalier.

**Flanc :** Limite latérales du glissement prolongeant l'escarpement principal.

**Pied :** Correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale. Le pied est souvent masqué par le bourrelet.

**Extrémité inférieure (pouce):** Zone aval du mouvement du terrain ou extrémité du bourrelet.

**Fissures transversales:** Elles se forment dans le bourrelet du mouvement du terrain, témoins d'effort de compression pouvant aboutir à des chevauchements dans le matériau.

**Surface de glissement ou de rupture :** C'est une surface qui sépare la masse glissée des terrains en place.

**Corps :** Partie centrale du glissement recourant la surface de rupture.

**Fissures et crevasses :** Rupture au sein du matériau se manifestant par des fentes d'importance et de formes diverses suivant leur position. [10]



**2.2.5 Types de glissement de terrain :**

**2.2.5.1 Glissement rotationnel ou circulaire :**

On distingue deux classes de glissement rotationnel :

**2.2.5.1.1 Glissement rotationnel simple :**

C'est le type de glissement le plus fréquent. Où il y'a un mouvement de rotation autour d'un axe central à la surface de rupture qui a une forme simple et peut être assimilée à une portion de cylindre. Si la ligne de rupture a une forme plus complexe, le glissement est appelé glissement non circulaire.

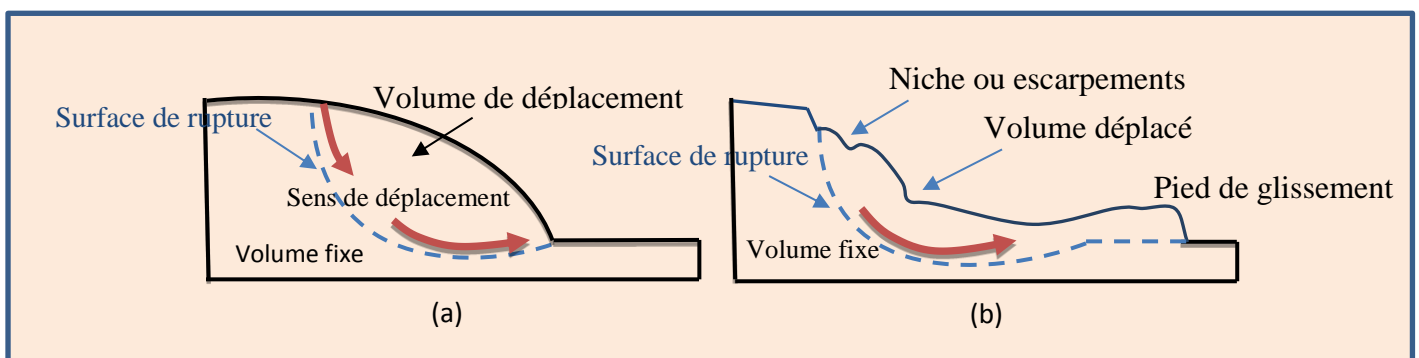


Figure.2.5 : schématisation du phénomène de glissement rotationnel (a) avant activation (b) après activation.

**2.2.5.1.2 Glissement rotationnel complexe :**

Il s'agit de glissements multiples « emboîtés » les uns dans les autres. L'apparition de premier glissement, en bas de la pente, conduit à une perte de butée pour les terres situées au-dessus, et ainsi provoque des glissements successifs remontant vers l'amont.

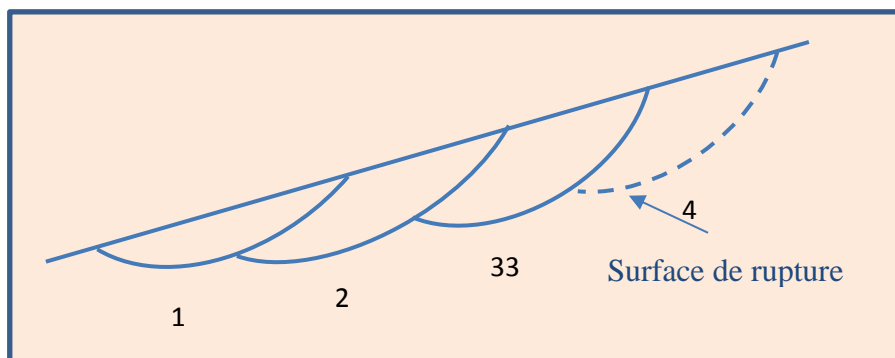


Figure.2.6 : Schématisation d'un glissement de terrain complexe

### 2.2.5.1.3 Glissement transrationnel ou Plan:

Dans un glissement plan, la ligne de rupture suit une couche mince appelée couche savon., la surface de rupture est droite et la masse du sol en mouvement glisse le long de celle-ci. Les glissements purement plans sont rares, la rupture a alors lieu suivant une ligne bien définie (par exemple les avalanches).

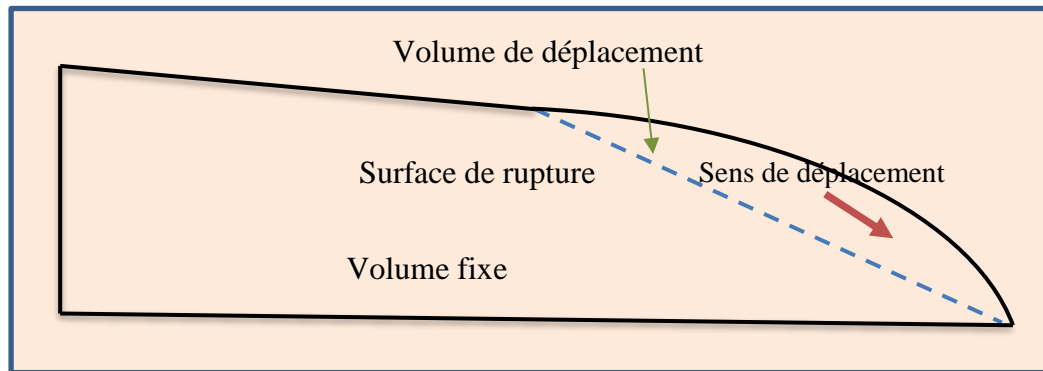


Figure.2.7 : Schématisation du phénomène de glissement de terrain plan

### 2.2.5.1.4 Glissements quelconques :

Sont sans aucun doute les glissements les plus fréquents et qui ont des caractéristiques semblables aux autres glissements précédemment définis. Dans la nature les terrains ne sont ni homogènes ni isotropes. En effet, ils existent beaucoup de glissements dont la surface de rupture est moins géométrique et même tout à fait quelconque. [4, 10]

### 2.2.6 Le choix des méthodes :

Généralement l'étude d'un glissement de terrain est réalisée par deux méthodes, la méthode électrique et la méthode sismique. Les paramètres étudiés par chaque méthode (le contraste de résistivité et les variations des vitesses des ondes acoustiques) permet d'estimer la géométrie du glissement (profondeur de la surface de glissement, géométrie du substratum),

# *Chapitre 3*

*Acquisition, traitement*

*Et*

*Interprétation des données*

## ***Chapitre 3 : Acquisition, traitement et interprétation des données.***

### **3.1 Acquisition des données :**

Pour répondre aux besoins de cette étude GeoEXplo a mobilisé tous les moyens nécessaires en équipements et matériels, afin d'assurer le bon déroulement de l'étude

L'acquisition des données a été réalisée le mois de mai, pendant une semaine, cette dernière s'est déroulée en deux phases (campagne de sismique réfraction et d'imagerie électrique), durant lesquelles les conditions climatiques étaient favorables pour le bon déroulement de l'acquisition des données pour les différents essais.

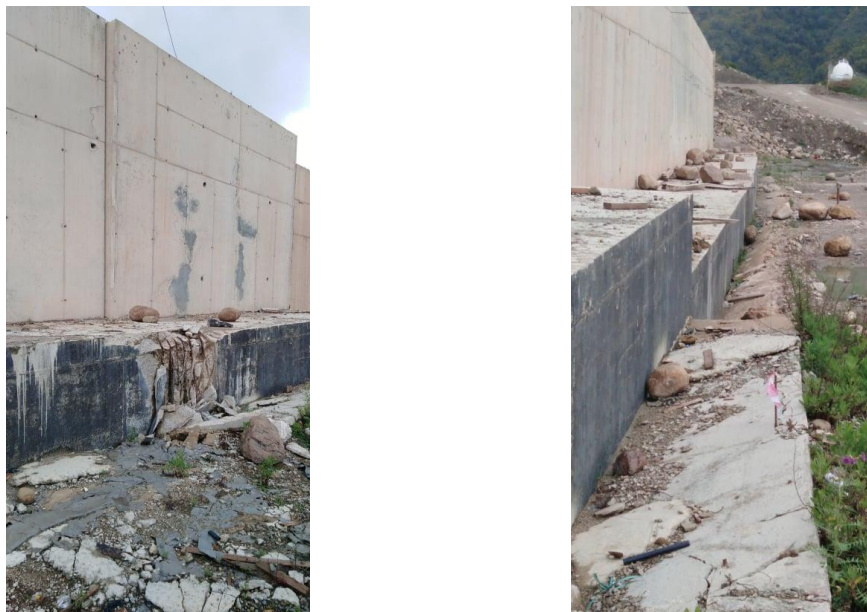


Figure 3.1: Le Site d'étude

### **3.1.1 Matériels mobilisés pour l'étude :**

#### **3.1.1.1 La méthode sismique :**

1. Un sismographe pour l'acquisition sismique: SUMMIT X STREAM Pro de DMT – Allemagne, équipé avec les accessoires suivants :
  - Deux câbles sismiques avec 24 sorties espacées de 5 mètres.

- 48 Géophones verticaux (Fréquence propre 10 Hz).
- 24 Géophones horizontaux (Fréquence propre 10 Hz).
- Une alimentation (batterie 12V), un marteau, une plaque métallique...
- Une chute de poids.



Figure.3.2: Le seismographe SUMMIT X STREAM Pro.

### **3.1.1.2 La méthode électrique :**

Un résistivimètre: Terrameter LS2 de marque ABEM a été utilisé pour l'acquisition de l'imagerie électrique, équipé avec les accessoires suivants :

- Des tresses électriques avec 05 prises pour électrodes intelligentes espacées de 5 mètres.
- Des piquets pour électrodes en acier.
- Marteaux.



Figure.3.3 : résistivimètre Terrameter LS2 de marque ABEM

### **3.1.2 Dispositif :**

- Pour la méthode électrique :

Deux profils étaient effectués, le premier (P1) est dans la direction du glissement il fait 155 m de long, les données ont été acquises avec 32 électrodes.

Le deuxième profil (P2) fait 235 mètres de long, il est constitué de 48 électrodes. Il est perpendiculaire à la direction du glissement.

- Pour la méthode sismique :

Deux profils ont été réalisés, le premier (Ps1) contient 36 géophones, il fait 175 mètres de long. Sept tirs ont été effectués :

Tir direct à -2.5 mètres des géophones 1.

- Tir fenêtre 1 entre les géophones 6 et 7.
- Tir fenêtre 2 entre les géophones 12 et 13.
- Tir au centre entre les géophones 18 et 19.
- Tir fenêtre 4 entre les géophones 24 et 25
- Tir fenêtre 5 entre les géophones 31 et 32

Tir inverse à 2.5 mètres du géophone 36.

Le deuxième profil (Ps2) est de longueur 237 mètres, il est constitué de 48 géophones et la distance entre chaque géophone est de 5 mètres.

Pour ce profil 9 tirs ont été réalisés :

Tir direct à -2.5 mètres des géophones 1.

- Tir fenêtre 1 entre les géophones 6 et 7.
- Tir fenêtre 2 entre les géophones 12 et 13.
- Tir fenêtre 3 entre les géophones 18 et 19.
- Tir au centre entre les géophones 24 et 25.
- Tir fenêtre 5 entre les géophones 31 et 32.
- Tir fenêtre 6 entre les géophones 36 et 37.
- Tir fenêtre 7 entre les géophones 42 et 43.



Tir inverse à 2.5 mètre du géophone 48.

Les profils P1 et P2 sont confondue avec les profils sismique Ps1 et Ps2 respectivement, la première électrode du profil P1 se trouve "sur" le géophone N°6 i.e. à 27.5 m du début du profil Ps1.

Les profils P2 et Ps2 partage le même début et le même azimut.



Figure.3.4 : Implantation des Profils P1, P2, Ps1, Ps2.

### 3.2 Traitement des données :

#### 3.2.1 Imagerie électrique :

Le logiciel RES2DINV a été utilisé pour inverser les données. Celui-ci permet le traitement de profils 2D. Le but de l'inversion est de trouver une réponse similaire à ce qui est mesuré sur le terrain, c'est-à-dire de trouver les épaisseurs et les résistivité vraie des sols pouvant expliquer les résistivités apparente mesurée.

##### 3.2.1.1 L'inversion :

Comme nous l'avons dit précédemment, le logiciel Res2Dinv va permettre, à partir des valeurs de résistivités apparentes mesurées sur le terrain, de trouver les résistivités calculées (vraies) du terrain d'étude. Le logiciel procède par une méthode itérative. En premier lieu il découpe le profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur.

Cette augmentation est due à la perte de résolution des méthodes électriques avec la profondeur et dépend du nombre de points de mesure et de niveaux d'acquisition. Pour cette opération d'inversion, les premières valeurs introduites dans les blocs du modèle, sont les valeurs de la résistivité apparente.

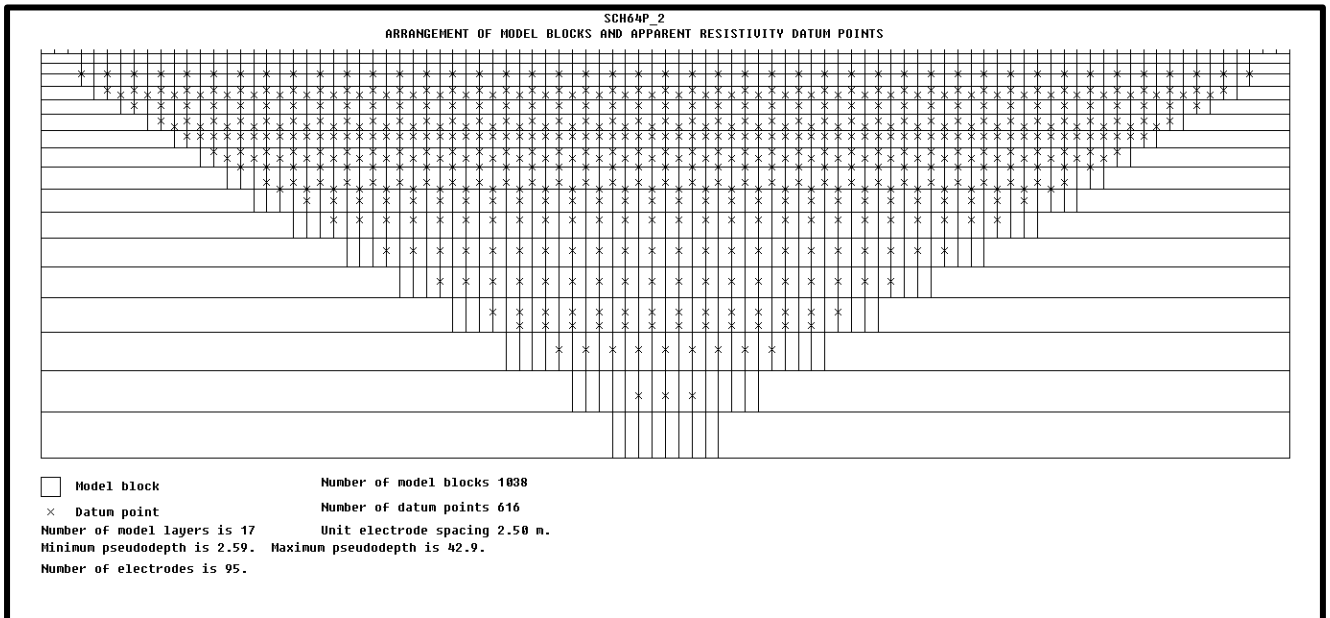


Figure.3.5 : La découpe du profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur

À partir de ce premier modèle, le logiciel injecte un courant fictif et recalcule les valeurs apparentes, valeurs qu'il compare avec celles mesurées sur le terrain (estimation de l'erreur par moindres carrés). Cette comparaison lui permet d'ajuster son modèle et ainsi de réduire la différence entre les valeurs apparentes calculées et les valeurs mesurées sur le terrain en répétant le processus (par itérations successives).

### 3.2.1.2 Les paramètres modifier durant le traitement :

#### 3.2.1.2.1 Eliminer les mauvaises données :

Les points sont représentés selon les différents niveaux d'acquisition et avec une échelle restreinte. Cette représentation va faire ressortir les mesures dont la résistivité apparente est très forte ou très faible par rapport aux points voisins. Un tel changement aussi rapide ne pouvant être dû à un phénomène géologique, de telles données doivent être éliminées.



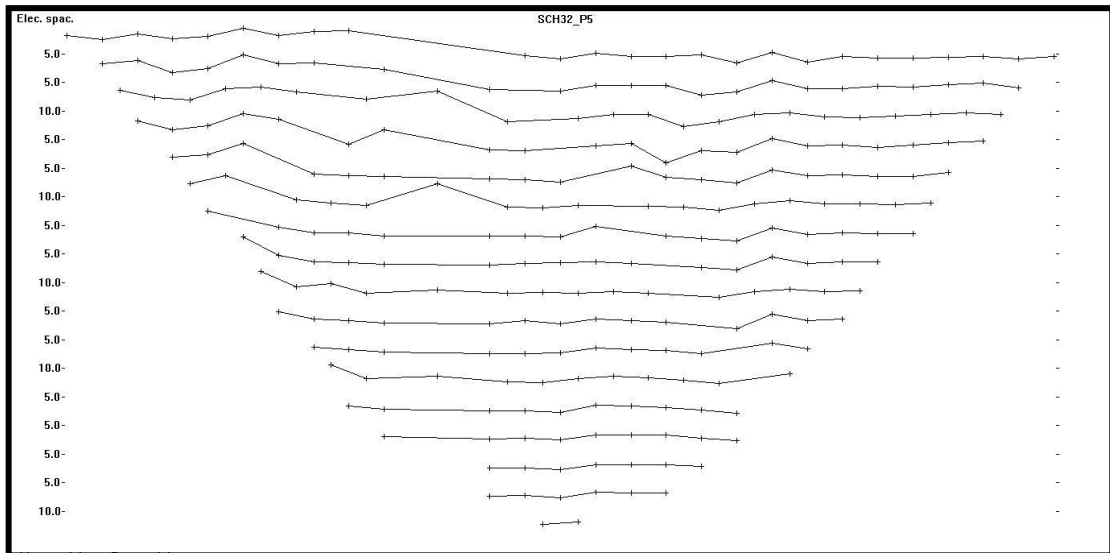


Figure.3.6: L'élimination des mauvais points de mesure dans logiciel RES2DINV.

### 3.2.1.2.2 Raffinement du model :

On a utilisé cette option, pour diminuer les variations de résistivité près de la surface du sol, dès qu'on a choisi cette option le programme a réduit automatiquement l'espacement des électrodes par unité utilisé de moitié par rapport à celui indiqué dans le fichier de données.[12]

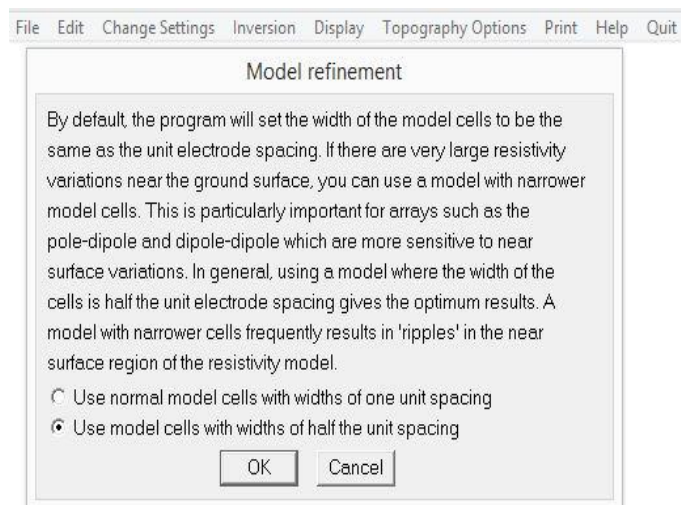


Figure.3.7: La boîte de dialogue de l'option raffinement du model.

### 3.2.2 Sismique réfraction :

Le traitement et l'interprétation des profils sismiques s'est fait avec le logiciel ReflexW de Sandmeier Scientific – Allemagne. Le logiciel nous permet de faire tout le processus complet du traitement des données sismiques. L'interface du logiciel est illustrée dans le figure 3.8.

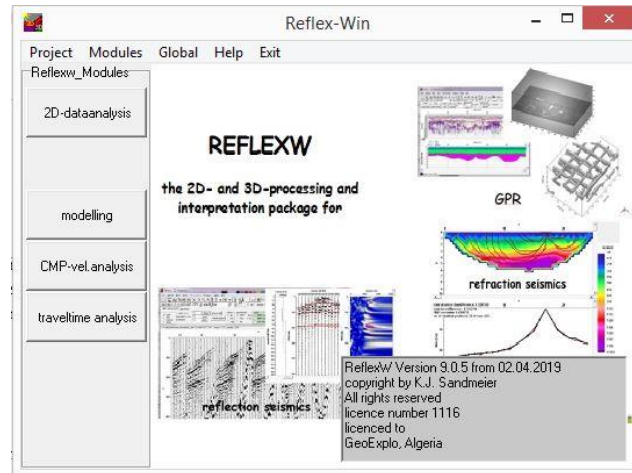


Figure3.8 : L'interface du logiciel ReflexW

On débute par le pointage des films sismique en choisissant la commande « 2D-dataanalysis ». Cette action peut être réalisé automatiquement ou semi-automatique par le logiciel ou manuellement par l'utilisateur.

Les deux figures3.9 et 3.10 représente le pointage des temps d'arrivée des premières ondes.

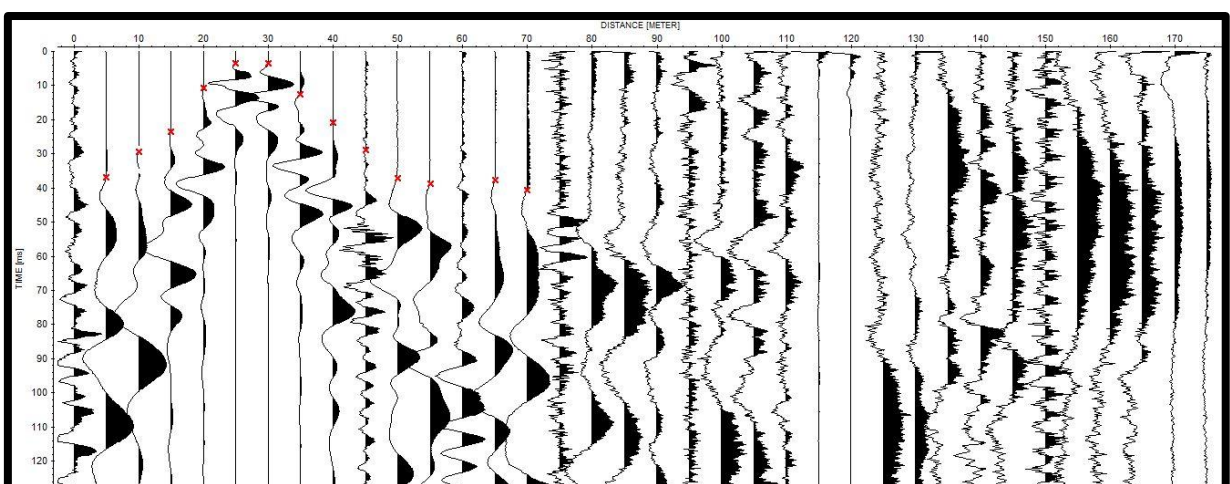


Figure.3.9 : Le pointé du film sismique du Ps1

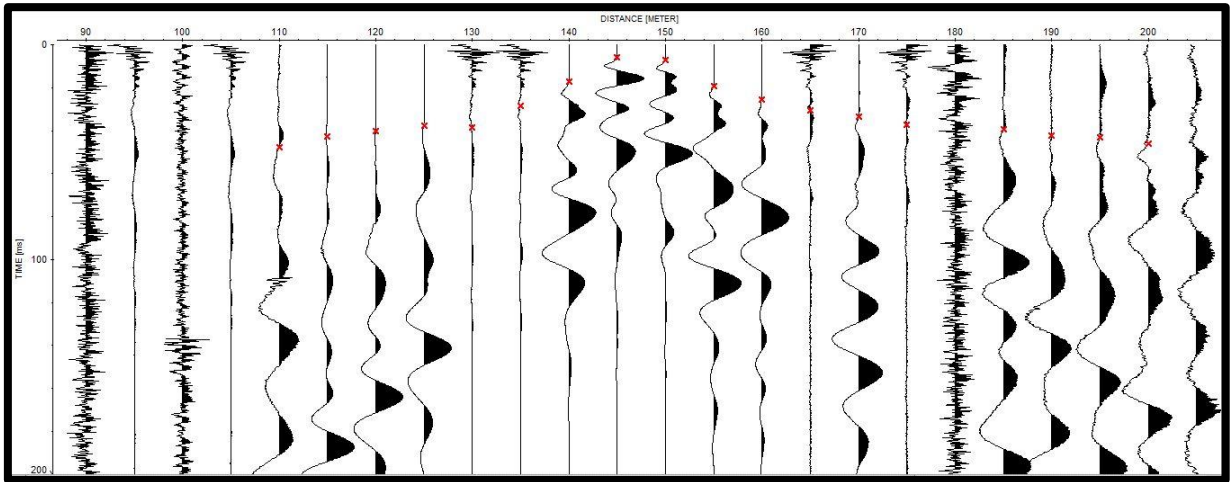


Figure.3.10 : Le pointé des traces sismiques.

La deuxième étape «travel time analysis » nous permet de faire un traitement sur les hodochrone c.-à-d. extraire les vitesses des couches et la réalisation de la coupe géo-sismique.

Les deux figures 3.11 et 3.12 représentent les hodochrones obtenues du pointage des films sismiques: temps d'arrivée des ondes par rapport à la distance :

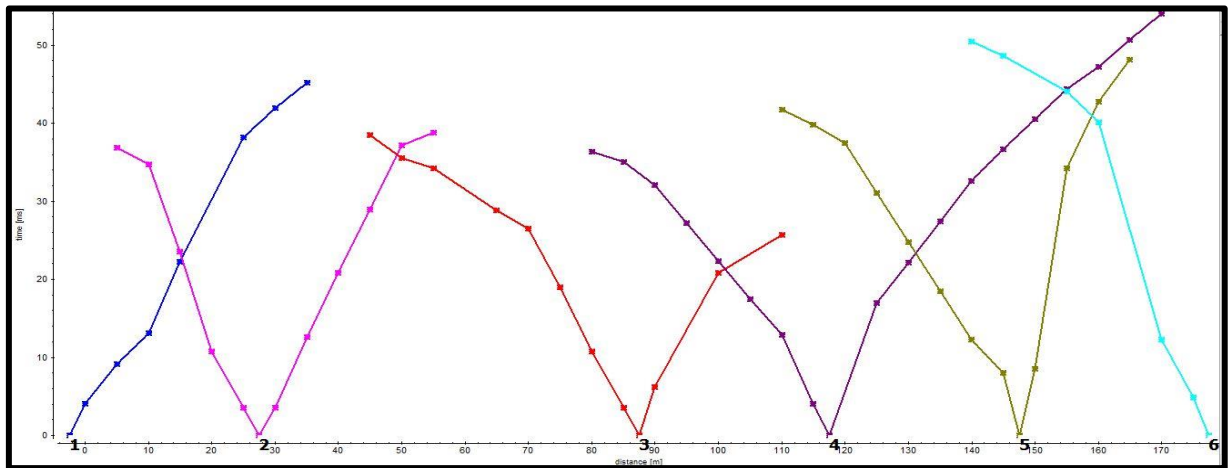


Figure.3.11: les Hodochrones du profil Ps1

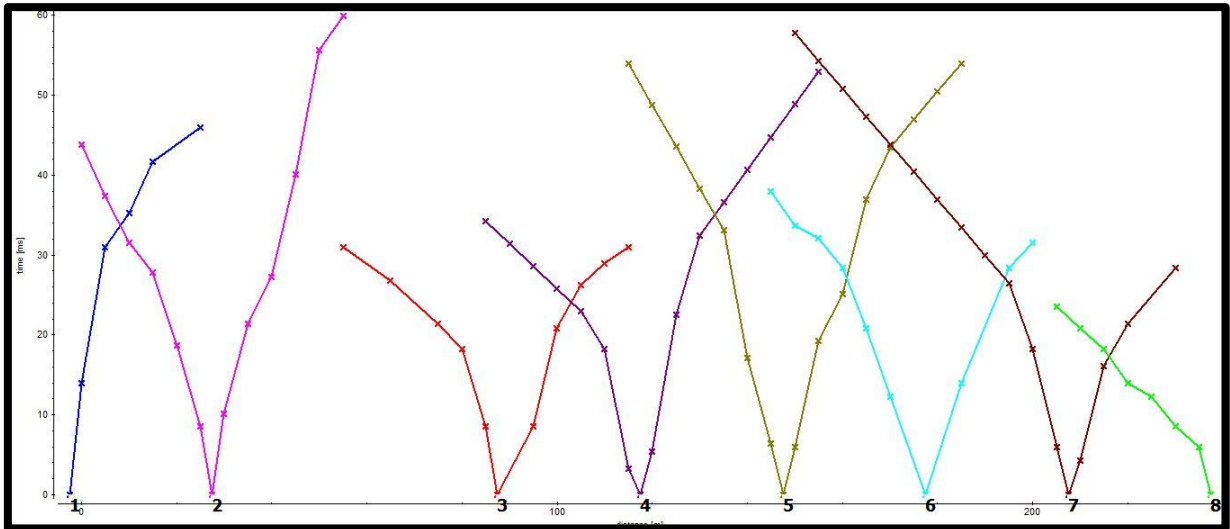


Figure.3.12 : Les hodochrones du profil Ps2.

Pour vérifier les résultats du logiciel on a calculé les épaisseurs des couches en utilisant la méthode des interceptes times. Les deux figure 3.13 et 3.14 illustrent la procédure de l'extraction des interceptes de chaque couche.

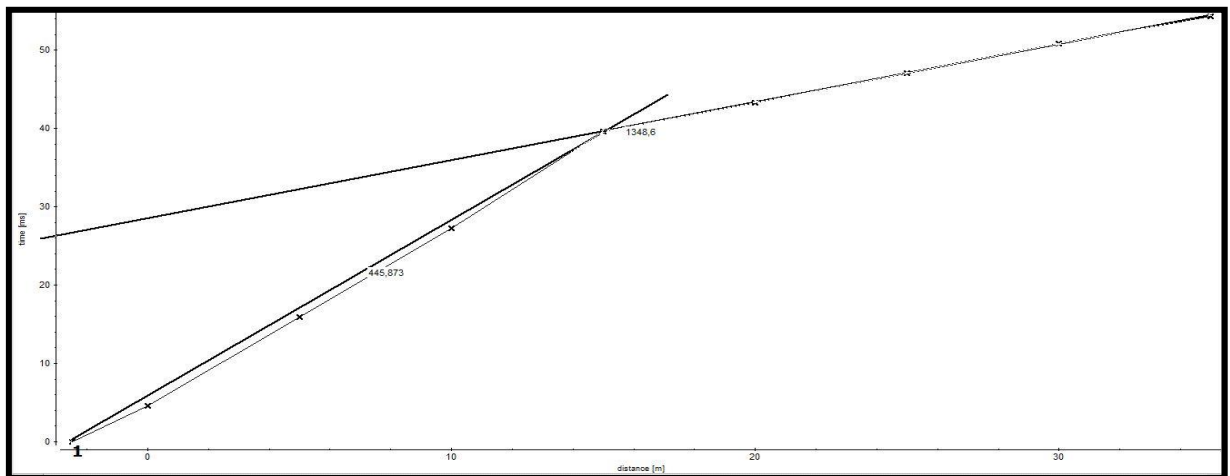


Figure.3.13 : La méthode des interceptes pour le profil Ps1

Le tableau ci-dessous représentent les valeurs des vitesses de chaque tir et l'épaisseur correspondante calculer avec la méthode des intercepte :

TD	T 6-7		T 17-18		T 24-25		T 31-32		TR
	G	D	G	D	G	D	G	D	
735.46	496.78	616.09	619.79	590.98	574.87	476.06	614.79	613.56	441.82
1363.7	2805.4	2510.1	2098.0	2073.5	2167.8	1620.9	2384.6	2285.6	1927.5
3.54 m	5.33	5.95	7.74	8.84	7.65	7.68	4.94	5.55	9.26

Tableau.3.1: Les vitesses et les épaisseurs de la couche 1 du profil Ps1 dans

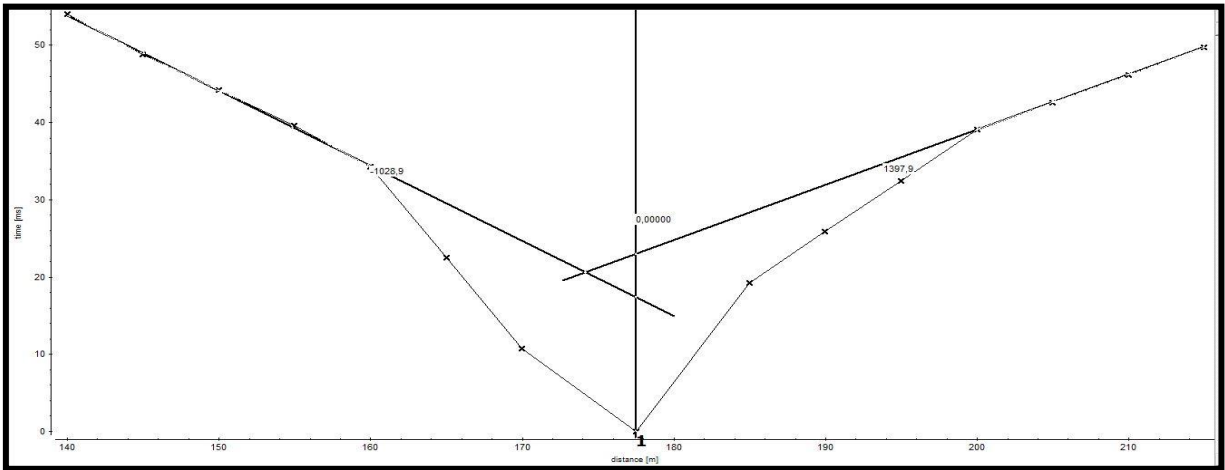


Figure.3.14 : La méthode des interceptes sur le profil Ps2

Le tableau ci-dessous représente les vitesses et les épaisseurs des couches calculer par la méthode des interceptes times de chaque couche:

TD	T 6-7		T 17-18		T 24-25		T 31-32		T 36-37		T 42-43		TR
	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	
407.37	466.21	418.127	400.15	610.76	547.07	403.09	454.29	731.29	638.07	636.49	456.26	460.73	431.5
2431.0	1265	1324	1956.1	2109.9	1782.3	1200	2132.9	2381.2	1566.6	1550.8	1442.4	1272.9	1676.4
2.02	2.37	2.365	3.18	3.48	2.45	2.27	1.46	1.51	2.51	2.52	2.03	2.11	2.99

Tableau 1:: Les vitesses et les épaisseurs de la couche 1 du profil Ps2 dans chaque tir.

Les figures 3.15 et 3.16 représentent les coupes géo-sismique du Ps1 et Ps2 après les modifications manuelles réalisées en suivant les épaisseurs calculées.

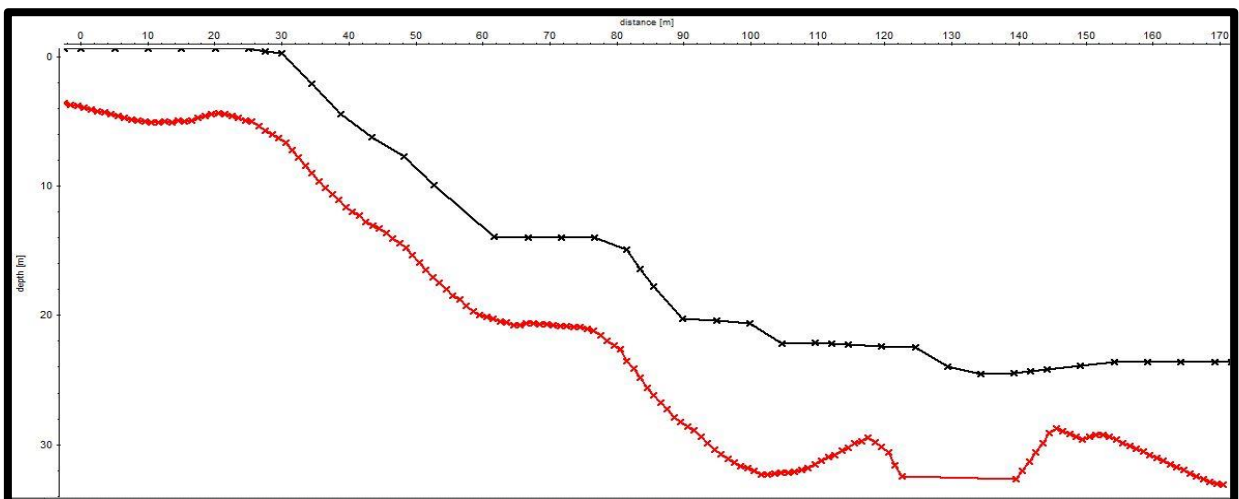


Figure.3.15 : La coupe géo-sismique du profil Ps1.

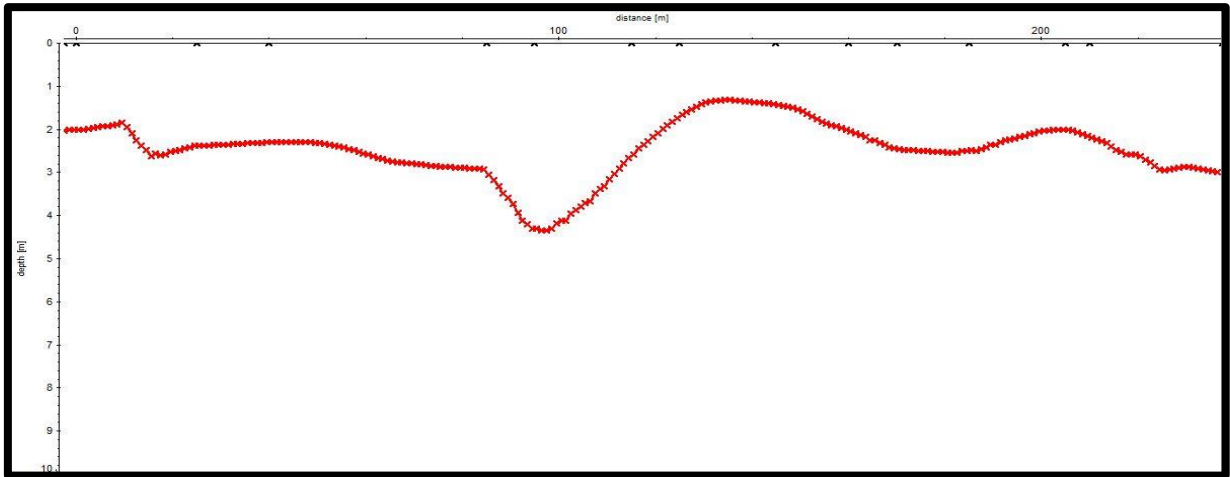


Figure.3.16 : La coupe géo-sismique du profil Ps2

### 3.3 Interprétation des données :

#### 3.3.1 La méthode électrique :

##### 3.3.1.1 Profil P1 :

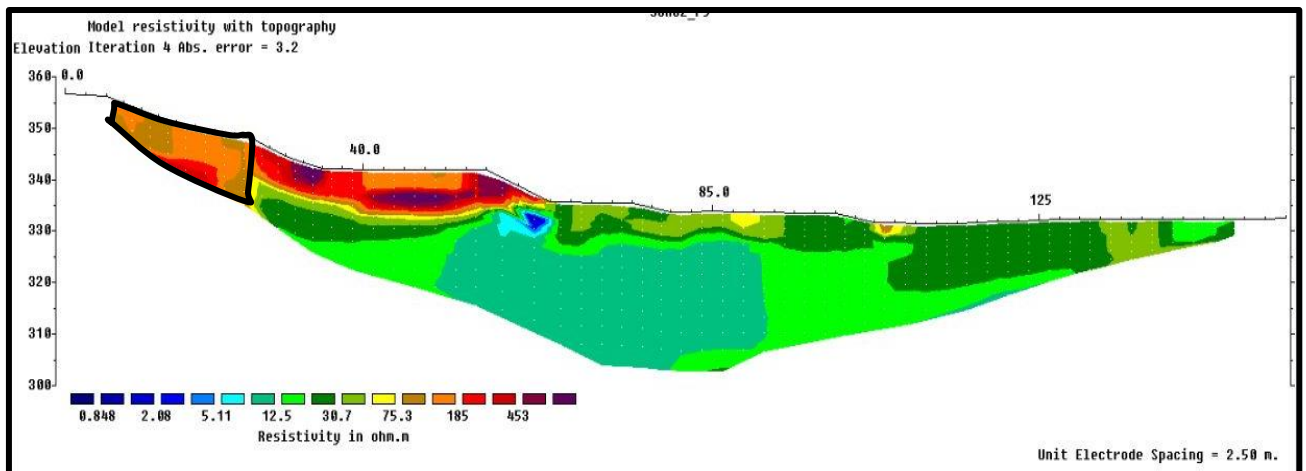


Figure.3.17 : La pseudo section du Profil P1-Wenner-Schlumberger

Le profil P1 est réalisé dans la même direction que le glissement.

Le profil P1 se divise en trois horizons, le superficiel est de résistivité qui dépasse les 70 Ohm.m et il prolonge jusqu'à une profondeur de 15 mètres, le deuxième est caractérisé par une résistivité qui arrive jusqu'à 30 Ohm.m et le troisième est le moins résistif possède des valeurs de résistivités qui varie entre 5 et 13 Ohm.m.

La formation superficielle représente un remblai de conglomérat ajouté au terrain, il est de profondeur qui arrive jusqu'à 15 mètres. Cette formation possède des résistivités beaucoup plus faibles que celle d'une formation de conglomérat sein. La zone entourée en noire possède une pente élevée et pour cela on peut dire que cette zone peut représenter la masse glissée.

La deuxième formation est de résistivité moyenne, elle est de profondeur qui arrive à 10 mètres, cette formation d'après le sondage carotté représente une formation d'argile schisteuse marron grisâtre, légèrement graveleuse avec des cailloux de Grés de 0.75 à 0.85m et de 3.20 à 3.38m. cette formation représente le substratum du glissement.

Le troisième horizon est caractérisé par une formation de faible résistivité, d'après le sondage carotté cette formation peut correspondre à des Schistes gris a bleuâtre, sains, compacte, tendre et friable.

### 3.3.1.2 Profil P2 :

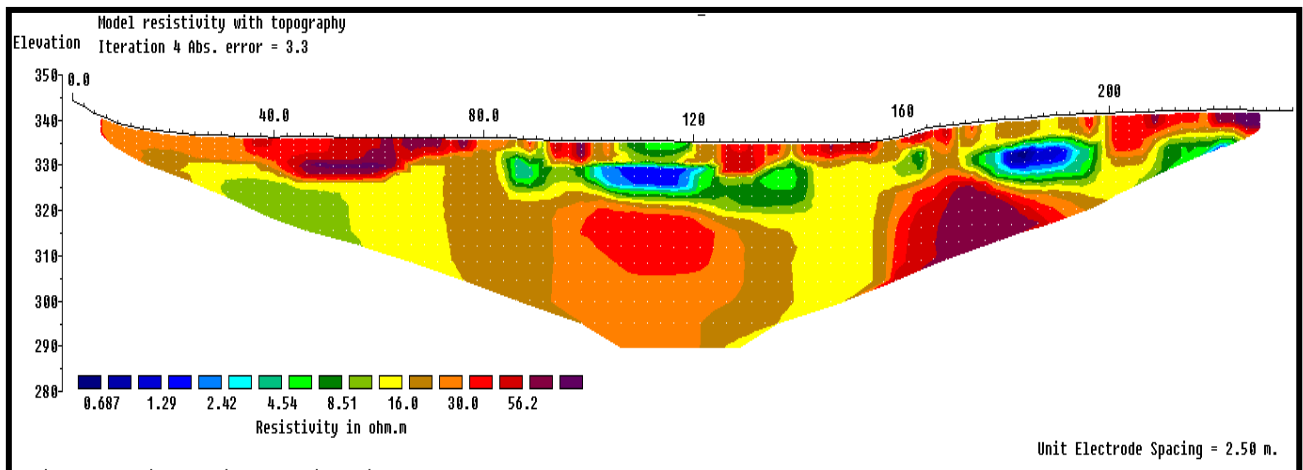


Figure.3.18 : La pseudo section du profil P2-Schlumberger.

Ce profil a été réalisé dans la partie sein du terrain.

La majorité de la section représente des zones de résistivité moyenne qui varie entre 1 et 60 Ohm.m, on remarque au niveau de la formation superficielle des variations de la résistivité le long du profil où elle diminue de 60 Ohm.m à 8 Ohm.m. puisque on n'est dans la même formation ce changement brusque de résistivité ne peut être expliqué que par des infiltrations d'eau. Donc le terrain possède la capacité d'absorber de l'eau ce qui peut être le problème initial de ce glissement.



### 3.3.2 La méthode sismique:

#### 3.3.2.1 Profil 01 (Ps1) :

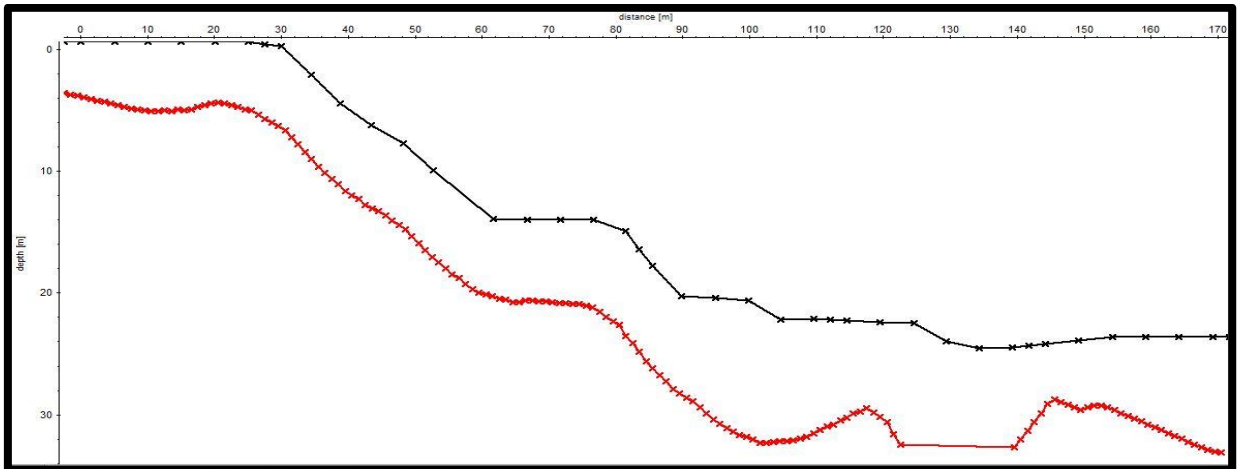


Figure.3.19 : La coupe géo-sismique du profil Ps1

La coupe représente un terrain de deux couches. La première est caractérisée par des vitesses qui varient entre 441.82-735.46 m/s et de profondeur qui oscille entre 3.5 et 9 mètres.

La deuxième couche est caractérisée par des vitesses qui varie dans l'intervalle [1363.7-2805.4] m/s.

#### 3.3.2.2 Profil 02 (Ps2) :

La figure 3.20 représente la coupe géo-sismique obtenue du logiciel ReflexW, après les modifications réalisées manuellement suivent les valeurs obtenues de la méthode des interceptes.

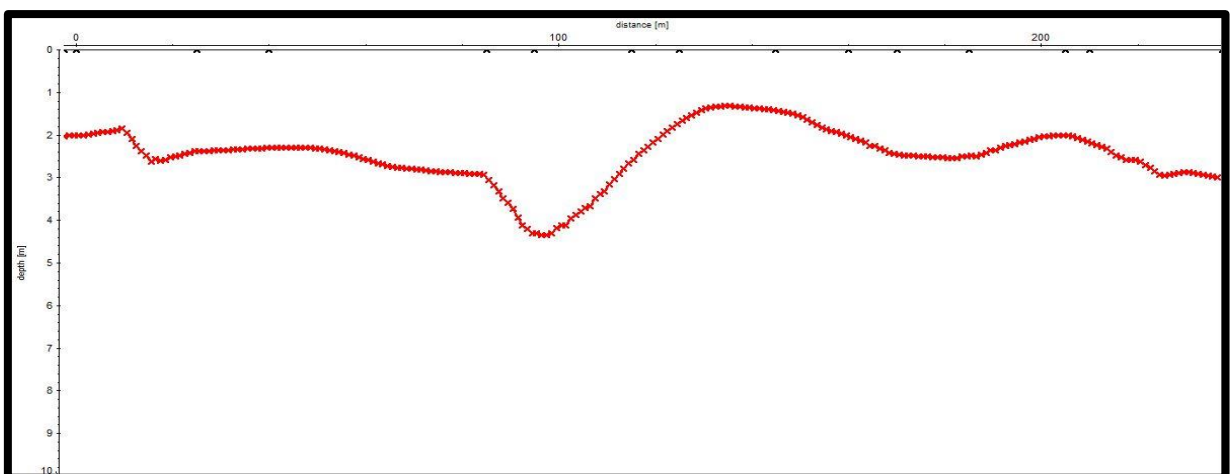


Figure 3.20: La coupe géo-sismique du profil Ps2



La coupe représente un terrain de deux couches. La première est caractérisée par des vitesses qui varient entre 400.15-731.29 m/s et de profondeur qui oscille entre 2.02 et 3.5 mètre.

La deuxième couche est caractérisée par des vitesses qui varient dans l'intervalle [1200-2431] m/s.

### **3.3.2 Comparaison des résultats de la méthode électrique et sismique :**

#### **Les profils P1, Ps1 et sondage carotté:**

La première couche de l'imagerie électrique est de résistivité qui arrive jusqu'à 400 Ohm.m et elle est de profondeur de 15 mètre. En sismique cette couche est 9 mètre de profondeur et de vitesse d'environ 600 m/s. cette couche représente le remblai de conglomérat ajouté au terrain.

D'après les résultats de l'imagerie électrique la deuxième couche est 10 mètre de profondeur et de résistivité moyenne de 30 Ohm.m. en sismique cette couche est de vitesse qui varie entre 1363.7 et 2805.4 m/s

D'après les résultats de l'imagerie électrique, le troisième terrain est de résistivité variante entre 5-13 Ohm.m. Cette formation correspond au argile gris d'après le sondage carotté.

#### **Les profils P2, Ps2 et sondage carotté :**

Les couches du terrain ne sont pas identifiables pour les résultats de l'imagerie électrique. Les résultats de la sismique nous présente un terrain à deux couches, la première est de profondeur de 3 mètre et de vitesse qui arrive à 600 m/s, le deuxième terrain de vitesse qui varie de 1200-2431 m/s.

## *Chapitre 4*

# *Rapport d'acquisition de glissement de terrain à Belaas*

## **Chapitre 4 : Rapport d'acquisition de glissement de terrain à Belaâs**

### **4.1 Problématique**

Durant la préparation du PFE, le bureau d'étude GeoEXplo à organiser une journée sur terrain, dans la région d'el Belaâs, alors on a profité de l'occasion et on a assisté à la procédure de l'acquisition des données, et on a préparé un rapport d'acquisition.

Ce site présente un glissement de terrain dû à la restauration d'une route



Figure.4.1 : Aperçu du glissement de terrain.

Pour étudier ce problème, nous avons utilisé deux méthodes géophysiques :

- Méthode électrique : profil d'imagerie électrique.
- Méthode sismique : profil sismique réfraction.

### **4.2 Acquisition des données**

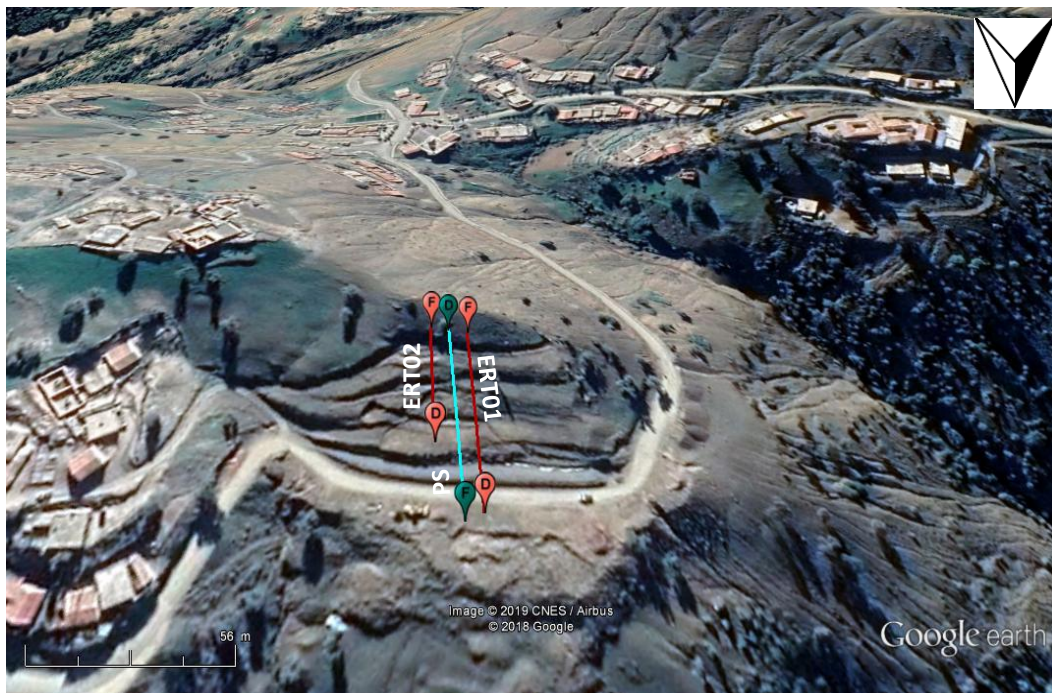
L'acquisition des données s'est déroulée pendant la journée du (14-05-2019) de 12 :03 à 14 :45 au niveau d'un douar appelé Ben Hassan qui se situe à 100 km du sud-ouest d'Ain Defla, entre les deux communes de Maine et Belaâs.

Les coordonnées UTM des profils réalisés sont présentées dans le tableau suivant :

		Coordonnées (UTM)				
Nom	Profil	X(m)	Y(m)	Z(m)	Orientation	
Imagerie électrique	IE1	Début	0388160	3988120	894	-
		Fin	0388171	3988032	920	N-S
	IE2	Début	0388162	3988096	899	-
		Fin	0388156	3988033	921	N-S
Profil sismique	PS1	Fin	0388151.19	3988089	891	-
		Début	0388164	3988033	922	S-N

Tableau. 4.1: les coordonnées du début et fin des profils

Tous les profils sont espacés presque par 5 mètre de distance et sont parallèle à la direction du glissement.



- Profils ERT.
- Profil sismique.

Figure.4.2 : Implantation des profils réalisé.

### 4.2.1 L'imagerie électrique :

Nous avons réalisé 2 profils d'imagerie électrique, les mesures ont été réalisées selon le dispositif Wenner-Schlumberger.

- Profil 1 : AB=100 m.
- Profil 2 : AB=75 m.

Le système électrique utilisé pour l'acquisition des profils est le résistivimètre SARIS (Scintrex Automates Resistivity Imaging System) de la société canadienne Scintrex.

Les accessoires nécessaires sont :

- Electrodes métalliques de (50 cm).
- Câbles multi-électrodes.
- Le marteau.
- GPS.



Figure.4.3 : Résistivimètre Saris de Scintrex



Figure.4.4 : Le marteau



Figure.4.5 : Les électrodes



Figure.4.6: Câble multiconducteur





Figure.4.7 : GPS

La campagne de mesure s'est débuté par l'implantation des électrodes fermement dans le sol avec un espacement de 5 mètre, puis les connecter au câble multi électrode grâce à des pinces simples, ce câble est lui-même connecter au résistivimètre. Une batterie de 12 V était utilisée comme une source de courant électrique.

Pour la procédure d'acquisition le travail était réalisé par le résistivimètre, il suffisait juste de choisir le dispositif et lancer la mesure, principalement chaque électrode possède une adresse numérique unique dans le dispositif ce qui lui permet d'être identifié par le résistivimètre. Ce qui permet au résistivimètre de sélectionner automatiquement les électrodes utilisées pour l'injection du courant et la mesure du potentiel. La mesure est ensuite stockée en mémoire.

#### **4.2.2 Les profils sismiques :**

Nous avons réalisé un seul profil d'une longueur de 115 mètre, avec 5 mètre de distance entre chaque géophone.

Le système sismique utilisé pour l'acquisition est le sismographe SUMMIT X Stream de DMT.

Les accessoires nécessaires sont :

- 24 géophones.
- Deux câbles sismique contenant chacun 12 sortie espacée 5 m.

- Unité de contrôle (SUMMIT X STREAM) de DMT.
- Un PC.
- Une batterie (12 V).
- Plaque métallique.
- Une masse de presque 10 kg.



Figure.4.8: Seismograph SUMMIT X Stream ET PC

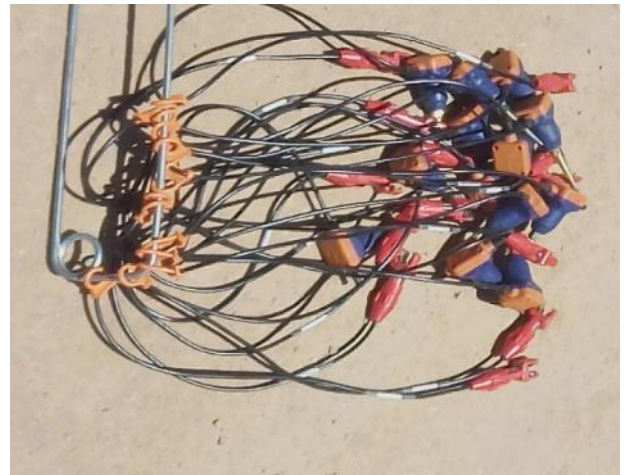


Figure.4.9 : Géophones



Figure.4.10 : Batterie d'alimentation



Figure.4.11 : Plaque métallique et marteau



Figure.4.12 : Câble de 400 m

Le profil contient 5 point de tir :

- Tir directe à -2.5 du géophones 1.
- Tir fenêtre 1 entre les géophones 6 et 7.
- Tir au centre entre les géophones 12 et 13.
- Tir fenêtre 3 entre les géophones 17 et 18.
- Tir inverse à 2.5 du géophone 24.

On a débuté la prospection par l'implantation des géophones dans le sol puis les connecter à la flute sismique.

Le sismographe contient quatre sortie une pour l'alimentation (batterie de 12V), une pour la flute sismique, une pour le câble réseaux qui permet de relier le résistivimètre a un PC et dernièrement une sortie pour le trigger qui déclenche l'enregistrement des films sismique.

Les coups sismiques étaient réalisés par une massette de 10kg, cette dernière est attaché la bobine ou le déclencheur est attaché.

Après chaque tir la qualité des enregistrements était vérifié. Pour les paramètre du sismographe le mode stack était activée ce mode nous a permet de sommer les enregistrements de chaque tir effectuer pour la minimisation du bruit.



## *Conclusion :*

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans le cadre de notre projet de fin d'étude, intitulé « la caractérisation d'un site par la méthode électrique et sismique ».

L'objet de notre mémoire a été d'étudier un glissement de terrain par la méthode électrique et sismique. L'étude géophysique consiste à la réalisation de deux profils d'imagerie électrique et deux profils de sismique réfraction.

Après la comparaison des résultats de la méthode sismique et la méthode électrique, on peut constater que les résultats de la sismique ne sont pas fiables pour être intégrés dans l'interprétation, prenant juste un exemple le P1 qui introduit un terrain à trois couches alors que le Ps1 introduit un terrain à 2 couches.

Après le traitement et l'interprétation des données de l'imagerie électrique, on a trouvé les résultats suivants : La surface de glissement prolongée à une profondeur de 15 mètres elle est caractérisée par la formation principale le remblai de congolomérite ajouté au site pour augmenter le niveau du terrain.

En somme, ce travail de fin d'études nous a permis de mettre à profit les connaissances apportées dans le cadre de notre formation. Nous espérons qu'il aura participé à l'enrichissement de notre bibliothèque par un autre cas pratique bien détaillé qui pourrait servir de ressource pour les promotions à venir.

## Liste des figures

<b>Figure.1.1 : Le principe de la méthode électrique.....</b>	<b>2</b>
Figure.1.2 : Le dispositif Wenner.....	5
Figure.1.3 : Le dispositif Wenner-Schlumberger.....	5
Figure.1.4 : Le dispositif Dipôle - Dipôle.....	5
Figure.1.5 : Le principe de sondage électrique vertical.....	7
Figure.1.6: Le principe du trainé électrique.....	7
Figure.1.7: Le principe de la tomographie électrique.....	8
Figure.1.8: Le principe de la sismique.....	9
Figure.1.9: la loi de Snell-Décartes.....	10
Figure.1.10: Principe de la sismique de réfraction.....	11
Figure.1. 11: déformation élastique et mouvement des éléments du milieu élastique Lors de la propagation des ondes de compression P.....	13
Figure.1.12: déformation élastique et mouvement des milieux élastique lors de la propagation des ondes de cisaillement S.....	14
Figure.2.11: L'implantation du Site d'étude dans Google Earth.....	16
<b>Figure.2.2. Le site d'étude.....</b>	<b>17</b>
Figure.2.3: Le sondage carotté au niveau de la région étudié.....	18
Figure.2.4 : Illustration des différentes composantes d'un glissement de terrain.....	20
Figure.2.5 : schématisation du phénomène de glissement rotationnel (a) avant Activation (b) après activation.....	21
Figure.2.6 : Schématisation d'un glissement de terrain complexe.....	22
Figure.2.7 : Schématisation du phénomène de glissement de terrain plan.....	22
<b>Figure 3.1: Le Site d'étude.....</b>	<b>26</b>
Figure.3.2: le seismograph SUMMIT X STREAM Pro.....	27
Figure.3.3 : résistivimètre Terrameter LS2 de marque ABEM.....	28
Figure.3.4 : Implantation des Profils P1, P2, Ps1, Ps2.....	29
Figure.3.5 : La découpe du profil en plusieurs blocs dont la taille augmente avec la profondeur.....	30
Figure.3.6 : L'élimination des mauvais points de mesure.....	31

<i>Figure.3.7: La boîte de dialogue de l'option raffinement du model</i> .....	31
<i>Figure.3.8 : L'interface du logiciel ReflexW</i> .....	32
<i>Figure.3.9 : Le pointillage du film sismique du Ps1</i> .....	32
<i>Figure.3.10 : Le pointage des traces sismique</i> .....	33
<i>Figure.3.11: les Hodochrones du profil Ps1</i> .....	33
<i>Figure.3.12 : Les hodochrones du profil Ps2</i> .....	34
<i>Figure.3.13 : La méthode des interceptes pour le profil Ps1</i> .....	34
<i>Figure.3.14 : La méthode des interceptes sur le profil Ps2</i> .....	35
<i>Figure.3.15 : La coupe géo-sismique du profil Ps1</i> .....	35
<i>Figure.3.16 : La coupe géo-sismique du profil Ps2</i> .....	36
<i>Figure.3.17 : Figure 30: La pseudo section du Profil P1-Wenner-Schlumberger</i> .....	36
<i>Figure.3.18 : La pseudo section du profil P2-Schlumberger</i> .....	37
<i>Figure.3.19 : La coupe géo-sismique du profil Ps1</i> .....	38
<i>Figure.3.20 : La coupe géo-sismique du profil Ps2</i> .....	38
<b><i>Figure.4.1 : Aperçu du glissement de terrain</i>.....</b>	<b>41</b>
<i>Figure.4.2 : Implantation des profils réalisé</i> .....	42
<i>Figure.4.3 : Résistivimètre Saris de Scintrex</i> .....	43
<i>Figure.4.4 : Le marteau</i> .....	43
<i>Figure.4.5 : Les électrodes</i> .....	44
<i>Figure.4.6: Câble multiconducteur</i> .....	44
<i>Figure.4.7 : GPS</i> .....	44
<i>Figure.4.8 : Seismograph SUMMIT X Stream ET PC</i> .....	46
<i>Figure.4.9 : Géophones</i> .....	46
<i>Figure.4.10 : Batterie d'alimentation</i> .....	46
<i>Figure.4.11 : Plaque métallique et marteau</i> .....	46
<i>Figure.4.12 : Câble de 400 m</i> .....	46

## **LISTE DES TABLEAUX**

<i>Tableau.1.1: Les gammes de résistivités apparente de quelque milieux.....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau.1.2 : Les gammes de Vitesses des ondes P et S.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau.2.1: La classification des glissements selon la profondeur.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau.3.1: Les vitesses et les épaisseurs de la couche 1 du profil Ps1 dans chaque tir.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau.3.3 : Les vitesses et les épaisseurs de la couche 1 du profil Ps2 dans chaque tir.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau.4.1: les coordonnées du début et fin des profiles.....</i>	<i>43</i>

## *Bibliographie*

- [1] ADEME/IFSTTAR/AGAP QUALITE. 2016. Guide des méthodes géophysiques pour la détection d'objets enfouis sur les sites pollués. 122 P
- [2] Blondel A, 2014, Développement des méthodes géophysiques électriques pour la caractérisation des sites et sols pollués aux hydrocarbures, Doctorat en science de la terre, Université MICHEL DE MONTAIGNE, 330 P
- [3] Chalikakis K, 2006, Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques, Doctorat en Hydrogéophysique, université Paris 6, 213 P.
- [4] DESODT C, LAUNAY J, MOLINARO H, 2017, Les glissement de terrain, modélisation et prévision, 18 P.
- [5] Dubois J, Diamend M, Congné J, 2011, Géophysique PDF, Dunod, Paris, 250 P.
- [6] F. Lebert, F. Mathieu, G. Richalet, 2004, Caractérisation des formations géologiques superficielles par sismique réflexion et SASW dans la Sarthe Carte géologique à 1/50 000 du Mans, BRGM/RP-53571-FR, 84 P.
- [7] Faoucault A; Raoult J, 2005, Dictionnaire de géologie, Dunod, Paris. 416 P.
- [8] Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter, 2008, the landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- [9] Hilbert C 2008, imagerie géophysique combinée pour la caractérisation des glissements de terrain. Application au terre noire des Alpes de haute Provence, BRGM/RP-56549-FR, 126 P.
- [10] Kamila H, Lila H, Etude de stabilité d'un glissement de terrain sis à Bouyeblatene (Sidi Ahmed) wilaya de Bejaïa, Master en Génie civil, 2016, 88 P.
- [11] KESSASRA F, 2015, ETUDE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN DANS LA W. DE MILA PAR APPROCHE GEOPHYSIQUE. 36 P

- [12] Marescot L, 2008, Imagerie électrique pour géologues, acquisition, traitement et interprétation, 73 P.
- [13] Mgnin O, Bertrand Y, 2005, Guide Sismique Réfraction, IFSTTAR, 96 P.
- [14] Oswald D, 2003, Analyse de l'activité de glissement de terrain et relation avec les conditions climatiques : exemple dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse), Doctor rerum naturalium, université de Fribourg (suisse), 151P
- [15] Pratt G, 2005, Applied Geophysics (Geology 319 / 829), 228 P.
- [16] Sanchez O, 2007, Imagerie géophysique du glissement de terrain de Ballandaz (Planay 73), BRGM/RP-55746-FR, 88 P.
- [17] Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E., 1998. Applied geophysics, second edition, Cambridge University Press, 770p.
- [18] Wildi W, 1983, La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) · structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène, revue de géologie dynamique et de géographie physique vol. 24, fasc. 3, p. 201-297, paris, 103P