

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université de KHEMIS MILIANA**



**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département des Sciences de la Matière**

Mémoire du Projet de Fin d'Etudes  
Pour l'obtention de diplôme

**Master**

En

Physique

Spécialité :

Physique du Globe

Titre :

**Etude géophysique sismique – électrique**  
**D'un site.**

Réalisé par :

M<sup>r</sup>. Djaber LAZIZ

M<sup>r</sup>. Mebarek MEHDAOUI

Encadré par :

M<sup>lle</sup>. Doria AIT ADJEDJOU

M<sup>r</sup>. Salah BENTRIDJ

Année Universitaire 2015/2016

***Pour***

***Notre professeur***

***Mr. Boualem BAYOU***

***«Rabi yrahmou »***

## Remerciements

*A*vant tout on remercie Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a donné la force, le courage et la patience pour poursuivre mes études et réaliser ce mémoire.

Cette thèse a été réalisée au niveau du bureau d'étude **GeoEXplo**, sous la direction de Monsieur **BOUABDALLAH Hamza**, qu'on tient à remercier pour la disponibilité, la confiance, les conseils, et le soutien durant la formation.

*On* tient à exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements à Mademoiselle **AITADJEDJOU Doria**, qui nous a fait l'honneur d'encadrer ce travail avec une grande disponibilité. Sa confiance, ses encouragements, son support et la passion de son travail ont été très stimulants. Merci milles fois pour le temps que vous m'avez consacré.

*On* remercie également notre professeur et notre Co-encadreur Monsieur **BENTRIDI Salah Eddine**. Pour l'encadrement et le soutien moral qu'il a su nous apporter tout au long notre période de formation. On tient également à le remercier de toute la patience dont il a su faire preuve au cours de la rédaction de mémoire. Soyez assuré de notre profond respect et de notre vive reconnaissance. Aussi, nous voudrions exprimer cette reconnaissance à tous les ingénieurs et le personnel de GeoEXplo : **Samir, Ayache, Mohand et Malika** qui nous ont toujours aidés chaque fois qu'on désirait avancer dans nos recherches bibliographiques.

*On* tient aussi très sincèrement à remercier tous mes professeurs de la faculté de Technologie de l'Université de Djilali Bounaama et du CRAAG qui ont façonné nos connaissances année en année ; sans eux, on n'aura pas eu des ressources intellectuelles nécessaires pour mener ce travail de grande envergure.

*A*tous ceux qui ne se sentent pas nommément citer la liste est longue, je dis merci

# Dédicace

*Je dédie ce travail à:*

*Mes parents, Omar et Zahia*

*Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.*

*En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous  
et chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de  
ma vie.*

*Avec toute ma tendresse.*

*À mes frères*

*À ma chère fiancée Amel*

*À mes grands-parents, oncles et tantes.*

*À mon cher ami Mebarek*

*À tous mes cousins, amis, et tous ceux que j'aime.*

*À tous mes collègues de travail*

*À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer .....*

*L. Djaber*

## *Dédicace*

*Aujourd'hui, une des cimes est atteinte, son chemin ma mère et mon père l'on jalonné pour moi d'encouragement et de soutiens, c'est pourquoi je leur dédie ce présent mémoire car le grand mérite leur revient.*

*Je le dédie également :*

*A mes sœurs, mon beau frère Merouane pour leur solidarité et leur amour,*

*A mes amis pour leur sincère amitié et leur aide inestimable. Par votre belle humeur quotidienne, vous m'avez toujours encouragé et appuyé dans mes bons comme dans mes mauvais moments, et je vous en serai toujours reconnaissante.*

*Une pensée particulière à ma très chère amis, Djaber, qui n'a pas cessé de me rapporter un quelconque soutien dans la vie de tous les jours.*

*Je demande Dieu de vous bénir car vous êtes précieuse pour moi.*

*A tous mes autres collègues de la promotion Master 2014/2016.*

*A tous ceux qui ont manifesté un intérêt pour mon travail et qui m'ont encouragé à rassembler les informations qui constituent aujourd'hui ce travail.*

*Mebarek*

## Sommaire

I.	Introduction .....	9
II.	Problématique.....	11
III.	Cadre géologique :.....	15
1.	Contexte géologique régionale :.....	15
2.	Contexte géologique local :.....	17
IV.	Méthodes géophysiques utilisées .....	19
1.	Méthode électrique :.....	19
1.1.	Introduction :.....	19
1.2.	Principe de la méthode :.....	19
1.3.	Mesure de la résistivité électrique:.....	19
1.4.	Résistivité électrique des roches :.....	21
1.5.	Les dispositifs de mesure .....	21
1.6.	Profondeur d’investigation :.....	22
2.	Méthode Sismique réfraction : .....	23
2.1.	Définition .....	23
2.2.	Principe de la méthode .....	25
V.	Acquisition des données.....	29
VI.	Traitement des données .....	33
1.	Sondages électriques verticaux : .....	33
1.1.	Méthode des abaques :.....	33
1.2.	Méthode d’inversion (IPI2Win) :.....	35
2.	Sismique réfraction : .....	36
2.1.	Traitement par méthode d’intercepte :.....	36
2.1.1.	Pointage des films .....	36
2.1.2.	Calcul de vitesse.....	37
2.1.3.	Calcul des épaisseurs .....	38
2.2.	Traitement par méthode analytique (ReflexW) :.....	38
VII.	Interprétation des résultats.....	40
1.	Interprétation des données électriques : .....	40
2.	Interprétation des données sismiques :.....	44
3.	Interprétation 3D des données géophysiques :.....	50

## Etude Géophysique Sismique – Electrique d’un Site

*Mebarek MEHDAOUI*  
*Djaber LAZIZ*

3.1. Aperçu géologique des données géophysique par le GDM :.....	50
3.2. Corrélations entre les sondages carottés, électriques et profils sismiques :.....	52
3.3. Carte d’épaisseur de gypse :.....	57
3.4. Modèle 3D de la zone de Hassi Sida : .....	58
Conclusion.....	62
Bibliographie.....	64
Annexe.....	66

## Liste des figures

Figure 1. Image satellitaire de la région de Biskra <sup>[11]</sup> .....	11
Figure 2. Une succession d'argile et de gypse dans la région de Hassi Sida.....	12
Figure 3. Affleurements de gypse à la zone d'étude.....	12
Figure 4. Affleurement de gypse de petite dimension. ....	13
Figure 5. Des affleurements de gypse massif.....	13
Figure 6. Présence de gypse massif d'une dureté importante. ....	14
Figure 7. Extrait de la carte géologique du nord l'Algérie 1/500000 <sup>[6]</sup> .....	16
Figure 8. Carte de ressources minérales non métallique de Biskra 1/10000 <sup>[5]</sup> .....	17
Figure 9. Distribution de courant créé par deux électrodes d'injections <sup>[7]</sup> .....	19
Figure 10. Dispositif à quatre électrodes.....	20
Figure 11. Dispositif Schlumberger. ....	22
Figure 12. Description d'une onde P <sup>[10]</sup> .....	23
Figure 13. Description d'une onde S <sup>[10]</sup> .....	23
Figure 14. Loi de Snell Descartes. ....	25
Figure 15. Réfraction pour un terrain à deux couches. ....	26
Figure 16. L'hodochrone d'un terrain horizontal à 02 couches. ....	26
Figure 17. Image satellitaire du site étudié et positions des sondages électriques et profils sismique <sup>[12]</sup> .....	30
Figure 18. L'équipement SARIS et les accessoires nécessaires. ....	31
Figure 19. L'équipement utilisé (SUMMIT X STREAM Pro de DMT, Géophones, ...). ....	32
Figure 20. Source sismique utilisé durant l'acquisition. ....	32
Figure 21. Schéma d'acquisition d'un profil sismique. ....	33
Figure 22. Abaque CH1. ....	34
Figure 23. Les quatre types de courbe de sondage pour des terrains à trois couches. ....	35
Figure 24. Courbe du SEV2.....	36
Figure 25. Coupe sismique avec son pointage. ....	37
Figure 26. Les lignes droites tracées par les premières arrivées. ....	37
Figure 27. L'hodochrone d'un terrain horizontal à 03 couches. ....	38
Figure 28. La courbe de résistivité électrique du sondage SEV01.....	40
Figure 29. La courbe de résistivité électrique de sondage SEV02.....	41
Figure 30. La courbe de résistivité électrique de sondage SEV03.....	42
Figure 31. Courbe géo électrique de SEV03.....	43
Figure 32. Les hodochrones du PS1.....	44
Figure 33. Model géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS1). ....	45
Figure 34. Les hodochrones du PS2.....	46
Figure 35. Model géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS2). ....	46
Figure 36. Les hodochrones du PS3.....	47
Figure 37. Modèle géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS3).....	48
Figure 38. Model géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS3). ....	49
Figure 39. Fichier Access des données d'acquisitions de la zone d'étude.....	51
Figure 40. L'importation les données d'acquisitions sur le GDM. ....	51

Figure 41. Levé topographique de la zone d'étude et positionnement des sondages électriques, carottés et profils sismiques.....	52
Figure 42. Calcul et détermination les formations gypse-argile sur GDM. ....	53
Figure 43. Source des données argile -gypse. ....	53
Figure 44. Corrélation de la formation gypse-argile section Est-Ouest (vue du Nord). ....	54
Figure 45. Modèle de formation de site d'étude en 2D section Ouest-Est (vue du Nord).....	55
Figure 46. Modèle de formation de site d'étude en 2D partie Est. ....	55
Figure 47. Modèle de formation de site d'étude en 2D partie Ouest. ....	56
Figure 48. Modèle de formation gypse au niveau de PS3.....	57
Figure 49. Carte d'épaisseur de la formation de gypse à la région de Hassi Sida. ....	58
Figure 50. Les affleurements de gypse et le levé topographique de la région en 3D.....	59
Figure 51. Modèle 3D de la formation de gypse dans la région (vue Est-Sud). ....	59
Figure 52. Modèle 3D de la formation de gypse (vue Nord-Ouest). ....	60
Figure 53. Coupe géologique mobile du modèle 3D de PS3. ....	61
Figure 54. Coupe géologique mobile (Nord-sud) et (Nord-Ouest. Sud-Ouest). ....	61

## **Liste des tableaux**

Tableau 1. Résistivités électriques de différentes roches. ....	21
Tableau 2. Profondeur d'investigation de quelque dispositif ..... 22	22
Tableau 3. Vitesse des ondes P et S de divers types de terrains <sup>[14]</sup> ..... 24	24
Tableau 4. Les coordonnées GPS (UTM) ..... 29	29
Tableau 5. Vitesses enregistrées du PS3 ..... 47	47

## **Liste des annexes**

Annexe 1. Enregistrement du tir direct avec le picking des 1ères arrivées (en rouge) - PS1. ....	66
Annexe 2. Enregistrement du tir au centre avec le picking des 1ères arrivées (en rouge) - PS2. ....	66
Annexe 3. Enregistrement du tir entre les géophones 12-13 avec le picking des 1ères arrivées (en rouge) - PS3. ....	67
Annexe 4. Sondage carotté SC1.....	68
Annexe 5. Sondage carotté SC2.....	69
Annexe 6. Sondage carotté SC3.....	70
Annexe 7. Sondage carotté SC4.....	71
Annexe 8. Contrôle e calcul les données GDM. ....	72

## Introduction

Le gypse est une roche sédimentaire dont les propriétés chimiques et physiques en font un matériau très recherché et sollicité dans certains domaines. Parmi ses propriétés, sa capacité de perdre l'eau par chauffage et de donner une substance de caractère plastique susceptible de se mouler facilement et de se solidifier progressivement. Ceci permet de l'utiliser dans la production des liants, dans la fabrication des réfractaires et de toutes sortes de moulages. En outre, le gypse peut servir d'additif lors de la fabrication du ciment, dans les industries chimique, de papier et en agriculture. Sur le territoire de la Wilaya de Biskra, plusieurs indices de gypse ont été mis en évidence dans les aires d'extension des dépôts du territoire, représentant ainsi un intérêt vis-à-vis cette roche qui motive le présent travail de prospection géophysique de cette région.

La géophysique comme outil de reconnaissance et de prospection, aide à déterminer les paramètres physiques (résistivité, vitesse, etc.) en vue d'améliorer le modèle géologique, en donnant une vision d'abord approximative de la structure du sous-sol en volume (en complétant en profondeur les observations de surface) <sup>[9]</sup>. Couplée à la géologie, la géophysique permet d'évaluer le caractère représentatif des informations ponctuelles et localisées tirées des sondages mécaniques et des essais géotechniques en place, en renforçant la cohérence du modèle géologique.

On s'intéresse dans ce mémoire à l'étude géophysique d'une région située dans la zone de Hassi Sida (Ouled Djelal), cette région se trouve au Sud-ouest 100km de Biskra et elle est caractérisée par une géologie complexe, formée d'alternance de gypse et d'argile.

L'objectif principal de ce travail est de contribuer à la dissociation des formations de gypse-argile et estimer leur profondeur pour permettre l'évaluation du potentiel gypseux de cette région.

Pour cela, nous avons utilisé deux méthodes géophysiques : 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.

C'est l'interprétation de ces paramètres (résistivité électrique et la vitesse d'onde) qui nous a permis de proposer un modèle caractéristique du sous-sol de la zone d'étude. Tout en essayant de partir des deux méthodes géophysiques différentes, l'analyse et l'interprétation de ces données nous ramène à des résultats concordants sur la nature du sous-sol et ses couches principales.

Cette campagne de mesure nous a permis entre autre de faire usage de nos connaissances en matière d'instrumentation géophysiques et par la suite l'analyse et l'interprétation de ces données sur la base de l'enseignement théorique et pratique des différentes méthodes géophysiques.

Une tentative de reconstruction 3D de la zone étudiée est donnée par le logiciel GDM de BRGM.

## **Chapitre I**

### Problématique et Contexte géologique

## I. Problématique

L'indice de gypse Ouled Djellal a fait l'objet des travaux de prospection par la mission suisse en 1982 [20]. C'est dans cette localité que se trouve la plâtrière d'Ouled Djellal.

Notre zone d'étude « Hassi Sida » est située à 5km nord-ouest d'Ouled Djellal (figure 01) à 100 km sud-ouest de la Wilaya Biskra.

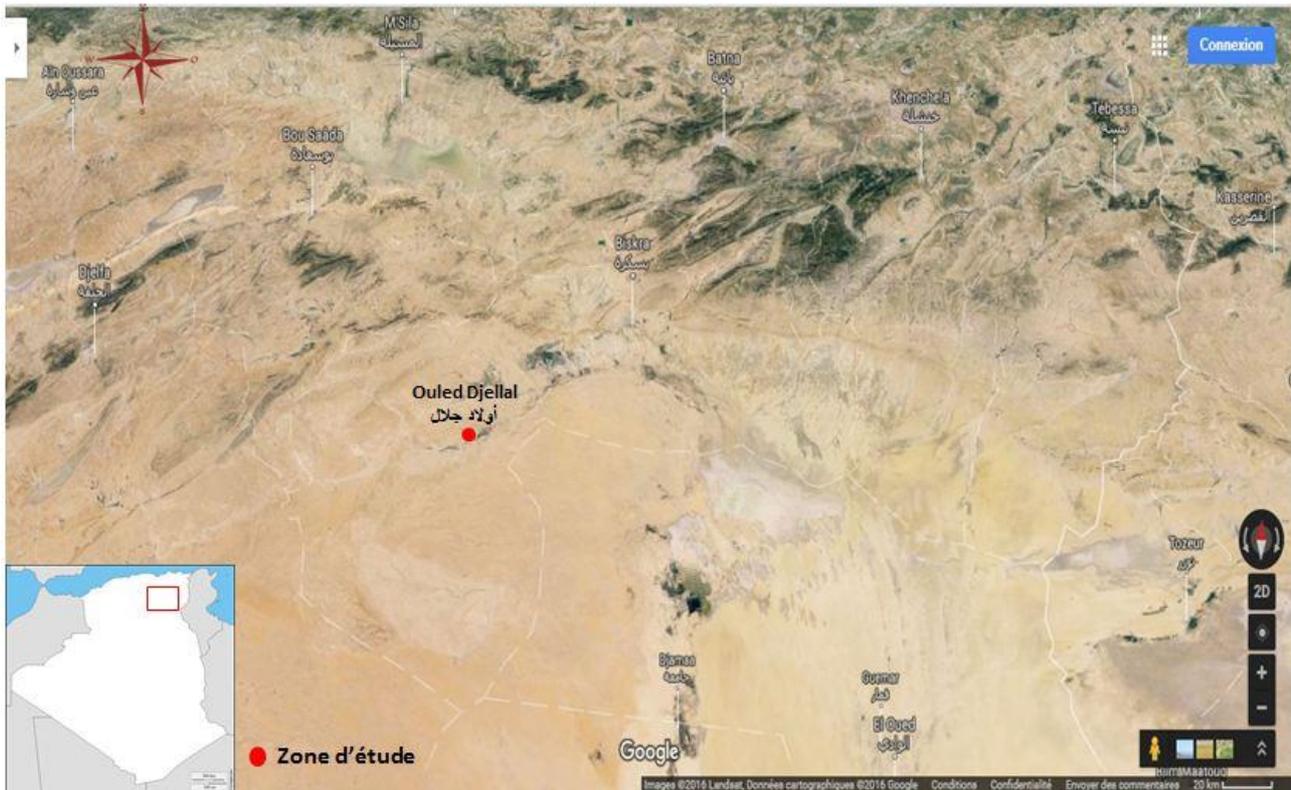


Figure 1. Image satellitaire de la région de Biskra [11].

Sa géologie est caractérisée essentiellement par une alternance de formations d'argile et de gypse. Cependant, une fois sur le terrain, on a pu observer que cette succession n'est pas linéaire mais présente un pendage comme (figure 02).

Les formations que nous avons observées sont les suivantes :

1. Argile rouge
2. croute gypseuse altérée effritée
3. Argile sèche
4. un banc épais de gypse massif
5. croute gypseuse
6. gypse cristallisé
7. gypse massif

Nous avons également observé des affleurements de gypse massif et moins massif (figure 03).



Figure 2. Une succession d'argile et de gypse dans la région de Hassi Sida.



Figure 3. Affleurements de gypse à la zone d'étude.

Nous avons vu aussi que notre site d'étude contient plusieurs affleurements de gypse de différentes dimensions (figures 03, 04, 05). Avec une présence de gypse massif cristallisé avec une importante dureté (figure 06).



Figure 4. Affleurement de gypse de petite dimension.

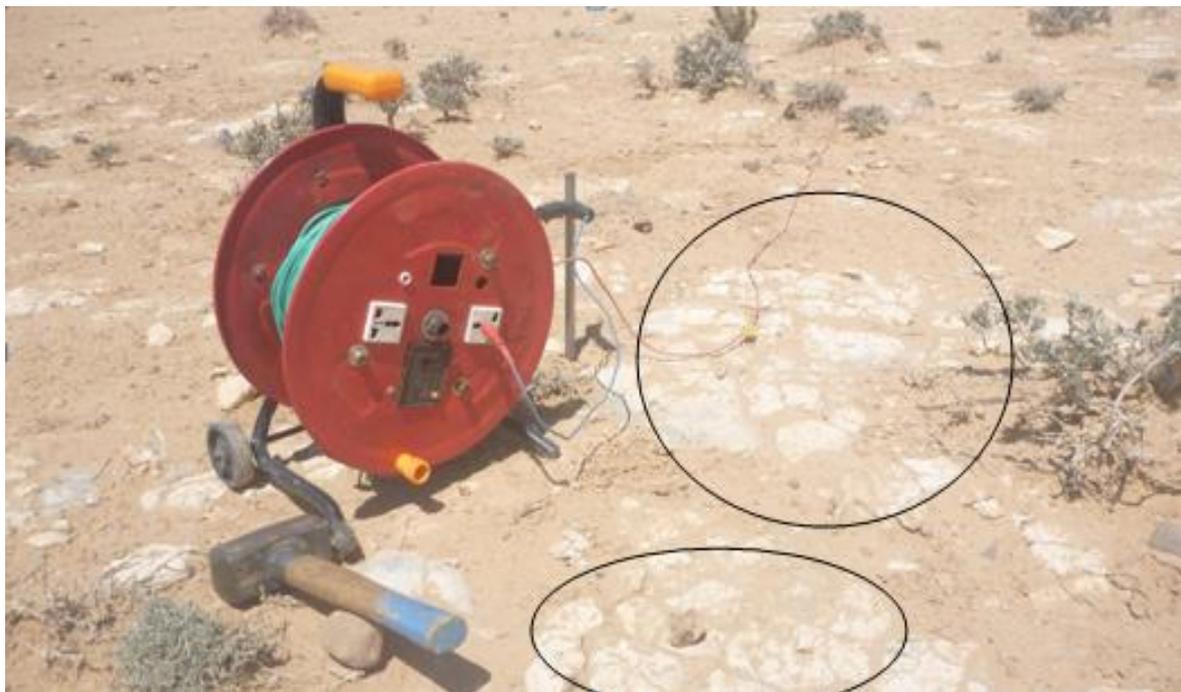


Figure 5. Des affleurements de gypse massif.



**Figure 6. Présence de gypse massif d'une dureté importante.**

Monsieur Ahmed Nedjari enseignant en géologie à l'USTHB a mis à notre disposition des résultats de sondages carottés réalisés sur le site avec un espacement de 100m (annexe 4, 5, 6, 7). Ces résultats indiquent également que les filons de gypses ne sont pas continus d'un sondage à un autre.

Monsieur A. Nedjari a remarqué, lors de la campagne géologique, une discontinuité dans le sol. Cela pourrait correspondre à une faille.

Afin de caractériser le terrain et d'essayer, au mieux, de dissocier la formation de gypse de la formation argileuse et afin de caractériser la « faille » en profondeur, nous avons mené une étude géophysique.

Cette étude s'est appuyée sur deux méthodes : sondages électriques verticaux et sismique réfraction.

## II. Cadre géologique :

### 1. Contexte géologique régionale :

La région de Biskra représente une zone de transition structurale et sédimentaire entre l'atlas saharien et la plateforme saharienne. Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexures, de plis faillés d'orientation ouest ; appelée flexure saharienne ou accident sud atlasique. Au nord de l'accident sud atlasique, ces terrains constituent les monts du Zab et le massif des Aurès. Au sud de cette flexure, les dépôts du néogène et du quaternaire recouvrent en discordance, des formations plus anciennes sous une épaisseur importante.

Les formations géologiques de la région se sont mises en place durant le mésozoïque et le cénozoïque.

Elles sont formées de puissantes séries néritiques et continentales suivantes :

- **Trias** : Il est formé d'argiles gypsifères et salifères.
- **Jurassique** : Il est visible juste au niveau du Djebel Azreg a une dominance carbonatée : marne, calcaire marneux et calcaire.
- **Crétacé** :
  - ✓ Le crétacé inférieur : il affleure dans la région nord.
  - ✓ Le crétacé moyen : on l'observe sur place non loin à l'ouest aux Oulad-Djellal, à Sidi-Khaled dans l'Oued Djedi en amont de ses oasis.
  - ✓ Le crétacé supérieur : ses dépôts sont représentés par des assises épaisses composées des marnes et calcaire très fossilifères.
- **Eocène** :
  - ✓ Eocène inférieur : représenté par des calcaires blancs fossilifères à silex noirs très caractéristiques, d'une épaisseur variant entre 150 à 200 m.
  - ✓ Eocène moyen: à dépôts exclusivement lagunaires (gypse en couches épaisses, anhydrite), argiles et calcaires dolomitiques au sud du Djebel Kahila et du Djebel Ksoum. La série lagunaire d'éocène moyen se termine par un banc de poudingues <sup>[20]</sup>.

Les couches de gypse et de calcaire sont très développées dans la région d'Ouled Djellal ou elles forment des niveaux consistant d'une extension considérables.

- **Pliocène** : est représenté par des marnes grises claires et jaunâtres, avec des sables, des conglomérats, des grés et des calcaires lacustres de faibles épaisseurs, il forme de vastes affleurements dans la partie sud-est de la région de Biskra

Le pliocène est caractérisé au sud de l'Oued Djedi par une croute saharienne. Cette dernière est calcaire-gypseuse englobant souvent dans sa masse des poudingues, des sables et des graviers. Au sud de l'Oued Djedi la croute peut atteindre 1 mètre d'épaisseur <sup>[23]</sup>.

**Quaternaire** : les dépôts quaternaires recouvrent une grande partie de la région. Ils sont représentés par des formations essentiellement lacustres, des dépôts alluviaux et des éboulis de pente. Le quaternaire est subdivisé en :

- ✓ Quaternaire inférieur : constitué par des galets, des grés, des limons sableux, des limons argileux et des conglomérats faiblement consolidés. il est représenté dans la région sud de la wilaya de Biskra occupe la majeure partie de la plateforme saharienne.
- ✓ Quaternaire supérieur et moyen : les alluvions constituent des lits et des terres submersibles d'oued actuels. Les travertins ont une extension peu considérable.

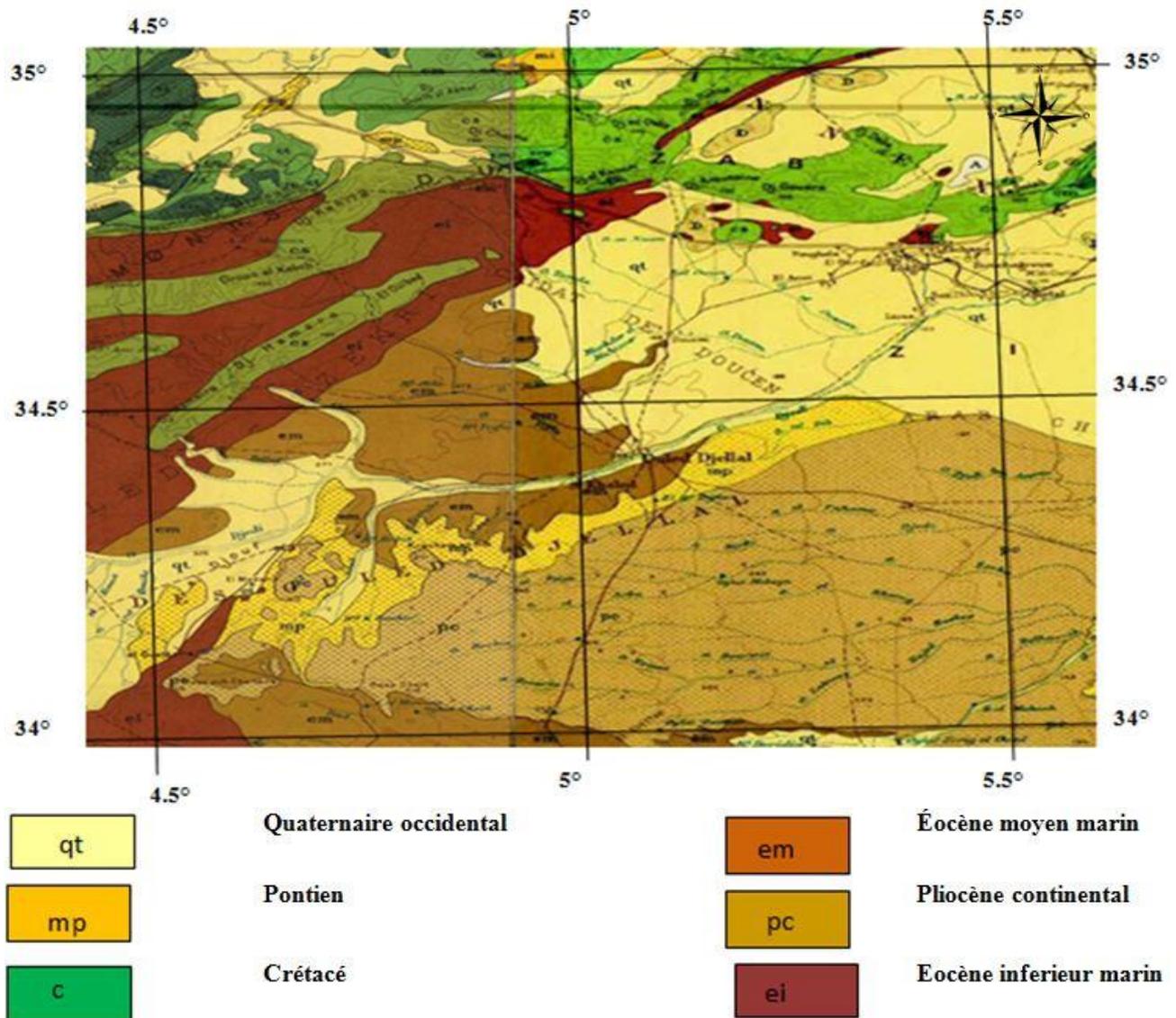


Figure 7. Extrait de la carte géologique du nord l'Algérie 1/500000 [6].

## 2. Contexte géologique local :

D'après l'extrait de la carte géologique du nord d'Algérie <sup>[6]</sup> (figure 07) et la carte de ressources minérales de la wilaya de Biskra <sup>[5]</sup> (figure 08), les formations géologiques existantes sont :

- Les argiles vertes et rouges ;
- Le calcaire marneux ;
- Les marnes ;
- Gypse massif et cristaux ;
- Les alluvions d'oued Hassi Sida.

La figure 08 ci-dessous représente Carte de ressources minérales non métallique de Biskra. On peut voir que la région d'Ouled Djellal est riche en gypse pour liants.

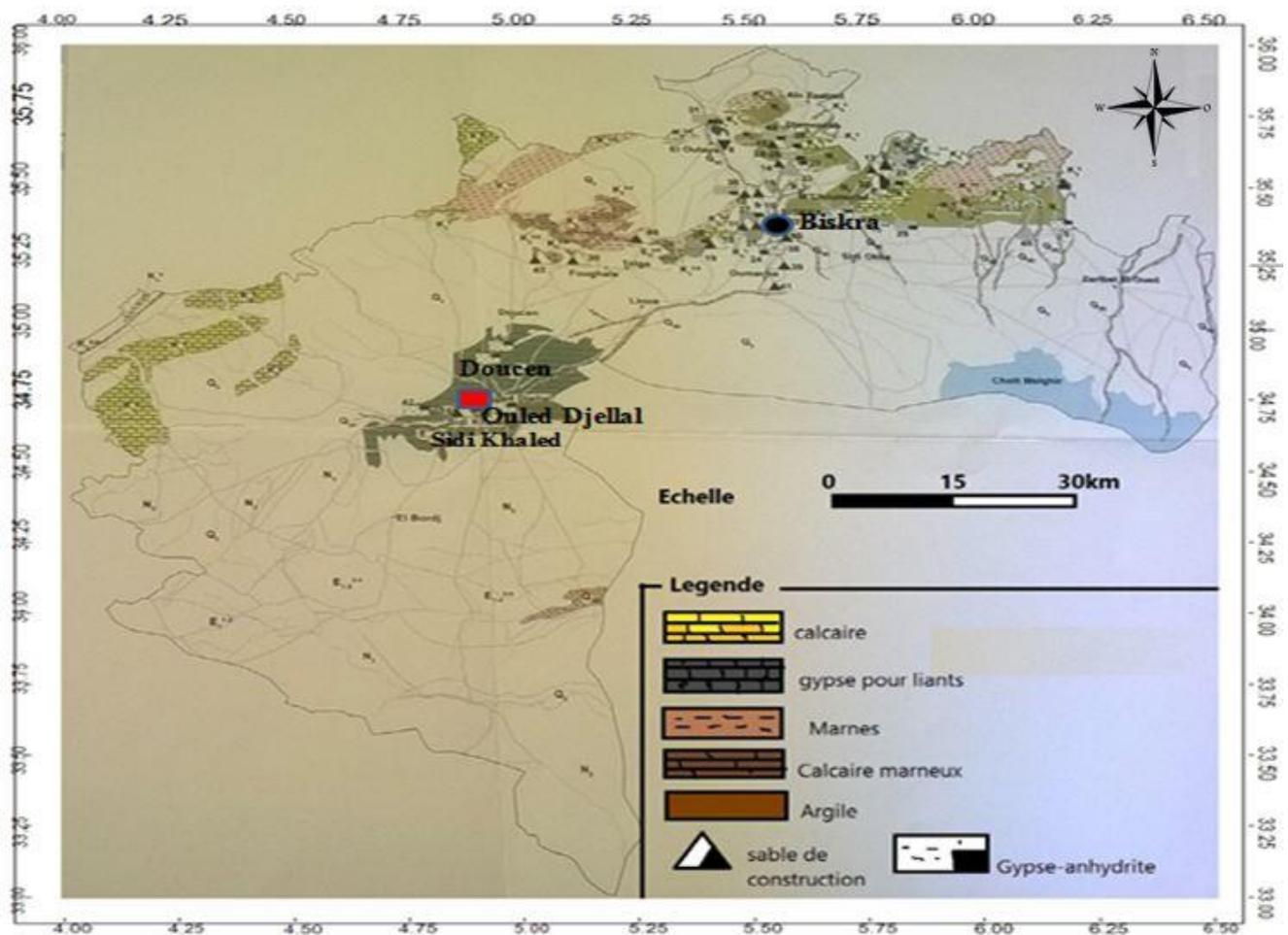


Figure 8. Carte de ressources minérales non métallique de Biskra 1/10000 <sup>[5]</sup>.

## **Chapitre II**

### Méthodes géophysiques utilisées

## IV. Méthodes géophysiques utilisées

### 1. Méthode électrique :

#### 1.1. Introduction :

La méthode électrique est une méthode de prospection géophysique qui repose essentiellement sur la mesure de la résistivité électrique d'un terrain. Cette méthode peut être appliquée à différents domaines : dans la recherche des aquifères en hydrogéologie, dans l'aménagement du territoire, la construction, ponts et chaussés, voies ferrées, la recherche archéologique et également dans l'agriculture.

#### 1.2. Principe de la méthode :

Pour mesurer la résistivité électrique d'un sol, on injecte un courant électrique à la surface du sol et on mesure la différence de potentiel qui en résulte. Le dispositif de mesure comporte quatre électrodes : A et B pour l'injection du courant, M et N pour mesurer la différence de potentiel voir (figure 09).

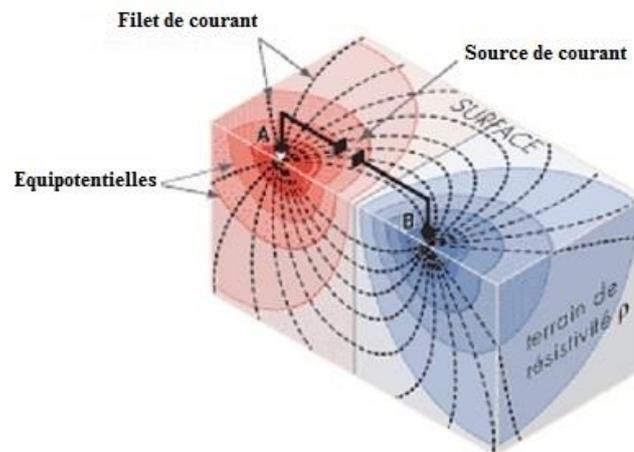


Figure 9. Distribution de courant créé par deux électrodes d'injections [7].

#### 1.3. Mesure de la résistivité électrique:

La résistivité électrique est un paramètre physique qui caractérise les propriétés électriques d'un milieu.

Selon la loi d'Ohm :

$$J = \sigma E \quad (1)$$

Où :

J est la densité électrique ( $A.m^{-2}$ ) et  $\sigma$  est la conductivité électrique ( $S.m^{-1}$ ), Avec la conductivité exprimée par :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

On peut déduire la résistivité électrique «  $\rho$  » ( $\Omega.m$ ) par la même relation :

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (3)$$

Dans un milieu homogène et isotrope, le potentiel mesuré (V) en Volts, après l'injection du courant en tout point du milieu, peut s'écrire sous la forme :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (4)$$

Où  $r$  est la distance en mètre entre le point de la source de courant et le point de mesure.  $I$  est l'intensité du courant électrique en milliampère (mA).

Dans le cas plus particulier : cas de quatre électrodes comme (figure 10), on a :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (5)$$

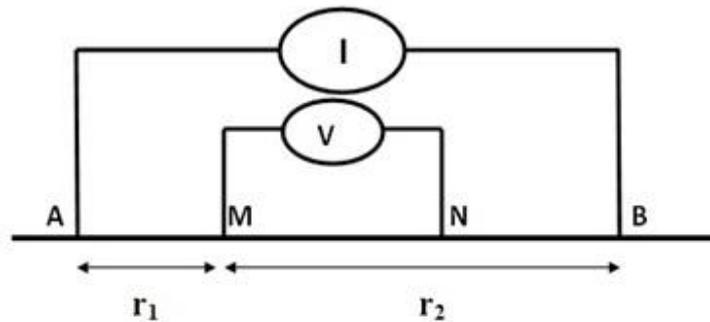


Figure 10. Dispositif à quatre électrodes.

Et la différence de potentiel sera sur la forme de :

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB} \right) \quad (6)$$

$V_M$  : Le potentiel mesuré au point M et  $V_N$  le potentiel mesuré au point N

Ainsi que la résistivité électrique  $\rho$  ( $\Omega.m$ ) d'un milieu homogène et isotrope est exprimée par :

$$\rho = \left( \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB}} \right) \frac{\Delta V}{I} \quad (7)$$

Pour un milieu hétérogène, le paramètre étudié est la résistivité apparente ( $\rho_a$ ). Elle résulte de la contribution volumique de toutes les résistivités du milieu traversé par le courant émis en fonction de la distance à la source.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (8)$$

Où K est le facteur géométrique qui dépend de la disposition des électrodes d’injections et les électrodes de mesures, tel que :

$$K = \left( \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB}} \right) \quad (9)$$

#### 1.4. Résistivité électrique des roches :

La résistivité apparente dépend de la distribution des résistivités des roches du milieu dans lequel le courant circule et pour traduire cette distribution en un modèle géologique fiable, il faut connaître la résistivité électrique de chaque matériau géologique. Le tableau ci-dessous représente la résistivité électrique de quelques formations<sup>[1]</sup>.

Type de roche	Gamme de résistivité (Ω.m)
Granite	$3 \times 10^2 - 10^6$
Schiste (calcaire et mica)	$20 - 10^4$
Tufs	$2 \times 10^3$ (humide) - $10^5$ (sec)
Graphite schiste	$10 - 10^2$
Ardoises (diverses)	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Gneiss (divers)	$6.8 \times 10^4$ (humide) - $3 \times 10^6$ (sec)
Marbre	$10^2 - 2.5 \times 10^8$ (sec)
Quartzites (diverses)	$10 - 2 \times 10^8$
Shales consolidés	$20 - 2 \times 10^3$
Argilites	$10 - 8 \times 10^2$
Conglomérés	$2 \times 10^3 - 10^4$
Grés	$1 - 6.4 \times 10^8$
Calcaires	$50 - 10^7$
Dolomie	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Argile humide non consolidée	20
Marnes	3 - 70
Argiles	1 - 100
Alluvions et sables	10 - 800
Sables bitumineux	4 - 800

Tableau 1. Résistivités électriques de différentes roches.

#### 1.5. Les dispositifs de mesure

Il existe plusieurs dispositifs de mesure qui permettent de trouver la résistivité apparente du sous-sol à partir de mesures de  $\Delta V$  et I. Le dispositif Schlumberger que nous avons choisi de travailler avec, est sensible aux variations verticales du milieu.

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. La longueur de MN= a doit varier selon l’intervalle suivant:

$$\frac{AB}{5} \leq MN \leq \frac{AB}{12}$$

k : facteur géométrique.

$$k = \pi n (n + 1)a \tag{10}$$

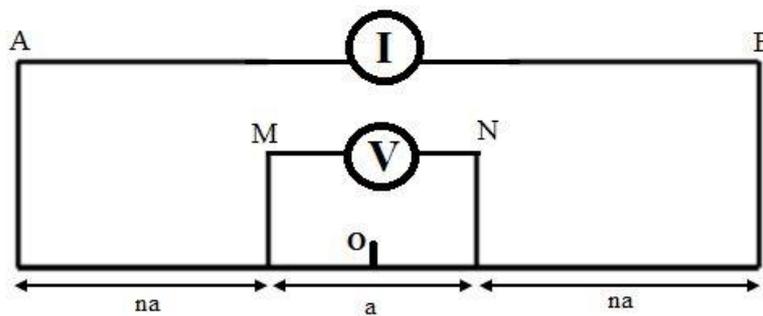


Figure 11. Dispositif Schlumberger.

### 1.6. Profondeur d’investigation :

Selon Roy <sup>[22]</sup>, la profondeur d’investigation est la profondeur de la couche infiniment mince qui contribue le plus à la mesure du potentiel. Pour Barker <sup>[3]</sup>, il s’agit de la profondeur à laquelle la portion de terrain située à cette limite à la même influence que la portion de terrain située au-dessous il s’agit donc de la « profondeur médiane d’investigation ». On remarque que le pouvoir de résolution et la profondeur d’investigation varient en sens inverse.

Le tableau ci-dessous donne pour quelques dispositifs la profondeur d’investigation et le pouvoir de résolution.

Dispositif	Profondeur d’investigation	
	Roy(1971)	Barker(1989)
Wenner	0.11 L	0.17 L
Schlumberger	0.125 L	0.19 L
Dipôle-Dipôle	0.195 L	0.25 L
Pole-Pole	0.35 L	-

Tableau 2. Profondeur d’investigation de quelque dispositif.

## 2. Méthode Sismique réfraction :

### 2.1. Définition

La sismique réfraction est une méthode d'exploration du sous-sol qui permet de mesurer la vitesse de propagation des ondes pour la reconnaissance des massifs rocheux.

C'est une méthode adaptée aux reconnaissances à faible et moyenne profondeur (200m).

La théorie de l'élasticité <sup>[21]</sup> montre que sous l'effet d'une contrainte (ébranlement) les solides élastiques homogènes et isotropes subissent une déformation correspondant alors à deux types d'ondes :

#### Ondes P

Les ondes « P » sont des ondes longitudinales, ondes de compression ou ondes primaires car ce sont elles qui arrivent toujours en premier. Le mouvement des particules se fait selon un mouvement de compression et de dilatation. Le sens de vibration des particules est parallèle à l'axe de propagation.

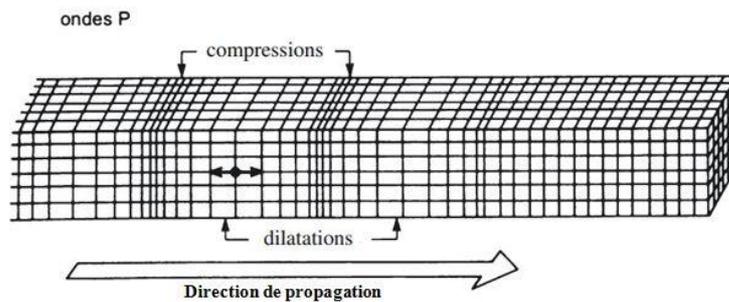


Figure 12. Description d'une onde P <sup>[10]</sup>.

#### Ondes S

Ce type d'ondes « S » correspond à un mouvement de cisaillement. On les appelle des ondes transverses, ondes de torsion ou ondes secondaires car ce sont elles qui arrivent en second. Le mouvement des particules dans ce cas se fait perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde.

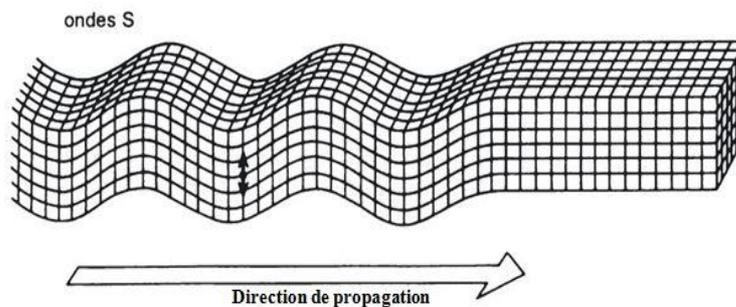


Figure 13. Description d'une onde S <sup>[10]</sup>.

Les équations des vitesses sont les suivants :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}} \quad (11)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (12)$$

Avec :

$V_p$  est la vitesse de propagation de l'onde P [m/s] ;

$V_s$  est la vitesse de propagation de l'onde S [m/s] ;

$\rho$  est la densité de milieux [ $\text{g/m}^3$ ] ;

$\lambda$  et  $\mu$  sont deux coefficients appelés coefficients de Lamé (Physicien Français du XIX siècle).

Le rapport des vitesses longitudinales et transversales est ainsi de :

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}} * \sqrt{\frac{\rho}{\mu}} = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\mu}} \quad (13)$$

$\lambda$  et  $\mu$  étant positif, ce rapport vaut au moins 2.

En règle générale, dans les solides,  $\lambda$  et  $\mu$  sont très voisins ; le rapport vaut alors  $\sqrt{3}$ .

Dans les fluides il n'y a pas de cisaillement,  $\mu = 0$ .

Le tableau ci-après donne la gamme des vitesses des ondes P et S de divers types de terrains :

Nature des terrains	Vitesse des ondes P [m/s]	Vitesse des ondes S [m/s]
éboulis, 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
grès	3000-4500	1200-2800
calcaires	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 3. Vitesse des ondes P et S de divers types de terrains<sup>[14]</sup>.

## 2.2. Principe de la méthode

Le principe de la méthode sismique consiste à provoquer un ébranlement dans le sol, via une source (marteau, dynamite, etc...) qui donne naissance à une onde vibratoire qui se propage dans toutes les directions, puis à enregistrer, par l'intermédiaire de géophones <sup>[10]</sup>, l'arrivée de certaines ondes (compression, cisaillement ...).

L'étude des temps de propagation des ondes permet de définir la nature et la géométrie des couches en se basant sur le fait que les ondes se propagent à des vitesses différentes dans des formations différentes.

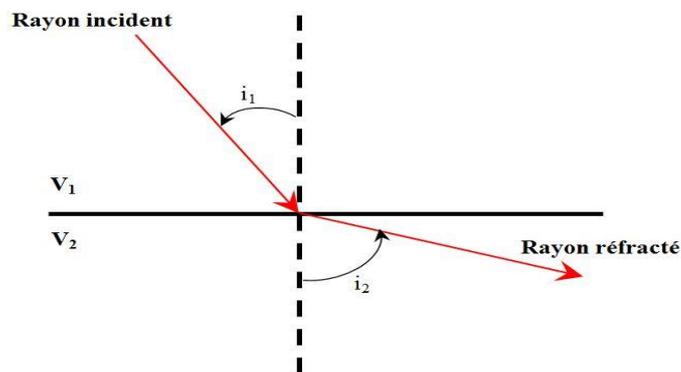


Figure 14. Loi de Snell Descartes.

Au changement de milieu (formation) on a un changement de vitesse de propagation des ondes, les ondes sont réfractées suivant la loi de Snell-Descartes :

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} \quad (14)$$

Où :

$V_1$  : la vitesse de premier milieu [m/s] ;

$V_2$  : la vitesse de deuxième milieu [m/s] ;

$i_1$  : l'angle d'incidence [°] ;

$i_2$  : l'angle de la réfraction [°].

Dans le cas où :

- la vitesse de la deuxième couche «  $V_2$  » est supérieure à la vitesse de la première couche «  $V_1$  »,
- l'angle de réfraction dans le milieu 2 «  $i_2$  » est supérieur à l'angle d'incidence dans le milieu 1 «  $i_1$  »,
- et pour une valeur incidence critique ( $i_c$ ), l'angle atteindra  $90^\circ$  dans le milieu 2 ( $i_r$ ).

On aura alors la condition de réfraction totale :

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2} \quad (15)$$

L'onde réfractée se propagera alors horizontalement au toit la couche la plus rapide (milieu 2 dans ce cas).

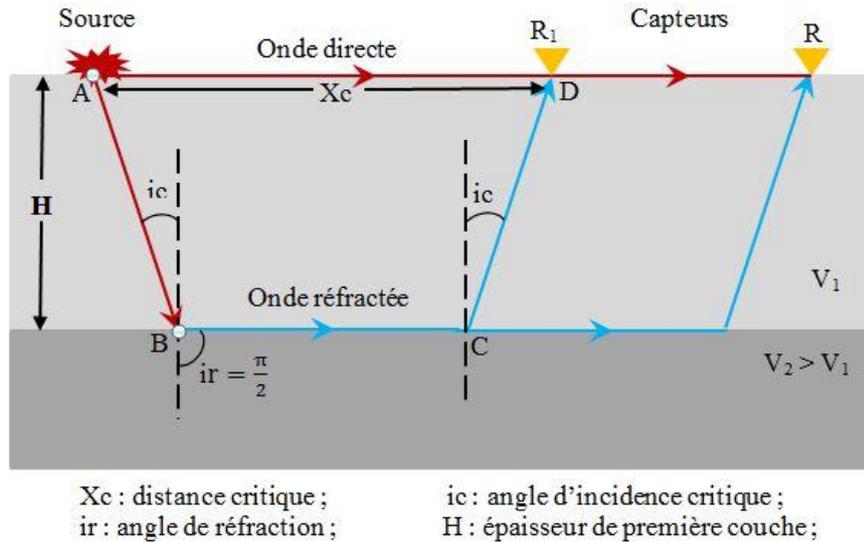


Figure 15. Réfraction pour un terrain à deux couches.

Le graphe ci-dessous montre les droites hodochrones tracés des ondes, directe et réfractée d'un milieu à deux couches parallèles (vitesses  $V_1$ ,  $V_2$ ).

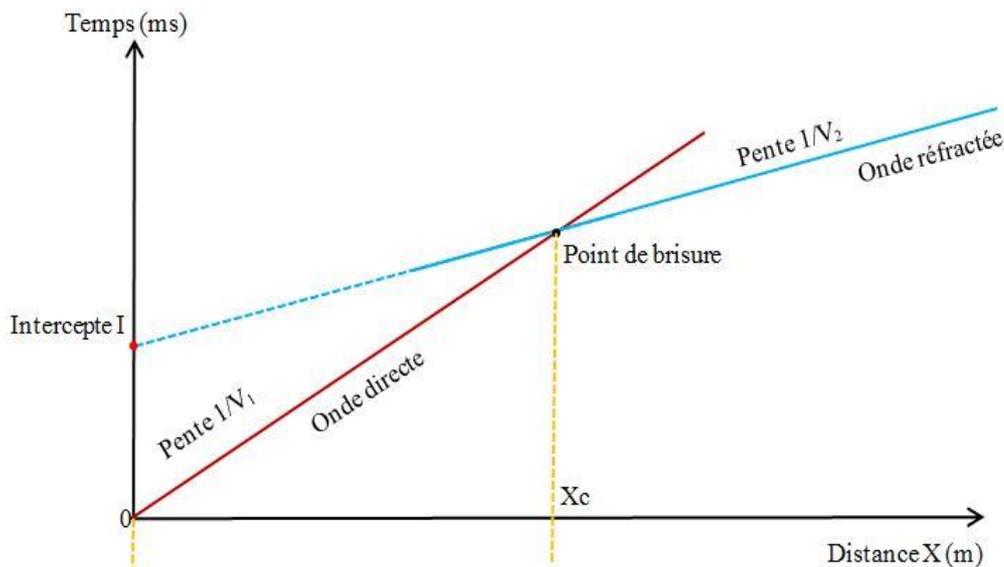


Figure 16. L'hodochrone d'un terrain horizontal à 02 couches.

Où l'intercepte (ms) : est la projection d'une droit sur l'axe du temps (t) ;  $X_c$  (m) : distance critique ;  
 Point de brisure : c'est le point de passage d'un milieu ( $V_1$ ) à un autre milieu ( $V_2$ ).

Le temps de propagation de l'onde directe ( $t_d$ ) est donné par :

$$t_d = \frac{X_c}{V_1} \quad (16)$$

Le temps de propagation de l'onde réfractée ( $t_r$ ) sur le trajet ABCD (figure 15) est obtenu par le d'développement de cette équation :

$$t_r = \frac{AB + CD}{V_1} + \frac{BC}{V_2}$$

$$AB = CD = \frac{H}{\cos ic}$$

$$BC = X_c - 2H \tan ic$$

$$t_r = \frac{X_c}{V_2} + \frac{2H}{V_1} \cos ic \quad (17)$$

Si l'on fixe arbitrairement  $X = 0$ , on prend alors les temps sur l'axe du point de tire, temps appelés Intercepte times  $I_i$ , donne par l'équation suivant :

$$I = \frac{2H}{V_1} \cos ic \quad (18)$$

Nous pouvons généraliser l'équation (17) pour un modèle de plusieurs 'n' couches horizontal [25] :

$$t_n = \frac{X}{V_n} + \sum_{p=1}^{n-1} \frac{2H_p}{V_p} \cos i_{pn} \quad (19)$$

Où l'intercepte pour 'n' couches est :

$$I_{n-1} = \sum_{p=1}^n \frac{2H_p}{V_p} \cos i_{pn} \quad (20)$$

## **Chapitre III**

### Acquisition et traitement des données

## V. Acquisition des données

Afin de caractériser les formations géologiques du site, nous avons utilisé deux méthodes géophysique :

- Méthode électrique : sondages électrique verticaux.
- Méthode sismique : profils sismique réfraction.

Les paramètres mesurés pour les deux techniques sont respectivement la résistivité électrique et la vitesse sismique.

L’acquisition des données géophysiques (étude sismique–électrique) s’est déroulée pendant deux jours (14-15/04/2016) au niveau de la région Hassi Sida (Ouled Djellal) 100 km sud-ouest de la Wilaya de Biskra.

Le matériel utilisé durant l’acquisition est fourni par le bureau d’étude GeoEXplo qui est un bureau d’études géophysiques.

Les coordonnées des limites du site étudié, sondages électriques, sondage carottées et les profils sismique sont présentés dans le tableau suivant :

Nom		Cordonnées (UTM) – Zone : 31S			
		X (m)	Y(m)	Observation	
Borne de site	B1	672761 E	3821869 N	-	
	B2	673080 E	3821875 N	-	
	B3	673111 E	3821630 N	-	
	B4	672783 E	3821621 N	-	
Sondages carottées	SC1	672828 E	3821806 N	-	
	SC2	672827 E	3821698 N	-	
	SC3	673027 E	3821704 N	-	
	SC4	673033 E	3821801 N	-	
Sondage électrique vertical	SEV1	673025 E	3821850 N	N-S	
	SEV2	673035 E	3821755 N	N-S	
	SEV3	672855 E	3821750 N	N-S	
Profils sismiques	PS1	Début	673040 E	3821695 N	S -N
		Fin	673020 E	3821800 N	
	PS2	Début	672835 E	3821690 N	S - N
		Fin	672515 E	3821790 N	
	PS3	Début	672980 E	3821670 N	SW - NE
		Fin	673050 E	3821765 N	

Tableau 4. Les coordonnées GPS (UTM)

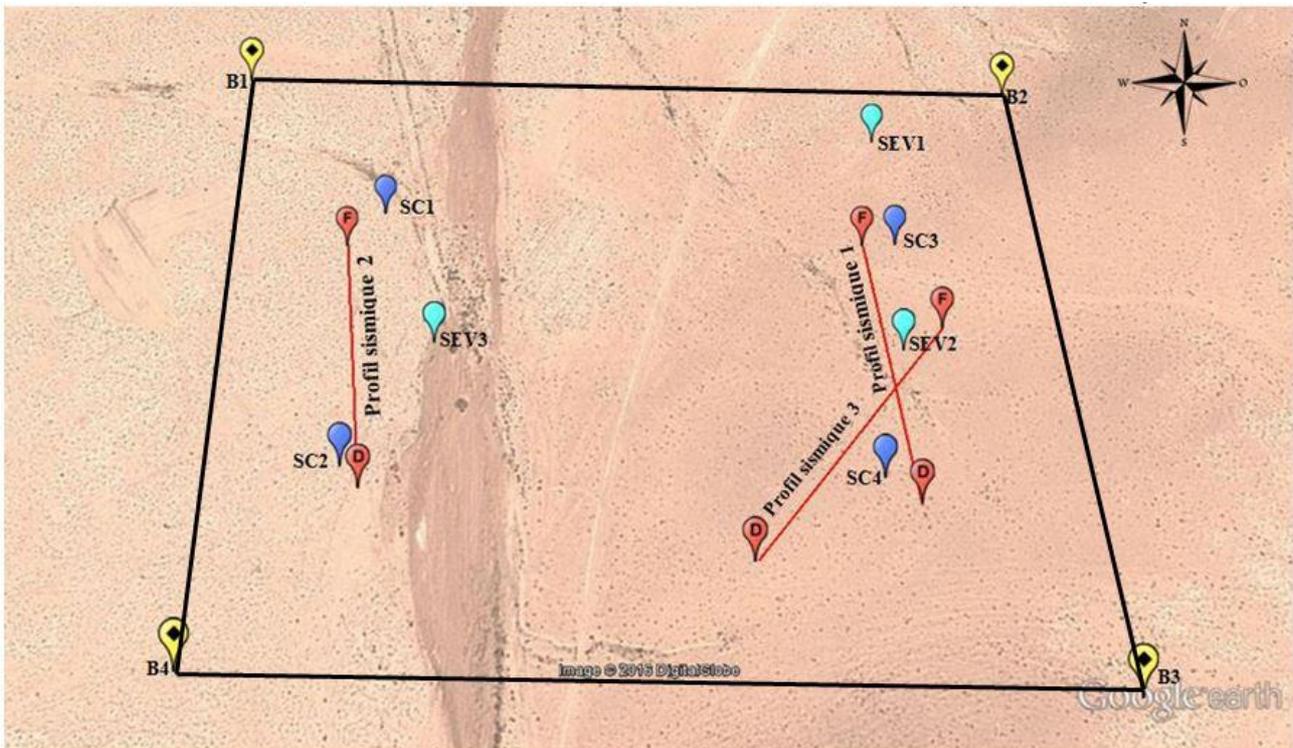


Figure 17. Image satellitaire du site étudié et positions des sondages électriques et profils sismique <sup>[12]</sup>.

## 1. Les sondages électriques :

Nous avons réalisé 03 sondages électriques verticaux (03 SEV), Les mesures de résistivités ont été effectué selon le dispositif Schlumberger (AB= 200m), leur disposition est montré sur la figure 17 :

- Le SEV1 a été réalisé à 50m au nord du sondage carotté SC3.
- Le SEV2 a été réalisé entre les sondages SC3 et SC4.
- Le SEV3 a été réalisé entre les sondages SC1 et SC2.

Le matériel utilisé pour l'acquisition des sondages électriques verticaux (SEV) est le résistivimètre SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System) de la société canadienne Scintrex (figure 18).

Les accessoires nécessaires (figure 18) sont les suivants :

1. Des bobines avec des Câbles électriques de 400m.
2. GPS.
3. Quatre(04) marteaux.
4. Des électrodes métalliques.

Tous les sondages électriques verticaux ont été réalisés en configuration Schlumberger avec une longueur AB = 200m, chacun.



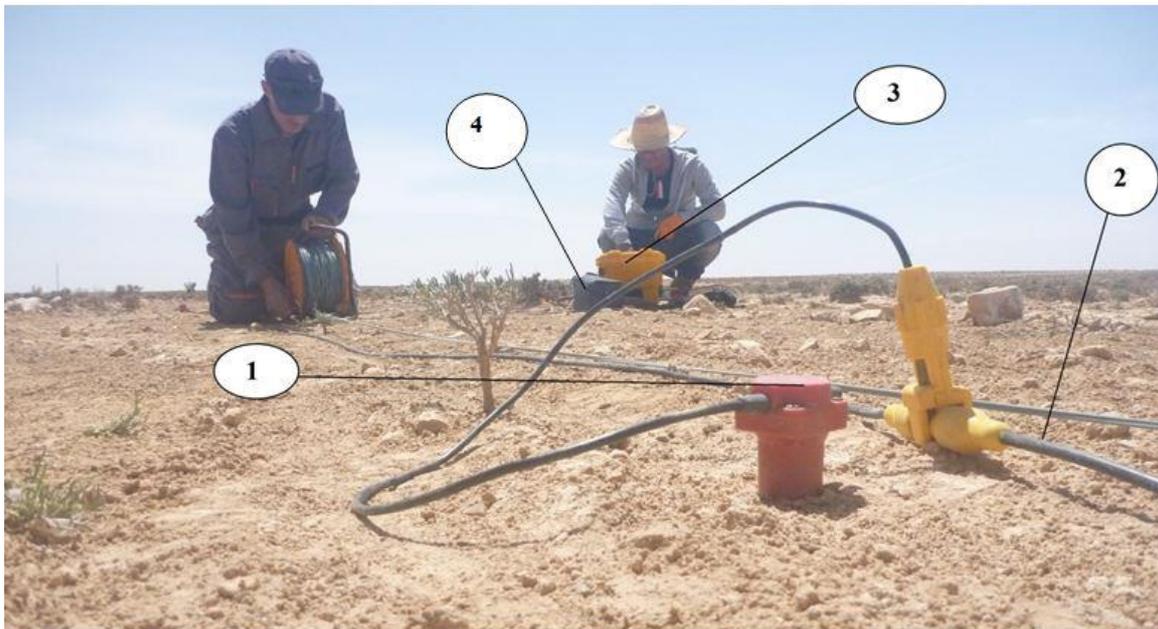


Figure 19. L'équipement utilisé (SUMMIT X STREAM Pro de DMT, Géophones, ...).



Figure 20. Source sismique utilisé durant l'acquisition.

Chaque profil sismique a une longueur de 115m et 7 points de tirs :

- Tir offset à -30m du géophone 1.
- Tir direct à -2.5m du géophone 1.
- Tir fenêtre entre les géophones 6 et 7.
- Tir fenêtre entre les géophones 12 et 13.
- Tir fenêtre entre les géophones 18 et 19.

- Tir inverse à 2.5m du géophone 24.
- Tir offset à 30m du géophone 24.

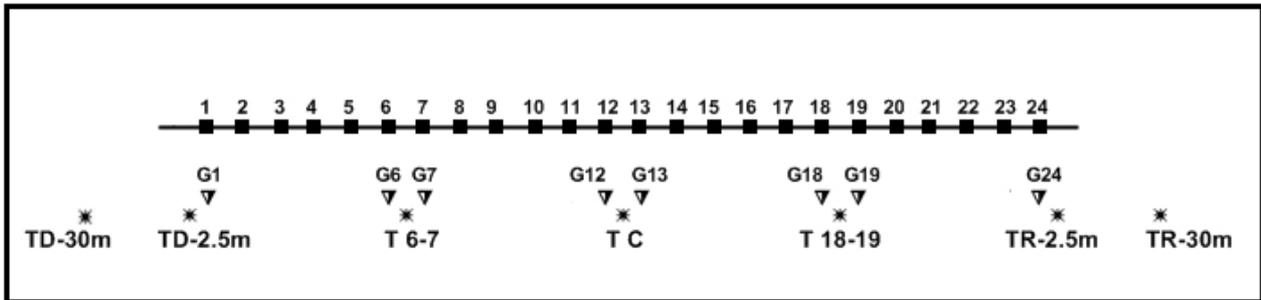


Figure 21. Schéma d'acquisition d'un profil sismique.

## VI. Traitement des données

### 1. Sondages électriques verticaux :

#### 1.1. Méthode des abaquages :

##### Cas de deux couches :

Les résultats du terrain peuvent être comparés grâce à l'abaque CH1 (figure 24) qui contient des courbes pré-calculées pour divers modèles (épaisseur et résistivité variables). Dans le calcul de ces courbes théoriques, l'épaisseur  $h$  et la résistivité ( $\rho_1$ ) de la première couche peuvent être considérées comme égale à l'unité. Cela élimine deux paramètres pour le calcul des courbes de sondage correspondant à un modèle donné. En résolvant l'équation générale du potentiel à la surface de deux terrains parallèles, homogènes et isotropes, on peut construire une série de courbes représentant la résistivité apparente. On représente ( $\rho_a/\rho_1$ ) en fonction de  $OA/h_1$  pour différentes valeurs de ( $\rho_2/\rho_1$ ) sur du papier bi logarithmique. On a la relation suivante :

$$\log \frac{\rho_a}{\rho_1} = f\left(\log \frac{OA}{h_1}\right) \quad (22)$$

Avec :

$\rho_1$  = résistivité du 1er terrain [ohm.m]

$\rho_a$  = résistivité apparente des 2 terrains [ohm.m]

$OA$  = longueur  $AB/2$  [m] et  $h_1$  = épaisseur du 1er terrain [m]

L'ensemble de ces courbes porte le nom d'abaque CH1 (figure 22). Ces courbes représentent ( $\rho_a/\rho_1$ ) en fonction de  $OA/h_1$  pour différentes valeurs de ( $\rho_2/\rho_1$ ). Ces courbes sont reportées sur une échelle bi logarithmique de même décade que le papier bi log. Chaque courbe de cet abaque correspond à la courbe

d'un sondage électrique exécuté sur un sous-sol composé de deux terrains ou le premier terrain à une épaisseur et une résistivité unité.

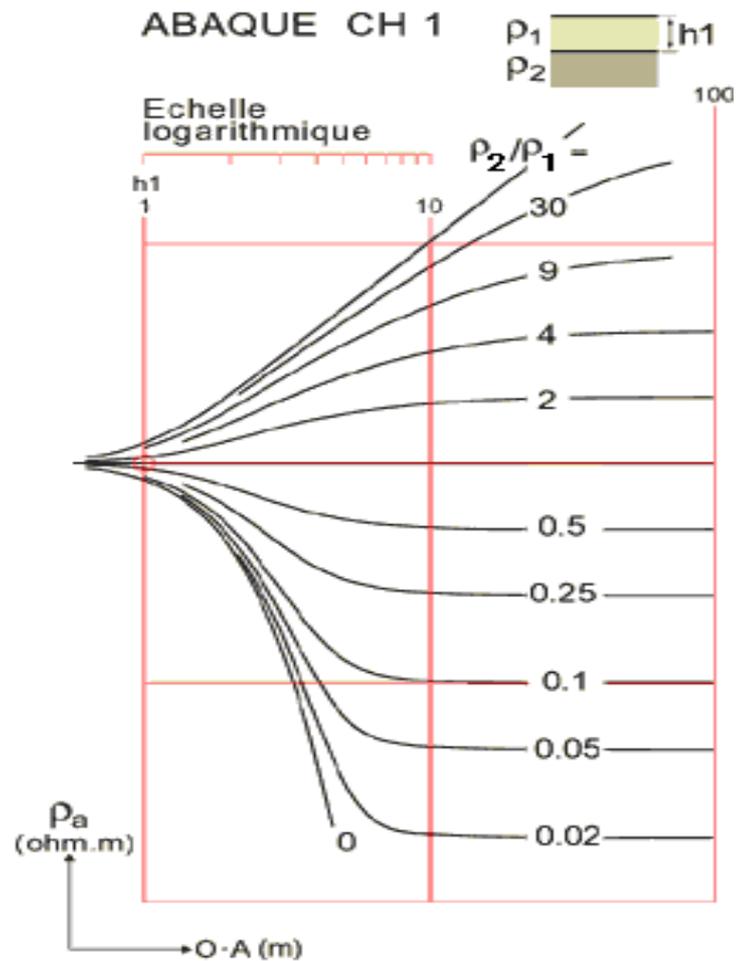


Figure 22. Abaque CH1.

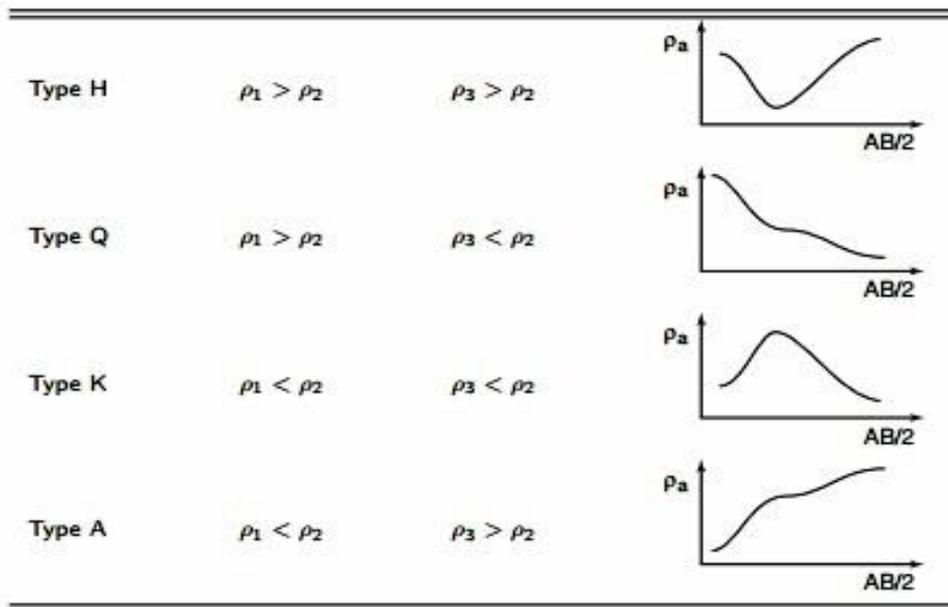


Figure 23. Les quatre types de courbe de sondage pour des terrains à trois couches.

### Cas de trois couches :

L'interprétation devient un peu plus compliquée, puisqu'aux deux courbes possibles qu'on aurait dans le cas des deux couches, on passe à quatre cas possibles. Les abaques deux couches ne dépendent que de trois paramètres  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_a$  et  $h_1$ . Dans le cas à trois couches, il y a cinq paramètres dont on doit tenir compte, soient  $\rho_1$ ,  $\rho_2/\rho_1$ ,  $\rho_3/\rho_1$ ,  $h_1$  et  $h_2/h_1$ . Les abaques sont donc plus nombreux. En général, on les présente selon les contrastes de résistivité et on trace les courbes pour différents  $h_2/h_1$ . L'interprétation se fait aussi en comparant (ajustant) la courbe expérimentale avec les abaques :

1. On interprète la partie gauche ( $AB/2$  petit) de la courbe à partir de l'abaque CH1 de deux couches et on obtient ainsi  $h_1$ ,  $\rho_1$  et  $\rho_2/\rho_1$ . On note alors le point  $(h_1, \rho_1)$  sur la courbe expérimentale.
2. A partir des valeurs trouvées au numéro 1 ( $\rho_1/\rho_1 = 1$ ,  $\rho_2/\rho_1 = x$ ) et en plaçant le point  $(h_1, \rho_1)$  sur l'origine de l'abaque de trois couches, on cherche la courbe de l'abaque qui se superpose le mieux à la courbe de terrain (figure 23). On obtient ainsi  $h_2/h_1$  et  $\rho_3/\rho_1$ . De la même manière, on peut interpréter une courbe de sondage quatre ou cinq couches.

### 1.2. Méthode d'inversion (IPI2Win) :

Le premier traitement des données de sondage électrique vertical, consiste à assembler la courbe de sondage électrique finale.

Toutes les courbes des sondages électriques ont été translattées verticalement par rapport au dernier segment. La translation a été réalisée au moyen du programme IPI2WIN de l’Université de Moscou. La figure ci-dessous, représente l’opération de translation, réalisée sur le sondage électrique SEV2.

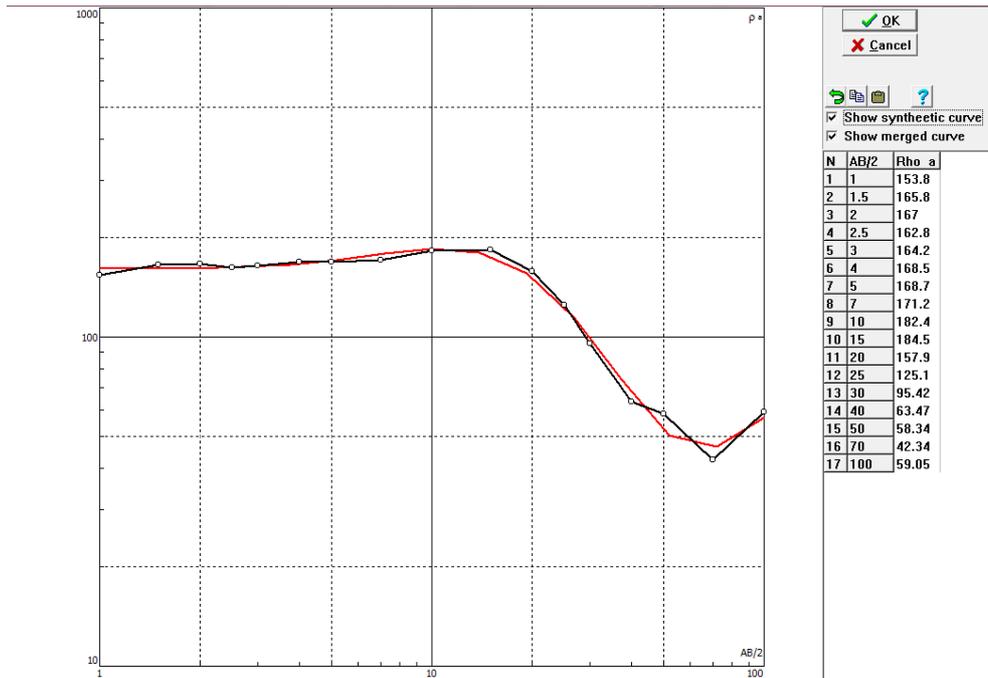


Figure 24. Courbe du SEV2

## 2. Sismique réfraction :

### 2.1. Traitement par méthode d’intercepte :

La méthode de la sismique réfraction se base sur le temps d’arrivée des ondes que l’on peut déterminer sur les films enregistrés sur le terrain, le traitement des données sismique réfraction se passe par trois étapes principaux ‘‘pointage des films, calcule des vitesses et calcule des épaisseurs’’.

#### 2.1.1. Pointage des films

Dans cette étape on pointe les premières arrivées de chaque onde enregistré ‘‘Un bon pointage des films conditionne une interprétation correcte’’.

Cette dernière action nous donne un nuage des points sur un diagramme distance-temps (**dromochronique**), les distances (mètres) sont reportées en abscisse et les temps (millisecondes) en ordonnée (figure 25).

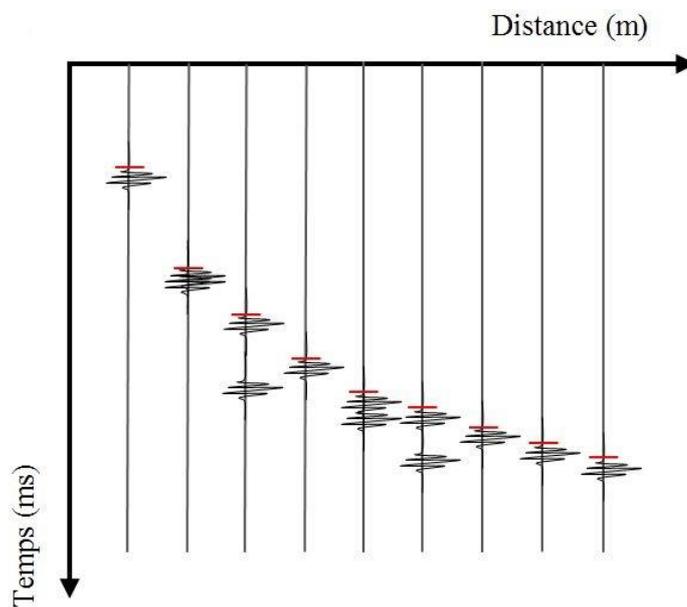


Figure 25. Coupe sismique avec son pointage.

On trace à la droite les différentes dromochroniques possibles dans le nuage (figure 26).

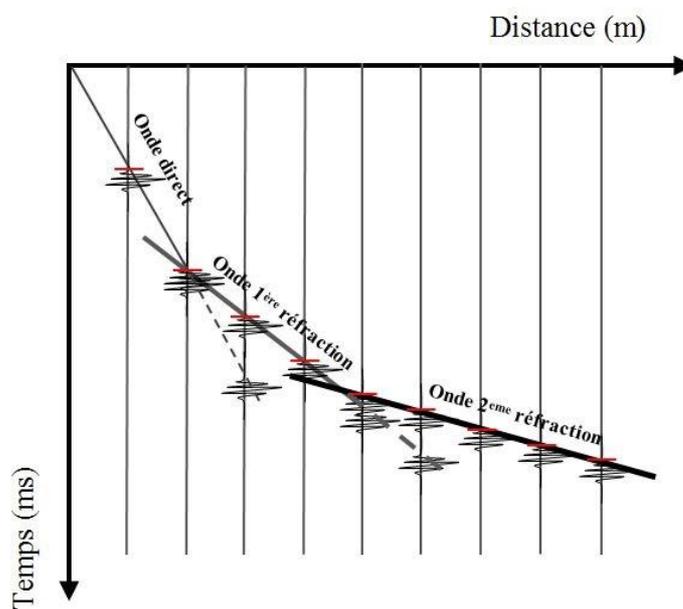


Figure 26. Les lignes droites tracées par les premières arrivées.

### 2.1.2. Calcul de vitesse

Pour calculer La vitesse (m/s) de chaque couche, il suffit de calculer l'inverse de la pente de la dromochronique (temps-distance) pour chaque droite.

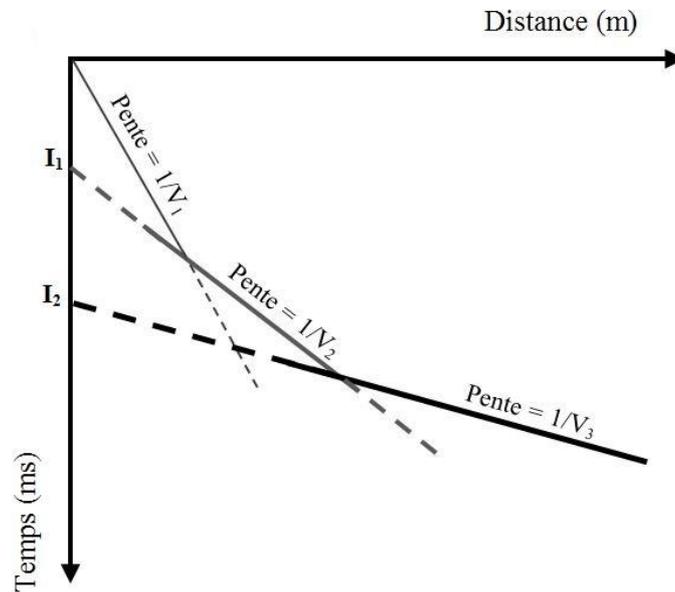


Figure 27. L'hodochrone d'un terrain horizontal à 03 couches.

### 2.1.3. Calcul des épaisseurs

Le calcul des épaisseurs se fait selon la méthode classique des *interceptes times*, Si l'on connaît les vitesses ( $V_1, V_2, \dots$ ), les interceptes de chaque droite et d'après l'équation (20) on peut déduire les épaisseurs.

### 2.2. Traitement par méthode analytique (ReflexW) :

Mis à part la méthode analytique le traitement et l'interprétation des profils sismiques a été faite avec le logiciel ReflexW de Sandmeiere Scientific – Allemagne.

## **Chapitre IV**

### Interprétation des résultats

## VII. Interprétation des résultats

### 1. Interprétation des données électriques :

Durant la campagne d’acquisition, nous avons réalisé trois sondages électriques verticaux pour caractériser le sol et dissocier la formation de gypse de celle des argiles. Ces sondages ont été réalisés avec des longueurs  $AB = 200$  mètres.

#### Méthode d’inversion (IPI2Win)

#### Le sondage électrique SEV01

Le SEV01 a été réalisé à environ 50m au nord du sondage SC3. Sa longueur est  $AB = 200$ m.

La première couche a une résistivité très élevée de l’ordre de 1100  $\Omega$ .m. Selon les observations de terrain, cette dernière correspond à un banc de gypse. Son épaisseur est de 2.4m.

La seconde couche a une résistivité de 55  $\Omega$ .m et une épaisseur d’environ 15m. Cette formation correspond probablement à un épais banc d’argile se trouvant entre 2.4 et 17m de profondeur.

Après 17m de profondeur, la résistivité électrique diminue et atteint 18  $\Omega$ .m. Cela est probablement dû à une formation argileuse ou marneuse de presque 10m d’épaisseur.

Au-delà de 27m de profondeur, la résistivité électrique augmente de nouveau pour atteindre 97  $\Omega$ .m.

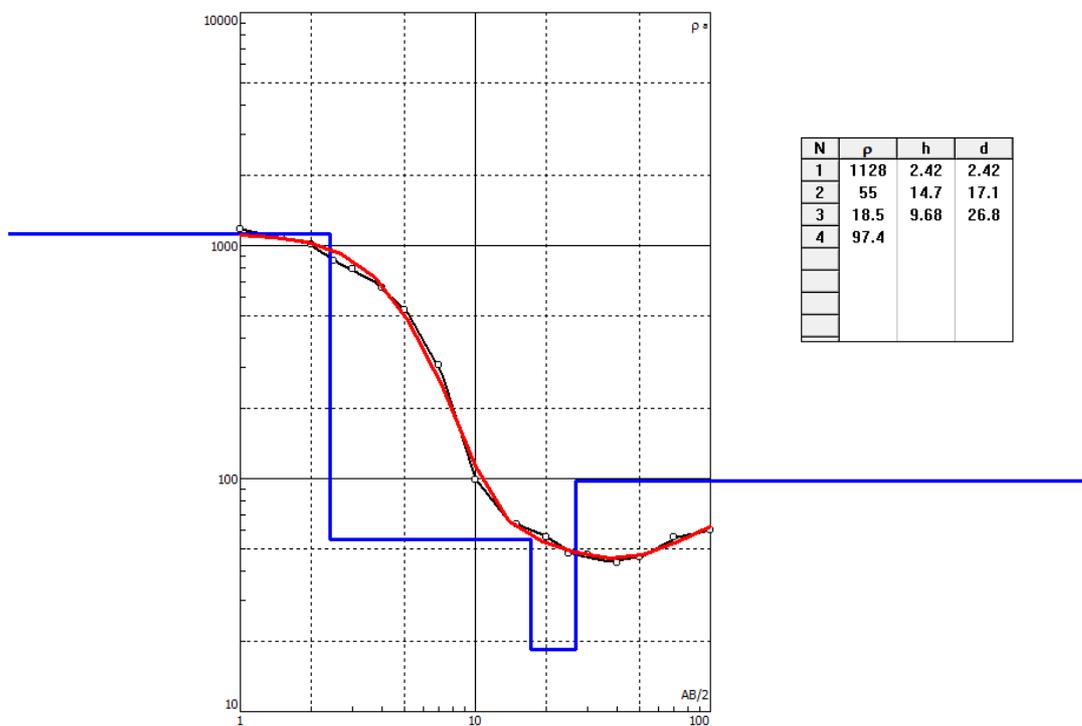


Figure 28. La courbe de résistivité électrique du sondage SEV01.

**Le sondage électrique SEV02**

Le **SEV02** a été réalisé avec une longueur AB = 200m, à environ 50m, respectivement, entre les sondages SC3 et SC4.

La courbe du sondage **SEV02** (figure 29) montre que la formation de surface, de 4.5m d’épaisseur, a une résistivité électrique  $\rho = 160 \Omega.m$ . Selon cette valeur de résistivité et les observations de terrains, cette formation correspond probablement à un passage gypseux.

La seconde couche est caractérisée par une résistivité électrique plus élevée (mais de la même gamme) de 342  $\Omega.m$ . Cette couche correspond également à un passage gypseux, probablement plus compact qu’en surface. Son épaisseur est de 5.4m.

La troisième couche a une résistivité électrique relativement basse de 27.5  $\Omega.m$ . Cette dernière peut caractériser des argiles qui se trouvent à 10m de profondeur. L’épaisseur de cette formation est très importante et égale à presque 48m.

Au-delà de 58m de profondeur, la résistivité électrique augmente.

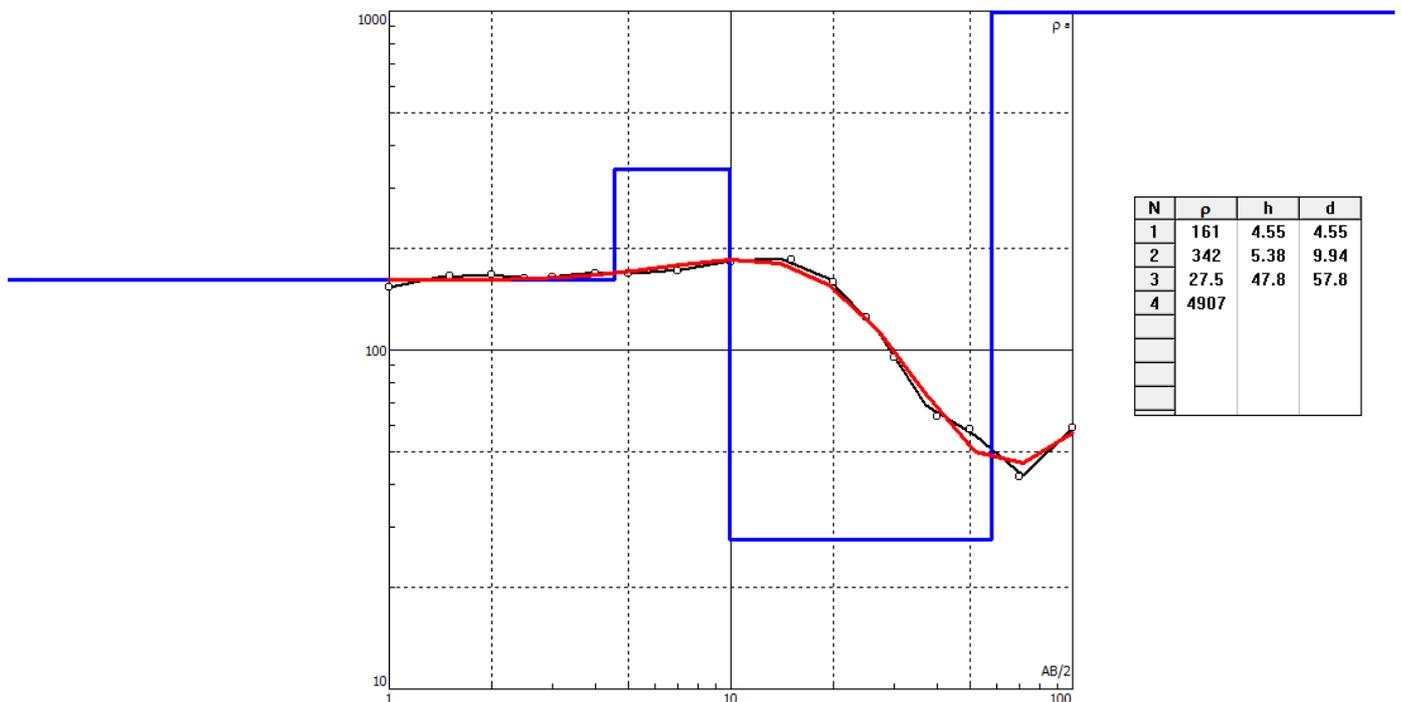


Figure 29. La courbe de résistivité électrique de sondage SEV02.

**Le sondage électrique vertical SEV03 :**

Le SEV03 a été réalisé entre les sondages carottés SC1 et SC2.

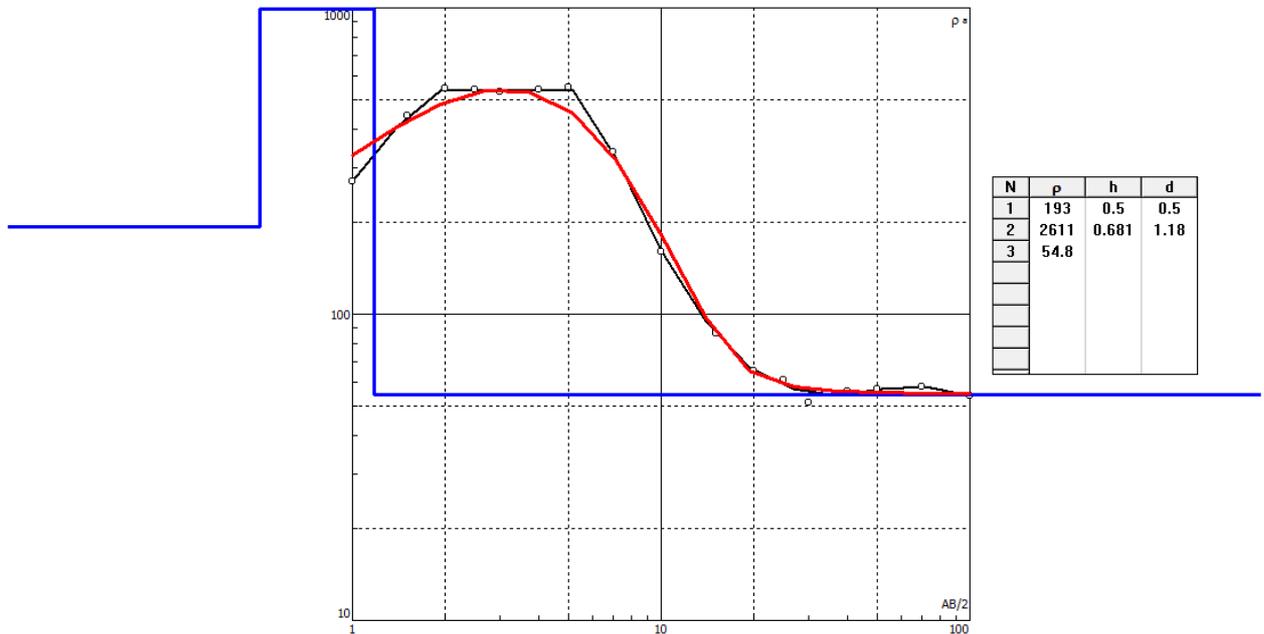


Figure 30. La courbe de résistivité électrique de sondage SEV03.

La coupe électrique du **SEV03** indique un milieu à trois couches.

La formation de surface a une résistivité électrique de 193 Ω.m représentant ainsi un passage gypseux probablement altéré dont l’épaisseur est d’un demi-mètre.

La seconde couche a une grande résistivité électrique de 2611 Ω.m qui peut caractériser un banc de gypse assez compact qui se trouve entre 0.5m et 1.2 m de profondeur (soit environ 0.6m d’épaisseur).

Au-delà d’1.2m de profondeur, la résistivité électrique diminue laissant prétendre une présence d’argiles.

**Méthode des abaques :**

Nous avons appliqué la méthode des abaques au SEV3 en utilisant l’abaque CH1 et l’abaque de type K

qui correspondent à notre courbe  $\rho_a = f\left(\frac{AB}{2}\right)$ .

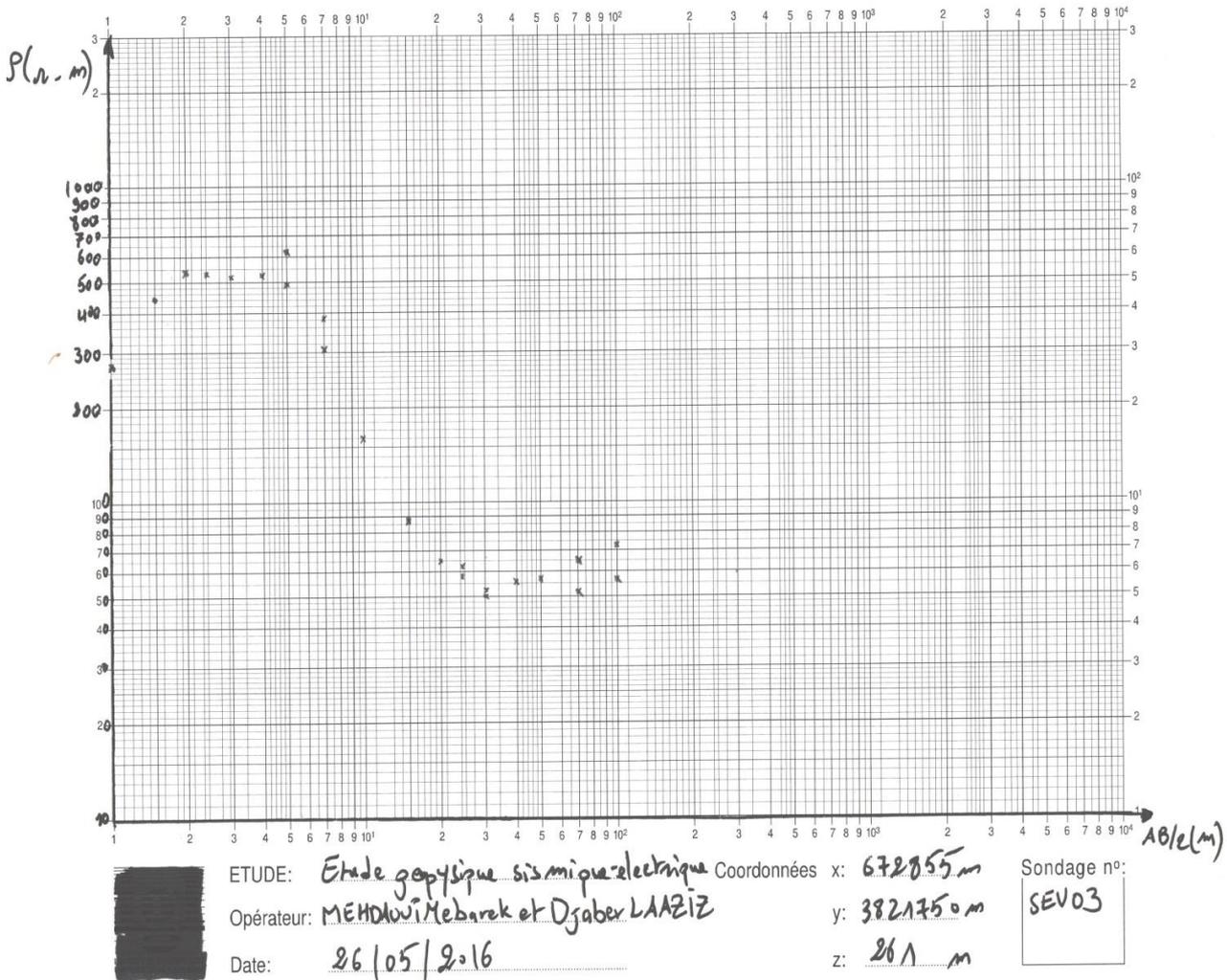


Figure 31. Courbe géo électrique de SEV03.

La première couche a une résistivité de l'ordre de  $440\Omega.m$  et représente probablement un passage de gypse altéré et peux épais, son épaisseur est d'un mètre et demi (1.5m).

La résistivité électrique de la seconde couche augmente et atteint  $886\Omega.m$ . On peut dire qu'on est en présence d'un banc de gypse assez compact qui a une épaisseur de 0.7m.

Après trois (03) mètre de profondeur, la résistivité électrique diminue ( $50\Omega.m$ ) laissant prétendre que le sous-sol est argileux.

On peut dire que l'interprétation par inversion avec l'IPI2Win et par la méthode des abaques est concordante et convergent au même résultat.

## 2. Interprétation des données sismiques :

Méthode analytique :

Le profil sismique PS1 :

Les hodochrones du PS1 sont représentées sur la figure ci-dessous.

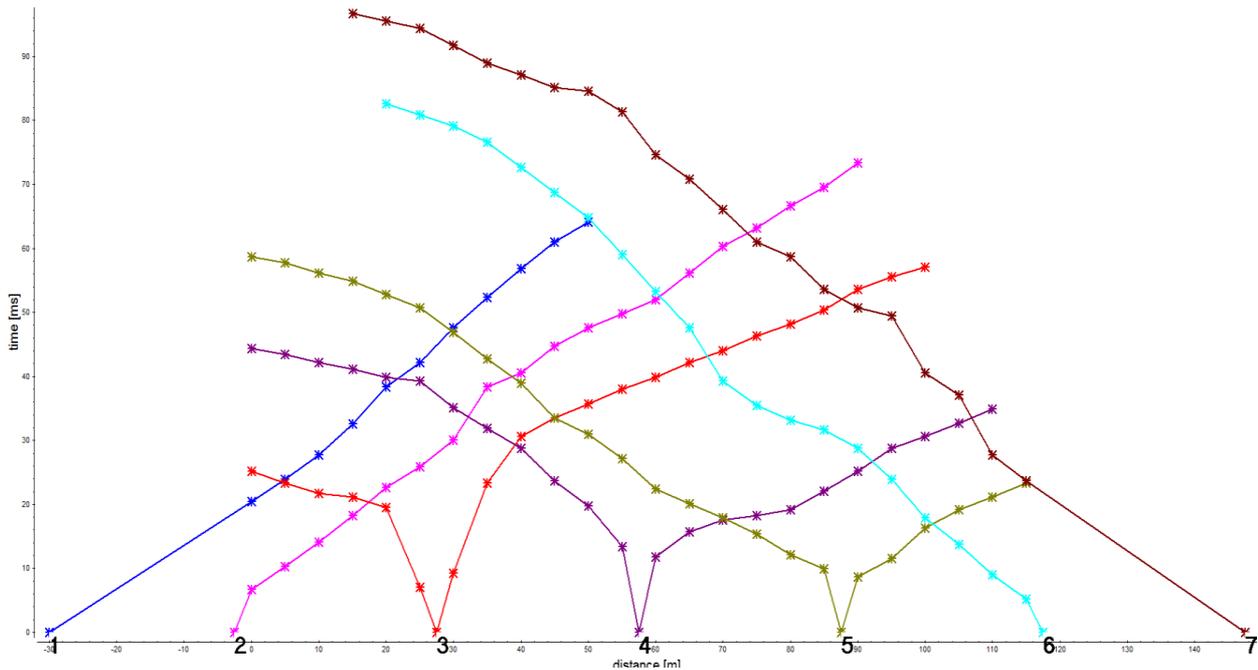


Figure 32. Les hodochrones du PS1.

Les données obtenues sur ce profil nous montrent qu'il existe trois couches (figure 33) :

La vitesse de la première couche varie dans l'intervalle [250 - 500 m/s]. Son épaisseur varie entre 1,5m et 3 m. Cette couche peut correspondre à une formation argileuse de surface.

La deuxième couche a une épaisseur de 11m dans la partie sud du profil et elle augmente vers la partie nord, mais à ce niveau-là, on n'a pas d'information. Les vitesses de cette couche varient entre [1100 – 2400m/s]. Ces vitesses peuvent correspondre à une formation gypseuse.

A partir de 11m de profondeur, on a une troisième formation caractérisée par une gamme de vitesse assez élevée qui varie entre [3000 – 4800 m/s]. Cela correspond à un milieu plus compact comme une couche gypseuse.

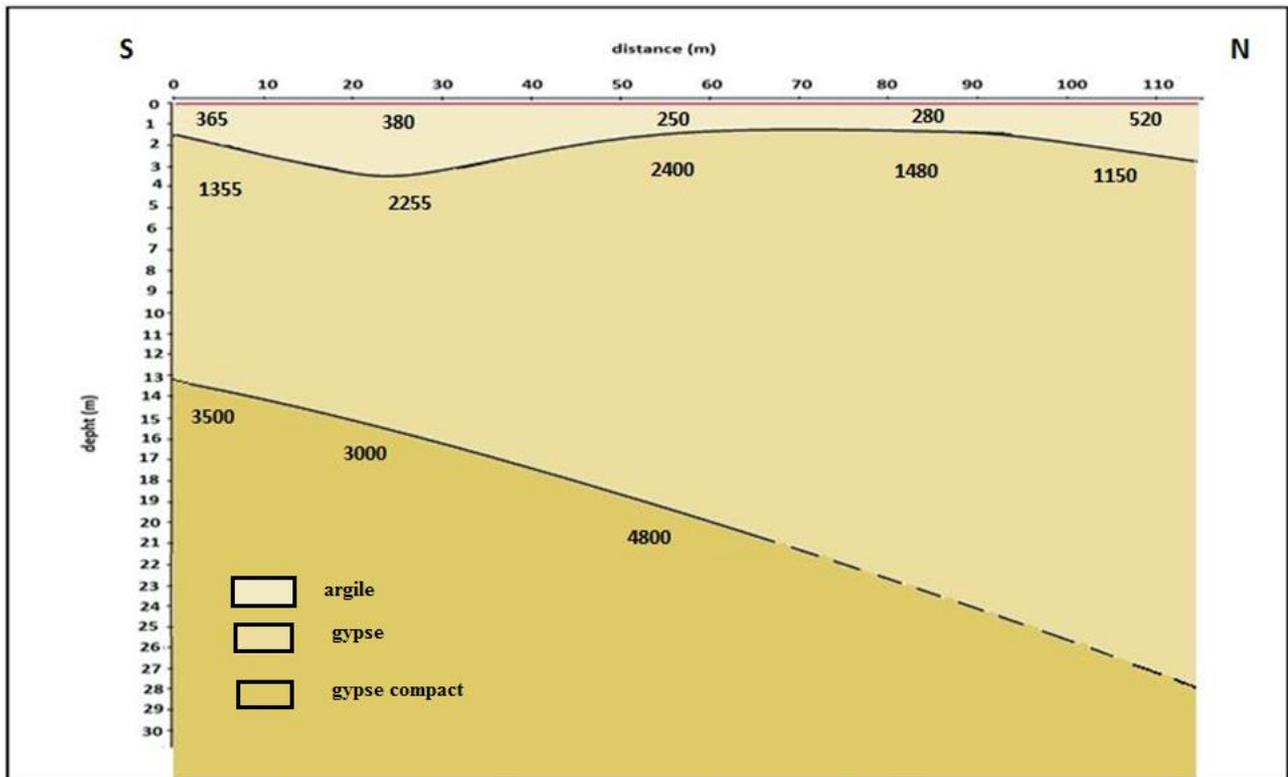


Figure 33. Model géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS1).

### Le profil sismique PS2 :

Les hodochrones du PS2 sont représentées sur la figure 34.

L'interprétation des données de ce profil nous montre l'existence de deux couches qui sont les suivantes (figure 35):

L'épaisseur de la première couche varie entre 4 et 6 m et sa vitesse varie est de l'ordre de [450 – 700m/s]. Ceci peut caractériser une formation argileuse

Au-dessous de cette dernière on trouve une formation définie par une vitesse qui varie entre 1200 m/s et 1600 m/s.

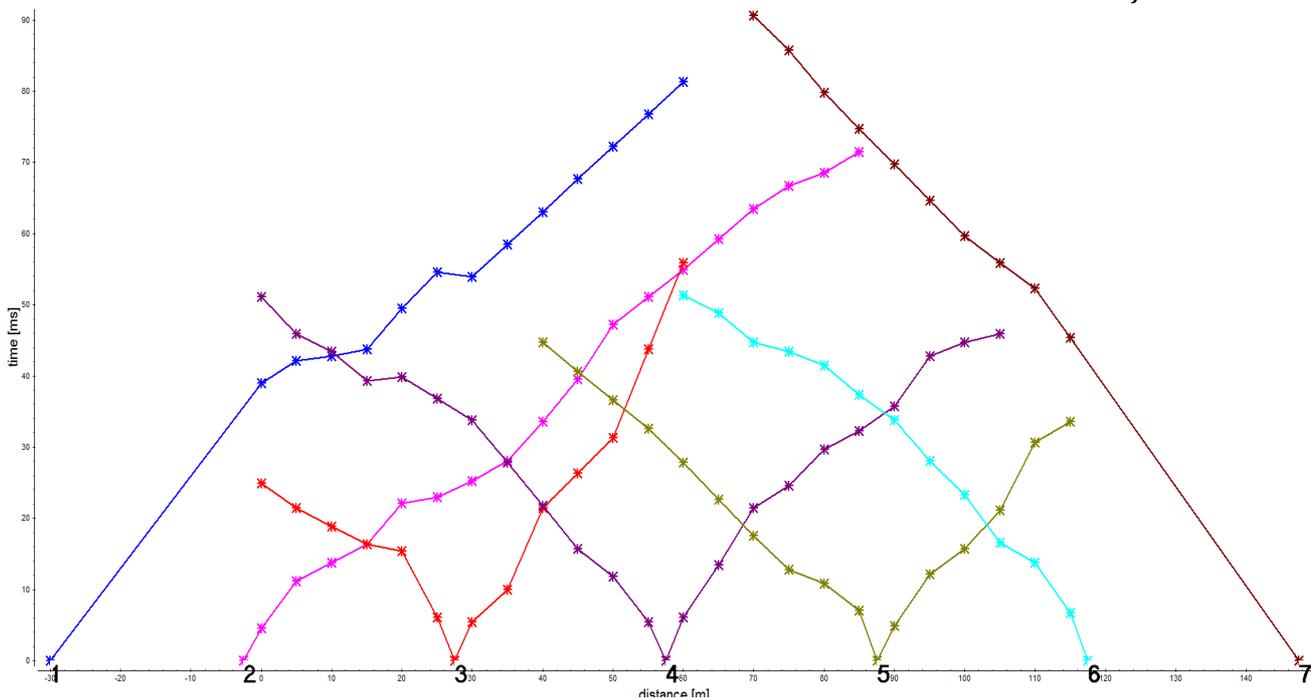


Figure 34. Les hodochrones du PS2.

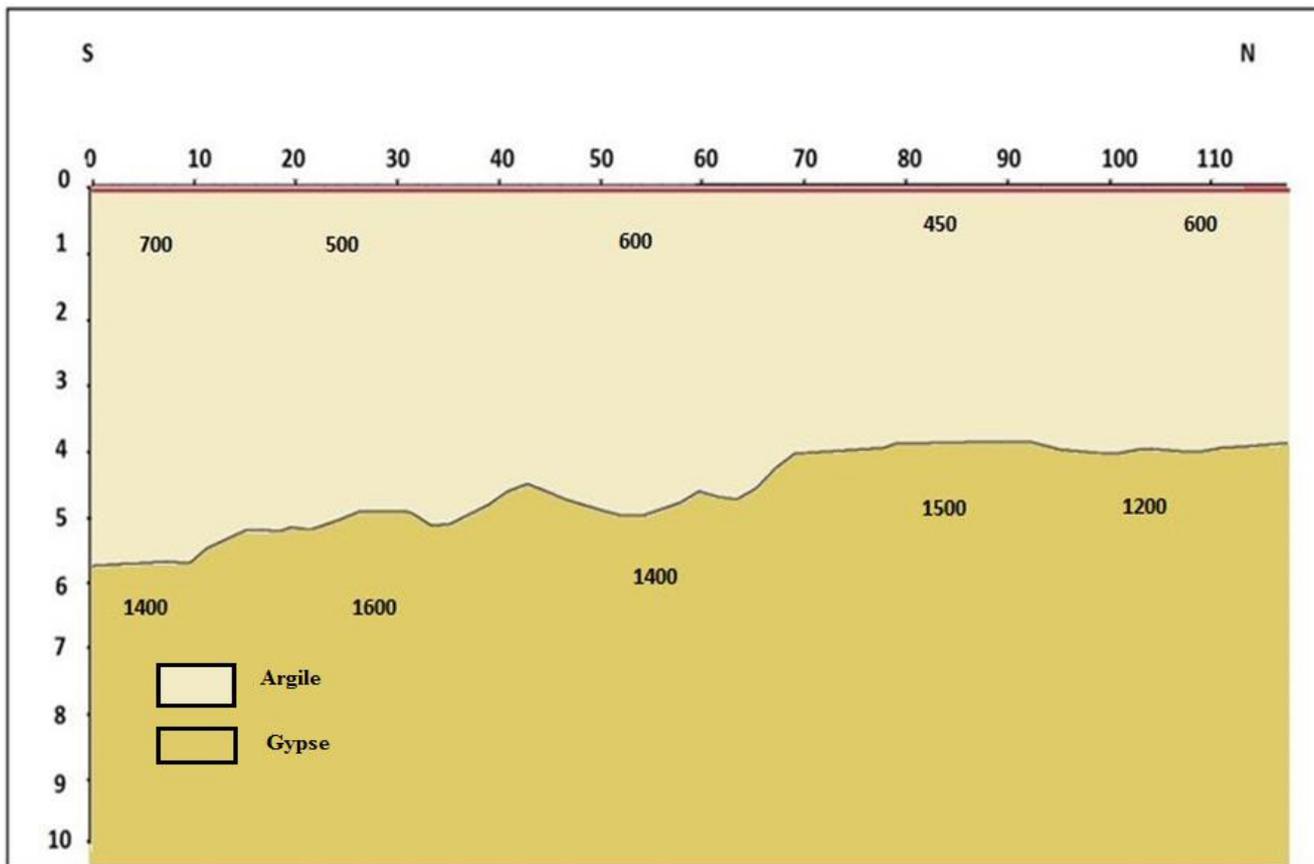


Figure 35. Model géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS2).

**Le profil sismique PS3 :**

Le profil PS3 a été réalisé perpendiculairement à la faille supposée.

Les hodochrones du PS3 sont représentées sur la figure ci-dessous.

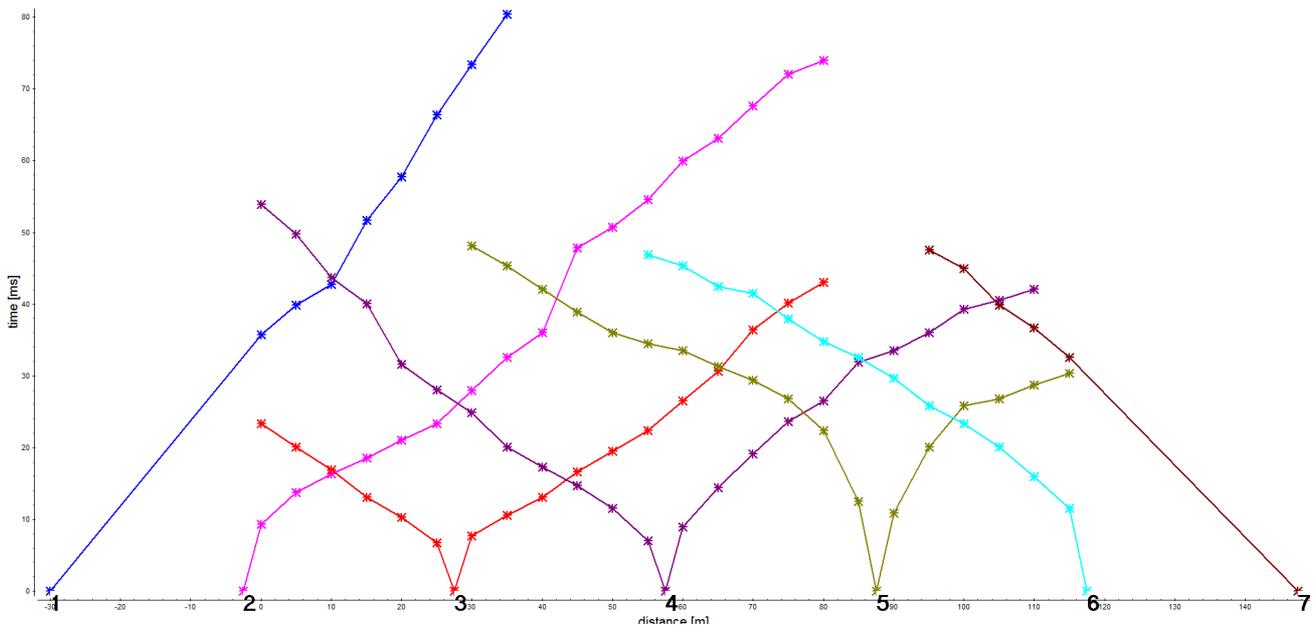


Figure 36. Les hodochrones du PS3.

Les vitesses (m/s)	Tir 1 -30 m	Tir 2 -2.5 m	Tir 3 27.5 m		Tir 4 57.5 m		Tir 5 87.5 m		Tir 6 2.5 m	Tir 7 30 m
			gauche	droit	gauche	droit	gauche	droit		
V <sub>1</sub>	-	279	350	330	353	289	200	228	220	-
V <sub>2</sub>	900	1156	1518	1430	1225	1100	675	698	1500	1000
V <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	2300	2100	3000	2500	2100

Tableau 5. Vitesses enregistrées du PS3

Le modèle obtenu par inversion sur le ReflexW est représenté sur la figure 37. Il indique un milieu à trois terrains.

Une première couche d’épaisseur de 1,5m, cette dernière est caractérisée par une vitesse de 260m/s. Cette formation correspond aux argiles.

Au niveau de la deuxième couche, on observe un changement latéral et brutal de la vitesse. La vitesse moyenne est de 1400 m/s dans la partie sud-ouest du profil et elle diminue jusqu’à 670m/s entre les abscisses 70 et 90m. Ensuite la vitesse remonte pour atteindre 1500m/s dans la partie nord-est.

En plus du changement latéral de vitesse entre 60 et 80 m/s, on remarque que l'épaisseur de la couche augmente comme si la formation plongeait vers la partie sud-ouest.

Cette variation latérale de la vitesse et le changement d'épaisseur indiquent la présence d'un événement tectonique et confirment l'hypothèse de présence d'une faille.

La troisième couche qui existe à la fin du profil jusqu'à l'abscisse x=70m, est caractérisée par une vitesse d'ordre 2800m/s qui correspond à un gypse compact.

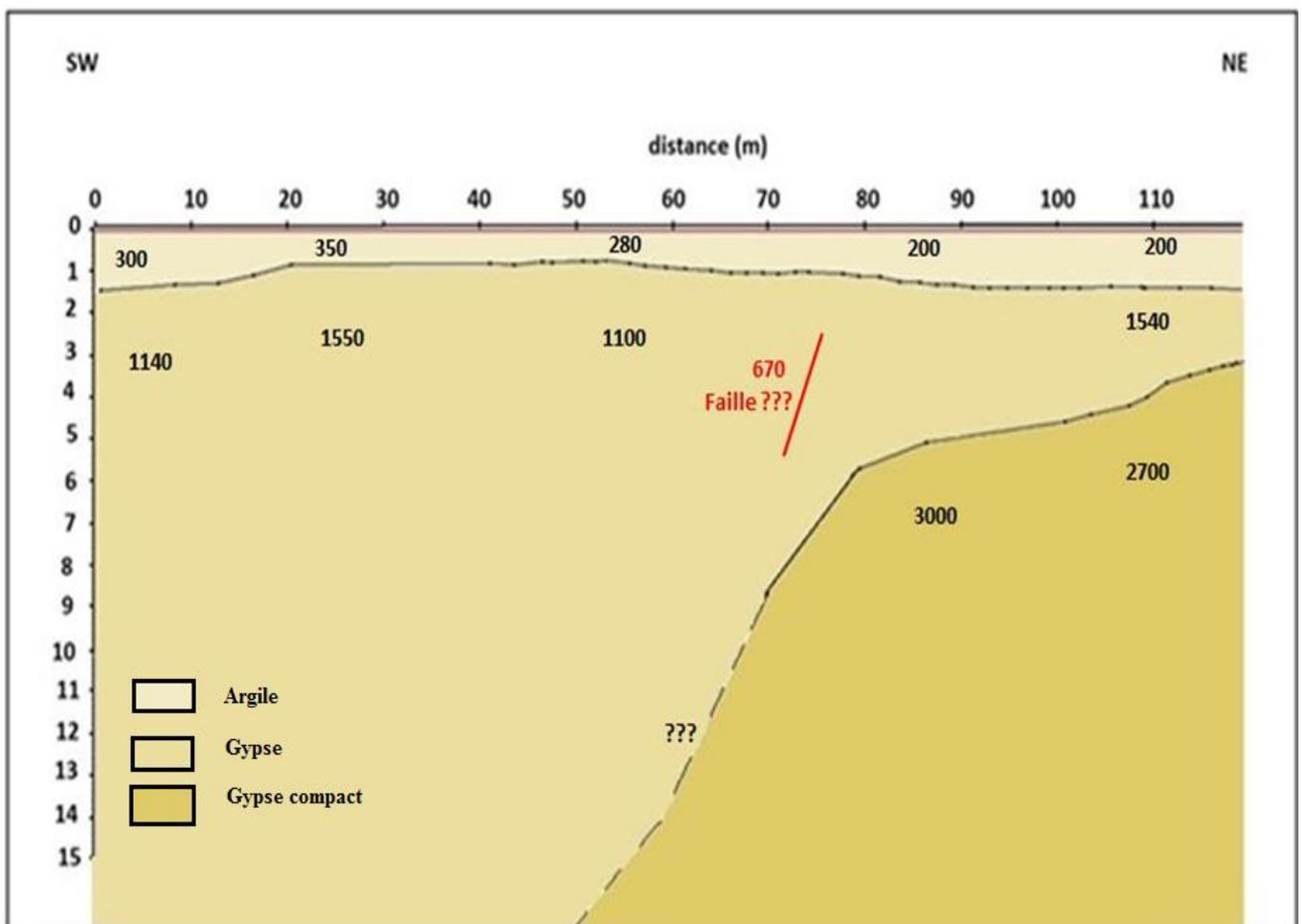


Figure 37. Modèle géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS3).

### Méthode des interceptes :

Afin de confirmer les résultats obtenus du traitement du PS3, nous avons utilisé la méthode des interceptes.

L'interprétation sismique par la méthode des interceptes est fondée sur l'étude du graphique temps-distance. Le modèle géo-sismique obtenu indique que le milieu est assez hétérogène. La formation de surface a une profondeur de moins d'un mètre et une vitesse qui varie entre 220 et 280 m/s.

La seconde couche présente, comme pour la méthode d'inversion avec le ReflexW, une variation latérale de la vitesse sismique. En effet, la vitesse de cette couche varie entre 1100 et 1500 m/s sauf entre les abscisses (environ) X=70m et X= 90m. L'épaisseur de la formation n'est pas bien définie. Elle est de 8m dans la partie NE, elle s'affine entre X=70 et X=100m (4m) et il semble que la formation plonge en profondeur vers le SW.

La troisième couche n'a pu être défini que dans la partie NE. Sa vitesse est de 2250 m/s.

Les résultats de la méthode des interceptes et par inversion indiquent tous les deux un changement latéral de la vitesse sismique et une variation de l'épaisseur de la seconde couche. Ces résultats laissent penser à la présence d'une faille.

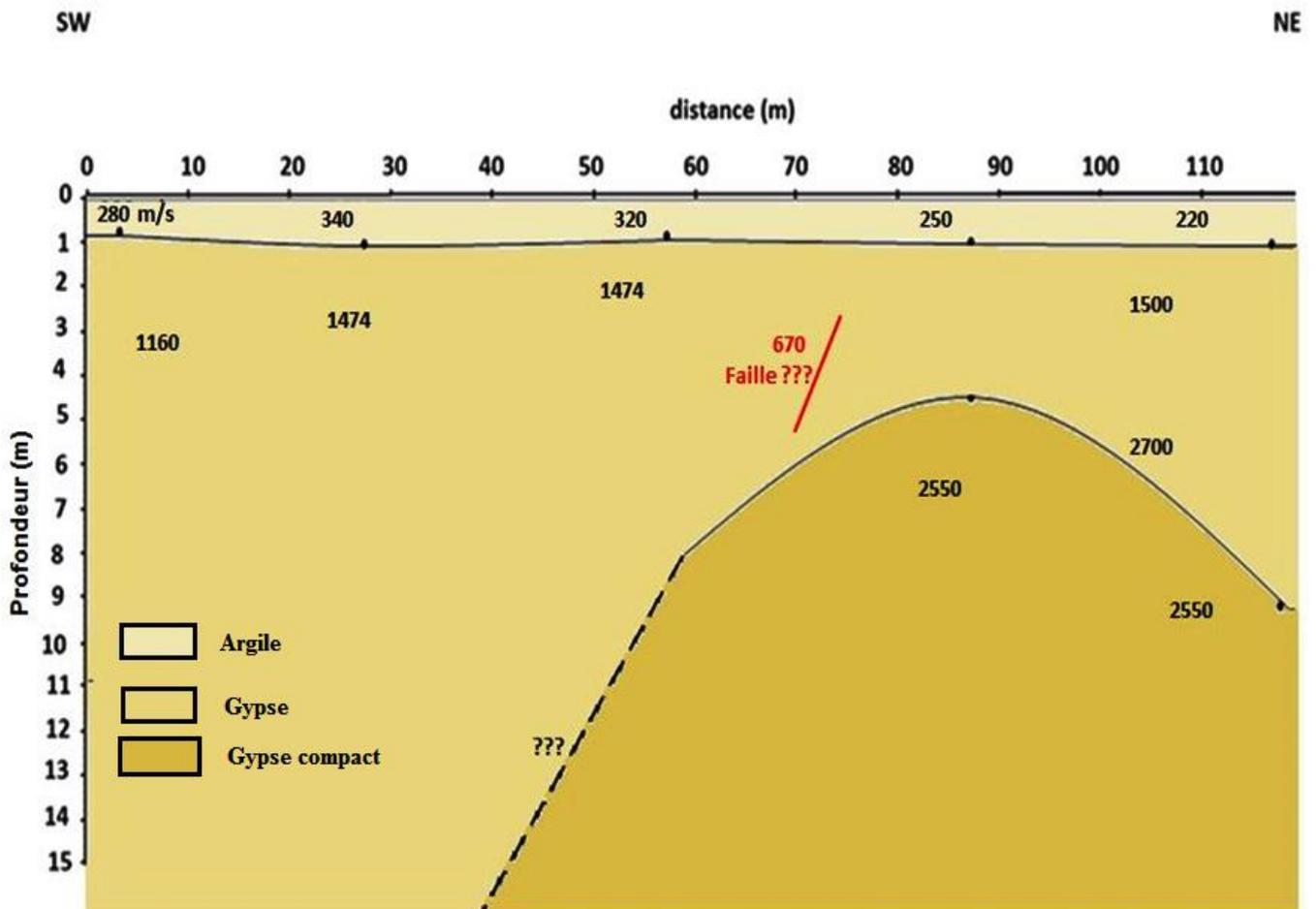


Figure 38. Model géo-sismique des variations des vitesses et des profondeurs (PS3).

### 3. Interprétation 3D des données géophysiques :

L'interprétation 3D des données géophysiques est réalisée par logiciel **Geological Data Management (GDM)** produit de BRGM-France (Bureau de Recherche Géologique et Minière)<sup>[04]</sup>. C'est un logiciel assez performant qui permet de:

- gérer nos données quel que soit leur type : sondages, profils, contours géologiques et topographiques. Pour notre cas il s'agit des données électriques, sismiques ainsi que les sondages carottés.
- produire des graphiques de qualité, on peut tracer des logs de sondages (documents multi-colonnes), cartes et sections (documents multicouches) et vues 3D dynamiques (documents multicouches).
- modéliser les données en 3 dimensions, sur cartes et sur sections, avec prise en compte des failles et autres limites géologiques, de façon automatique (interpolation) ou manuelle (digitalisation à la souris).

#### 3.1. Aperçu géologique des données géophysique par le GDM :

Comme le logiciel GDM permet aussi de faire une présentation de la zone d'étude avec son levé topographique et le positionnement des sondages carottés, électriques et les profils sismiques à la fin des interprétations conventionnelles déjà utilisées, on s'est intéressés à la reconstruction 3D du modèle géologique en utilisant ce logiciel. Ce dernier est mis à notre disposition via une collaboration scientifique entre l'UDBKM et l'IPHC de Strasbourg.

Pour faire, on procède initialement à l'introduction de toutes nos données dans un fichier Access (on peut également utiliser des fichiers Excel) en faisant appel à deux fenêtres :

1. Une fenêtre appelée (T\_Geology) indiquant les noms de données d'acquisitions avec sa lithologie, description et sa profondeur (figure 39).
2. La deuxième fenêtre appelée (T\_Holes) indiquant le positionnement de chaque sondages (X, Y, Z) (figure 39).

Borehole	Description	Depth	Litho
PS1B	FORMATION ARGILEUSE	3,00	ARGILE
PS1D	FORMATION DE GYPSE	14,00	GYPSE
PS1D	GYPSEMASSIF	20,00	GYPSE
PS1F	FORMATION ARGILEUSE	3,00	ARGILE
PS1F	FORMATION DE GYPSE	14,00	GYPSE
PS1F	GYPSEMASSIF	20,00	GYPSE
PS2D	ARGILE	6,00	ARGILE
PS2D	GYPSE	10,00	GYPSE
PS2F	ARGILE	4,50	ARGILE
PS2F	GYPSE	10,00	GYPSE
PS3D	ARGILE	1,50	ARGILE
PS3D	GYPSE	10,00	GYPSE
PS3F	ARGILE	1,00	ARGILE
PS3F	GYPSE	4,00	GYPSE
PS3F	GYPSE	20,00	GYPSE
PS3M	ARGILE	1,00	ARGILE
PS3M	FAILLE	8,00	ARGILE ALTERE
PS3M	GYPSE	9,20	GYPSE
S001	croute gypseuse	0,50	CROUTE GYPSEUSE
S001	gypse massif	4,90	GYPSE
S001	argile rouge	12,20	ARGILE
S001	gypse	13,00	GYPSE

Borehole	X	Y	Z
S003	672827,0	3821698,0	264,0
PS1D	673020,0	3821800,0	263,5
SEV1	673025,0	3821850,0	263,0
PS1F	673030,0	3821680,0	263,0
SEV2	673035,0	3821755,0	263,0
S004	673027,0	3821704,0	263,0
S001	672828,0	3821806,0	262,8
SEV3	672855,0	3821750,0	262,5
PS2D	672815,0	3821690,0	262,0
PS2F	672835,0	3821800,0	262,0
S002	673033,0	3821801,0	261,0
PS3D	672980,0	3821670,0	261,0
PS3F	673050,0	3821765,0	261,0
PS3M	673020,0	3821720,0	260,0

Figure 39. Fichier Access des données d'acquisitions de la zone d'étude.

Après le remplissage de fichier Access, on relie les données saisies avec une base géologique générée par le GDM que l'on doit remplir de la façon suivante :

Table/Requête : Sondages R\_Geologie Clé de sondage Borehole

Profondeur	Fin	Champs Base externe	Long	=>	Champs GDM-Tête	=>	Champs GDM-Passe	Long GDM	Usage	Unité
1		Borehole	4	=>	Borehole		xxxx	4	Indicatif réduit	
2		X		=>	X		xxxx		Coordonnée X	M
3		Y		=>	Y		xxxx		Coordonnée Y	M
4		Z		=>	Z		xxxx		Coordonnée Z	M
5		Depth		=>	xxxx		Depth		Profondeur Fin	M
6		Litho	20	=>	xxxx		Litho	20	Code Palette	
7		Description	100	=>	xxxx		Description	100	Texte/Code/Date	

Buttons: OK, Annuler, Système de coordonnées..., Contrôle des données..., Définir sondages verticaux/rectilignes/déviés..., Utiliser tableau...

Figure 40. L'importation des données d'acquisitions sur le GDM.

Lorsque on finit d'éditer les données selon un champ GDM-passe et un usage respectif. On doit citer le système de coordonnées et on obtient la représentation de site suivante :

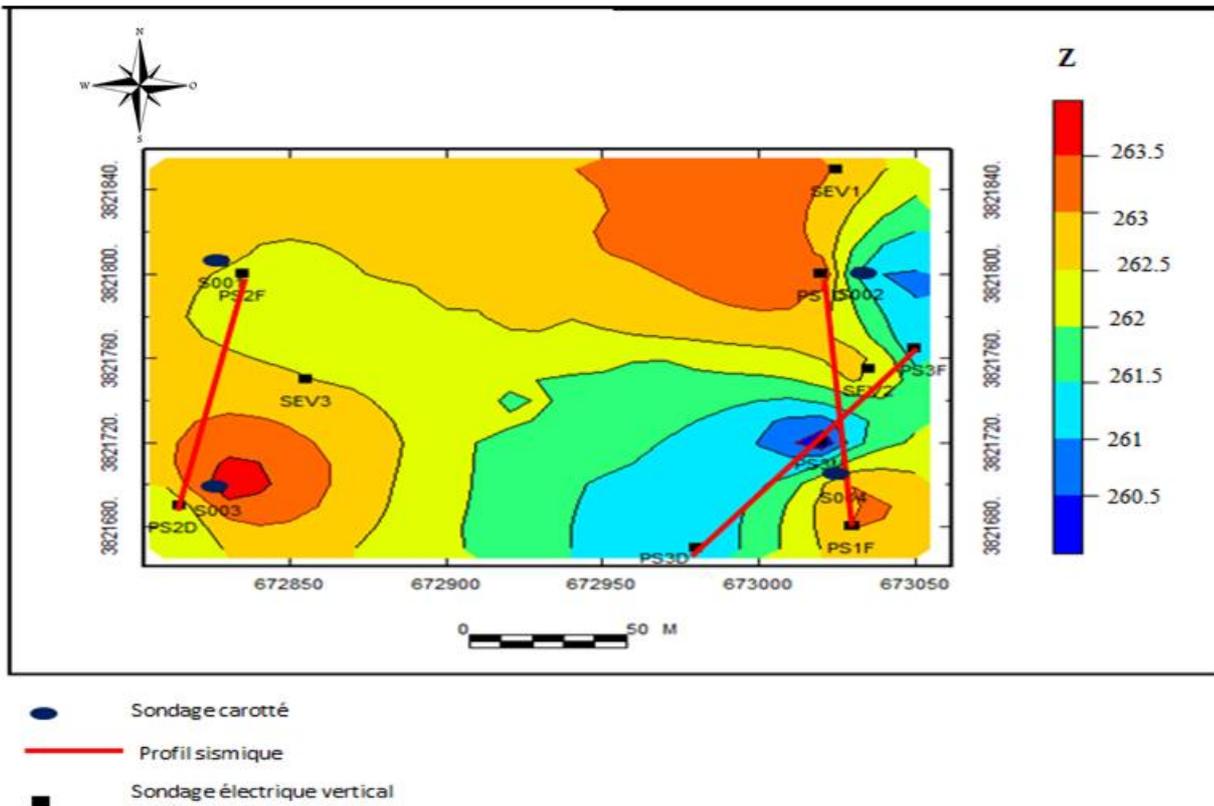


Figure 41. Levé topographique de la zone d'étude et positionnement des sondages électriques, carottés et profils sismiques.

**Remarque :** Au cours de la saisie des données dans un fichier Access, il faut que l'écriture soit partout en majuscule ou en minuscule et les profondeurs doivent être saisies dans un ordre descendant (profondeur fin) voir l'annexe 8.

### 3.2. Corrélations entre les sondages carottés, électriques et profils sismiques :

La partie corrélation est la partie la plus difficile parce que nous sommes en train d'interpoler les couches en fonction des formations importantes (Argile-Gypse).

L'interpolation est faite par rapport aux grandes formations et en fonction des nombres de sondages et le maillage, donc on doit d'abord saisir les formations interprétées comme sur la figure 42.

Dans l'arbre du Projet, sur la Source de données « Géologie », on choisit dans le menu contextuel : «Calculs - Déterminer Formation ou Composite » :

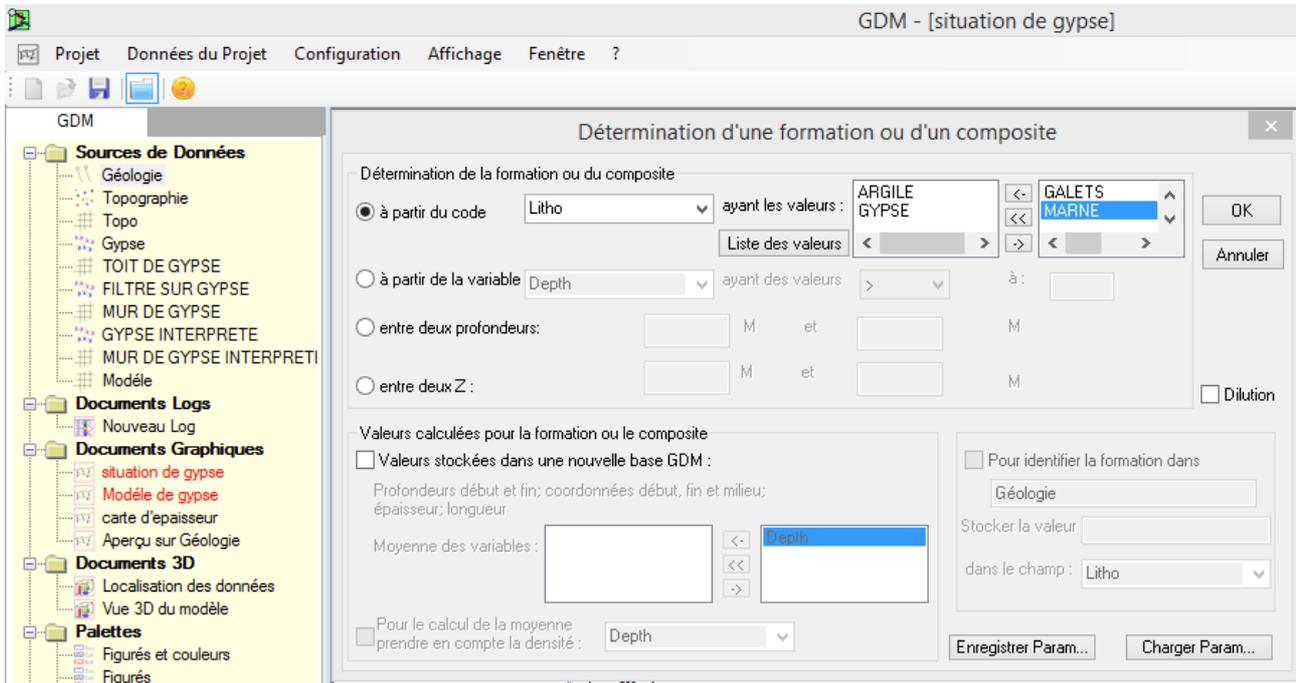


Figure 42. Calcul et détermination les formations gypse-argile sur GDM.

Après cette étape le GDM va automatiquement citer les sondages qui contiennent les formations argile-gypse appelés source de données «gypse» (figure 43), avec deux nouveaux paramètres :

$Z_1$  : altitude de l’intersection du sondage avec le toit apparent de la formation gypse.

$Z_2$  : altitude de l’intersection du sondage avec le mur apparent de la formation gypse.

	SHID	P1	P2	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	THCK	LENG	TWST	FOR
1	PS1D	3,000	14,00000	673020,0	3821800	260,5000	673020,0	3821800	249,5000	11,00000	11,00000	0,000	CROS
2	PS1F	3,000	14,00000	673030,0	3821680	262,0000	673030,0	3821680	249,0000	11,00000	11,00000	0,000	CROS
3	PS2D	6,000	10,00000	672815,0	3821690	256,0000	672815,0	3821690	252,0000	4,00000	4,00000	0,000	END
4	PS2F	4,500	10,00000	672835,0	3821800	256,5000	672835,0	3821800	252,0000	5,50000	5,50000	0,000	END
5	PS3D	1,500	10,00000	672980,0	3821670	260,0000	672980,0	3821670	251,0000	8,50000	8,50000	0,000	END
6	PS3F	1,000	4,00000	673050,0	3821765	258,5000	673050,0	3821765	257,0000	3,00000	3,00000	0,000	CROS
7	PS3M	8,000	9,20000	673020,0	3821720	248,0000	673020,0	3821720	250,8000	1,20000	1,20000	0,000	END
8	S001	0,500	4,90000	672828,0	3821806	263,3000	672828,0	3821806	257,9000	4,39999	4,39999	0,000	CROS
9	S002	5,400	9,00000	673033,0	3821801	255,6000	673033,0	3821801	252,0000	3,60001	3,60001	0,000	CROS
10	S003	12,000	16,50000	672827,0	3821698	252,0000	672827,0	3821698	247,5000	4,50000	4,50000	0,000	CROS
11	S004	2,500	17,00000	673027,0	3821704	261,5000	673027,0	3821704	246,0000	7,50000	7,50000	7,000	CROS
12	SEV1	21,000	25,00000	673025,0	3821850	260,0000	673025,0	3821850	238,0000	4,00000	4,00000	0,000	END
13	SEV2	0,000	57,00000	673035,0	3821755	270,0000	673035,0	3821755	206,0000	51,00000	51,00000	6,000	IN
14	SEV3	0,000	0,50000	672855,0	3821750	265,5000	672855,0	3821750	262,0000	0,50000	0,50000	0,000	BGIN

Figure 43. Source des données argile -gypse.

Ces deux paramètres doivent être estimés selon tous les points du site d’étude en deux phases :

1. Phase de toit de formation gypse, on utilise menu contextuel « Calculs – Estimer Grille 2D » sur la source de données de points « gypse », avec la variable interpolée  $Z_1$ .

- Phase de mur de formation gypse, on utilise menu contextuel « Calculs – Estimer Grille 2D » sur la source de données de points « gypse », avec la variable interpolée  $Z_2$ .

L'estimation en grille 2D est faite selon la méthode d'interpolation krigeage avec variogramme linéaire sans dérivé [24] qui interpole les deux variable  $Z_1$  et  $Z_2$  par rapport aux variables disponible de site (X, Y, Z) et donne une corrélation de toit et mur de gypse selon la présence de la formation de gypse de chaque sondage (figure 44).

On peut voir dans la figure 44 l'interpolation de toit et de mur de la formation gypse et même les affleurements qu'on a déjà vu dans notre observation durant l'acquisition au niveau de SEV02 et SEV03, mais cette figure n'est pas bien lisible dans la partie ouest ou on a beaucoup de sondages. Pour ces raisons et pour avoir une meilleure interprétation, on doit faire un modèle en couleur (figure45).

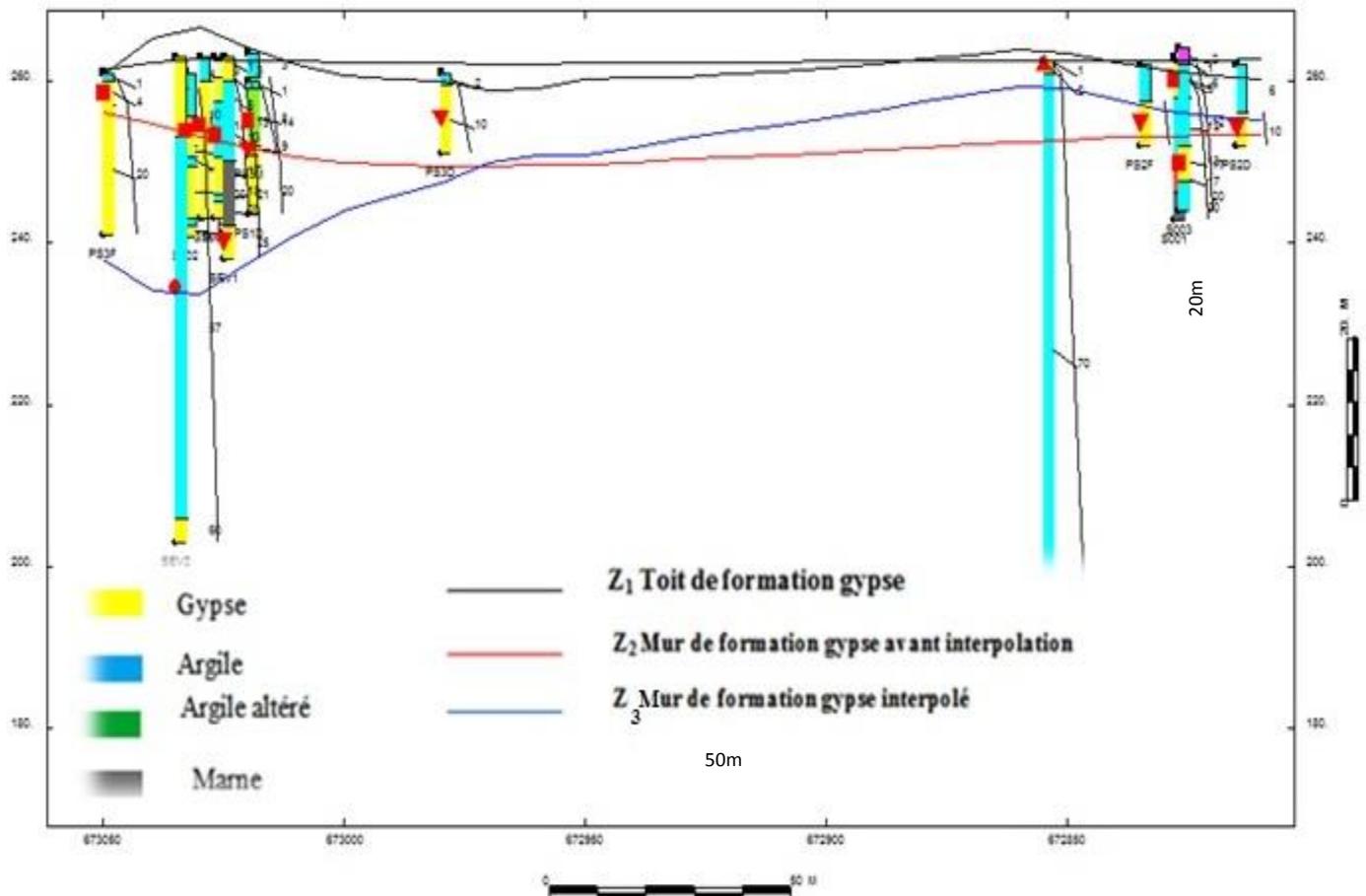


Figure 44. Corrélation de la formation gypse-argile section Est-Ouest (vue du Nord).

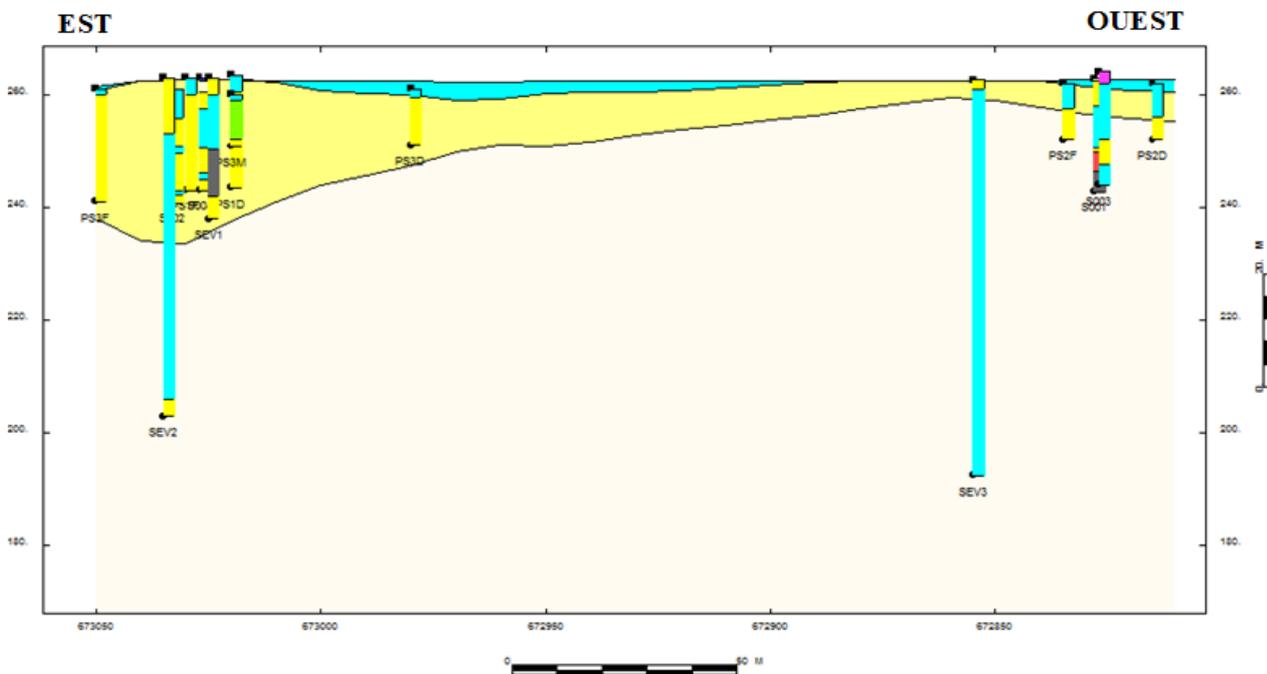


Figure 45. Modèle de formation de site d'étude en 2D section Ouest-Est (vue du Nord).

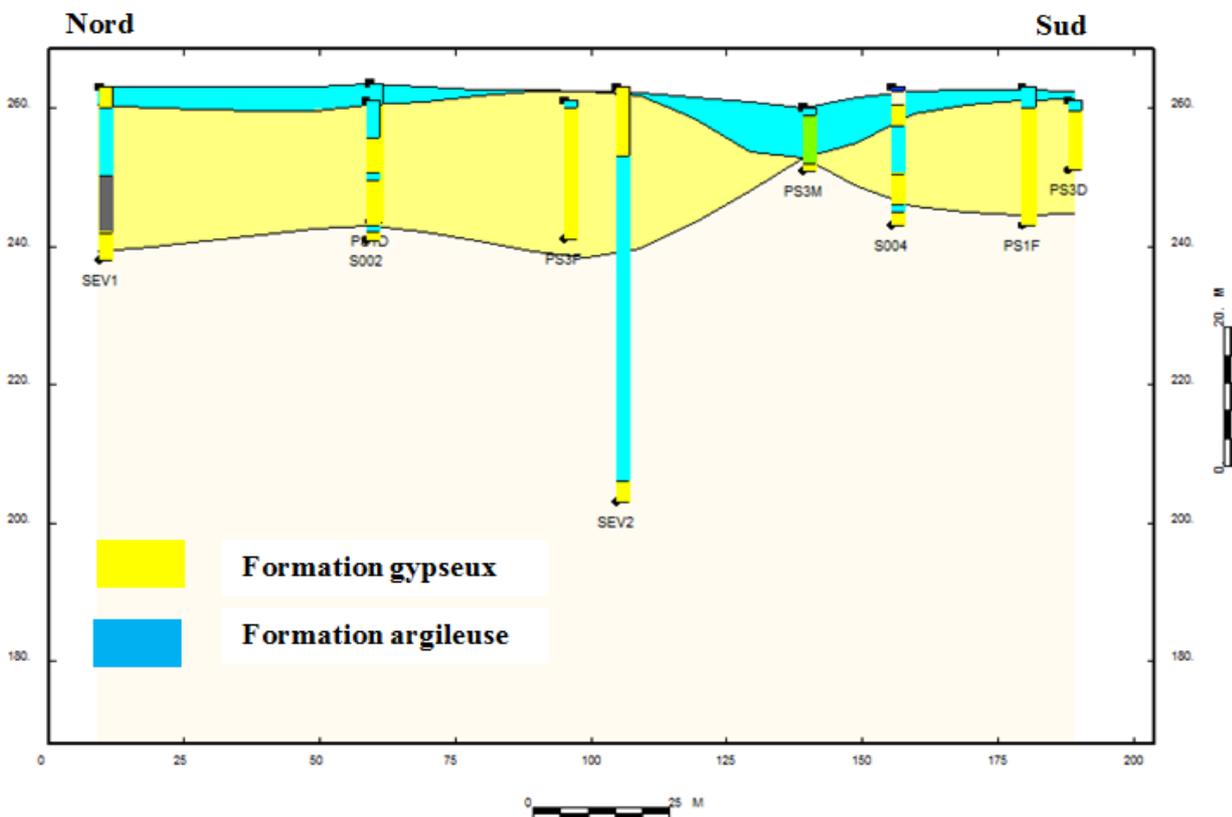


Figure 46. Modèle de formation de site d'étude en 2D partie Est.

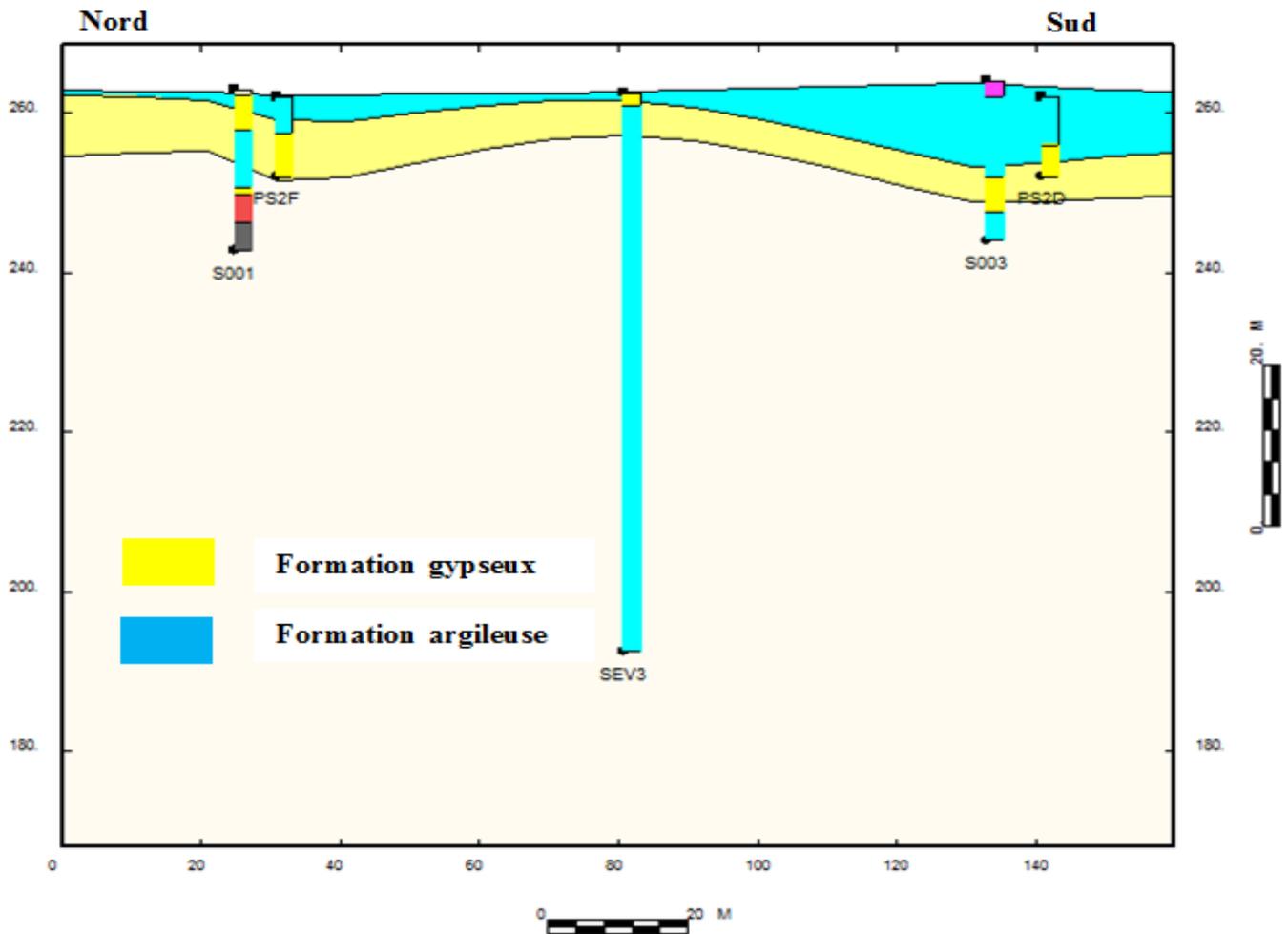


Figure 47. Modèle de formation de site d'étude en 2D partie Ouest.

- On observe que la partie Est contient la formation de gypse la plus importante surtout au niveau de SEV02 et le profil sismique PS1, mais au niveau de PS3 on voit surtout si on fait un zoom au niveau de ce profil (figure48) un changement latéral et brutal de la couche de gypse au milieu de ce profil qui peut laisser à penser à une présence d'une faille. Dans la partie Ouest (figure47) on voit une couche de gypse mais pas aussi importante que dans la partie Est.

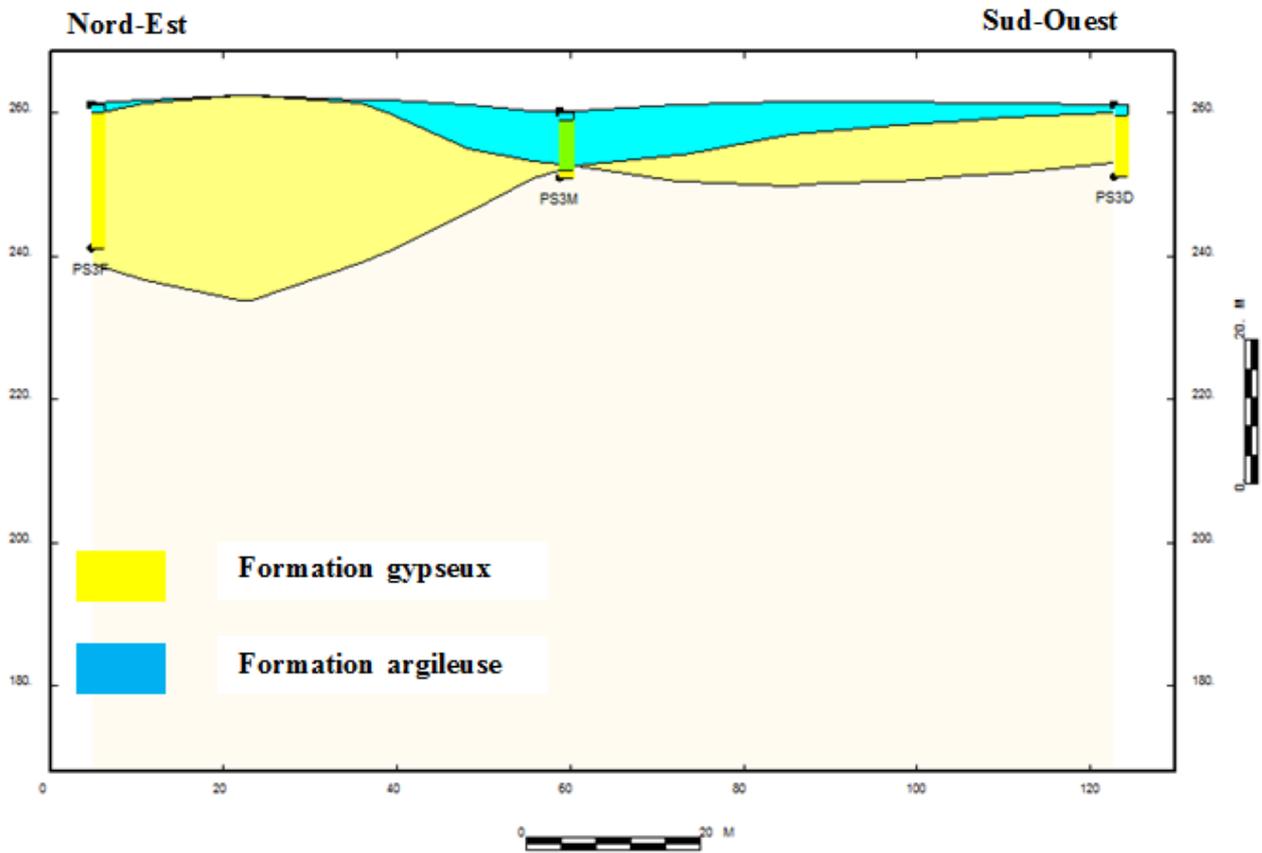


Figure 48. Modèle de formation gypse au niveau de PS3.

### 3.3. Carte d'épaisseur de gypse :

Les résultats précédents peuvent être donnés comme une carte qui définit la présence de gypse dans toute la zone d'étude avec des iso valeurs qui identifient les épaisseurs de cette formation comme montré sur la figure ci-dessous.

La carte d'épaisseur nous indique que la couche la plus épaisse est située au Nord-Est avec des valeurs de l'ordre de 40 à 30m au niveau du SEV2 et à la fin de PS1 et elle diminue en allant vers l'Ouest jusqu'à 5 mètre au niveau de SEV3.

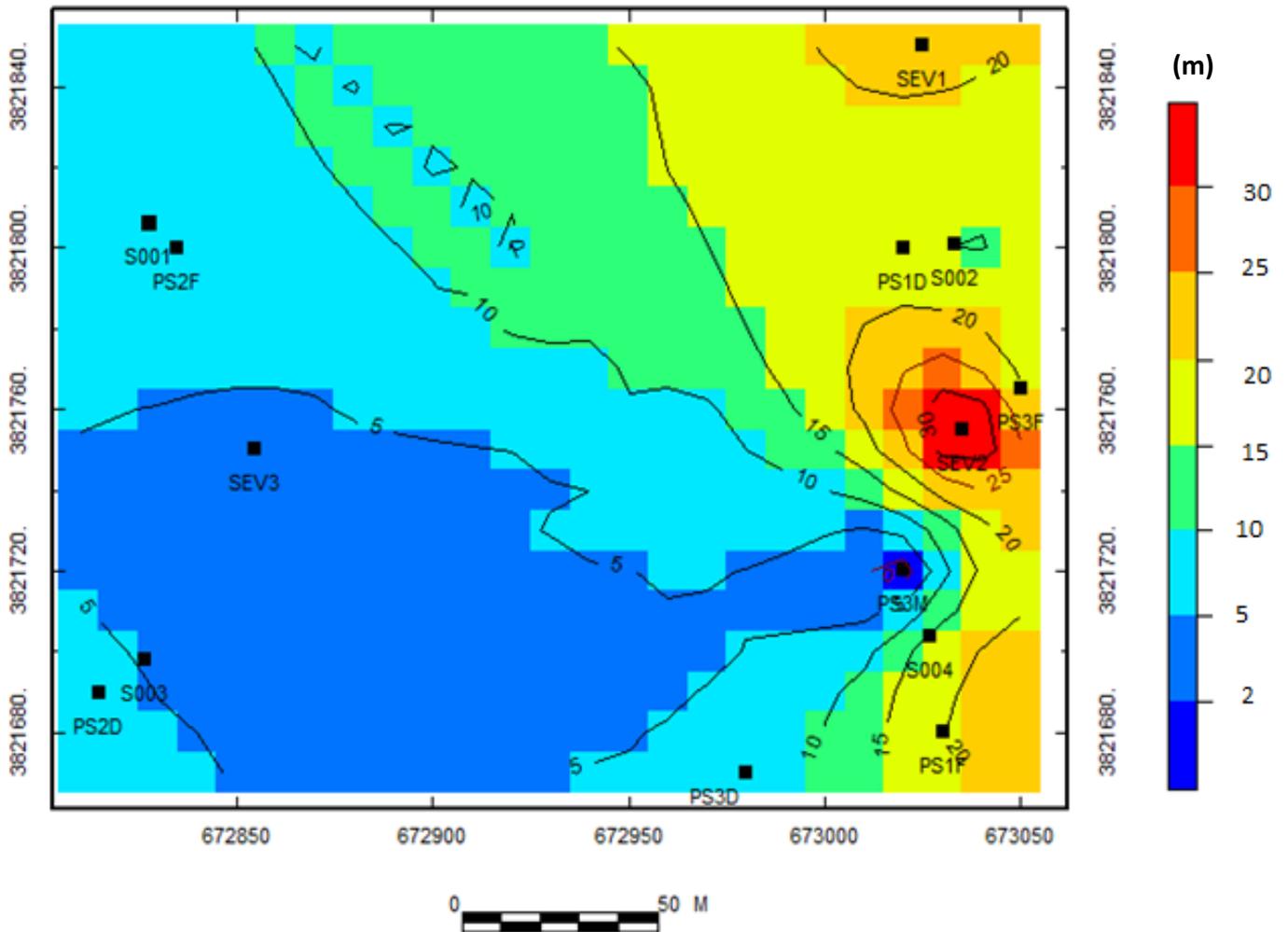


Figure 49. Carte d'épaisseur de la formation de gypse à la région de Hassi Sida.

### 3.4. Modèle 3D de la zone de Hassi Sida :

Les figures 50 ,51 et 52 montrent clairement les situations des données d'acquisitions (sondages et profils) et la formation de gypse et d'argile sur toute la zone étudiée, on identifie bien les affleurements (les triangles jaunes) de gypse observés, avec une coupe géologique mobile qui montre les sondages des formations existantes dans le site et leurs levés topographiques (figure53).

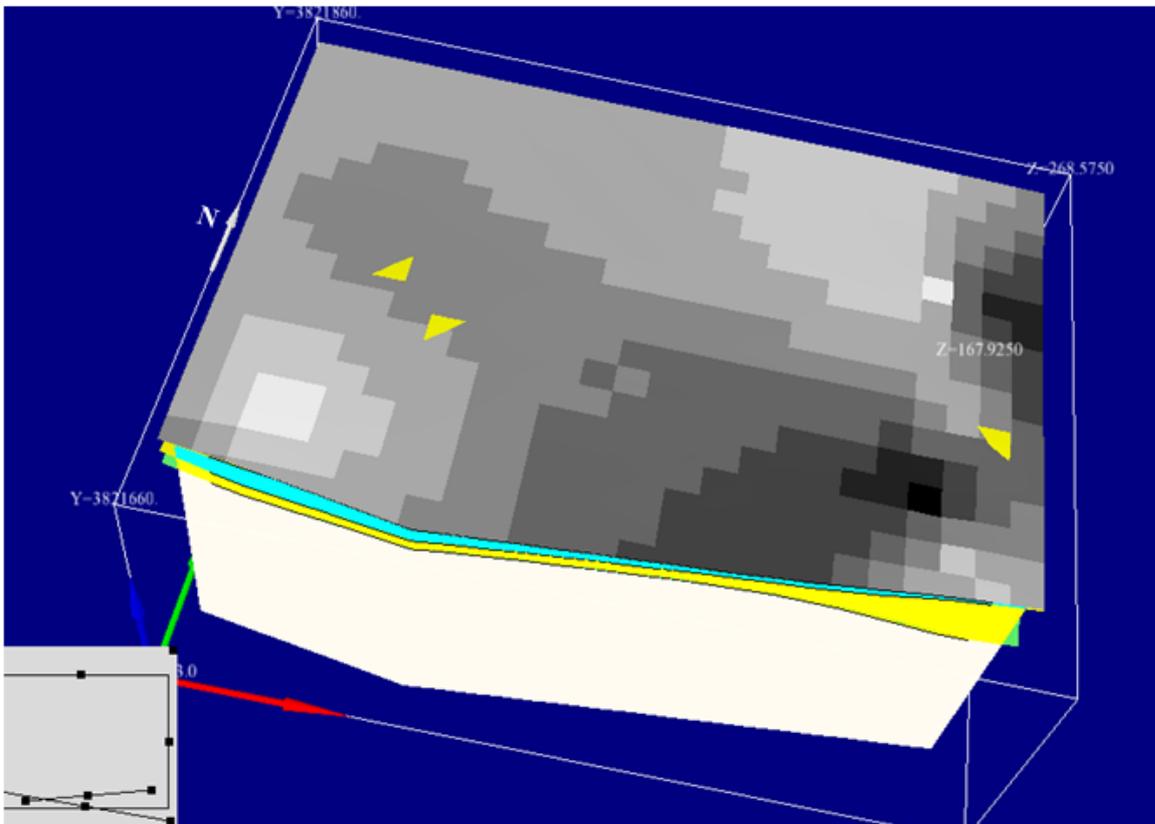


Figure 50. Les affleurements de gypse et le levé topographique de la région en 3D.

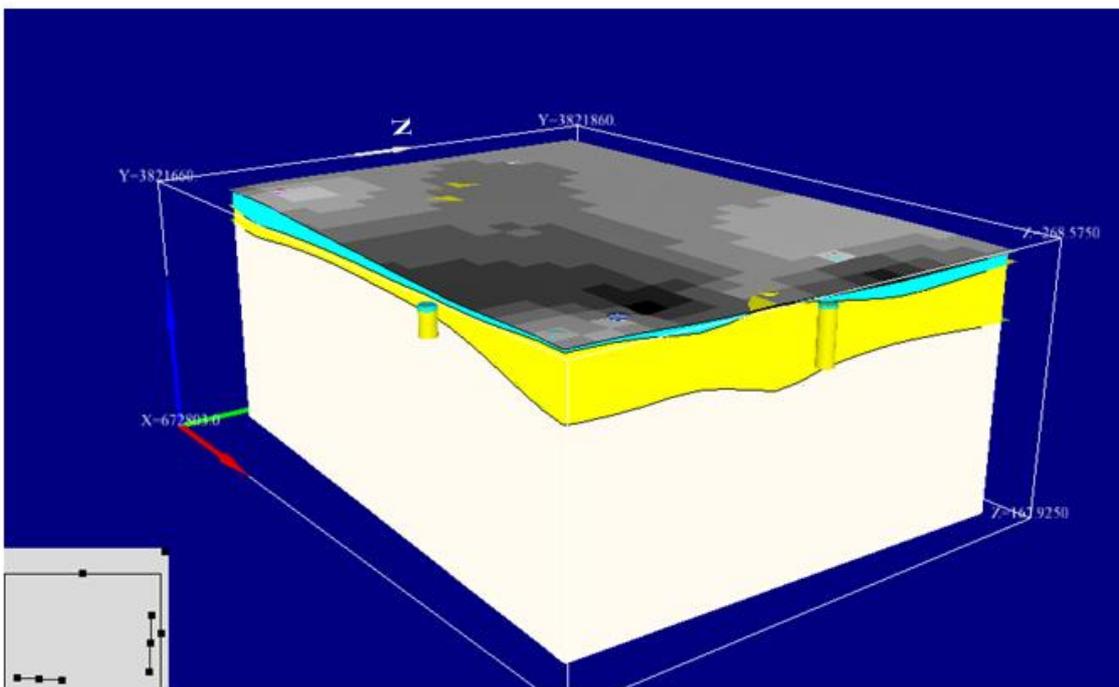


Figure 51. Modèle 3D de la formation de gypse dans la région (vue Est-Sud).

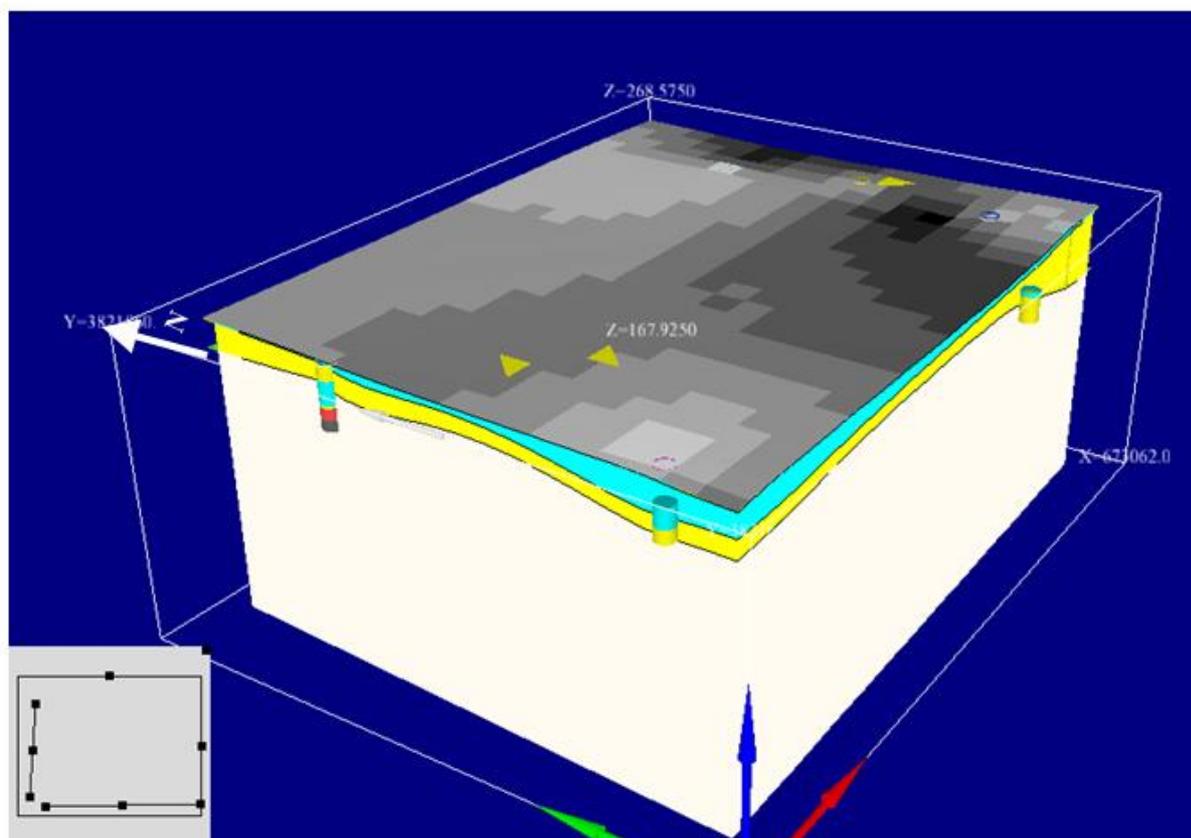


Figure 52. Modèle 3D de la formation de gypse (vue Nord-Ouest).

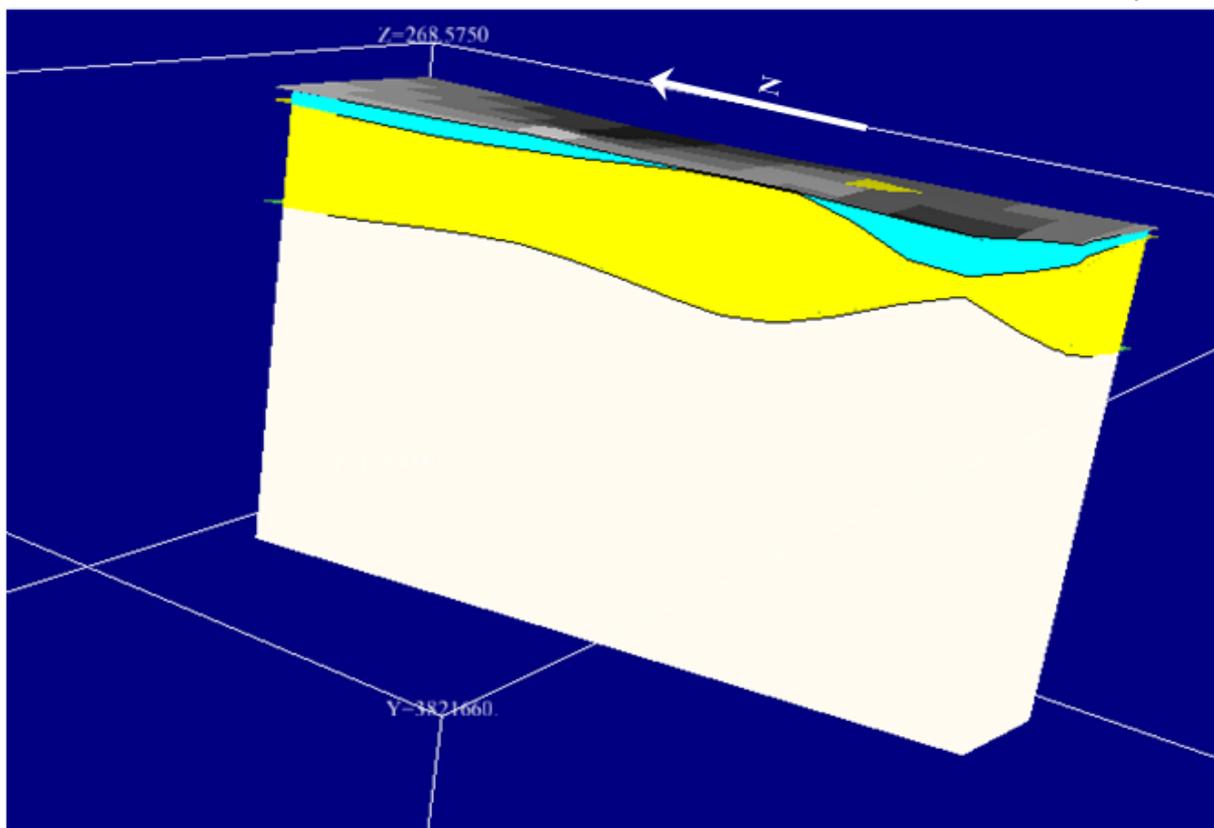


Figure 53. Coupe géologique mobile du modèle 3D de PS3.

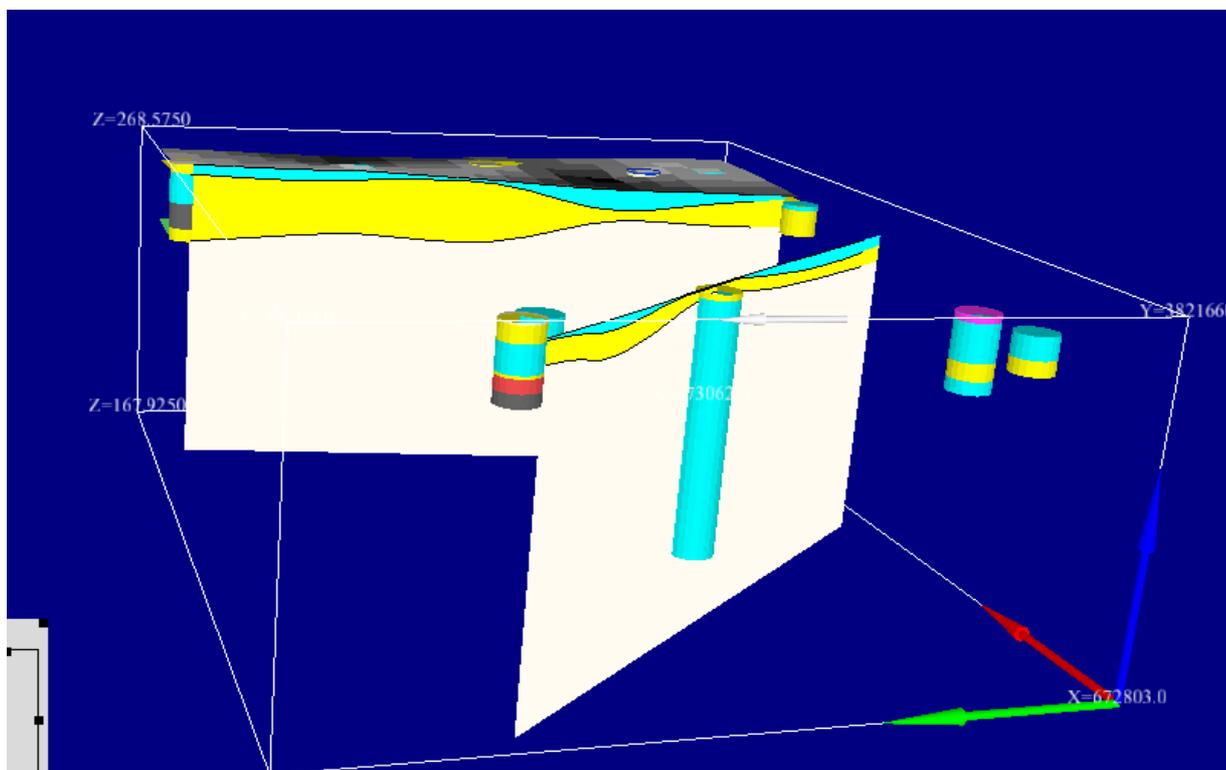


Figure 54. Coupe géologique mobile (Nord-sud) et (Nord-Ouest. Sud-Ouest).

## Conclusion

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude en Physique du Globe, consiste à l'étude géophysique d'une région riche en gypse, dont la reconnaissance géologique du sol indique une alternance gypse-argile, qu'il faut dissocier en d'une meilleure évaluation du potentiel gypseux de cette région.

Pour bien mener ce travail, notre campagne de reconnaissance s'est basée sur trois éléments : les données de sondages carottés qui ont été réalisés dans la zone d'étude, l'observation du terrain et les mesures géophysiques.

C'est le dernier élément qui a constitué le plus gros de notre travail, du moment qu'on étés ramenés à réaliser une prospection géophysique par l'acquisition de trois sondages électriques verticaux et trois profils sismiques réfraction (enregistrement de l'onde de compression P). Il faut noter que cette prospection géophysique s'est déroulée dans le cadre d'un projet d'étude de l'entreprise GeoExplo, qui nous a permis de mettre à l'épreuve nos connaissances théoriques et pratiques dans le cadre d'un projet réel.

On a pu réaliser donc, deux sondages électriques (SEV01, SEV02) et un profil sismique (PS1) sur la même ligne, en vue de confronter les résultats.

Le SEV02 est situé dans la partie sud du PS1. L'interprétation de ces sondages indique que le sol est formé d'une première couche de surface de gypse altéré. La seconde formation semble avoir une épaisseur moyenne de 10 m. Sa résistivité électrique élevée et sa vitesses sismique élevée aussi, laissant ainsi à penser qu'il s'agit d'un passage de gypse. La troisième couche est par contre caractérisée par une faible résistivité électrique et une vitesse sismique élevée indiquant un milieu compact et conducteur qui pourrait correspondre à de la marne.

D'autre part, le SEV01 présente un milieu à 4 couches. La formation de surface a une profondeur de moins de 3m et une résistivité élevée de 1100 Ohm.m. Cette formation correspond à du gypse, conformément aux observations de terrain. La seconde couche a une épaisseur de 15m et une faible résistivité de l'ordre de 55 Ohm.m. La troisième couche se trouve entre 17m et 27m de profondeur et sa résistivité est très basse de l'ordre de 18 Ohm.m. On peut supposer que ces deux couches géo-électriques correspondent à un banc d'argiles ou de marne qui se trouve entre 2.5 et 27m de profondeur. Il est à noter que le SEV01 a été réalisé à 50m au nord du PS1 mais nous n'avons pas de corrélations entre ces deux profils géophysiques sauf peut-être au niveau de la troisième couche.

Le troisième sondage électrique SEV03 avec le second profil sismique PS2 ont été réalisés dans la partie ouest de la zone d'étude. Les résultats des sondages carottés SC01 et SC03 sont très divergents. Ils présentent une alternance de gypse et d'argile. Ce sondage électrique SEV03 indique un milieu à trois terrains. Une formation de surface d'un demi-mètre d'épaisseur et de 190 Ohm.m de résistivité. Cela correspond à du gypse altéré, qu'on a pu observer. La seconde couche se trouve entre 0.5 et 1.5m de profondeur et a une résistivité relativement élevée de 2600 Ohm.m. Cette formation correspond probablement à du gypse compact. La résistivité de la troisième couche diminue et laisse prétendre que cela correspond à des argiles. D'autre part, Le PS2 indique que le sol est formé de deux couches. Une formation de surface d'une épaisseur moyenne de 5m dont la vitesse varie entre 450 et 700m/s. La seconde formation à des vitesses de l'ordre de 1500 m/s et qui peut correspondre à du gypse.

Le PS3 a été réalisé perpendiculairement à la faille suspectée. Pour ce profil, nous avons obtenu un modèle géo-sismique par inversion et par la méthode des interceptes. Le modèle présente un milieu à trois couches : Une formation de surface altérée de moins de 2m de profondeur. La deuxième couche est particulière car elle met en évidence une variation latérale de la vitesse. En effet la vitesse de cette couche varie entre 1100 m/s et 1550 m/s sauf entre, approximativement, les abscisses  $X= 60m$  et  $X= 90m$  où elle est de 670 m/s. Ce changement de vitesse peut être traduit par un événement tectonique comme une faille. Alors, que la troisième couche semble être très compacte avec des vitesses sismiques élevées.

Pour la prospection sismique, Il faut savoir qu'il est très difficile de détecter une alternance de plusieurs couches tabulaires mais on peut comme même discerner des grandes formations qui sont bien différenciables en fonction de la vitesse de propagation des ondes mécaniques. C'est ce qui a été constaté dans le cas présent, entre la formation argileuse qui est un matériau de faible vitesse sismique et le gypse qui est un matériau compact et donc de plus grande vitesse sismique que l'argile.

Il faut noter également, qu'en ce qui concerne la méthode électrique et en partant du principe dit "principe d'équivalence" -Quand on a une couche dont la résistivité est soit supérieure soit inférieure à celle des deux terrains entre lesquels elle est comprise ce qui est le cas du site d'Ouled Djellal- le milieu se comporte comme une seule couche au lieu de plusieurs et c'est ce qu'on a constaté lors de l'interprétation des mesures électriques, en les comparant aux sondages carottés. Mais il faut dire également que la portée de cette méthode est également importante en termes de profondeur par rapport à la méthode sismique.

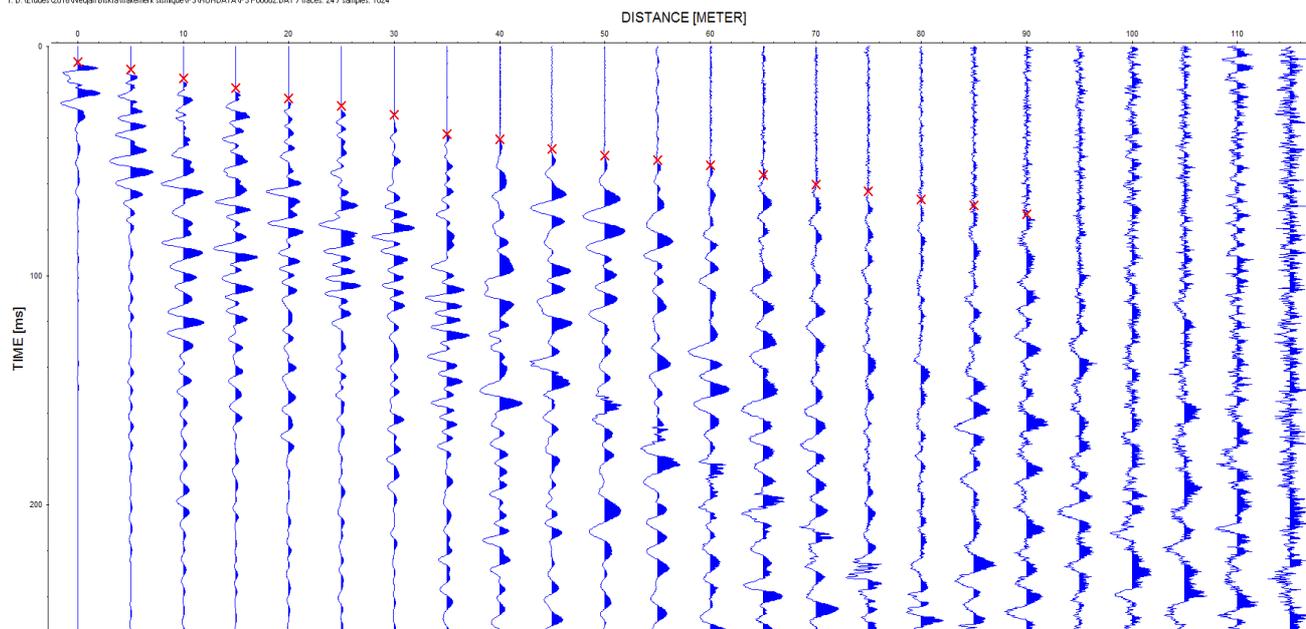
## Bibliographie

- [1] Aitadjedjou D et Laoufi S., 2011. Apports de l'imagerie électrique et de l'électromagnétique Slingram à l'étude d'un glissement de terrain : cas du glissement de Takerietz (W. Bejaia). Ingéniorat, USTHB. 48p.
- [2] ASGA. , 2015. Livret des substances utiles non métallique de l'Algérie.
- [3] Barker R.D., 1989. Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays, Geophysics VOL. 54. NO. 8, 1031-1037.
- [4] BRGM., 2007. GDM 7.0 l'outil quotidien du géologue guide de l'utilisateur. 318p
- [5] Carte de ressources minérales non métallique de Biskra 1/10000, 2015. ASGA
- [6] Carte géologique du nord l'Algérie 1/500000 , 1951 -1952. MM. Cornet et AL.
- [7] Chalikakis M.K., 2006. Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques. Thèse Univ. Paris 6, 217 p., 107 fig.
- [8] Chouteau M. et Giroux B., 2005. Méthodes sismiques notes de cours. Géophysique appliquée. École polytechnique, 29 p.
- [9] Diouf S., 1995. Application de la géophysique (sismique et électrique) à l'étude de la géométrie du réservoir de l'aquifère du littoral Nord Sénégal (de Taïba à Rao). DEA, Univ. Cheik Anta Diop de Dakar. 154 p.
- [10] Dubois J., Diament M., Cogné J-P., 2011. Géophysique cours et exercices corrigés. Edition Dunod. 264p.
- [11] Google Earth, 2016. Image satellitaire de la région de Biskra.
- [12] Google Earth, 2016. Image satellitaire du site.
- [13] Jenny J., Borreguero M., Burgisser A., 1999. Interprétation de la sismique réfraction. W\_Geosoft geological & Geophysical Software. 27p.
- [14] Lavergne M., 1986. Méthodes sismiques. Editions Technip. 202p.
- [15] Lillie R.J., 1999. Whole earth geophysics. Edition Prentice Hall. 192 p.
- [16] Loke M. H., 2004. Tutorial: 2-D and 3-D Electrical imaging surveys, 128 p.
- [17] Magnin O., 2007. Cours de sismique réfraction appliquée. 50 p.
- [18] Magnin O. et Bertrand Y., 2005. Les cahiers de l'AGAP n°2. Sismique réfraction. 96p.
- [19] Marescot L., 2008. Imagerie électrique pour géologues : acquisition, traitement, interprétation, 73 p.

- [20] ORGM, 1998. Livret des substances utiles non métallique de l'Algérie.
- [21] Robert Hooke., 1678. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi\\_de\\_Hooke](https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Hooke)
- [22] Roy, A., and Apparao. A., 1971. Depth of investigation in direct current methods: Geophysics, 36.943-959.
- [23] Service géologique des territoires du sud (Compte-rendu de la campagne). , 1908,121p.
- [24] Sophie Baillargeon., 2005. Le krigeage revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations,Univ Laval.05p.
- [25] Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E., 1998. Applied geophysics, second edition, Cambridge University Press, 770p.

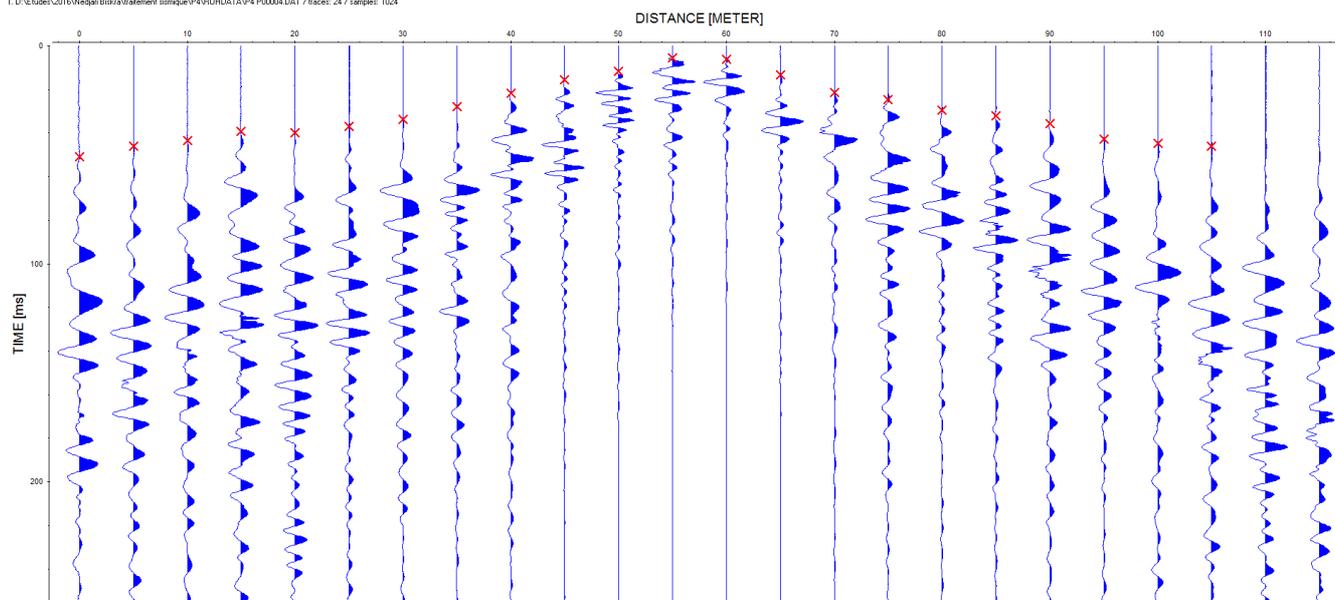
## Annexe

1. D:\Eudes\2016\Nedjar Biskra\traitement sismique\PS1\ROHDATA\PS1 P00002.DAT / traces: 24 / samples: 1024

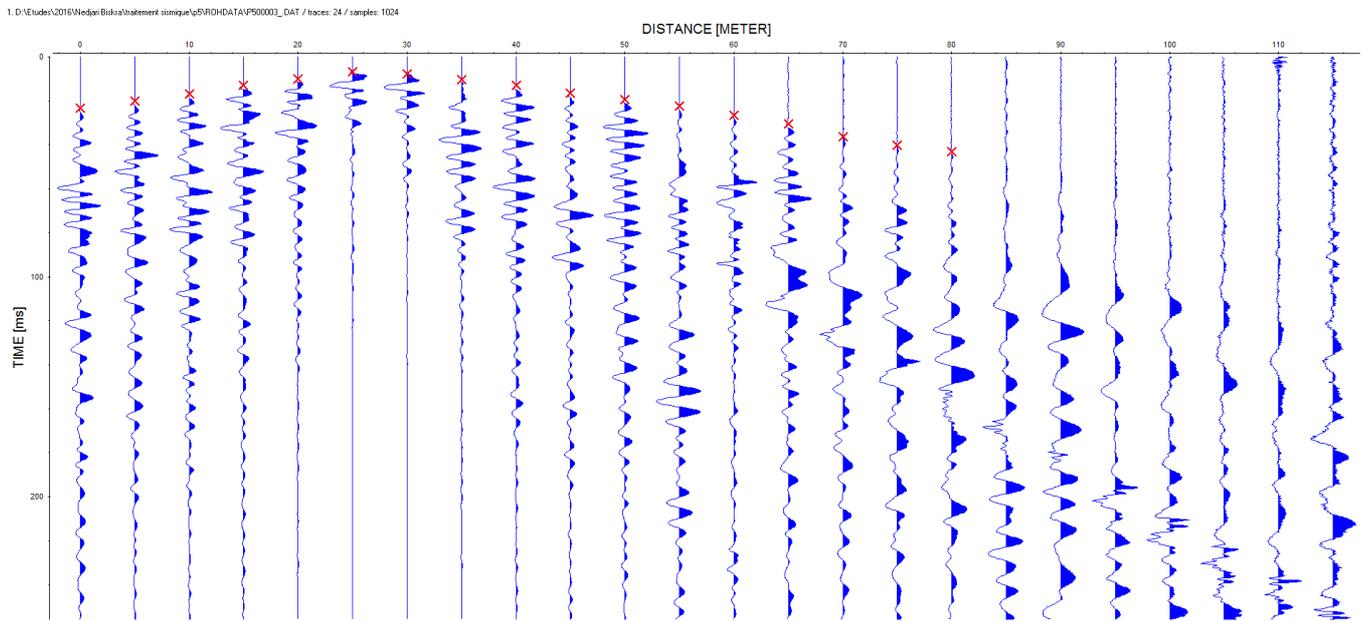


Annexe 1. Enregistrement du tir direct avec le picking des 1ères arrivées (en rouge) - PS1.

1. D:\Eudes\2016\Nedjar Biskra\traitement sismique\PS2\ROHDATA\PS2 P00004.DAT / traces: 24 / samples: 1024



Annexe 2. Enregistrement du tir au centre avec le picking des 1ères arrivées (en rouge) - PS2.



Annexe 3. Enregistrement du tir entre les géophones 12-13 avec le picking des 1ères arrivées (en rouge) - PS3.

ETPHM



SC1

GYPSE DE RAS EL GOUMANE 5

SONDAGE

Ø du sondage: 76 mm

Longueur forée: 20 m

Angle de sondage: 90°

Forage

Profondeur m	Représentation graphique des roches	Avancement par passe			Description géologique	Numéro échantillon	Minéralog			
		de	à	Longueur			Gypse	Anhydride	Quartz	Calcit
0 0,3		0	0m50	50 cm	Gypse saccharoïde					
1		0m50	1m00	0m50	Gypse massif	S3-1	70	-	2	19
1,4		1m00	1m40	0m40	Argiles vertes					
1,9		1m40	1m90	0m50	Gypse massif à gros cristaux					
2,4		1m90	2m40	0m50	Argiles rouges					
2,7		2m40	2m70	0m30	Gypse massif					
3		2m70	3m00	0m30	Argiles vertes					
3,2		3m00	3m20	0m20	Gypse massif					
3,5		3m20	3m50	0m30	Gypse saccharoïde					
4,9		3m50	4m90	1m40	Gypse massif	S3-2	97	-	-	-
8,7		4m90	8m70	3m80	Argiles rouges					
9		8m70	9m00	0m30	Gypse massif					
9,2		9m00	9m20	0m20	Argiles vertes					
9,7		9m20	9m70	0m50	Gypse massif					
12,2		9m70	12m20	2m50	Argiles rouges					
13		12m20	13m00	0m80	Gypse massif	S3-3	ND			
14		13m00	14m00	1m00	Argiles vertes					
16,5		14m00	16m50	2m50	Dolomie	S3-4	2	-	1	5
20		16m50	20m00	3m50	marnes vertes					

Annexe 4. Sondage carotté SC1.

ETPHM



SC 2

GYPSE DE RAS EL GOUMANE 5

SONDAGE

Ø du sondage: 76 mm

Longueur forée: 20 m

Angle de sondage: 90°

Forage ré

Profondeur m	Représentation graphique des roches	Avancement par passe			Description géologique	Numéro échantillon	Minéralogiq			
		de	à	Longueur			Gypse	Anhydride	Quartz	Calcite
		0								
1,6		0	1m60	1m60	Argiles rouges					
4		1m60	4m00	2m40	Argiles vertes					
4,2		4m00	4m20	0m20	croûte gypseuse					
5,4		4m20	5m40	1m20	Argiles vertes					
9		5m40	9m00	3m60	Gypse à gros cristaux	S6-1	89	3	-	3
9,2		9m00	9m20	0m20	Argiles vertes					
10,3		9m20	10m30	1m10	Gypse massif					
11,5		10m30	11m50	1m20	Argiles vertes					
12,7		11m50	12m70	1m20	Gypse massif	S6-2	91	-	1	4
14		12m70	14m00	1m30	Alternance minces bancs Gypse/argiles					
14,7		14m00	14m70	0m70	Gypse massif	S6-3	87	-	1	2
14,9		14m70	14m90	0m20	Argiles vertes					
18m00		14m90	18m00	3m10	Gypse massif	S6-4	92			3
18,8		18m00	18m80	0m80	Argiles vertes					
20		18m80	20m00	1m20	Gypse massif	S6-5	99	-	-	-

Annexe 5. Sondage carotté SC2.

ETPHM



SC3

GYPSE DE RAS EL GOUMANE 5

SONDAGE I

Ø du sondage: 76 mm

Longueur forée: 20 m

Angle de sondage: 90°

Forage ré:

Profondeur m	Représentation graphique des roches	Avancement par passe			Description géologique	Numéro échantillon	Minéralogiq			
		de	à	Longueur			Gypse	Anhydride	Quartz	Calcite
0 2		0	2m00	2m00	Galets carbonatés					
6		2m00	6m00	4m00	Argiles rouges					
6,3		6m00	6m30	0m30	Argiles vertes					
7		6m30	7m00	0m70	Gypse massif	S4-1	ND			
12		7m00	12m00	5m00	Argiles vertes					
14,5		12m00	14m50	2m50	Argiles rouges					
16,5		14m50	16m50	2m00	Gypse saccharoïde	S4-2	ND			
16,8		5m10	5m60	0m50	Gypse massif					
20		16m80	20m00	3m20	Argiles vertes					

Annexe 6. Sondage carotté SC3.

ETPHM



SC 4

GYPSE DE RAS EL GOUMANE 5

SONDAGE
---------

Ø du sondage: 76 mm

Longueur forée: 20 m

Angle de sondage: 90°

Forage réalisé par

Profondeur m	Représentation graphique des roches	Avancement par passe			Description géologique	Numéro échantillon	Minéralogie			
		de	à	Longueur			Gypse	Anhydride	Quartz	Calcite
		0 0,6		0			0m60	60 cm	conglomérat	
2,5		0m60	2m50	1m90	croute gypseuse					
5,5		2m50	5m50	3m00	Gypse saccharoïde					
10		5m50	10m00	4m50	Argiles rouges					
10,5		10m00	10m50	0m50	Gypse saccharoïde					
12,5		10m50	12m50	2m00	Argiles rouges					
13,5		12m50	13m50	1m00	Gypse saccharoïde					
14		13m50	14m00	0m50	Argiles rouges					
15		14m00	15m00	1m00	Gypse massif	S7-1	ND			
17		15m00	17m00	1m00	Gypse saccharoïde	S7-2	ND			
18,5		17m00	18m50	1m50	Argiles rouges					
18,8		18m50	18m80	0m30	Gypse massif					
19,8		18m80	19m70	0m90	Argiles rouges					
20		19m70	20m00	0m30	Gypse massif	S7-3	ND			

Annexe 7. Sondage carotté SC4.

## Usages GDM des champs

Les usages sont inscrits en entier (par exemple Coordonnée X) dans le tableau « Correspondance Base externe – GDM », et en abrégé dans différents fichiers de paramètres, ainsi que dans certaines boîtes de dialogue (Structure, Visualiser – Résumé, etc.).

Dans la liste suivante, les abrégés des usages sont inscrits entre parenthèses : par exemple XXXX, ou INDR/SHID (abrégé français/abrégé anglais).

**Indicatif réduit (INDR/SHID)** : champ de type texte, longueur 4 caractères. 0 ou 1 par tableau. Utilisé pour stocker un nom court d'échantillon, de sondage, de courbe, etc.

**Indicatif complet (INDC/FLID)** : champ de type texte, longueur définie par l'utilisateur (maximum 80 caractères). 0 ou 1 par tableau. Utilisé pour stocker un nom long d'échantillon, de sondage, de courbe, etc.

**Numéro d'échantillon (NECH/SAMP)** : champ numérique de type entier long. 0 ou 1 par tableau. Utilisé pour stocker un numéro d'échantillon, de sondage, de courbe, etc. Note : évitez d'utiliser ce type de champ dont l'utilisation a tendance à être abandonnée dans GDM.

**Texte/Code/Date (CODE)** : champ de type texte, longueur définie par l'utilisateur. 0 à 50 par tableau. Longueur totale autorisée pour l'ensemble des champs Texte/Code/Date d'un tableau : 5000 caractères.

**Code Palette (CODP)** : sous-type de Texte/Code/Date, dont la longueur est limitée à 20 caractères au maximum. En effet, pour pouvoir utiliser un champ texte comme Code dans une Palette, il ne doit pas dépasser 20 caractères. L'usage Code Palette permet d'éviter de dimensionner par erreur un Texte/Code/Date à plus de 20 caractères alors qu'on compte l'utiliser dans une Palette.

*Note : dans une « Base GDM Standard » (Voir Bases GDM Standard et Étendues (Les Codes courts et les Codes longs), page 272), on peut avoir 0 à 50 Codes de 4 caractères, et 0 ou 1 Texte de 996 caractères.*

**Coordonnée X ou Y ou Z (XXXX, ou YYYY, ou ZZZZ)** : champ numérique de type décimal simple (7 ou 8 chiffres significatifs). 0 ou 3 par tableau. Quand on établit un lien sur une Base externe contenant seulement les coordonnées X et Y, GDM attribue automatiquement la valeur 0 à la coordonnée Z. Unités possibles : Kilomètres, Mètres, Centimètres, Miles, Feet, Inches.

**Azimut (AZIM)** : champ numérique de type décimal simple. 0 ou 1 par tableau. Utilisé pour les angles des sondages. Unités possibles : degrés, grades, radians.

**Profondeur fin (TO)** : champ numérique de type décimal simple. 1 par tableau des passes de sondages (et éventuellement usage ajouté à la variable « distance » du tableau des segments de courbes. Voir dans l'aide en ligne – Index – Courbe – Calcul de la distance curviligne). L'unité doit être la même que celle de la Coordonnée Z.

**Profondeur début (FROM)** : champ numérique de type décimal simple. 0 ou 1 par tableau des passes de sondages. L'unité doit être la même que celle de la Coordonnée Z.