

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



**Université d'Adrar**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département des Sciences de la Technologie**



**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE MASTER GENIE CIVIL**

**SPECIALITE: GEOTECHNIQUE 2021-2022**

**Thème**

**Etude d'une campagne de sondages  
géophysiques par la méthode CVT**

**Présenté par :**

**M<sup>r</sup> : OULADE BRAHIM MOUHAMMED**

**Membres de jury :**

<b>Dr. BENNACER LYACINE</b>	<b>Univ.Adrar</b>	<b>Président :</b>
<b>Mme. AIT HAMOUDA KALLOUM</b>	<b>Univ.Adrar</b>	<b>Examineurs :</b>
<b>Pr . MEKERTA Belkacem</b>	<b>Univ.Adrar</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Dr. MOULAY OMAR HASSANE</b>	<b>Univ.Adrar</b>	<b>Co-encadreur</b>
<b>ABDELKRIMI ABDERRAHMENE</b>	<b>Ing.sonatrach</b>	<b>Co-encadreur</b>

**Année universitaire 2021/2022**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and  
Scientific Research  
University Ahmed Draia of Adrar  
The central library



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة أحمد دراية- أدرار  
المكتبة المركزية  
مصلحة البحث بالبيوغرافي

## شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ (ة) : Pr MEKERTA Belkacem  
المشرف مدترّة الماستر الموسومة — :

Etude d'une campagne de sondages géophysiques par la  
méthode CVT

من إنجاز الطالب (ة) : OULED Brahim Mohammed  
و الطالب (ة) /

كلية : Faculté des Sciences et de la Technologie  
القسم : Sciences et Techniques ( ST )  
التخصص : (Génie Civil) - Option Géotechnique

تاريخ تقييم / مناقشة : 22 juin 2022

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين  
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.  
وإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والإلكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في : 27 juin 2022

مساعد رئيس القسم:  
مسعود زوي رمضان  
مساعد رئيس قسم علوم التكنولوجيا مكلف بالتدريس  
المكلف في التقييم بكلية العلوم والتكنولوجيا

والمصادقة التوقيع بدون شهادة أي لاتقبل: ملاحظة

# Dédicaces

Aujourd'hui, une de mes objectifs est atteinte, mes parents pour leurs encouragements, c'est pourquoi je leur dédie ce présent mémoire car le grand mérite leur revient. Je le dédie également :

A mes amis pour leurs sincères amitiés et leurs aides inestimables. Vous m'avez toujours encouragé et appuyé.

A tous mes autres collègues de la promotion Master 2021/2022.

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 mémoire de Master.

## **REMERCIEMENTS**

Avant tout je remercie Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, le courage et la patience pour poursuivre mes études et réaliser ce mémoire. Ce mémoire a été réalisé en collaboration avec la Division exploration – Hassi Messaoud (Sonatrack), sous la direction de Monsieur le Professeur MEKERTA Belkacem, que je tiens à remercier pour sa disponibilité, la confiance, les conseils, l'encadrement et le soutien moral qu'il a su m'apporter tout au long ma période de formation. Je tiens également à le remercier de toute la patience dont il a su faire preuve au cours de la rédaction de mon mémoire. Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements au Docteur Moulay Omar Hassen, qui m'a fait l'honneur d'encadrer ce travail.

Je remercie également Monsieur ABDELKRIMI Abderrahmane ; Ingénieur Géophysicien à Sonatrach-Division exploration – Hassi Messaoud, qui m'a donné toutes les informations concernant ce mémoire . Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude, pour l'aide qu'il m'a apporté. Je tiens aussi très sincèrement à remercier tous mes professeurs.

## Résumé

Il existe des problèmes très différents en génie civil, car ils se situent généralement dans les 100 premiers mètres du sous-sol. Le sous-sol est caractérisé par une grande hétérogénéité. La détermination des propriétés de ces sols par des méthodes géotechniques traditionnelles est devenue très difficile voire impossible en présence d'une grande hétérogénéité.

Les méthodes géophysiques nous renseignent sur un grand volume de sol et sont une alternative aux méthodes géotechniques traditionnelles.

Le but de cette étude est de préciser l'apport et le rôle des méthodes géophysiques dans la caractérisation des sols, trois techniques géophysiques ont été utilisées dans cette étude pour déterminer les propriétés des sols : méthode vitesse-temps de forage, CVT, rayons gamma et résistance, enregistrement sismique 3 dimensions. Ce sont des méthodes simples et efficaces qui donnent des résultats bons et précis, appliqué dans le désert Algérien au profit de Sonatrach - Hassi Messaoud.

Mots-clés : Essais in situ, CVT , géophysique,

### Abstract :

There are very different problems in civil engineering, as they are usually in the first 100 meters of the basement. The subsoil is characterized by great heterogeneity. Determining the properties of these soils by traditional geotechnical methods has become very difficult to impossible in the presence of great heterogeneity.

Geophysical methods give information about a large volume of soil and appear as an alternative to traditional geotechnical methods.

The aim of this study is to clarify the contribution and role of geophysical methods in soil characterization, three geophysical techniques were used in this study to determine soil properties: velocity-time drilling method, CVT, gamma rays and resistance, seismic recording 3 dimensions. They are simple and effective methods that provide good and accurate results. Applied in the Algerian desert for the benefit of Sonatrach – Hassi Messaoud.

Keywords : Geophysical CVT

## ملخص

هناك مشاكل في مجال الهندسة المدنية مختلفة جدا، إذ أن لها عادة ما تكون فيا لأمتار المائة الأولى من الطابق السفلي و يتميز باطن الأرض بعدم التجانس الكبير .

تحديد خصائص هذه التربة بالطرق الجيوتقنية التقليدية صار تصعبه جدا الى مستحيلة بوجود عدم التجانس الكبير.

الطرق الجيوفيزيائية تعطي معلومات عن حجم كبير من التربة تظهر كبديل للطرق الجيوتقنية التقليدية. الهدف من هذه الدراسة هو توضيح مساهمة ودور الطرق الجيوفيزيائية في توصيف التربة، ثلاث تقنيات جيوفيزيائية استعملت في هذه الدراسة لتحديد خصائص التربة: طريقة حفر -سرعة-زمن CVT , وأشعة غاما والمقاومة تسجيل الزلزالية 3 أبعاد. فهي وسائل بسيطة وفعالة توفر نتائج جيدة ودقيقة. طبقت في صحراء الجزائر لفائدة سوناطراك – حاسي مسعود.

كلمات البحث: الجيوفيزي CVT

## Liste des figures

FIGURE I . 1:Schéma d'un sondage pressiométrique .....	4
FIGURE I . 2:Contrôleur Pression Volume (CPV) et Sonde .....	4
FIGURE I . 3: Schéma du pénétromètre statique.....	7
FIGURE I . 4:Principe de l'essai au phicomètre.....	10
FIGURE I . 5:Pénétromètre dynamique PDA.....	12
FIGURE I . 6:Coupe du carottier SPT .....	14
FIGURE I . 7:Schéma du scissomètre de chantier .....	15
FIGURE I . 8: tranchée [2] .....	16
FIGURE I . 9:Tarière à main .....	17
FIGURE I . 10:Tarière à moteur [2].....	18
FIGURE I . 11: Sondages destructifs [2].....	19
FIGURE I . 12: Sondages carottés .....	19
FIGURE I . 13: Ondes sismiques : réflexion et réfraction .....	20
FIGURE I . 14: Sondages électriques.....	20
FIGURE I . 15: Mesures électromagnétiques .....	21
FIGURE II . 1:Schéma du principe de la méthode du Schlumberger .....	24
FIGURE II . 2:Exemple de profil de résistivité en 2 dimensions d'un sol.....	25
FIGURE II . 3: La trainée électrique .....	26
FIGURE II . 4:Lignes de potentiel et les lignes de champs.....	27
FIGURE II . 5: Carte de potentiel naturel (Polarisation spontanée).....	29
FIGURE II . 6: Dispositif EM31 (Stage de Géophysique de Polytech' Paris (2006)).....	29
FIGURE II . 7: Radar à pénétration de sol utilisé aux États-Unis, 2010.....	31
FIGURE II . 8: Calcul des vitesses et des épaisseurs .....	33
FIGURE II . 9: Coupe et temps dans le cas de la sismique réflexion .....	35
FIGURE III. 1: situation de la zone d'étude .....	42
FIGURE III. 2: Description du programme de carottage.....	47
FIGURE III. 3: Dispositif d'enregistrement.....	53
FIGURE III. 4 : Film CVT enregistré .....	54
FIGURE III. 5: Le pic des premières arrivées.....	54
FIGURE III. 6: Edition de la courbe Temps-Profondeur (profondeur, vitesse et épaisseur) .....	55

## Liste des tableaux

TABLAU I. 1: Méthodes de réalisation des forages pressiométrique .....	5
TABLAU I. 2:La longueur maximale du forage .....	6
TABLAU II. 1:Vitesse sismique des principales formations géologiques tirée de l'ouvrage :.....	37
TABLAU III. 1: les coordonnées situation de la zone d'étude.....	41
TABLAU III. 2:Les vitesses CVT et la nature des couches .....	55

## Liste des PHOTOS

PHOTO 1: Equipe topographie .....	47
PHOTO 2: Equipe GPS.....	48
PHOTO 3: Appareil de forage.....	49
PHOTO 4: LaboWZ(Géode) traces.....	49
PHOTO 5: Câble hydrophone de 12Traces.....	49
PHOTO 6: Installation des Vibrateurs .....	50
PHOTO 7: Vibrateur en cours .....	51
PHOTO 8: Transmission radio du sweep.....	53

## Sommaire

Dédicaces.....	I
Remerciements.....	II
Résumé.....	III
Listes des figures.....	V
Listes des tableaux.....	V
Listes des photos.....	V
Sommaire.....	VI
Introduction générale.....	X
I.1.1 Présentation des essais in situ.....	3
I.1.2 Essai pressiométrique MENARD (Ménard pressumeter test) PMT : Norme NF P 94-110-1 .....	3
I.1.2.1 Domaine d'application.....	3
I.1.2.2 Principe de l'essai .....	3
I.1.2.3 Appareillage .....	3
I.1.2.3.1 Contrôleur pression-volume CPV .....	3
I.1.2.3.2 L'enregistreur .....	5
I.1.2.4 Réalisation du sondage pressiométrique .....	5
I.1.3 Essai de pénétration statique (Cône pénétration test - CPT).....	7
I.1.3.1 Domaine d'application.....	7
I.1.3.2 Principe de l'essai .....	7
I.1.3.3 Appareillage .....	8
I.1.3.4 Réalisation de l'essai de pénétration statique .....	8
I.1.4 Essais de pénétration statique au piézocône (CPTU) NF P 94-119 (décembre 1995).....	8
I.1.4.1 Domaine d'application .....	8
I.1.4.2 Principe de l'essai.....	8
I.1.4.3 Appareillage .....	8
I.1.4.4 Réalisation de l'essai au piézocône.....	9
I.1.5 Essai de cisaillement (sur site) au phicomètre XP P 94-I0 (décembre 1997) .....	9
I.1.5.1 Domaine d'application.....	9
I.1.5.2 Principe de l'essai.....	9
I.1.5.3 Appareillage .....	10
I.1.5.4 Réalisation de l'essai.....	10



I.1.6 Pénétromètres dynamiques.....	10
I.1.6.1 Pénétromètre dynamique A (Dynamique penetration A tip) .....	11
I.1.6.1.1 Principe de l'essai .....	11
I.1.6.1.2 Domaine d'application.....	11
I.1.6.1.3 Appareillage .....	11
I.1.6.1.4 Réalisation de l'essai .....	12
I.1.6.2.1 Principe de l'essai .....	12
I.1.6.2.2 Domaine d'application.....	12
I.1.6.2.3 Appareillage .....	12
I.1.6.2.4 Réalisation de l'essai .....	13
I.1.7 Essai de pénétration au carottier (Standard penetration test) S.P.T. NF P 94-116 (oct.1991) .....	13
I.1.7.1 Principe de l'essai .....	13
I.1.7.2 Domaine d'application.....	13
I.1.7.3 Appareillage .....	13
I.1.7.4 Réalisation de l'essai .....	14
I.1.8 Essai scissométrique - Vane probe test NF P 94-11 (novembre 1991).....	14
I.1.8.1 Principe de l'essai .....	14
I.1.8.2 Domaine d'application.....	15
I.1.8.3 Appareillage .....	15
I.1.8.4 Réalisation de l'essai .....	15
I.2 Les Sondages géophysiques .....	15
I.2.1 Les tranchées et les puits :.....	15
I.2.2 Les sondages mécaniques : .....	16
I.2.3 Le sondage en terrain meuble.....	17
I.2.4 Le sondage en terrain rocheux .....	18
I.3 Les méthodes géophysiques : .....	19
I.3.1 Méthodes Sismiques :.....	19
I.3.2. Méthodes électriques:.....	20
I.3.3. Méthodes électromagnétiques :.....	20
I.3.3.1 Magnétisme :.....	21
I.3.3.2 Radioactivité : .....	21
I-4 - Conclusions .....	22

II Les méthodes géophysiques d'exploration .....	24
II .1.Introduction.....	24
II.1.2.Les méthodes électriques .....	24
II.1.2.1Sondage Électriques.....	24
II.1.3. La trainée électrique (« <a href="https://fr.wikipedia.org/w/index.php">https://fr.wikipedia.org/w/index.php</a> ) .....	25
II.1.4. Méthodes électriques en courant continu:.....	26
II.2. La méthode de la polarisation spontanée .....	27
II.2.1. Polarisations pontanée .....	27
II-2.2. Applications :.....	28
II.3. Méthodes électromagnétiques.....	29
II.4. L'induction électromagnétique (Cachan. Ed. Lavoisier 2012).....	30
II.5. Radar à pénétration de sol (RPS) .....	31
II.6 .Les objets qu'on peut détecter avec le géoradar: .....	31
II.7. Méthodes Sismique .....	32
II.8. Sismique réfraction .....	32
II.8.1. Domaineetconditionsd'application .....	32
II.8.2.Réalisation: .....	33
II.9. Techniques voisines .....	34
II.9.1.Sismique réflexion .....	34
II.10. La méthode CVT(CarottageVitesseTemps).....	36
II.10.1 Présentation.....	36
II.10. 2.Utilisation de la méthode CVT en génie civil.....	36
II.10.3. Présentation de la méthode CVT .....	36
II.10.4. Avantage de la méthode CVT .....	37
II.11. Conclusions.....	38
III.1 Introduction et objectifs.....	40
III.3 Logiciel Star Uphole.....	42
III.3.1 Description du logiciel.....	42
III.3.2 Procédure de l'interprétation .....	43
1.Présentation des différentes équipes et leurs tâches:.....	47
2.Observations du terrain :.....	48
IV. Conclusions générales .....	60
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES : .....	62

# **Introduction générale**

### Introduction générale

La Géotechnique est l'ensemble des activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur. La mécanique des sols étudie plus particulièrement le comportement des sols sous leurs aspects résistance et déformabilité.

A partir d'essais de laboratoires et in situ de plus en plus perfectionnés, la mécanique des sols fournit aux constructeurs les données nécessaires pour étudier les ouvrages de génie civil et de bâtiment et assurer leur stabilité en fonction des sols sur lesquels ils doivent être fondés, ou avec lesquels ils seront construits. Les essais de reconnaissance géotechnique doivent être choisis selon le type d'ouvrage à réaliser et la nature du site de projet.

Les méthodes les plus utilisées en reconnaissance des sols peuvent être divisées en deux groupes, les méthodes directes et les méthodes indirectes). Les méthodes directes tentent de récupérer des échantillons de terrain pour analyse, ou pour mesurer la résistance et/ou la déformation du terrain.

Les méthodes indirectes reposent sur la mesure d'une caractéristique fondamentale des matériaux composant le sous-sol, au moyen d'appareils sophistiqués disposés à la surface du sol ou à très faible profondeur. Ces méthodes déterminent, par exemple, la résistivité électrique ou la vitesse de propagation des ondes sismiques. Il s'agit des méthodes géophysiques. En effet, la prospection géophysique consiste à déduire la structure géologique du sous-sol à travers la distribution de certaines propriétés physiques du sous-sol, en fonction de la méthode utilisée.

Les propriétés physiques du sous-sol et de la Terre en général sont diverses et peuvent être mesurées à partir de la surface et déterminer leur distribution spatiale. On peut citer la résistivité électrique du sous-sol, la vitesse de propagation des ondes sonores, la densité de masse et la susceptibilité magnétique parmi les plus importantes.

La géophysique applique les moyens de la physique à l'étude de la structure des terrains. Elle se pratique à partir de la surface du sol (géophysique de surface), dans un forage au moyen d'une sonde portant les instruments de mesure (diagraphies) ou entre forages, forage et surface, forage et galerie (géophysique de forage). C'est l'une des approches utilisées pour la reconnaissance géotechnique du site avant la construction d'un ouvrage (bâtiment, infrastructure urbaine ou infrastructure de transport, barrage...).

La prospection géophysique en tant que méthodologie complémentaire dans les études géotechniques (actuellement obligatoire pour l'exécution de travaux de construction de logements, d'industries et de travaux publics) représente un outil capable de fournir une grande quantité d'informations, dans des délais courts et avec des coûts ajustés. Les applications les plus courantes en géotechnique sont l'estimation de la profondeur du substrat rocheux, la caractérisation des glissements de terrain, l'estimation de la maturité des sols, la localisation des trous, des failles, etc...

# **CHAPITRE I**

Analyse

bibliographique sur les  
différents types de  
sondages

### I.1.1 Présentation des essais in situ

On utilise plus les essais in situ que les essais de laboratoire. Les essais in situ testent directement le sol, ils ne nécessitent pas de prise d'échantillons et fournissent un sondage presque continu ; de plus, ils sont moins chers que les essais de laboratoire.

Tous ces essais sont déterminés à la rupture, sauf l'essai pressiométrique qui sollicite le sol à de petites et aux grandes déformations.

Généralement des règles plus ou moins empiriques permettent de passer directement des résultats de ces essais aux calculs des fondations. On ne cherche pas à en déduire l'angle de frottement et la cohésion  $C$  pour se rapprocher des méthodes de calcul plus anciennes et plus "mécaniques" qui étaient très utilisées quand on réalisait essentiellement des essais au laboratoire.

L'étude de l'ensemble des problèmes de mécanique des sols et de géotechnique fait appel à la fois aux essais au laboratoire et aux essais sur site.

### I.1.2 Essai pressiométrique MENARD (Ménard pressumeter test) PMT : Norme NF P 94-110-1

#### I.1.2.1 Domaine d'application

L'essai pressiométrique peut être réalisé dans tous les types des sols saturés ou non, y compris dans le rocher et les remblais .

#### I.1.2.2 Principe de l'essai

L'essai pressiométrique consiste à **dilater radialement** dans le sol **une sonde cylindrique** et à déterminer la relation entre la pression  $p$  appliquée sur le sol et le déplacement de la paroi de la sonde (Figure. I.1).

#### I.1.2.3 Appareillage

Il comprend un **contrôleur de pression-volume** appelé **CPV**, des tubulures et une **sonde** (Figure.I.2 )

##### I.1.2.3.1 Contrôleur pression-volume CPV

Il est rempli d'eau et connecté à la sonde de mesure par des tubulures coaxiales en rilsan. Il permet d'envoyer l'eau, jusqu'à une pression d'au moins 5 MPa d'un gaz comprimé et de mesurer le volume injecté par un tube gradué (Figure. I.2).

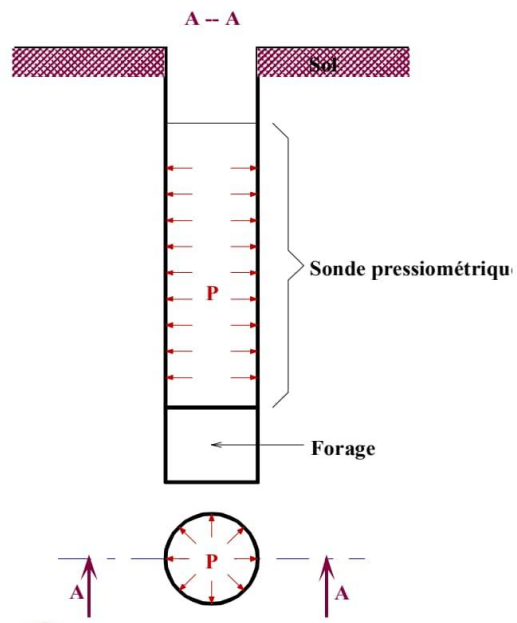


FIGURE I. 1 : Schéma d'un sondage pressiométrique

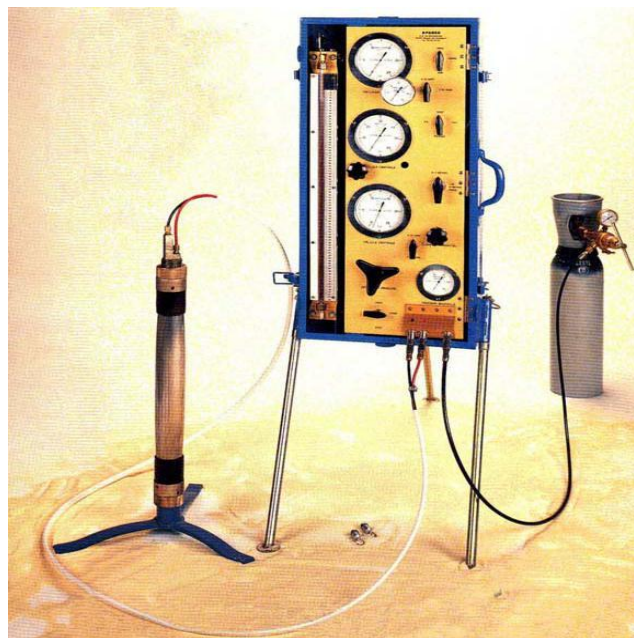


FIGURE I. 2: Contrôleur Pression Volume (CPV) et Sonde

## CHAPITRE I Analyse bibliographique sur les différents types de sondages

### I.1.2.3.2 L'enregistreur

L'enregistreur est obligatoire, il est équipé d'une horloge interne, d'une imprimante et d'un support d'enregistrement qui peut être relu par un ordinateur.

### I.1.2.4 Réalisation du sondage pressiométrique

Il comporte les deux opérations suivantes :

- Un forage destructif, c'est l'opération la plus délicate, de la qualité du forage dépend la fiabilité des résultats.

- La réalisation de l'essai lui-même : essai pressiométrique ;

#### Forage pressiométrique

Deux techniques peuvent être employées :

- Le forage préalable (tableau I.1) avec enregistrement des paramètres de forage ;

- L'introduction par battage de la sonde placée dans un tube fendu.

Nature des terrains		Forage préalable								
		Rotation*					Battage			
		TA M	T.IN °	THC	O.DG.I N	CAR.	ROTOP	CARBal f	CARVb f	TF EM
Vase et argile molles		-	R°	-	O°	-	-	O(CPM F)	-	-
Argiles moyennement compactes		R	R°	R	R°	-	O°	-	-	O
Argiles compactes et marnes raides				R	R°	R°	O°	-	-	-
Limons	au-dessus de la nappe	R	O°	R	O°	-	O°	O	O	O
	sous la nappe	-	R°	-	O°	O°	O°	-	-	O**
Sables lâches	au-dessus de la nappe	R	R°	O	O°	-	O°	-	-	O
	sous la nappe	-	R°	-	O°	-	O°	-	-	-
Sables moyennement compacts et compacts		R	R°	R	R°	-	R°	O	O	O**
Sols grossiers : graviers, galets, argiles à silex, etc...				O	O°		R°	O	O	O
Roches	Altérées			R	R	O	R°	O	O	
	Tendres									

TABLEAU I. 1: Méthodes de réalisation des forages pressiométrique



## CHAPITRE I Analyse bibliographique sur les différents types de sondages

<b>R</b>	Recommandé
<b>O</b>	Toléré
<b>-</b>	Non toléré
<b>-</b>	Inadapté
*	Vitesse de rotation < 60 tr/min, et diamètre de l'outil inférieur ou égal à 1,15d
+	Eventuellement forage préalable en petit diamètre (dt<ds)
o	Injection avec boue (pression < 500kPa - débit < 15 l/min) si rotation = pression sur outil < 200kPa
**	Avec dispositions particulières
<b>TAM</b>	Tarière à main
<b>T. IN.</b>	Tarière avec injection de boue de forage
<b>THC</b>	Tarière hélicoïdales continue à sec
<b>O. DG.</b>	Outil désagrégateur
<b>ROTOP</b>	Rotopercussion
<b>IN</b>	Avec injection de boue
<b>BAT.</b>	Battage
<b>CPMF</b>	Carottier à parois minces foncé
<b>TF</b>	Tube fendu
<b>CAR</b>	Carottier
<b>TFEM</b>	Tube fendu avec enlèvement simultané des matériaux
<b>VBF</b>	Vibrofonçage

La technique doit être adaptée au type de terrain à sonder. La longueur maximale du forage sera choisie pour que les parois du forage soient les moins altérées possibles. Elles seront d'autant plus faibles que le sol est lâche ou compressible (tableau I.2)

Nature des terrains		Longueur maximale de forage fait avant l'essai (m)
Vase et argiles molles		1**
Argiles moyennement compactes		3
Argiles compactes, marnes raides		5
limons	- au-dessus de la nappe	5
	- sous de la nappe	3
Sables lâches	- au-dessus de la nappe	3
	- au-dessous de la nappe	1**
Sables moyennement compacts		5
Sols grossiers : graviers, galets, argiles à silex, etc...		5
Roches	- altérées	5
	- saines	*

TABLEAU I. 2: La longueur maximale du forage

\*longueur maximale correspondant au poste de travail

\*\* ou intervalle entre deux essais consécutifs

Tableau I.2 Longueur maximale d'une passe d'un forage avant l'essai

### I.1.3 Essai de pénétration statique (Cône pénétration test - CPT)

NF P 94-113 - octobre 1996.

#### I.1.3.1 Domaine d'application

L'essai de pénétration statique s'applique à tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20 mm. La longueur de pénétration est limitée à la force de réaction de l'appareillage (généralement de 100 kN en France). Il est surtout utilisé pour le dimensionnement des pieux mais peut également servir à la classification des sols.

#### I.1.3.2 Principe de l'essai

L'essai de pénétration statique consiste à enfoncer dans le sol, à vitesse constante, un train de tiges terminé par une pointe munie d'un cône et à mesurer de manière continue la résistance à la pénétration  $q_c$  de ce cône (Figure.I.3).

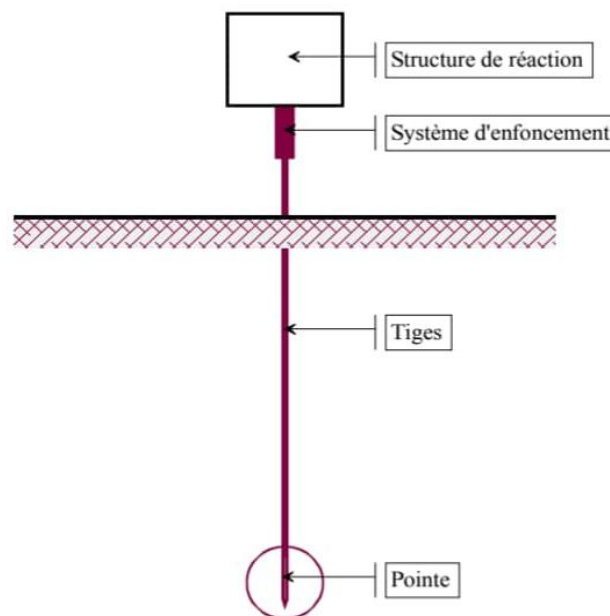


FIGURE I. 3: Schéma du pénétromètre statique

On peut en plus mesurer : l'effort total de pénétration  $Q_t$  et l'effort de frottement latéral local  $Q_s$  sur un manchon situé au-dessus du cône.

L'effort total  $Q_t$  est la force nécessaire à une profondeur donnée pour enfoncer le train de tiges muni à sa base de la pointe conique.

L'effort apparent total sur le cône  $Q_c$ , à une profondeur donnée est la force nécessaire pour enfoncer la pointe conique. La contrainte  $q_c$  est égale à

$$q_c = \frac{Q_c}{A_c} \quad (\text{I.1.5})$$

$A_C$  : surface de la base du cône.

L'effort total de frottement latéral  $Q_{St}$  à une profondeur donnée est la différence entre  $Q_t$  et  $Q_C$ .

$$Q_{St} = Q_t - Q_C$$

Le frottement latéral unitaire local à une profondeur donnée est la force  $Q_S$  nécessaire à l'enfoncement du manchon par sa surface latérale  $A_S$

$$f_s = \frac{Q_S}{A_S} \quad (\text{I.1.6})$$

Le rapport de frottement  $R_f$  (friction ratio) à une profondeur donnée est défini par :

$$R_f = \frac{f_s}{q_C}$$

### I.1.3.3 Appareillage

La structure de réaction transmet au train de tiges un effort de fonçage qui pour les pénétromètres statiques classiques est de 100 kN. La **pointe a un diamètre égal à celui des tiges**, elle est enfoncée dans le sol à une vitesse constante généralement de **20 mm/s**. Les systèmes de mesure enregistrent au moins la longueur de pénétration et la résistance à la pénétration du cône et éventuellement le frottement latéral local.

### I.1.3.4 Réalisation de l'essai de pénétration statique

L'essai consiste pendant l'enfoncement du train de tiges à enregistrer simultanément, en continu, la résistance à la pénétration du cône  $Q_C$  en fonction de la profondeur de la pointe. On peut éventuellement enregistrer également : l'effort total de fonçage  $Q_t$  et l'effort de frottement latéral local  $Q_S$ . [1]

## I.1.4 Essais de pénétration statique au piézocône (CPTU) NF P 94-119 (décembre 1995)

### I.1.4.1 Domaine d'application

L'essai au **piézocône** s'applique à tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20 mm et qui sont situés **sous la nappe**.

La longueur de pénétration est **limitée à la force de réaction** de l'appareillage (généralement de 100 kN en France). Il fournit les caractéristiques du sol mesurées par l'utilisation du pénétromètre statique, il permet en plus de préciser la nature des sols traversés et les paramètres hydrauliques locaux.

### I.1.4.2 Principe de l'essai

L'essai au **piézocône** consiste à enfoncer dans le sol à vitesse constante un train de tiges terminé par une pointe munie d'un **cône** et équipée d'une couronne filtrante **piézométrique** située juste au-dessus du cône.

On mesure de manière continue la résistance à la pénétration  $q_c$  de ce cône et la pression interstitielle  $u$ . On peut en plus mesurer l'effort total de pénétration  $Q_t$  et l'effort de frottement latéral local  $Q_s$  sur un manchon situé au-dessus du cône.

### I.1.4.3 Appareillage

La structure de réaction transmet au train de tiges un effort de fonçage qui pour les piézocônes classiques est au maximum de 100 kN. Le système de fonçage permet d'enfoncer le train de

tiges équipé de la **pointe piézocônique** dans le sol à une vitesse constante, généralement de **20 mm/s**. Les systèmes de mesure enregistrent au moins la longueur de pénétration, la résistance à la pénétration du cône, la pression interstitielle et généralement le frottement latéral local sur le manchon et la dissipation de la surpression interstitielle  $\Delta u$  à un niveau donné.

### I.1.4.4 Réalisation de l'essai au piézocône

L'essai consiste à mesurer et à enregistrer durant l'enfoncement du train de tiges à une vitesse constante simultanément et en continu, l'effort apparent sur le cône  $Q_c$  et la pression interstitielle  $u$ . On peut éventuellement enregistrer également : l'effort total de fonçage  $Q_t$ , l'effort de frottement latéral local  $Q_s$  et la dissipation de la surpression interstitielle  $\Delta u$  pendant l'arrêt de l'enfoncement.[1]

### I.1.5 Essai de cisaillement (sur site) au phicomètre XP P 94-I0 (décembre 1997)

#### I.1.5.1 Domaine d'application

L'essai de cisaillement au phicomètre s'applique à tous les types de sol saturés ou non, à l'exception des sols mous ou très lâches, aux roches peu altérées, aux sols contenant des gros blocs.

Il est destiné à mesurer in situ les caractéristiques de cisaillement in situ  $\phi_i$  et  $C_i$ (**angle de frottement et la cohésion**). Il est principalement utilisé pour des sols grenus non prélevables

#### I.1.5.2 Principe de l'essai.

L'essai consiste à placer dans un forage préalable d'environ 63 mm une sonde munie de dents annulaires horizontales (Figure. I.4) puis d'exercer sur les coquilles une pression radiale  $p_c$  afin de faire pénétrer les dents dans le sol environnant.

Un effort de traction est ensuite appliqué à vitesse contrôlée à partir de la surface du sol. L'effort limite mobilisable  $T$  sous la contrainte constante  $p_c$  donne la contrainte de cisaillement correspondante  $p_c = T/S$ ,  $S$  représente la surface latérale cisailée.

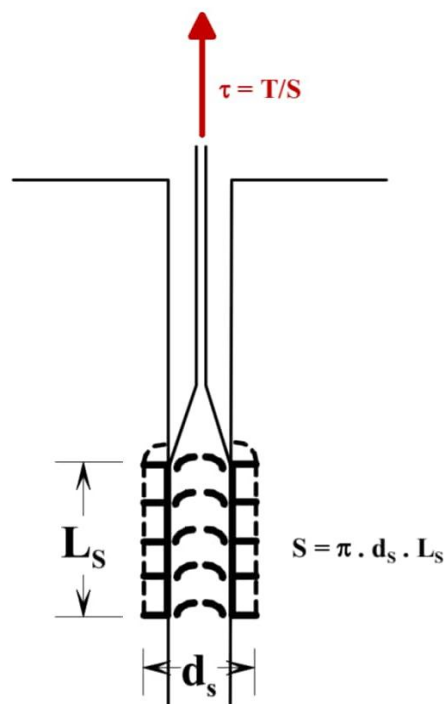


FIGURE I . 4 :Principe de l'essai au phicomètre

### I.1.5.3 Appareillage

L'appareil comprend 3 organes principaux :

- f* la sonde,
- f* un organe de liaison,
- f* un appareillage de surface.

La sonde du phicomètre est constituée par des coquilles métalliques. La surface du frottement est variable pendant l'essai mais reste voisine de  $500 \text{ cm}^2$ . A l'intérieur des coquilles est située une sonde gonflable **monocellulaire**.

L'organe de liaison comprend :

un train de tige, une tubulure reliant la sonde gonflable à l'appareillage de surface.

L'appareillage de surface comprend :

- f* un contrôleur pression volume permettant de connaître le volume de la sonde et la pression appliquée aux coquilles ;
- f* une plaque d'appui sur le sol ;
- f* un vérin creux permettant d'exercer l'effort d'arrachement ;
- f* une cale dynamométrique permettant de mesurer l'effort  $T$  d'arrachement ;
- f* un système de blocage de l'ensemble ;
- f* un cadence mètre.

### I.1.5.4 Réalisation de l'essai

L'essai est réalisé généralement dans un forage préalable de diamètre 63 mm. Celui-ci sera exécuté avec un remaniement minimum des parois en adoptant comme pour le pressiomètre les moyens préconisés pour chaque nature de sol. La sonde est introduite dans le forage à la profondeur souhaitée à l'aide des tiges servant à appliquer l'effort de traction.

La réalisation de l'essai comporte les phases suivantes :

1. Réalisation du forage : une attention particulière doit être apportée au choix du matériel et du fluide de forage en fonction de la nature des terrains traversés.
2. Etalonnage : l'étalonnage permet d'une part de tenir compte de l'inertie de la sonde dans le calcul de la pression normale exercée sur le sol, d'autre part il permet de déterminer la surface latérale de cisaillement  $S$  en fonction du volume  $V$  de la sonde.
3. Mise en contact : cette opération consiste à gonfler la sonde de façon à ce que les dents annulaires pénètrent dans le terrain .
4. L'effort de cisaillement est mobilisé en arrachant à la vitesse de 2mm/mn. L'arrachement est poursuivi pour chaque palier, soit jusqu'à une quasi-stabilisation de l'effort  $T$  ou soit jusqu'à un déplacement vertical de 7 mm .Il est réalisé entre 5 et 8 paliers, le déplacement vertical total étant de l'ordre de 40 à 50 mm .Les incréments de pression  $p_C$  entre chaque palier sont fixés par le mode opératoire en fonction de la pression limite mesurée au pressiomètre Ménard (estimée ou mesurée) du terrain[1].

### I.1.6 Pénétrromètres dynamiques

Deux pénétrromètres dynamiques de type **A** et **B** ont été normalisés. Ces deux types de pénétrromètres permettent d'apprécier :

- la succession des différentes couches de terrain ;

- l'homogénéité d'une couche ;
- la position d'une couche résistante ou d'un bed-rock connus.

**Ces essais doivent être exécutés parallèlement avec d'autres essais qui leur serviront d'étalonnage.**

Il est déconseillé de calculer la capacité portante des fondations avec les seuls résultats des essais de pénétration dynamique.

En accompagnement à d'autres essais, **seuls les résultats du pénétromètre dynamique A permettent d'évaluer un ordre de grandeur de la capacité portante des fondations.** Les résultats de l'essai au pénétromètre dynamique **B** permettent seulement d'orienter le choix des fondations.

### **I.1.6.1 Pénétromètre dynamique A (Dynamique penetration A tip)**

NF P 94-114 (décembre 1990).

#### **I.1.6.1.1 Principe de l'essai**

L'essai de pénétration dynamique consiste à enfoncer dans le sol par battage de manière continue, un train de tiges muni en partie inférieure, d'une **pointe débordante**, tout en injectant une boue de forage entre la paroi de sondage et les tiges (Figure.15). On note le nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une hauteur  $h$  de 10 cm. L'injection de la boue de forage permet de supprimer le frottement latéral des tiges dans le sol.

#### **I.1.6.1.2 Domaine d'application**

Les essais de pénétration dynamique type A peuvent être réalisés dans tous les sols fins et grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 60 mm. L'essai est limité à une profondeur de 30 m.

#### **I.1.6.1.3 Appareillage**

Le pénétromètre dynamique A se compose d'un dispositif de battage, d'un train de tiges creuses muni d'une pointe débordante, du matériel d'injection et d'un système de mesures.

**Le mouton a une masse adaptable** de 32, 64, 96 et 18 kg et une hauteur de chute de 0,75 m. Il tombe à une cadence de 15 à 30 fois par minute.

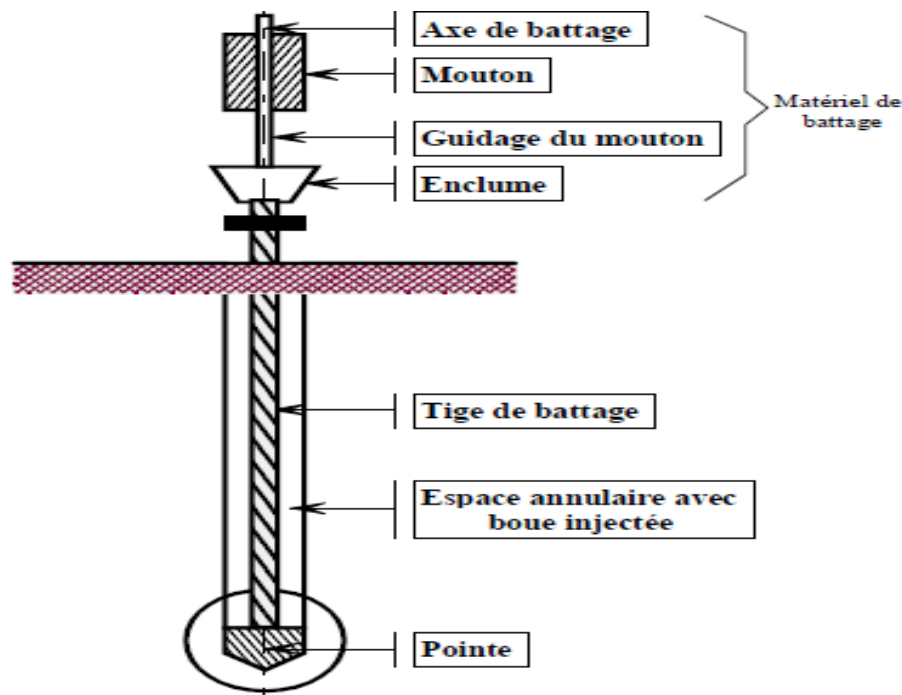


FIGURE I . 5 : Pénétromètre dynamique PDA

### I.1.6.1.4 Réalisation de l'essai

Le train de tiges est battu d'une manière continue sous la chute du mouton à la cadence de 15 à 30 coups par minute. Le nombre de coups de mouton nécessaire pour enfoncer la pointe de 10 cm est noté en fonction de la longueur totale des tiges introduites dans le sol.

La fin de l'essai correspond à la satisfaction de l'une des conditions suivantes :

- $f$  - la profondeur déterminée préalablement est atteinte ;
- $f$  - l'enfoncement sous 30 coups de mouton est inférieur ou égal à 10 cm avec la masse de 18 kg, le rebond du mouton est supérieur à 5 cm. [1]

**I.1.6.2 Pénétromètre dynamique B (Dynamique penetration B tip) NF P 94-115** (décembre 1990).

### I.1.6.2.1 Principe de l'essai

L'essai de pénétration dynamique type **B**, consiste à enfoncer dans le sol par battage de manière continue un train de tiges muni en partie inférieure d'une **pointe débordante** et à noter le nombre de coups nécessaires pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une hauteur  $h$  de 20 cm, tout en vérifiant l'importance des efforts de frottement éventuels sur le train de tiges.

### I.1.6.2.2 Domaine d'application

Les essais de pénétration dynamique type B peuvent être réalisés dans tous les sols fins et grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 60 mm. L'essai est limité à une profondeur de 15 m.

### I.1.6.2.3 Appareillage

Le pénétromètre dynamique B se compose d'un dispositif de battage, d'un train de tiges muni d'une pointe débordante, d'un système de détection des efforts de frottement et d'un dispositif de mesures.

Le mouton a une masse de 64 kg et une hauteur de chute de 0,75 m ; il tombe à une cadence de 15 à 30 fois par minute. On détecte les **efforts parasites de frottement du sol** sur les tiges à l'aide d'une clef dynamométrique.

### **I.1.6.2.4 Réalisation de l'essai**

Le train de tiges est battu d'une manière continue sous la chute du mouton à la cadence de 15 à 30 coups par minute. A chaque ajout de tiges et au moins tous les mètres, l'opérateur fait tourner le train de tiges à l'aide de la clef dynamométrique. Si le couple est inférieur à 100 N.m, les efforts parasites sont négligeables.

Le nombre de coups de mouton nécessaire pour enfoncer la pointe de 20 cm est noté en fonction de la longueur totale des tiges.

La fin du sondage correspond à la satisfaction de l'une des conditions suivantes :

$f$  - la profondeur déterminée préalablement est atteinte ;

$f$  - l'enfoncement sous 100 coups est inférieur ou égal à 20 cm ;

$f$  - le rebond du mouton est supérieur à 5 cm ;

$f$  - la mesure du couple effectuée à la clef dynamométrique dépasse 200 N.m. [1].

### **I.1.7 Essai de pénétration au carottier (Standard pénétration test) S.P.T. NF P 94-116 (oct.1991)**

L'essai de pénétration au carottier correspond à l'essai développé aux **USA**, il est connu sous l'appellation **Standard Pénétration Test**, dont le sigle est S.P.T.

#### **I.1.7.1 Principe de l'essai**

L'essai consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu en fond d'un forage préalable.

#### **I.1.7.2 Domaine d'application**

L'essai de pénétration au carottier s'applique aux sols fins et grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20 mm .

#### **I.1.7.3 Appareillage**

L'appareillage est composé d'un équipement de forage et de tenue de la paroi, d'un dispositif de battage, d'un train de tiges, d'un carottier et d'un système de mesures.

L'équipement de forage doit permettre de réaliser un trou de forage nettoyé avant l'insertion du carottier (Figure. I.6). Il doit garantir que l'essai de pénétration sera réalisé dans un sol relativement peu remanié. Le mouton a une masse de 63,5 kg et une hauteur de chute de 0,76 m ; il tombe à une cadence de battage de 15 à 30 coups par minute. Le tube central du carottier est fendu pour faciliter l'extraction de l'échantillon de sol.



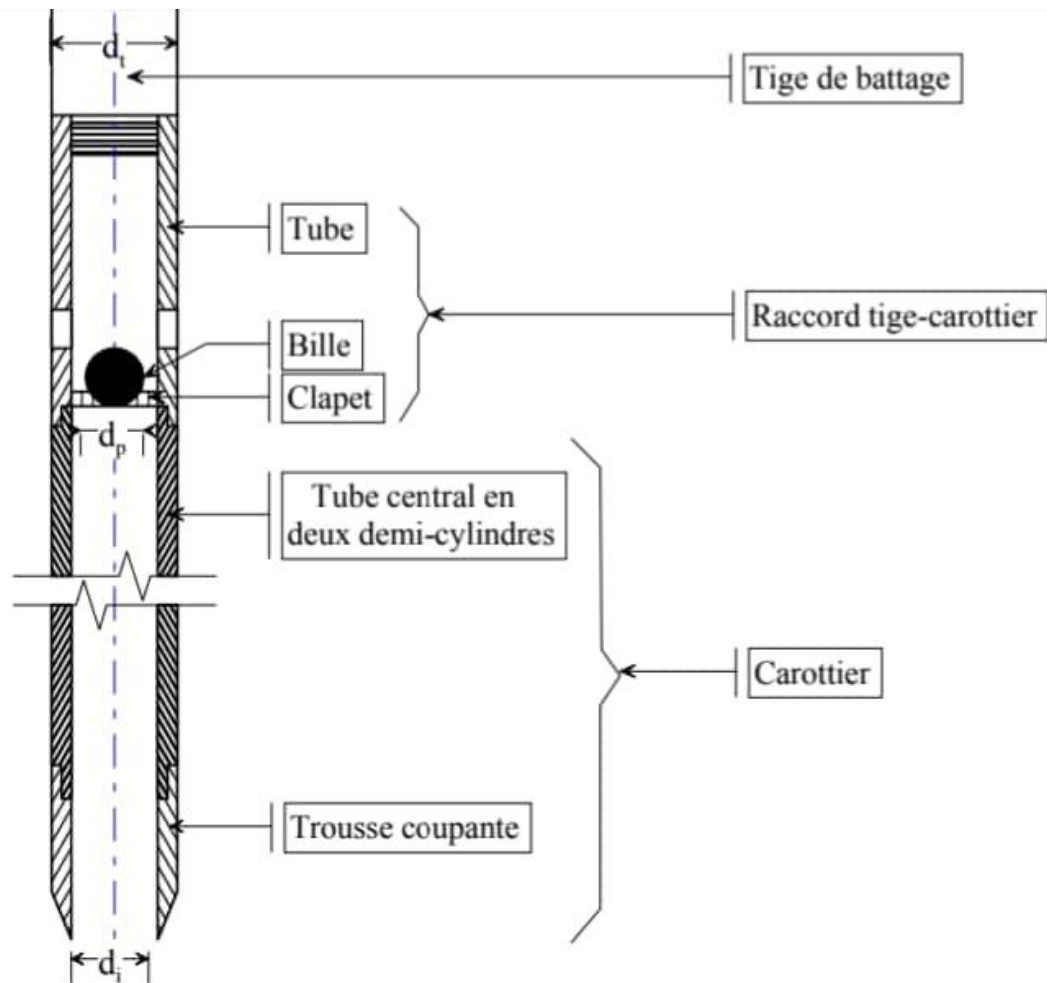


FIGURE I.6: Coupe du carottier SPT

### I.1.7.4 Réalisation de l'essai

Après la pénétration initiale du carottier solidaire de l'ensemble du train de tiges, l'essai est exécuté en deux phases.

#### 1. Enfoncement d'amorçage.

On note le nombre de coups de mouton pour enfoncez le carottier de 15 cm.

#### 2. Enfoncement de l'essai.

On note le nombre  $N$  de coups de mouton pour enfoncez le carottier de **30 cm** supplémentaires. Ce nombre  $N$  caractérise la résistance à la pénétration.

Après chaque essai, le carottier est remonté à la surface pour récupérer l'échantillon de sol remanié.[1]

### I.1.8 Essai scissométrique - Vane probe test NF P 94-11 (novembre 1991)

#### I.1.8.1 Principe de l'essai

L'essai scissométrique réalisé au sein du sol en place consiste à introduire dans le sol un moulinet et à lui transmettre un mouvement de rotation pour établir la relation entre la rotation du moulinet et la résistance au cisaillement opposée par le sol.

## CHAPITRE I Analyse bibliographique sur les différents types de sondages

L'objectif est de mesurer en fonction de la profondeur la cohésion apparente des terrains fins cohérents.

### I.1.8.2 Domaine d'application

Les essais scissométriques courants sont réalisables dans tous les types de sols fins cohérents de consistance faible à moyenne.

### I.1.8.3 Appareillage

L'appareillage comprend : un système de fonçage, un moulinet, des tiges de torsion, un couple mètre et un dispositif de mesures (Figure. I.7).

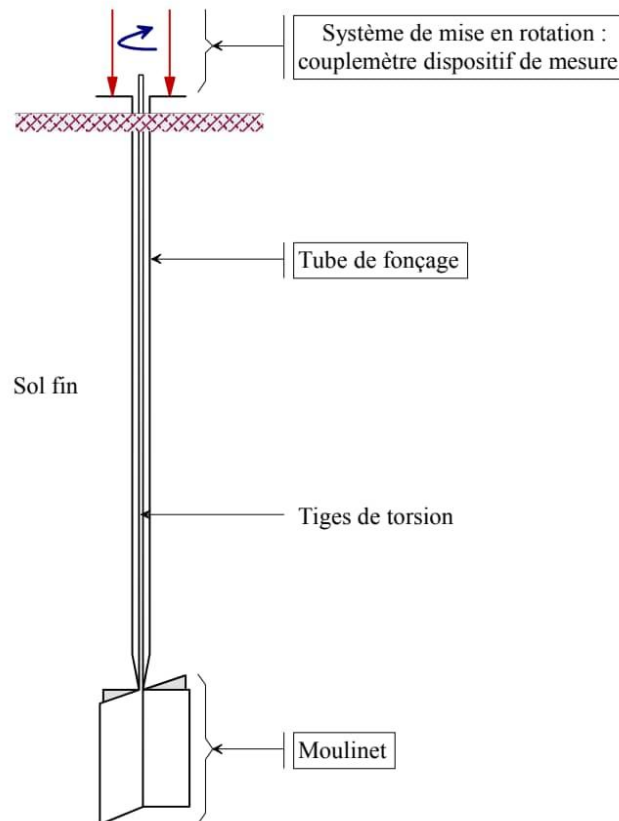


FIGURE I. 7:Schéma du scissomètre de chantier

### I.1.8.4 Réalisation de l'essai

La réalisation de l'essai consiste à foncer le moulinet au niveau de l'essai et à lui appliquer un mouvement de rotation à vitesse constante à l'aide de la barre de torsion du coup le mètre. [1]

## I.2 Les Sondages géophysiques

### I.2.1 Les tranchées et les puits :

Leurs objectifs sont généralement multiples :(voir **Figure I.8**)

- ❖ Recherche d'un substratum imperméable sous une couverture peu épaisse.
- ❖ Levé d'une coupe géologique détaillée
- ❖ Prélèvement d'échantillons pour identification et essais mécaniques.

Les techniques employées dépendent des conditions d'accès, des disponibilités locales en matériels ou en personnels et des prix de revient qui sont très variables selon les pays.

## CHAPITRE I Analyse bibliographique sur les différents types de sondages

---

Les avantages de ce type de reconnaissances sont nombreuses :

- ❖ Elles conviennent à tous les cas et peuvent être réalisées n'importe où.
- ❖ Si la mécanisation est possible, la rapidité d'exécution est grande et le prix revient est faible.
- ❖ La souplesse d'emploi est considérable.

Le creusement de ces ouvrages et leurs tenues dans le temps fournit des

- ❖ informations précieuses pour les travaux ultérieurs.

Leurs inconvénients sont liés surtout :

- ❖ A la cohésion insuffisante du terrain qui peut imposer un soutènement (augmentation du délai d'exécution et du coût).
- ❖ A la présence à faible profondeur d'une nappe phréatique.

Malgré tous ces défauts, le domaine d'application reste vaste particulièrement les cas où les couches superficielles se trouvent impliquées, tels que :

- Etudes des fondations.
- Recherche de matériaux meubles. Etude des sites de barrages etc.....



FIGURE I . 8: tranchée [2]

### I.2.2 Les sondages mécaniques :

La gamme des moyens de sondages mécaniques est très étendue, qu'il s'agisse de la puissance des appareils, du mode de perforation, des diamètres employés, des profondeurs atteintes. [2]

Si les sondes pétrolières permettent le forage à plusieurs milliers de mètres de profondeur, les performances des machines utilisées en génie civil sont plus modestes, puisque la quasi-totalité des reconnaissances géotechniques n'intéressent que les profondeurs comprise entre 0 et 100 m. Les profondeurs de 100 à 300 m sont rares ; ce n'est qu'exceptionnellement pour les projets qui nécessitent des forages profonds.

Il est indispensable que le géologue connaisse les possibilités et les performances des divers types de matériel, ainsi que leurs mise en œuvre. Les sondages mécaniques ont deux buts :

- **Géologique** : Le sondage permet de compléter la reconnaissance géologique du sous sol, qui sera exprimée par une coupe géologique détaillée. Pour cette raison, le prélèvement des échantillons se fait le plus souvent en continu afin de disposer d'une coupe correcte.

**Géotechnique** : Le sondage est un moyen d'accès au sous sol pour le prélèvement d'échantillons intacts destinés au laboratoire et pour l'exécution d'essais in situ, hydrauliques ou mécaniques.[2]

### I.2.3 Le sondage en terrain meuble

Les principales difficultés proviennent de la tenue des parois du sondage et de la remontée du terrain foré.

Dans la plupart des cas, il faut opérer sous la protection d'un tubage continu ou employer une boue de forage qui, formant un cake sur la paroi du puits, retient celle-ci. Aucun des procédés des forage utilisés en terrain meuble ne peut vraiment être considéré comme non destructif.

Le remaniement de l'échantillon est souvent considérable. [2]

#### ➤ **Tarières à main**

Les modèles les plus courants comportent un outil d'un diamètre de 60 à 200 mm constitué par une trousse coupante dont la forme permet la remonté de 0,5 à 2 litres de sol à chaque manœuvre. La tarière à main est un instrument idéal pour les reconnaissances à faible profondeur (jusqu'à 2 m) pouvant aller jusqu'à quatre cinq mètres si les conditions sont favorables. Elle est inopérante sous la nappe, quel que soit le type de terrain. (Voir **Figure I.9**)

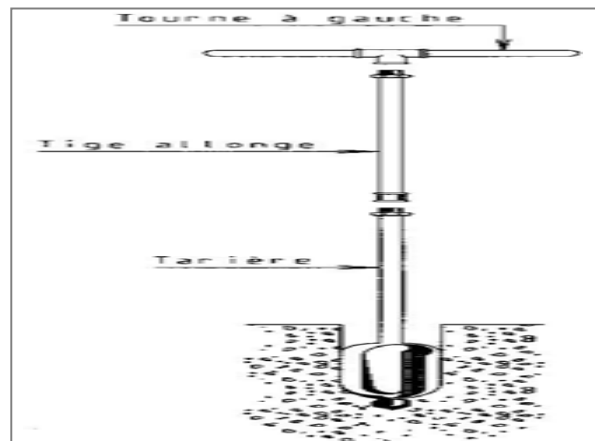


FIGURE I. 9:Tarière à main

#### ➤ **Tarières à moteur :**

Ces tarières sont montées sur camion, elles sont extrêmement efficaces pour la reconnaissance rapide de volumes importants de terrains meubles. Elles sont peu exploitables sous l'eau, et inopérantes dans les formations à blocs. (Voir **Figure I.10**).

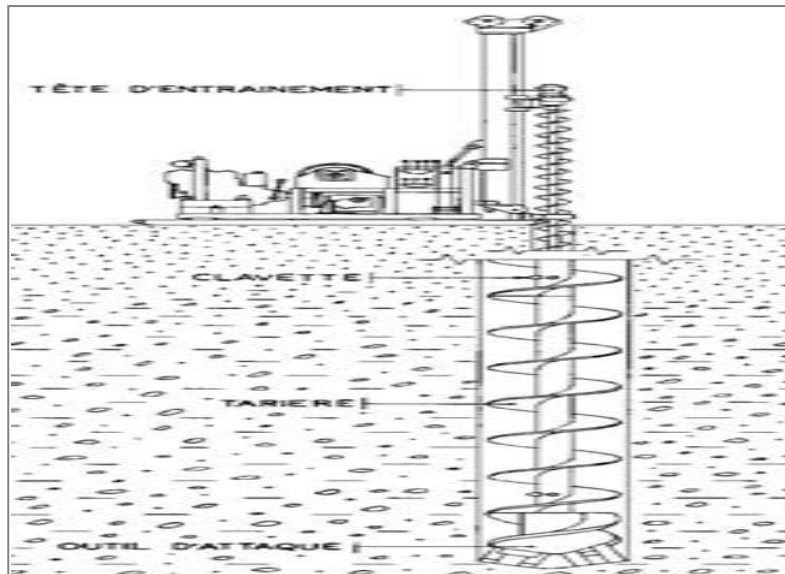


FIGURE I . 10 :Tarière à moteur [2]

### ➤ Sondage par battage

Cette méthode est la plus courante en terrain meuble, sec ou saturé. Un tubage métallique est enfoncé dans le sol par battage à l'aide d'un mouton, la colonne de sédiment ainsi isolée à l'intérieur du tube est extraite à l'aide d'un outil adapté.

### I.2.4 Le sondage en terrain rocheux

La reconnaissance géologique et géotechnique n'est pas le seul but prescrit aux forages en rocher sur un chantier de génie civil. Ils permettent également :

- La mise en place d'équipement destiné à des mesures (piézomètres, perméabilités, pression interstitielle, etc.) ;
- Le traitement des terrains (injection, drainage) ;
- Le soutènement(ancrage) ;
- La mise en place de charges d'explosifs (terrassement en grande masse).

L'essentiel pour ces dernières applications est de perforer rapidement et économiquement, d'où le recours à des méthodes destructives. Celles-ci sont mal adaptées aux besoins de la reconnaissance géologique et géotechnique qui exige une grande qualité de l'échantillonnage. (Voir **Figure I.11**) [2]



FIGURE I . 11: Sondages destructifs [2]

### ➤ Les méthodes destructives

Tous les fragments de la roche et les débris doivent être remontés à la surface par un fluide de forage (air comprimé, eau, boue).

### ➤ Le forage carotté

Leur but est de découper en continuité sur toute une colonne de terrain puis de la remonter à la surface du sol pour un examen géologique ou essais de laboratoire.

Dans la pratique, la carotte est découpée à l'aide d'une couronne abrasive solidaire d'un tube carottier qui permet sa protection et sa remontée. (Voir **Figure I.12**)



FIGURE I . 12: Sondages carottés

## I.3 Les méthodes géophysiques :

### I.3.1 Méthodes Sismiques :

La sismique étudie les variations de la vitesse sismique du sous-sol, ces variations sont en relation avec la dureté, le degré de consolidation et la saturation. Avec cette méthode on peut distinguer la roche compacte du terrain meuble, la roche compacte et la roche altérée, les zones fracturées dans une roche saine, le niveau de la nappe phréatique.

Parmi les méthodes géophysiques, la sismique est de loin la méthode la plus importante tant du point de vue de l'argent dépensé que du point de vue des géophysiciens employés.

En recherche pétrolière, il s'agit essentiellement de sismique **réflexion**, alors que dans les travaux relevant de la géologie de l'ingénieur (construction de routes, barrages, tunnels,



hydrogéologie,...), il s'agit le plus souvent de sismique **réfraction**(Voir **Figure I.13**).[2].

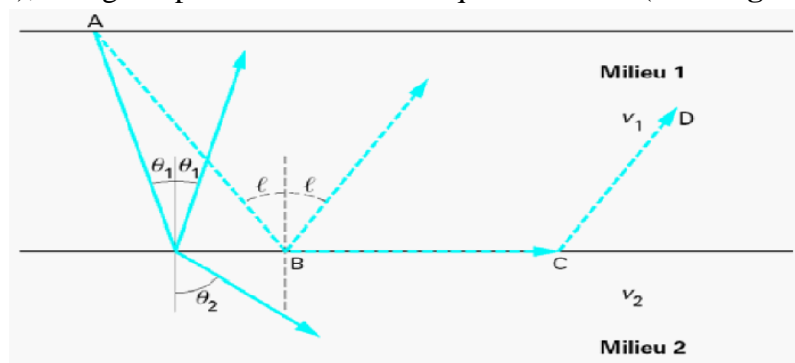


FIGURE I . 13 : Ondes sismiques : réflexion et réfraction

### I.3.2. Méthodes électriques :

La prospection électrique implique la détection en surface d'effets produits lorsqu'un courant électrique traverse le sous-sol. Il existe une grande variété de techniques utilisant les méthodes électriques, on peut mesurer par exemple:

- une chute de potentiel ;
- un courant ;
- un champ électromagnétique.

Dans d'autres domaines, il existe aussi de nombreuses techniques de mesure. Les méthodes fondées sur la mesure du paramètre "résistivité" sont actuellement les plus répandues, les plus développées et les plus diversifiées (Elles ont été imaginées en 1911 par les frères Schlumberger), (Voir **Figure I.14**).

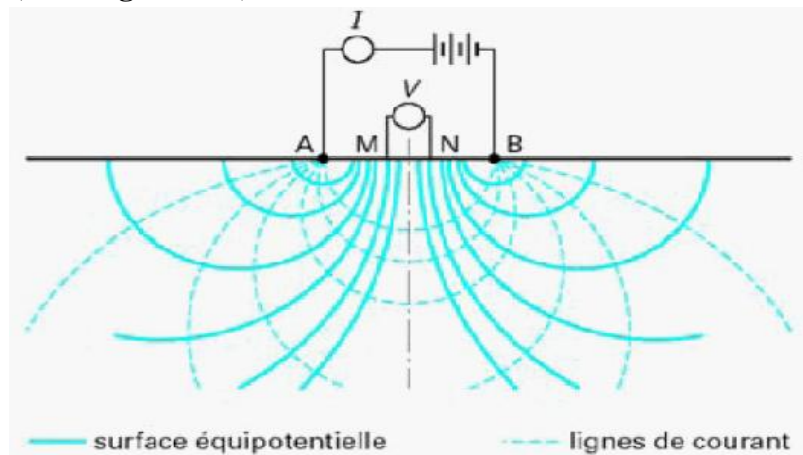


FIGURE I . 14 : Sondages électriques

### I.3.3. Méthodes électromagnétiques :

Ce type de méthode exploite le principe d'induction électromagnétique dans les matériaux conducteurs. Cette méthode est dite "active" car on émet artificiellement un champ magnétique primaire, qui est conduit par le sous-sol, et dont les modifications mesurées en surface nous renseignent sur les propriétés du terrain (Voir **Figure I.15**) [2]



FIGURE I. 15 : Mesures électromagnétiques

### I.3.3.1 Magnétisme :

Le magnétisme est peu utilisé pour la reconnaissance en génie civil. Cette méthode est fondée sur la détection d'anomalies du champ magnétique terrestre. La seule application constatée en génie civil est la recherche d'objets enfouis contenant beaucoup de fer. Par exemple, on peut vérifier qu'il n'y a pas d'épaves de péniches métalliques au fond d'un fleuve...[2]

### I.3.3.2 Radioactivité :

Les propriétés de radioactivité des matériaux sont utilisés dans le domaine de la reconnaissance en génie civil, presque uniquement sous la forme de diagraphies (diagraphies de radioactivités ...[2]



### **I-4 - Conclusions**

Nous avons recensé les différents essais in situ réalisés en géotechnique, il s'agit principalement des essais géophysiques qui nécessitent un savoir faire important et un matériel adéquat. Dans nos travaux de recherche, nous allons étudier un exemple de sondages géophysiques appliqués dans un terrain. A cet effet, nous allons étudier un exemple d'un site réel qui permettra de connaître la nature des terrains à différentes profondeurs des couches de sol par application d'un logiciel CVT(Carottage Vitesse Temps).

**CHAPITRE II**  
**Les Méthodes géophysiques  
d'exploration**

## II Les méthodes géophysiques d'exploration

### II .1.Introduction

Les méthodes géophysiques permettent de connaître la valeur et la répartition dans le sol d'une caractéristique physique particulière sur un champ physique. Elles servent de déterminer la structure du sous-sol. La géophysique est une méthode indirecte de reconnaissance des sols, comme par exemple, l'extension d'une couche géologique est déterminée grâce à la résistivité du matériau qui la constitue. Si la résistivité est constante, les propriétés géotechniques du matériau sont aussi constantes puisqu'il s'agit partout du même matériau. Il suffit dans ce cas d'évaluer les propriétés géotechniques en un point pour les connaître partout dans le matériau. On distingue les techniques géophysiques de surface, les techniques de forage et les diagraphies. Les techniques géophysiques de surface sont mises en œuvre uniquement à partir de la surface du sol.

### II.1.2.Les méthodes électriques

#### II.1.2.1 Sondage Électriques

##### Le sondage électrique : La méthode de Schlumberger:

Il permet d'obtenir la succession verticale des résistivités. Les géométries sont très variées, la plus connue étant celle de Schlumberger. Pour mesurer la résistivité des terrains, on injecte un courant électrique dans le sol avec une intensité (I) connue comprise entre 1 et 5 A entre deux électrodes A, B. On mesure la différence de potentiel créée entre deux électrodes M, N. Le matériel utilisé comprend (voir figure 1) :

- Une batterie (pour l'alimentation de tout le système) ;
- Un émetteur (pour contrôler les paramètres de l'injection de courant) ;
- Un récepteur pour enregistrer les données) ;
- Un système de 4 électrodes (deux pour l'intensité et deux pour le potentiel de réception) ;
- L'ensemble est complété par un réseau important de câbles électriques reliant les éléments

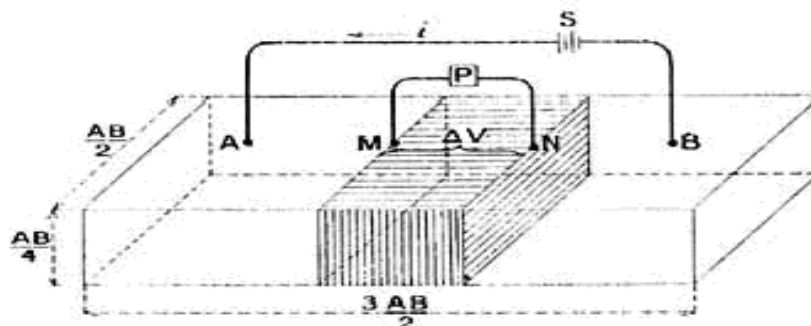


FIGURE II . 1: Schéma du principe de la méthode du Schlumberger

$$\rho = K(\Delta V/I)$$

Avec :  $\rho$  = résistivité du sous-sol en Ohm/m

$\Delta V$  = différence de potentiel entre les 2 électrodes M et N  
I = intensité du courant en ampères

K = facteur géométrique dépendant de la configuration (la configuration se retrouve dans les abaques).

## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

Comme le sol n'est pas en général homogène, la valeur donnée par la formule ne correspond pas à la résistivité vraie d'une roche déterminée, mais à une moyenne des résistivités des diverses roches intéressées par la mesure. Cette moyenne est appelée la résistivité apparente du sol entre M et N (voir figure 2) :

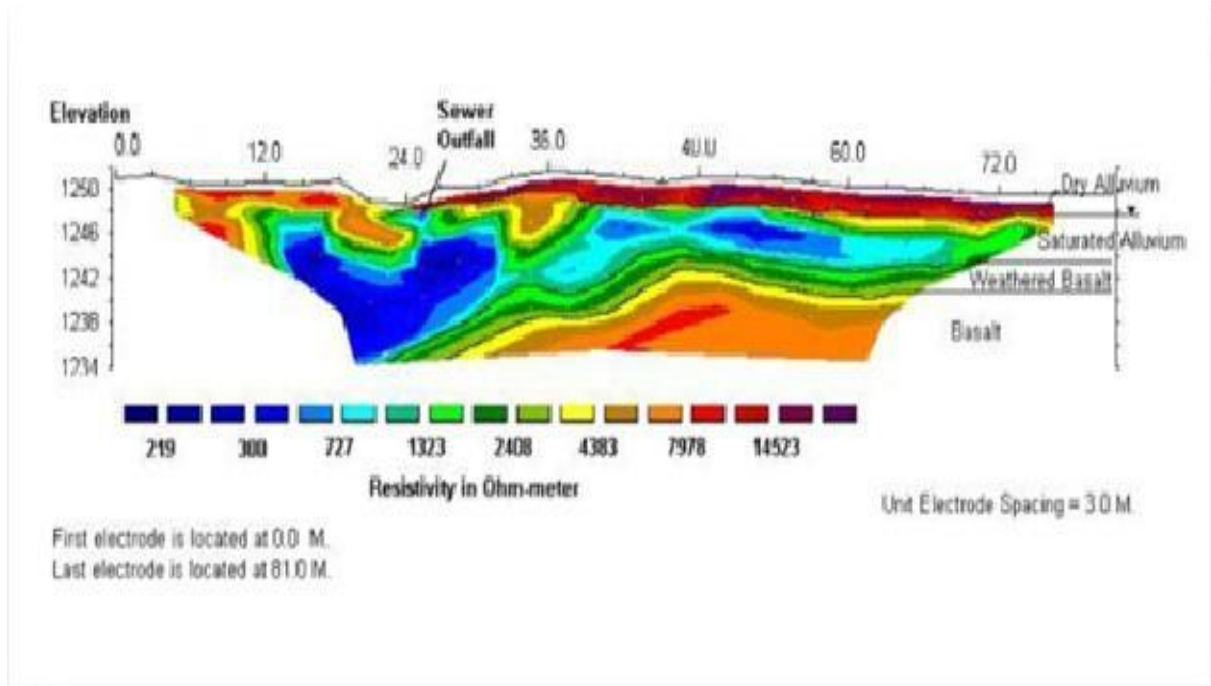


FIGURE II . 2 :Exemple de profil de résistivité en 2 dimensions d'un sol

**Domaines d'applications:** Détermination de l'épaisseur des couches sédimentaires de sables, de graviers et de gisements de minerais.

- Localisation de la faille ;
- Détermination de la profondeur d'une nappe phréatique.

**Avantages:**

- Flexibilités des géométries possibles.
- Bonne résolution des terrains superficiels.

**Limites:**

- Mise en œuvre assez lourde ;
- Difficulté d'injection des courants dans les terrains très secs ;
- Influence importante des hétérogénéités des résistivités en surface ;
- Temps de mesure important ;
- Interprétation délicate.

### II.1.3. La trainée électrique (« <https://fr.wikipedia.org/w/index.php>)

On se sert de quatre électrodes que l'on implante dans le sol et qui sont reliées à un appareil de mesure de la résistance électrique. Selon le placement des électrodes d'injection, on a différents dispositifs ( voir images ci-contre, Figure II.3) :

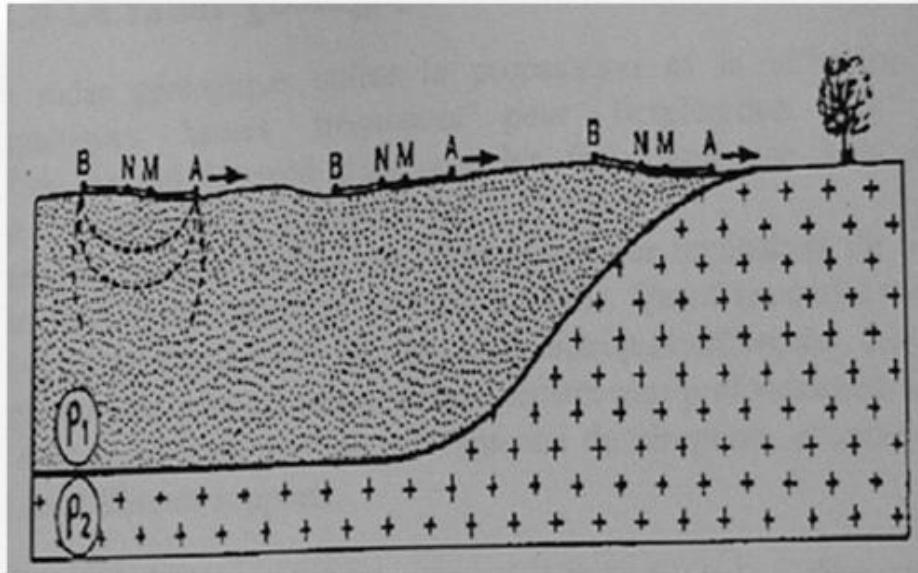


FIGURE II . 3: La trainée électrique

**Principe de la méthode de la trainée électrique** <<https://fr.wikipedia.org/w/index.php>>

**Domaines d'applications:**

- Cartographie des résistivités apparentes ;
- Quantification des volumes des différentes roches d'un terrain ;
- Etude des intrusions salées.

**Avantages :**

- Rapide à mettre en œuvre.
- Ne nécessite aucun sondage mécanique.

**Limites :**

- manque de précision.
- Comprend des risques d'erreur d'interprétation non négligeables.

### II.1.4. Méthodes électriques en courant continu:

Les méthodes de prospection électrique par courant continu permettent de déterminer la répartition des matériaux dans le sol par l'intermédiaire de leurs résistivités. Pour cela on injecte dans le sol un courant continu, dont on mesure l'intensité  $I$  au moyen de deux électrodes métalliques notées. A et B plantées dans le sol et reliées aux deux bornes d'un générateur de courant continu. On mesure ensuite au moyen de deux autres électrodes notées M et N la différence de potentiel  $V_M - V_N$ , résultant de la circulation du courant.

La résistivité apparente :  $\rho = K V_m - V_n / a$

La résistivité apparente nous renseigne sur les propriétés électriques du sol ;  $k$ , le facteur géométrique, il a la dimension d'une longueur et dépend de la géométrie du dispositif **ABMN**. Il ya trois manières principales de mettre en œuvre ces méthodes (voir Figure II.4).

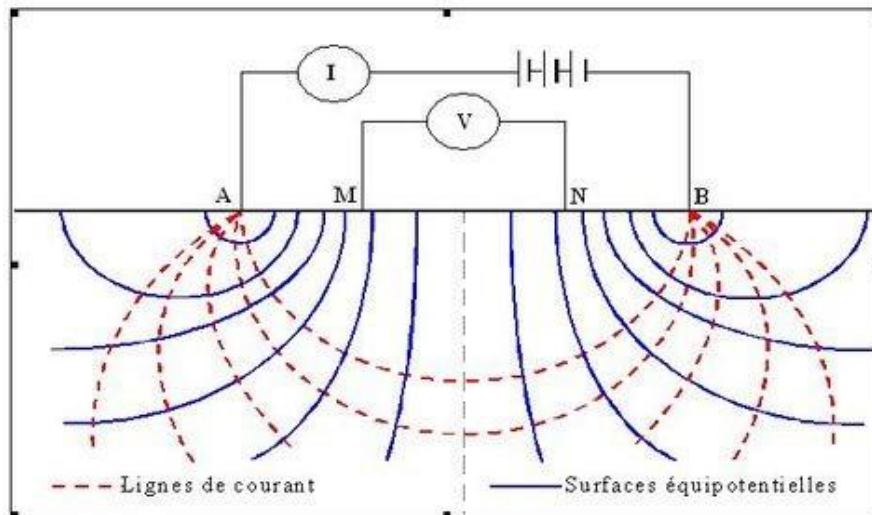


FIGURE II . 4:Lignes de potentiel et les lignes de champs

- ✚ **Sondage électrique** : Il consiste mesurer la résistivité apparente du sol pour des longueurs croissantes du dispositif **ABMN**. Il sert à déterminer la variation de la résistivité du terrain fonction de la profondeur. Il n'est appliqué strictement que si le site n'a aucune structure tabulaire (pas de variations de la résistivité dans les directions horizontales).
- ✚ **Traîné de résistivité** : Il consiste à mesurer les variations latérales de la résistivité apparente le long d'un profil rectiligne où l'on déplace le dispositif **ABMN** en maintenant constantes ses dimensions. Il sert à mettre en évidence les variations latérales des propriétés des terrains pour une profondeur d'investigation dont l'ordre de grandeur reste constant et dépend de la longueur de **ABMN**. Si plusieurs traînés sont réalisés le long de profils parallèles, on obtient des cartes de résistivité apparente.
- ✚ **Diagraphie**. Le dispositif **ABMN** est placé sur une sonde descendue dans un forage. En remontant la sonde, on mesure la variation en fonction de la profondeur de la résistivité des terrains traversés par le forage. Les diagraphies électriques servent (comme les autres diagraphies) à identifier les matériaux, à préciser la position des Interfaces, à étudier la fracturation et à fournir des données qui permettent d'interpréter de manière plus sûre les mesures de surface

## II.2. La méthode de la polarisation spontanée

### II.2.1. Polarisations spontanée

C'est une méthode géophysique passive qui se base sur la mesure des potentiels naturels présents dans la sous-surface.

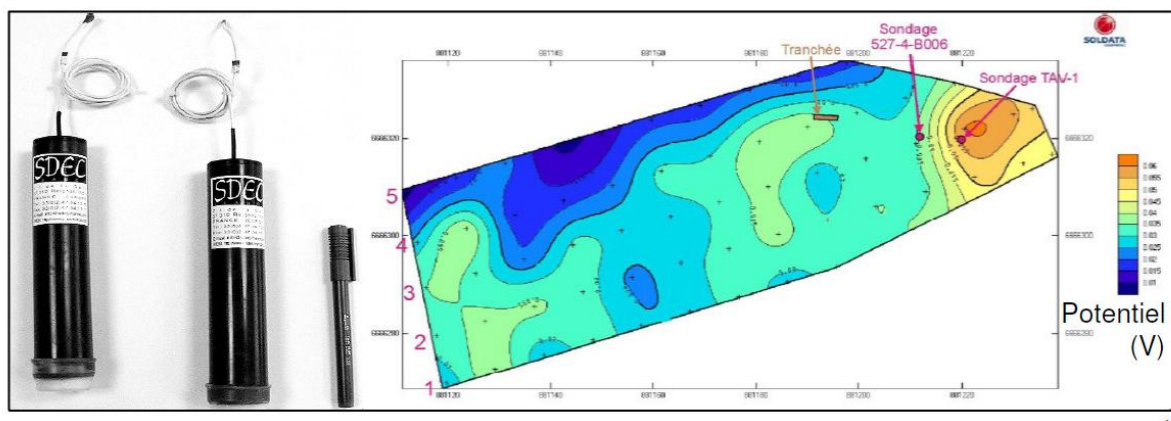
- C'est une des méthodes les plus anciennes en géophysique en 1830 en Angleterre.
- Sa mise en œuvre est très simple: on utilise deux électrodes et un voltmètre pour mesurer le potentiel électrique en différents points du sol.
- Son utilisation est principalement qualitative, car peu de modèles théoriques existent pour expliquer les sources de courant.
- Exploration minérale
- Études en géothermie
- Études hydrogéologiques
- Localiser des horizons poreux et perméables en forage
- Suivi de la décontamination des sols par biodégradation

## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

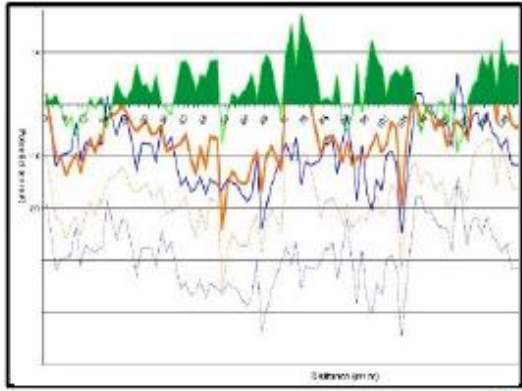
- Détection de fuites et de fractures dans les barrages et autres...

### II-2.2. Applications :

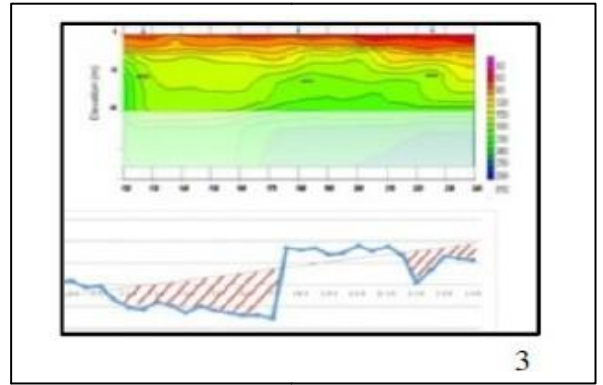
- Prospection minière : des phénomènes redox se mettent en place au toit des différents massifs, permettant de les localiser.
- Environnement : la dégradation de certains polluants conduit à des déséquilibres électriques mesurables. Il devient alors possible de délimiter un panache de pollution.
- Hydraulique : les écoulements influent sur le potentiel spontané, ce qui permet d'apporter des informations hydrogéologiques ou de rechercher des zones de fuite. La mesure se fait via l'utilisation, a minima, d'un couple d'électrodes impolarisables dont l'une sert de référence et l'autre est mobile afin d'être déplacée sur les différents points de mesure. Un voltmètre permet alors de mesurer la différence de potentiel électrique entre ces deux électrodes. La polarisation spontanée au niveau d'un point de mesure peut être d'origine diverse (circulation d'un fluide dans un milieu poreux, phénomène d'oxydoréduction, diffusion thermique, etc.). Ces différents phénomènes naturels, en se mettant en place dans le sous-sol, créent des dipôles électriques à même d'être observés en surface. Il est alors possible au géophysicien d'interpréter la présence de ces différences de potentiel en fonction des objectifs recherchés. Cette méthode est particulièrement légère à mettre en œuvre. Elle peut facilement être couplée à d'autres méthodes géophysiques suivant les domaines d'application, être mise en œuvre afin d'établir un instantané de la polarisation spontanée d'un site ou au contraire être installée de manière pérenne pour réaliser un monitoring de cette polarisation (**voir Figures II.5**).







2



3

FIGURES II. 5 : Carte de potentiel naturel (Polarisation spontanée)

### II.3. Méthodes électromagnétiques

La prospection par champs électromagnétiques (EM) artificiels ou naturels, générés par des courants variables dans le temps, porte le nom de prospection électromagnétique. Les techniques électromagnétiques peuvent être variées (voir Figure II.6).



FIGURE II. 6: Dispositif EM31 (Stage de Géophysique de Polytech' Paris (2006))

La complexité des phénomènes, et par conséquent les difficultés mathématiques d'interprétation sont difficiles lorsqu'on a des courants continus (DC). C'est pourquoi, si les techniques électromagnétiques sont parfois intéressantes, très intéressantes même quand il s'agit d'une reconnaissance rapide, d'une « détection » sommaire ou de la simple découverte de zones d'anomalies. L'interprétation quantitative en 1D, 2D et 3D peut devenir très compliquée et est loin d'être « intuitive ». L'investigation est limitée, d'autant plus limitée que la fréquence du champ EM est plus élevée. Tous les appareils de prospection électromagnétiques répondent à une grande variété de conducteurs tant naturels qu'artificiels, qui peuvent se classer comme



## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

---

suit :

1. Conducteurs superficiels  
(terrains marécageux, argileux)
  - Fonds de lacs et lits de cours d'eau
  - Formations conductrices (argiles)
  - Topographie (relief).
2. Conducteurs dans la roche en place
  - Graphite
  - Sulfures massifs
  - Magnétite massive
  - Zones de cisaillement et failles
  - Péridotite serpentins
3. Conducteurs artificiels (culturels)
  - Réservoirs métalliques
  - Conduites et déchets métalliques
  - Pipe-lines
  - Voies ferrées
  - Lignes à haute tension

Les gisements de sulfures économiquement rentables sont très rares. Dans la plupart des cas, il est impossible de distinguer la réponse de ces masses de celles des sulfures stériles ou du graphite en ne faisant appel qu'aux estimations de la conductivité du dépôt. La discrimination entre les différents types de conducteurs se fait à l'aide d'une méthode géophysique complémentaire comme par exemple la gravimétrie, ou par forage.

### **II.4. L'induction électromagnétique (Cachan. Ed. Lavoisier 2012).**

Prospection électromagnétique

L'électromagnétique technique d'exploration géophysique est basée sur les variations de la résistivité du sous-sol, détectées par leurs effets sur un champ électrique ou magnétique.

La prospection électromagnétique est une technique d'exploration géophysique basée sur les variations de la résistivité du sous-sol, détectées par leur effet sur un champ électrique ou magnétique.

Principe électromagnétique

Le dispositif émetteur peut être un dipôle électrique analogue à celui de la prospection électrique ou une boucle de courant induisant un champ magnétique vertical qui en circule.

Le dispositif récepteur peut être un dipôle électrique analogue à celui de la prospection électrique ou un magnétomètre.

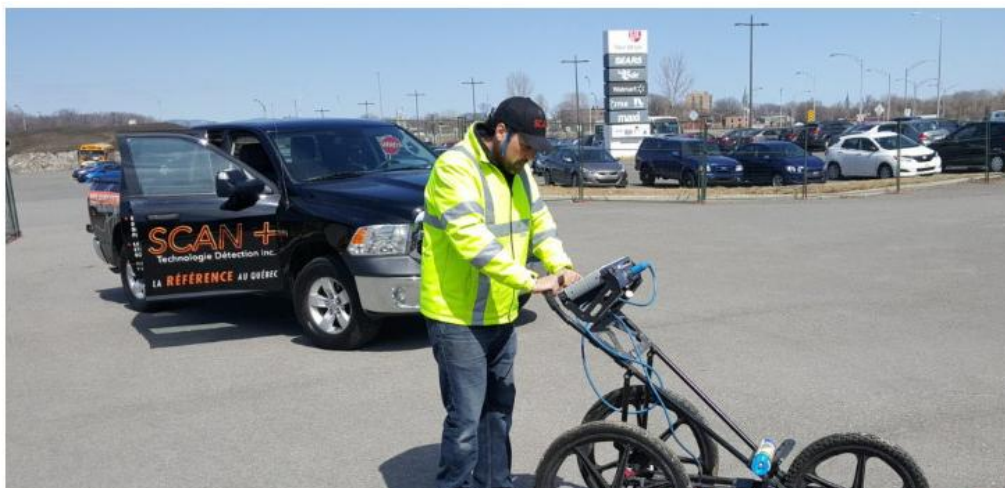
Le signal émis est en général un créneau. Le signal mesuré fait l'objet soit d'un traitement fréquentiel ou soit d'un traitement du transitoire.

La prospection électromagnétique est adaptée à la recherche de minerais métalliques mais aussi à l'étude de sites géothermiques. Elle a également été utilisée en exploration pétrolière. Elle commence à être utilisée en prospection sous-marine (Cachan. Ed. Lavoisier 2012).

## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

### 1. Portail de la géologie (voir Figure II.7).

FIGURE II.7 : Radar à pénétration de sol utilisé aux États-Unis, 2010



### II.5. Radar à pénétration de sol (RPS)

Le géoradar est une méthode géophysique pour analyser et ausculter le béton et le sol, elle est utilisée à de multitudes applications. Il utilise le procédé des radars à impulsions et à fréquences relativement détectées par l'antenne réceptrice. Cette technologie est adaptée à l'utilisation dans les domaines de la géologie, de l'archéologie, des mines, des applications militaires et des structures en béton.

### II.6 .Les objets qu'on peut détecter avec le géoradar:

Le principe de fonctionnement des RPS est celui des radars. Des ondes électromagnétiques sont envoyées dans le sous-sol par une antenne. Lorsque ces ondes rencontrent des changements de milieux, une partie est renvoyée vers la surface et enregistrée par l'antenne réceptrice qui peut être la même que l'émettrice ou une autre située à un endroit différent. Le principe est similaire au sondage sismique mais l'énergie électromagnétique utilisée est reflétée par les zones de changement de la constante diélectrique plutôt que celle de changement d'impédance acoustique. Ainsi dans l'image de droite, les réflexions hyperboliques, indiquées par les flèches, montrent la présence d'objets, probablement des restes humains.

La portée d'un sondage avec un RPS dépend de la conductivité électrique du sol et de la fréquence utilisée. Plus le sol est conducteur, moins on peut sonder profondément parce que l'énergie électromagnétique se dissipe en chaleur dans le milieu. Pour obtenir une meilleure pénétration, le contact entre l'antenne et le sol doit être optimal, ce qui minimise la perte d'énergie au changement de milieu (sol-air). La gamme de fréquence utilisée va de quelques MHz à quelques GHz en général. Plus la fréquence utilisée est élevée, meilleure est la résolution, mais plus faible est la pénétration en profondeur. A profondeur égale, l'utilisation d'une fréquence plus élevée donne une image plus précise mais dont le signal est plus atténué.

#### Les possibilités d'utilisation du géoradar :

Le géoradar peut être utilisé sur différents revêtements de sol. Les résultats obtenus ne peuvent éventuellement pas être toujours satisfaisants (par ex. sur le carrelage ou les plaques

## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

en pierre naturelle). Le carrelage contient souvent du quartz qui peut provoquer des interférences avec les ondes du radar. Les films en plastique dans les couches isolantes, les écrans métalliques dans les systèmes de sol et les couches d'air dans les structures multicouches sont également des facteurs qui peuvent provoquer des réductions de la puissance de mesure ou limiter la plage de mesure en profondeur. (<https://www.detecteur-de-metiaux.com/radar-de-sol.html> [archive])

### II.7. Méthodes Sismique

#### - Principe de base des méthodes sismiques

Les méthodes sismiques sont fondées sur l'étude de la propagation des ondes mécaniques dans le sol. La vitesse de propagation des ondes dépend des propriétés élastiques des matériaux.

Plusieurs types d'ondes se propagent simultanément ; on distingue les ondes de volume (qui existent toujours) des ondes de surface, qui n'existent pas et ne se propagent qu'au voisinage des interfaces séparant deux matériaux de propriétés élastiques différentes. Les ondes de volume sont elles-mêmes de deux sortes :

- la première est constituée par les ondes de compression ou encore ondes longitudinales, ou ondes **P**, car ceux sont elles qui se propagent le plus vite et sont observées en premier sur un enregistrement des mouvements du sol ; le phénomène élastique correspondant est un phénomène de compression-dilatation du matériau.

Dans la direction de propagation de l'onde;

- la seconde est celle des ondes de cisaillement, ou encore ondes transversales, ou ondes **S**, car elles se propagent plus lentement que les ondes P (mais plus vite que les ondes de surface) et que leur arrivée est le second événement observé sur un enregistrement des mouvements du sol ; le phénomène élastique correspond à un cisaillement du matériau (sans modification de la masse volumique) dans la direction perpendiculaire à celle de la propagation de l'onde. Bien que tous les types d'ondes puissent être mis à profit. **Les principales méthodes sont fondées sur l'observation de la propagation des ondes P. Leurs arrivées, la première, est en effet la plus facile à mettre en évidence sur un enregistrement.**

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

### II.8. Sismique réfraction

#### II.8.1. Domaine et conditions d'application

Le principal domaine d'application de la sismique réfraction en génie civil est l'étude du terrain superficiel altéré et du substratum rocheux. L'étude est quantitative puisqu'elle fournit l'épaisseur du terrain altéré et la vitesse des ondes mécaniques dans ce terrain ainsi que dans le substratum. Ces informations peuvent servir en particulier pour la préparation des terrassements en donnant des indications sur la qualité des matériaux que l'on pourra extraire avec des engins ou au contraire abattre à l'explosif. Si le terrain superficiel est constitué de plusieurs couches, celles-ci pourront être distinguées.

## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

Le résultat d'une campagne de sismique réfraction est une coupe du sol décrivant la géométrie des couches qui le constituent, caractérisées par la valeur de la vitesse des ondes mécaniques de compression.

### II.8.2.Réalisation:

Pour une étude de sismique réfraction, on installe ce que l'on appelle une base sismique : entre 12 et 48 géophones sont plantés à la surface du sol, équidistants, le long d'un profil rectiligne. Un géophone est un capteur qui transforme la vitesse de son boîtier (donc la vitesse des particules du sol) en un signal électrique. Une source sismique est activée à l'une des extrémités du dispositif de géophones et on enregistre les signaux produits par chacun des géophones. Pour les géophones éloignés, on montre que l'onde la plus rapide se propage d'abord dans le premier terrain, puis, après réfraction totale, à la vitesse  $v_2$  au contact des deux terrains ; puis de nouveau dans le premier terrain (parcours A B C D, ).

On pointe le premier événement sur ce signal, il correspond au temps de trajet (en millisecondes) de l'onde de compression entre la source et le récepteur. Ensuite, la source est déplacée à l'autre extrémité du dispositif et de nouveau activée. On a ainsi réalisé ce que l'on appelle un tir direct et un tir inverse. On recommence en plaçant la source au milieu du dispositif, puis dans l'alignement du dispositif, mais à l'extérieur de celui-ci, décalé par rapport à l'une des extrémités, puis à l'autre (tirs au centre, tirs offset direct et inverse).

Les temps de trajet correspondant à chaque tir sont reportés sur un graphique sur lequel la position des géophones est indiquée en abscisse et le temps de trajet en ordonnée. On constate que les points de ce graphique s'organisent grossièrement en segments de droites appelés dromochroniques dont les pentes sont les inverses des vitesses des ondes dans les différentes couches. L'interprétation consiste à calculer, à partir de ces données, la profondeur des différentes interfaces à l'aplomb de chacun des géophones et les vitesses des ondes de compression dans les matériaux. Les sources sismiques utilisées sont soit des explosifs de faible puissance (moins de 100 g de dynamite), soit des coups de masse sur une enclume, des chutes de poids ou encore des coups de fusils tirés, dans le sol, avec un fusil spécialement conçu à cet effet.

- La **figure II. 8** montre les différents ondes de réfraction sismique.

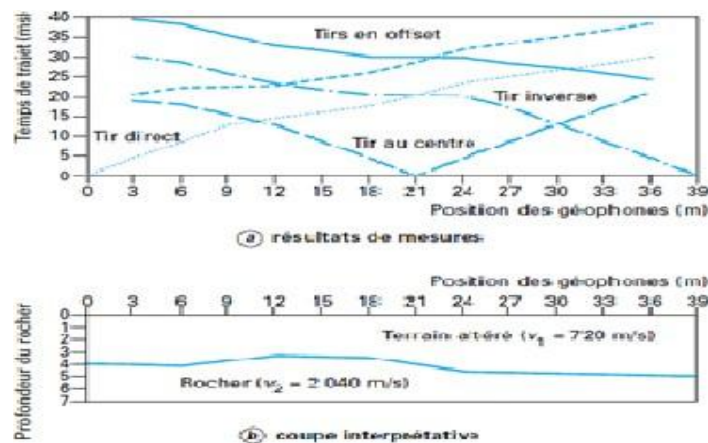


FIGURE II. 8 : Calcul des vitesses et des épaisseurs

### II.9. Techniques voisines

La sismique réfraction est aussi utilisée en site aquatique. Les géophones sont posés sur le fond et la source est une source de sismique marine actionnée au voisinage du fond. La technique est la même qu'à terre, mais plus délicate à mettre en œuvre. On peut ainsi, en mer, réaliser des profils en déplaçant tout le dispositif source récepteur de manière quasiment continue. L'absence de tir inverse rend l'interprétation plus délicate ; elle est en partie compensée par la multiplicité des données.

#### II.9.1.Sismique réflexion

##### - **Domaine et conditions d'application:**

Le domaine d'application de la sismique réflexion est l'étude de la structure du sous-sol lorsque celui-ci est formé de couches sédimentaires plus ou moins plissées et tectonisées, en particulier pour les tracés de tunnels à couverture importante (plusieurs centaines de mètres). Pour des profondeurs plus faibles, quelques dizaines de mètres, elle peut être utilisée aussi pour rechercher à l'intérieur d'une structure sédimentaire monotone des hétérogénéités telles que des cavités souterraines de grandes dimensions. Suivant le type d'ondes utilisées (onde P ou ondes S), elle sert aussi parfois à déterminer la répartition des propriétés élastiques du sous-sol.

- Comme pour la sismique réfraction, il est nécessaire qu'il existe entre les différentes couches des contrastes d'impédance acoustique (vitesse sismique et/ou densité) permettant d'obtenir de bons réflecteurs pour les ondes sismiques. Lorsque les couches présentent des pendages supérieurs à 60, les réflexions des ondes sont déviées et ne retournent pas en surface. Cela constitue donc une contre-indication majeure à l'emploi de la sismique réflexion.

##### - **Principe de la méthode et type de résultat fourni**

Le principe de la méthode consiste à envoyer dans le sol une impulsion mécanique sous la forme d'un choc (explosif, chute de poids...) qui se propage dans le sol et se réfléchit sur les différentes interfaces caractérisées par un contraste d'impédance acoustique entre les couches (produit de la vitesse de l'onde par la densité du matériau). En surface, on place des géophones suivant une ligne rectiligne. La distance source-géophones est faible devant la profondeur de l'interface. À chaque géophone (capteur de vitesse particulière), on enregistre le signal sismique en fonction du temps. Celui-ci est formé d'une série d'impulsions réfléchies sur les interfaces successives. L'ensemble du dispositif source-géophones est ensuite déplacé. Les signaux correspondant aux positions des dispositifs sont juxtaposés sur une section sismique ou coupe-temps, dans laquelle la coordonnée verticale est le temps et la coordonnée horizontale la position de la source et des géophones (**voir Figure II.9**).



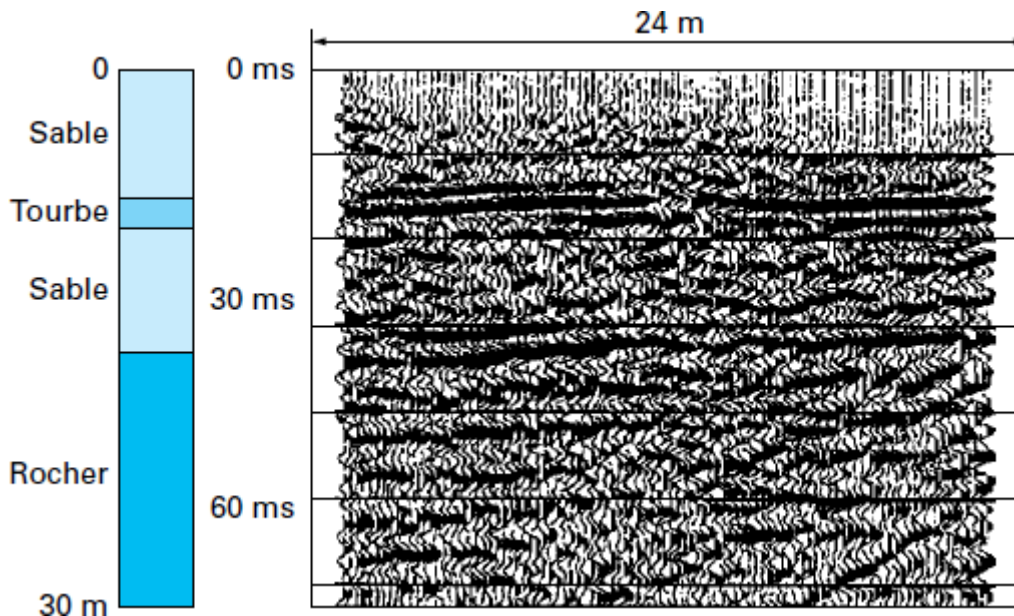


FIGURE II . 9: Coupe et temps dans le cas de la sismique réflexion

Pour une position donnée de la source et des distances source géophones croissantes, les réflexions sur une interface plane dématérialisent sur les coupes-temps par des hyperboles dont le sommet est à l'aplomb de la source et les asymptotes ont pour pente l'inverse de la vitesse de l'onde dans le matériau (s'il n'y a pas dépendage). La sismique réflexion est une des méthodes géophysiques où les techniques de traitement du signal jouent le rôle le plus important. Les coupes-temps sont traitées pour que les informations qui y apparaissent soient ramenées à celles que l'on aurait pour une distance source-géophone idéalement nulle et pour en effacer tout ce qui peut être considéré comme du bruit non organisé ou organisé (ondes réfractées, ondes aériennes, réflexions multiples, etc.). Une coupe-temps de sismique réflexion, une fois traitée, représente une image déformée de la structure du sous-sol puisque les corrélations qui apparaissent entre les signaux sous forme de lignes mettent en évidence les interfaces, leur structure plissée ou non, faillée ou non. D'autre part, le traitement des signaux correspondant à une position de la source et des géophones qui s'en éloignent de plus en plus fournit des informations sur la vitesse des ondes qui servent, d'une part, à aider à l'identification mécanique des terrains et d'autre part, à passer de la coupe-temps à la coupe-profondeur. Du point de vue formel, la sismique réflexion ressemble au radar géologique et aboutit à des documents comparables (coupes temps). Mais ce sont des techniques extrêmement différentes : la sismique s'intéresse aux ondes mécaniques qui se propagent à des vitesses au maximum de quelques kilomètres par seconde ; l'unité de temps est la milli seconde. Les profondeurs d'investigation sont de quelques dizaines à quelques centaines de mètres (**en Génie Civil**), la résolution est de quelques mètres (pour le radar, il s'agit d'ondes électromagnétiques, de vitesse de centaines de milliers de kilomètres par seconde, l'unité du temps est le nanoseconde, la profondeur d'investigation de quelques mètres et la résolution de quelques décimètres).

**Les applications de la sismique réflexion haute résolution sont :**

- la recherche des cavités ;
- imagerie de glissement de terrain ;
- imagerie de la couverture quaternaire ;

## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

---

- recherche de gisements de substances utiles ;
- recherche de réservoirs en eau ou de sites hydrothermaux ;
- génie civil pour l'implantation et les fondations des grands ouvrages (retenues de barrage, tunnels ou galeries, tracé de chemin de fer ou routiers, bâtiment industriel...).

### II.10. La méthode CVT(Carottage Vitesse Temps)

#### II.10.1 Présentation

La zone des couches superficielles du sol est caractérisée par une grande variation des vitesses des ondes sismiques. Elle est connue sous le nom de (zone altérée) ou WZ (We athered Zone). Son épaisseur est très variable: plusieurs dizaines de mètres dans le cas des dunes et moins d'un mètre lorsque des terrains durs affleurent à la surface du sol. Le signal sismique qu'on recueille lors d'une campagne sismique traverse deux fois cette zone, il est alors très perturbé.

Elle est caractérisée par :

- de faibles vitesses de propagation des ondes sismiques :  $350 \leq v \leq 1600$  m /s. - un grand coefficient d'amortissement (l'amplitude d'une onde qui se propage dans La zone altérée (wz) décroît rapidement).
- la présence d'ondes élastiques parasites dues ou non à l'explosion. Celles dues à l'explosion (ground-roll) se propagent à la surface du sol ou à faible profondeur. Leurs fréquences sont généralement basses (5-20 HZ) et les filtres permettent de les éliminer en grande partie. Ces ondes parasites du ground-roll sont relativement plus importantes que les autres quand le tir a lieu à l'intérieur de la zone altérée.

#### II.10. 2.Utilisation de la méthode CVT en génie civil

Pour dimensionner des fondations ou assurer la stabilité des ouvrages, il est indispensable de connaître la structure et la nature du sol et du sous-sol.

Les données recueillies alimentent les études techniques, lesquelles déterminent les caractéristiques des ouvrages en fonction des capacités mécaniques du sol et du sous-sol et des contraintes des ouvrages.

**Les méthodes géophysiques** sont pratiquées pour étudier la nature géologique des premières couches du sol à l'échelle de plusieurs mètres. Non destructives, elles consistent à mesurer et à interpréter la propagation d'ondes dans le sous-sol.

Parmi ces méthodes géophysiques nous présentons la méthode Carottage Vitesse Temps (CVT), qui détermine les caractéristiques de la zone altérée.

#### II.10.3. Présentation de la méthode CVT

La méthode CVT consiste à exécuter des mesures de vitesses dans un forage. On émet un signal à un niveau déterminé dans la surface du sol et on réceptionne ce signal au niveau des capteurs de signal placé dans un trou de forage (hydrophone ou sonde) de caractéristique bien déterminer soit d'une seul dimension (seul les ondes P sont captées) ou trois dimensions (les ondes P et S sont captées) et cela dépend des objectifs de l'opérateur.

La détermination des temps de propagation des ondes P et S entre l'émission et les réceptions permet de calculer les vitesses des ondes P et S, connaissant les distances séparant les points émission-réception.

## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

### II.10.4. Avantage de la méthode CVT

Cette méthode présente de nombreux avantages, parmi ces avantages elle nous permet de :

- déterminer la profondeur du socle bedrock donc la détermination de la limite entre la roche altérée et la roche saine, cette limite est primordiale lors de l'étude de glissement de terrain, car c'est elle qui va déterminer l'ampleur des travaux à effectuer. Elle intervient également pour le calcul de tassement des fondations.

-Lorsqu'on définit par la méthode de CVT la structure d'un ensemble géologique, les vitesses sismiques sont les paramètres qui séparent les différentes unités de cette structure. On attend de ces vitesses qu'elles offrent des contrastes suffisants pour que la structure apparaisse avec le maximum de finesse. Mais les vitesses sismiques ont une fonction bien plus importante que ce simple moyen mis à notre disposition pour définir les structures. Les ingénieurs familiarisés avec ce paramètre ont appris à

le manier avec la même aisance que d'autres paramètres géotechniques. Il faut signaler que dans le cas des roches, les variations de la vitesse des ondes de cisaillement rend mieux compte des variations de la rigidité que celles des ondes de compression. **Le tableau suivant II.1** donne un ordre de grandeur de la gamme des vitesses longitudinal des principales formations géologiques.

On remarquera, pour les formations sans cohésion ou à cohésion faible, la différence importante existant entre les vitesses sismiques sous nappe et hors nappe. La capacité de cette méthode à détecter les limites entre formations dépend des contrastes de vitesse sismique. L'observation des valeurs du tableau fait apparaître que la localisation de certaines limites est très délicate, quelques fois impossible. Citons en particulier le cas d'alluvions propres sous nappe surmontant un calcaire fracturé, ces deux formations ayant des vitesses sismiques très proche de l'ordre de 2000m/s.

Nature des terrains	Vitesse des ondes P [m/s]	Vitesse des ondes S [m/s]	Masse volumique [g/cm <sup>3</sup> ]
éboulis, terre végétale	300-700	100-300	1.7-2.4
sable sec	400-1200	100-500	1.5-1.7
sable humide	1500-4000	400-1200	1.9-2.1
argiles	1100-2500	200-800	2.0-2.4
marnes	2000-3000	750-1500	2.1-2.6
grès	3000-4500	1200-2800	2.1-2.4
calcaires	3500-6000	2000-3300	2.4-2.7
craie	2300-2600	1100-1300	1.8-2.3
sel	4500-5500	2500-3100	2.1-2.3
anhydrite	4000-5500	2200-3100	2.9-3.0
dolomie	3500-6500	1900-3600	2.5-2.9
granite	4500-6000	2500-3300	2.5-2.7
basalte	5000-6000	2800-3400	2.7-3.1
charbon	2200-2700	1000-1400	1.3-1.8
eau	1450-1500	-	1
glace	3400-3800	1700-1900	0.9
huile	1200-1250	-	0.6-0.9

TABLEAU II. 1: Vitesse sismique des principales formations géologiques tirée de l'ouvrage :



## CHAPITRE II Les méthodes géophysiques d'exploration

---

Guide technique de sismique réfraction.

On peut distinguer 6 grands groupes de roches sur les vitesses P:

1. **Roche compactes**, porosités inférieures à 3%, pas de fracturation, pas d'altération.

Granites, Gneiss, Dolomites et calcaires massifs, Marbres, Quartzites, Basaltes. Vitesses de 4000 à 6000 m/s.

2. **Les mêmes roches mais fracturées**, porosité totale de 3 à 10%, peu ou pas d'altération.

Vitesses de 3000 à 4000 m/s.

3. **Roches poreuses**, porosité supérieure à 5% pas de fracturation, pas d'altération.

Calcaires, Craies, Grès,... Vitesses 2500 à 4000 m/s.

4. **Les mêmes roches mais fracturées**, porosités supérieures à 8%, peu ou pas d'altération.

Vitesses 2000 à 3500 m/s.

5. **Roches altérées**, vitesses très variables selon le degré d'altération. Vitesses toujours inférieures aux vitesses dans les roches saines.

6. **Formations meubles**, soit non consolidées, soit déconsolidées par une profonde altération (surtout pour les roches à feldspaths abondants) Graviers, sables, silts, tuf,

Moraines Altérites. Vitesses 300 à 2500 m/s.

### II.11. Conclusions

Nous avons montré dans ce chapitre les différentes méthodes géophysiques utilisées dans la prospection et la connaissance des couches de sol en profondeur. Ces méthodes sont beaucoup plus basées sur les appareillages utilisés et les interprétations théoriques sur les différentes formules utilisées.

La méthode sismique **CVT(Carottage Vitesse Temps)** est celle qui permet de connaître les principales formations géologiques en fonction des ondes sismiques.

# **Chapitre III**

## **Application du logiciel**

**III.1 Introduction et objectifs**

Pour l'étude de la zone altérée appelée (WZ) dans le menu du programme du logiciel, un programme de CVT (Carottage Vitesse Temps) est établi au démarrage de l'étude couvrant la totalité de la zone d'étude. En générale la densité moyenne est de 1CVT/8Km<sup>2</sup>, elle peut augmenter ou diminuer en fonction de la complexité de la surface et de la couche WZ.

Les carottages sont positionnés sur les lignes de géophone d'une façon homogène suivant un maillage régulier. Les CVT peuvent être décalés de quelques centaines de mètres par rapport à leurs emplacements théoriques en cas de problème d'accès (sommets des dunes, falaises, habitation,.....) ou des problèmes de forage (perte totale, éboulement du trou, ...).

Les CVT sont forés à l'aide de machine de forage puissante capable de forer jusqu'à 500 mètres en utilisant un compresseur à air, en cas d'exploitation du CVT avec une sonde ou un système de circulation d'eau mélangé à une boue bentonitique poussée par une pompe, dans le cas où le CVT est exécuté au moyen d'un hydrophone.

Pour l'interprétation des données de CVT enregistrés : les logiciels sont utilisés par ENAGEO : le Star Uphole. L'interprétation des CVT consiste en premier temps à une organisation des données par profondeur en leur affectant les numéros des enregistrements et les positions chanel. Une fois les traces de toutes les côtes enregistrées et rassemblées ensemble, nous procédons à pointer la première onde arrivée (première rupture). Les temps bruts obtenus sont corrigés pour les ramener à un offset zéro (la verticale), puis ils sont représentés en fonction des profondeurs pour avoir une courbe temps-profondeurs à partir duquel on peut tirer les vitesses longitudinales et les épaisseurs des différentes couches de la zone altérée, ainsi que la vitesse de comblement (milieu rapide).

Sur le terrain l'observateur qui se charge de l'enregistrement des CVT peut faire un aperçu de toutes les traces enregistrées dans le trou en utilisant l'interface WZ, ce qui permet d'avoir une idée sur l'atteinte ou non du milieu consolidé. Ceci permettrait de proposer une prolongation immédiate du forage et éviter par conséquent une perte de temps inutile.

L'objet de ce chapitre est ainsi double : d'abord la maîtrise du logiciel et après son application à un cas réel.

**III.2. Etude d'un cas pratique****Présentation du bassin NGH-3D:**

La zone d'étude **NGHA-3D-2020** est délimitée par les coordonnées suivantes (NS1959 UTM31) ; voir Figure III.1 (situation de la zone d'étude)

<b>ID</b>	<b>EASTING</b>	<b>NORTHING</b>
<b>1</b>	<b>603313</b>	<b>3675739</b>
<b>2</b>	<b>603934</b>	<b>3647127</b>
<b>3</b>	<b>585595</b>	<b>3646778</b>
<b>4</b>	<b>585564</b>	<b>3650247</b>
<b>5</b>	<b>550119</b>	<b>3650195</b>
<b>6</b>	<b>552673</b>	<b>3658088</b>
<b>7</b>	<b>546634</b>	<b>3669506</b>
<b>8</b>	<b>550158</b>	<b>3673089</b>
<b>9</b>	<b>561943</b>	<b>3673495</b>
<b>10</b>	<b>561938</b>	<b>3676064</b>
<b>11</b>	<b>603308</b>	<b>3675845</b>
<b>12</b>	<b>603303</b>	<b>3675927</b>

**TABEAU III. 1 : Les coordonnées situation de la zone d'étude**

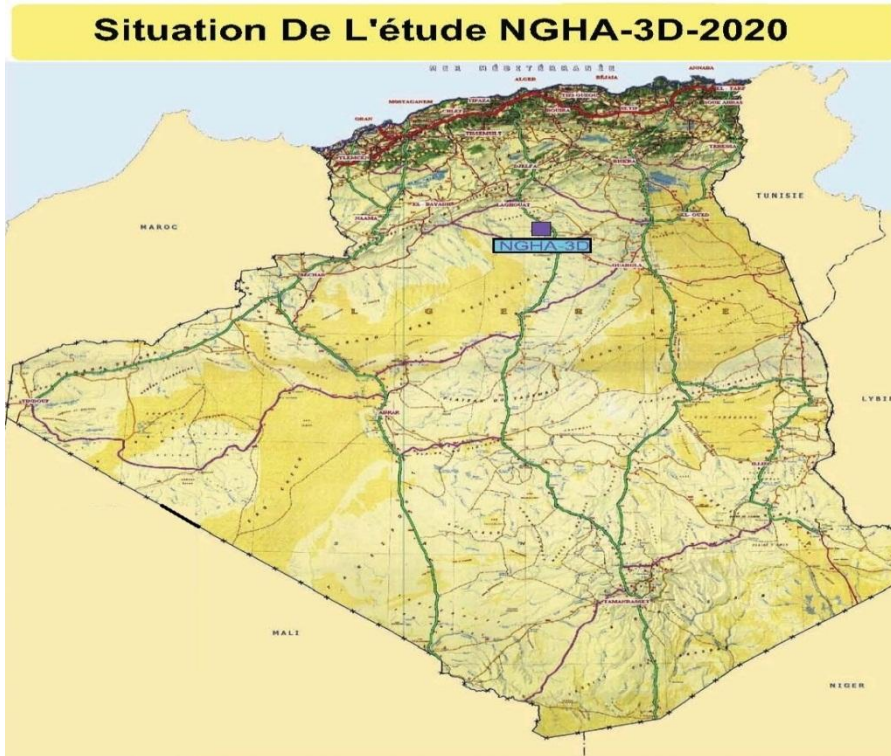
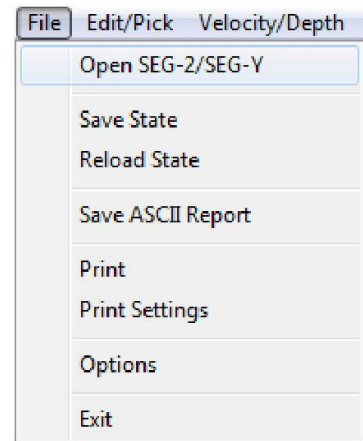
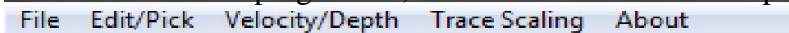


FIGURE III. 1: situation de la zone d'étude

### III.3 Logiciel Star Uphole

#### III.3.1 Description du logiciel

Lors du lancement du programme, les menus suivants sont disponibles:



#### Barre de menu :

Le menu du logiciel est défini comme suit :

**File** : Permet de charger un set de données de Uphole, permet d'enregistrer ou de sauver le projet en court, ainsi que l'impression des résultats.

**Save State** : L'utilisateur peut sauver ses pointés et sa géométrie en utilisant l'option Save State dans le menu File.

Ainsi, il pourra recharger son travail en cours à l'aide de l'option **Loa State** du même menu File.

**Save Ascii Report** : L'utilisateur peut sauver l'ensemble des informations (Géométrie, pointés, temps verticaux corrigés, interprétation, header) dans un fichier texte à l'aide de la fonction Save Ascii Report dans le menu File.

**Prient et Print Settings** : L'utilisateur peut sauver et imprimer sont rapport à l'aide du menu Print et Print Settings situés dans le menu File.

Le menu **Print Setttings** permet d'ajuster les échelles pour la géométrie, pour le temps et pour l'amplitude des traces ainsi que la grille des temps.

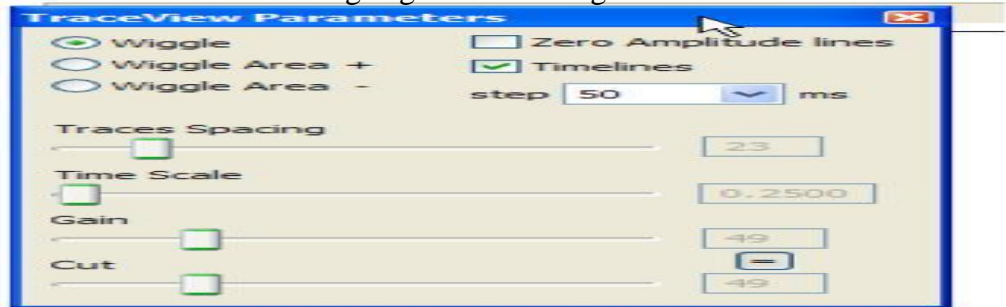
Il permet également de choisir le mode d'affichage ainsi que la visualisation de l'ensemble des traces ou uniquement les traces choisies par l'utilisateur.

Le menu **Print** : permet quant à lui de renseigner le header du rapport et d'imprimer ce dernier.

**Edit/Pick** : Permet d'afficher les données et de pointer les premières arrivées.

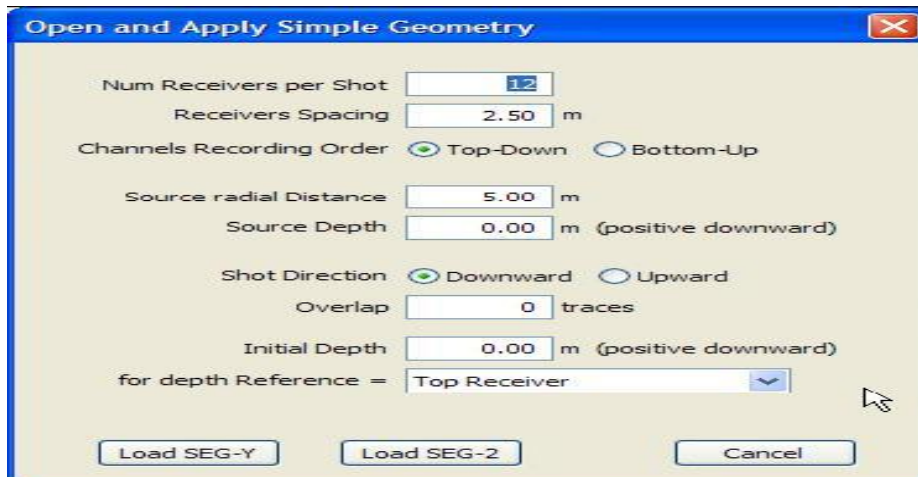
**Velocity/Depth** : Permet de passer en mode temps / profondeurs et de finaliser l'interprétation des données.

**Trace scaling** : Ouvre la fenêtre du dialogue gérant l'affichage des traces.



**About** :

Regroupe les informations sur le programme.



### III.3.2 Procédure de l'interprétation

L'interprétation commence par la commande **Menu File Open SEG-2/SEG-y** : Ce menu permet de charger des fichiers acquis lors des mesures Uphole.

L'utilisateur doit alors renseigner le logiciel avec les différentes valeurs :

- **Source radial Distance** : Valeur à rentrer en mètre par l'utilisateur indiquant la distance horizontale entre la tête de forage et le point source.
- **Source Depth** : Valeur à rentrer en mètre par l'utilisateur indiquant la profondeur du point source.
- **Number of receiver per shot** : Valeur à rentrer en nombre de capteur pour un enregistrement.

- **Receiver Spacing** : Valeur à rentrer en mètre correspondant à la distance verticale entre deux capteurs successifs pour un même tir.
- **Channels recording order** : Ordre des capteurs pour un même tir. Si le capteur avec le plus petit numéro de channel est en haut, choisir Top-Down, si le capteur avec le plus petit numéro de channel est en bas dans le forage, choisir Bottom-Up.
- **Shot direction** : Ordre des différents tirs. Si le premier tir est enregistré avec les capteurs en haut du forage, choisir Downward, si le premier tir est enregistré avec les capteurs en bas du forage, choisir Upward.
- **Overlap** : Nombre de channel se recouvrant d'un tir au tir suivant.
- **Initial Depth** : Valeur à rentrer par l'utilisateur en mètre indiquant la profondeur du capteur de référence pour le premier tir.
- **Depth Reference** : Capteur de référence pour la profondeur. Si la profondeur du capteur supérieur est connu, choisir Top Receiver, si la profondeur du milieu du dispositif est connu, choisir Middle of Receiver Group, si la profondeur du capteur du fond est connu choisir Bottom of receiver.

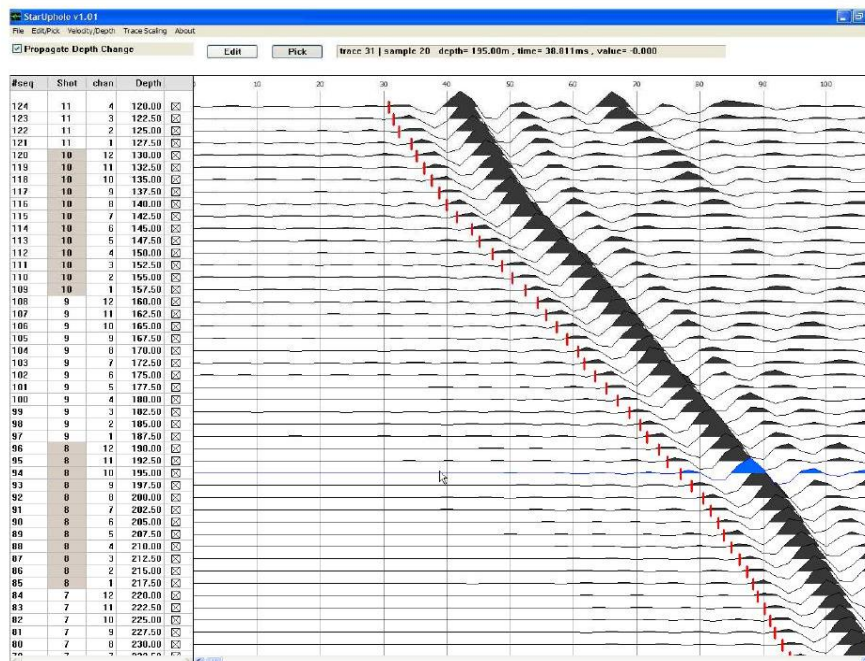
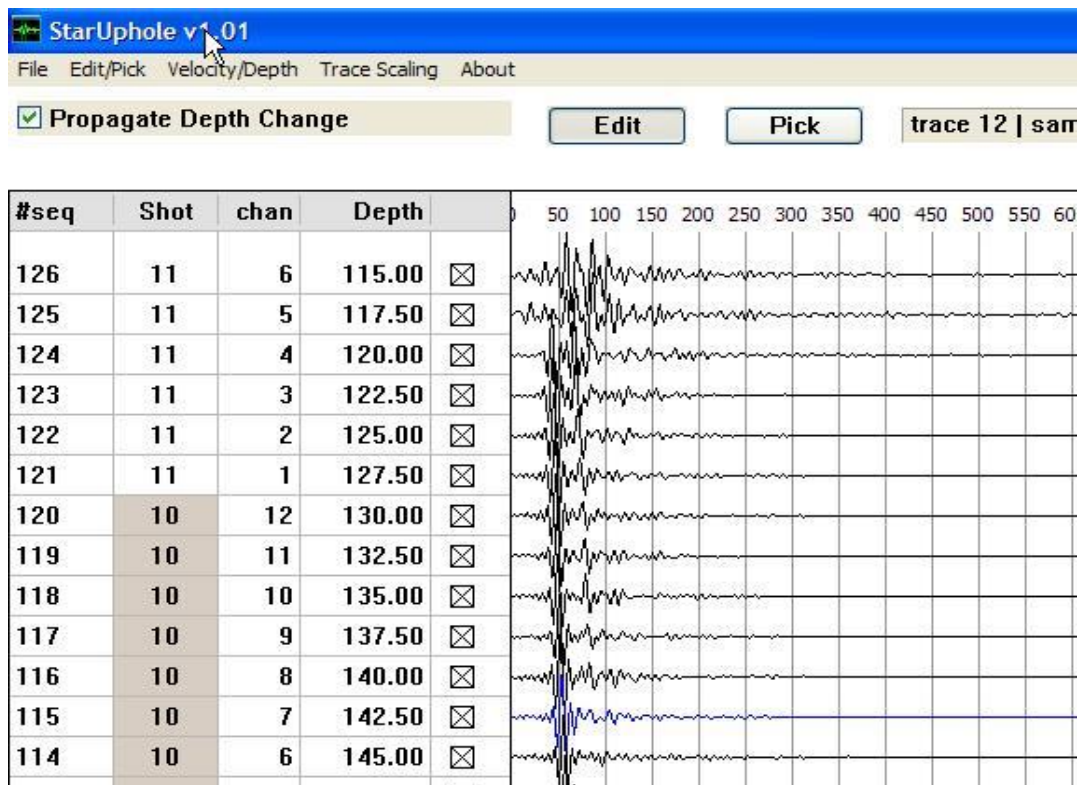
Une fois l'ensemble des champs renseignés, l'utilisateur peut importer une liste de fichier **SEG-2** ou une liste de fichier **SEG-Y** en cliquant sur les boutons **Load SEG-Y** ou **Load SEG2**.

Après la sélection des fichiers SEG-Y ou SEG-2, le logiciel affiche l'ensemble des traces pour tous les tirs avec la géométrie recalculée.

L'utilisateur peut alors :

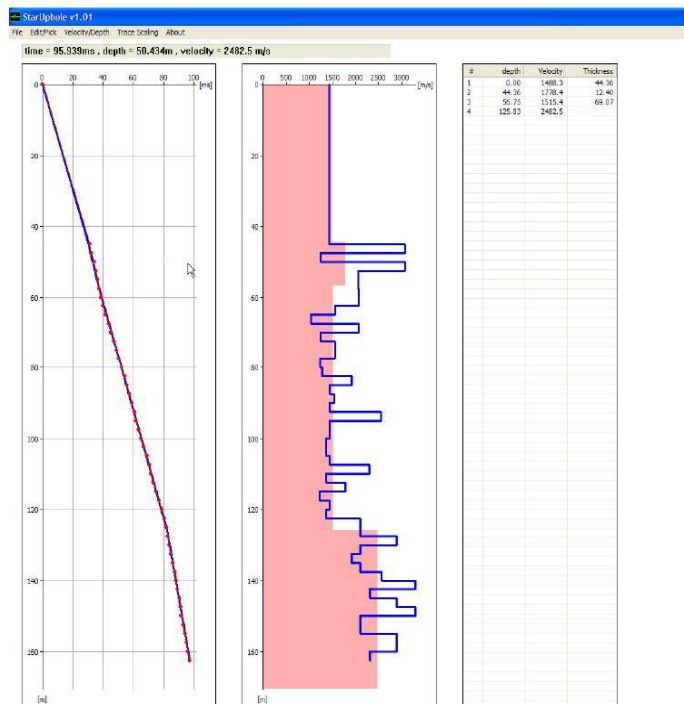
- Directement pointer les premières arrivées,
- Corriger manuellement les profondeurs en cliquant sur les valeurs dans la colonne Depth, (Les traces sont automatiquement retriées lors des changements de profondeur),
- Changer les paramètres d'affichage à l'aide du menu Trace Scaling.
- Dans le mode Edit, l'utilisateur peut choisir les traces à conserver et les traces à éliminer,
- Dans le mode Pick, seules les traces choisies sont affichées.





Une fois l'ensemble des traces pointées, l'utilisateur peut cliquer sur le menu Velocity/Depth pour afficher la courbe temps/profondeur et finaliser l'interprétation en terme de couche WZ. Les couches sont choisies en cliquant sur la courbe temps profondeur et l'interprétation se crée automatiquement en tenant compte de l'offset de la source par rapport au puits. En bleu est également affiché la vitesse d'intervalle fournissant un control sur la qualité de l'acquisition des données et sur la qualité de l'opération de pointé.





Cette partie d'expliquer une permet méthodologie et une maîtrise du logiciel Uphole et ses applications. Nous allons présenter par la suite une application des sondages géophysiques.

**Equipe forage**

Le but principal de cette équipe est de déterminer les caractéristiques de la zone altérée WZ, pour le calage des corrections statiques. Cette équipe base sur des cartes fournées par l'équipe Mesa qui comporte les cordonnées des points CVT à réalisés.

**Description du programme des carottages**

Dans programme 21\_NGHA-3D on a 99 carottages ont été exploité sur l'ensemble de l'étude prévus dans programme 21\_ NGHA-3D (**Figure III .2**).

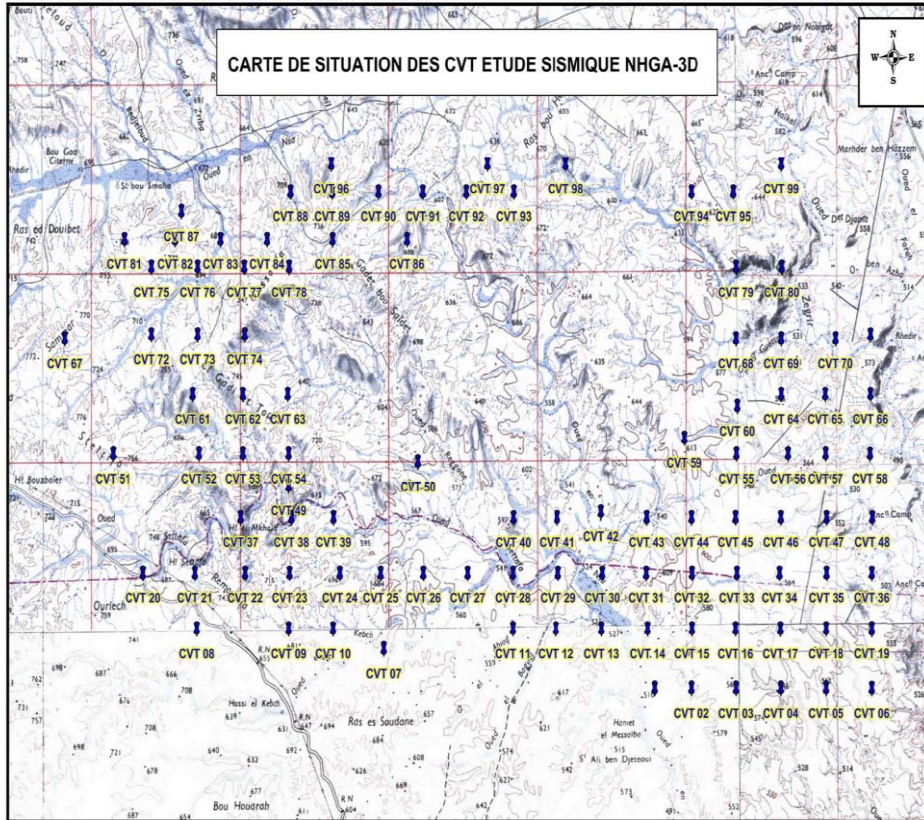


FIGURE III. 2 :Description du programme de carottage

1.Présentation des différentes équipes et leurs tâches:

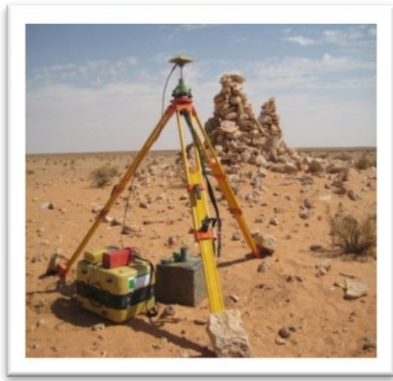
A. Equipe Topographie :

Le démarrage des travaux de topographie a eu lieu dans de bonnes conditions ; vu le positionnement proche de (zipper 1+ zipper 2) de l'étude avec un bon matériel et un personnel expérimenté (Photos 1).

Ces travaux ont commencé avant le début du zonage et avant le début des travaux labo réflexion.



PHOTOS 1: Equipe topographie

**B. Equipe GPS ( Photos 2 ) :**

PHOTOS 2: Equipe GPS

**Réseau GPS :**

Dans le but de faire le calage de l'étude et d'entamer le levé et l'implantation en mode RTK (Real Time Kinematic) du programme 2014 Sud RBL -3D, un réseau GPS (Global Positioning System) de 42 points dont 27 nouveaux point GPS a été établi au niveau du département topographique de la direction opérations Exploration de SONATRACH et communiqué au département topographique d'ENAGEO pour son mise en œuvre.

Une équipe GPS s'est déplacée sur le terrain où elle a commencé au départ par une reconnaissance des points GPS déjà existants dans la région.

**2.Observations du terrain :**

Les périodes d'observations sont planifiées la veille de chaque sortie sur le terrain à l'aide du logiciel (mission planning), choix de la plage de temps qui présente le maximum de satellites visibles et le plus faible PDOP.

Un cut-off angle de  $15^\circ$  a été pris pour l'enregistrement des données GPS (angle de hauteur au-dessus auquel les satellites sont pris en considération pour l'enregistrement. Le temps d'enregistrement des récepteurs est réglé à 15 secondes d'où 240 enregistrements par heure d'observation

**Traitement :**

Un premier traitement est effectué quotidiennement avec le TGO V.1.5 et le SKI-Pro, puis après analyse des résultats, un second traitement y est décidé en cas d'anomalies (saut de cycle, mauvais RMS, élimination éventuelle des données de certains satellites).



**C) Equipe forage (Photo 3)**

Le but principal de cette équipe est de déterminer les caractéristiques de la zone altérée WZ, pour le calage des corrections statiques. Cette équipe base sur des cartes fournées par l'équipe Mesa qui comporte les cordonnées des points CVT à réalisés.



**PHOTO 3: Appareil de forage**

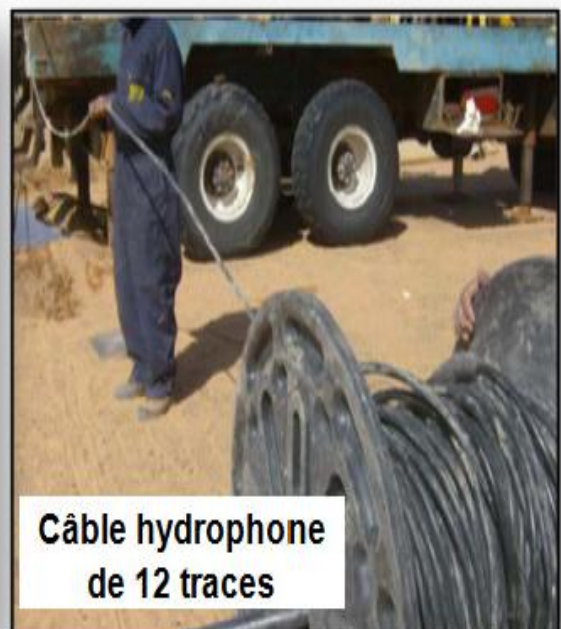
**D) Equipe Laboratoire et installation de câble (photos 4 et 5)**

**PHOTO 4: Labo WZ(Géode)traces**

**PHOTO 5: Câble hydrophone Traces**



**Labo WZ (Géode)**



**Câble hydrophone de 12 traces**

Dix (10) vibrateurs de type Sercel Nomad 65 ont été fournis dans l'intention de déployer sur les lignes deux sets de quatre (04) vibrateurs simultanément avec deux (02) vibrateurs de secours.

Pour cette campagne sismique, deux (02) sets de vibrateurs ont été utilisés pour la génération de l'énergie durant l'exploitation des VP's, composés de quatre (04) vibrateurs et un vibrateur de secours ; chacun, travaillant alternativement sur deux lignes sources différentes. Les vibrateurs sont de type SercelNomad avec un hold down weight de 62000 lbs équipés d'une unité électronique DPG et d'un système GPS pour le positionnement des vibrateurs (**Photo 6**).



**PHOTO 6:** Installation des Vibrateurs

Ces vibrateurs sont composés de trois (03) parties :

- Partie mécanique :
- Partie Moteur :
- Partie électronique:

La boîte de tir (manuel et automatique) alimenté par le câble bobé (boitier). Deux (02) radios (01 pour la communication + 01 pour la connexion labo PSS).

Récepteur GPS (Thales), c'est le positionnement du vibro qui connecte avec le champignon (GPS) équipé de trois (03) antennes (01 pour la communication radio + 01 pour la réception du signal émit par le labo + 01 pour le différentiel (correction) avec le GPS) (**photo 7**).

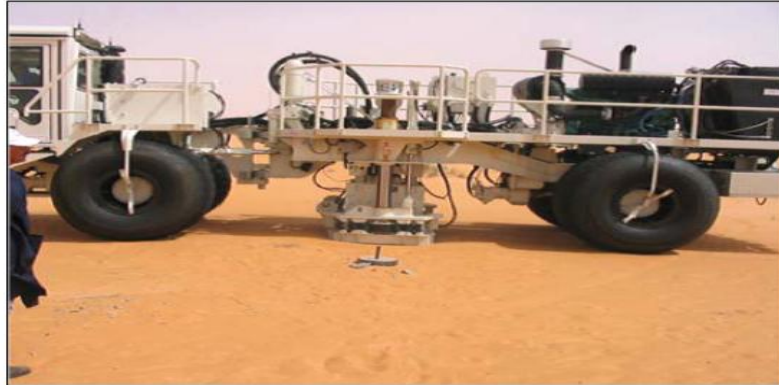


PHOTO 7: Vibrateur en cours

Généralement les vibrateurs sont positionnés sur les lignes sources très proches des piquets topo à l'exception des endroits où nous avons la présence des obstacles, les piquets sont shiftés suivant la difficulté du terrain.

Quand il n'est pas possible de respecter les caractéristiques des nappes de vibrateurs pour des raisons d'accès, des nappes alternatives (nappes groupés) sont permises et notées dans le rapport observer, aussi en absence des données DGPS pour certains VP's dû au mauvais PDOP, les traces de bases plates des vibrateurs sont levés en mode RTK au plus tard la journée suivante.

Toutes les nappes de vibrateurs sont matérialisées sur le terrain par des fanions de couleur différente d'un VP à l'autre ceci pour chaque position de vibrateur, l'utilisation d'un standing sweep (sans move up) aurait été très favorable pour le bon positionnement des vibrateurs dans un terrain mixte (plat et dunaire), et par conséquent assuré le respect des caractéristiques de la nappe prédéfinie (inter-vibros).

Chaque vibrateur est doté d'un récepteur GPS (Trimble DSM GPS), une station de base est positionnée sur un point connu qui est levé au préalable par le topographe, il est choisi sur un terrain relativement haut pour permettre une bonne transmission des corrections différentielles aux vibrateurs. Ce système est un moyen de base pour la collection des coordonnées en utilisant le DGPS.

Les coordonnées DGPS des bases plates d'un VP transmises à partir des vibrateurs vers le labo réflexion sont représentées sur un écran en fonction des coordonnées topographiques post-plot, à la fin de l'enregistrement de chaque VP, ces coordonnées sont sommées pour donner le barycentre de la nappe de vibrateur.

La différence entre les deux positions (post-plot et DGPS) est affichée sur l'écran, et tout VP présentant des décalages non conformes à la norme ou ne répondant pas à l'exigence de qualité est mis en évidence pour qu'il soit repris.

**E) : Laboratoire d'enregistrement (Photos 8) :**

L'équipe EGS 170 dispose d'un Labo télémétrique d'acquisition terrain de type Sercel 428, sa capacité d'enregistrement peut atteindre 10 000 Traces, doté :

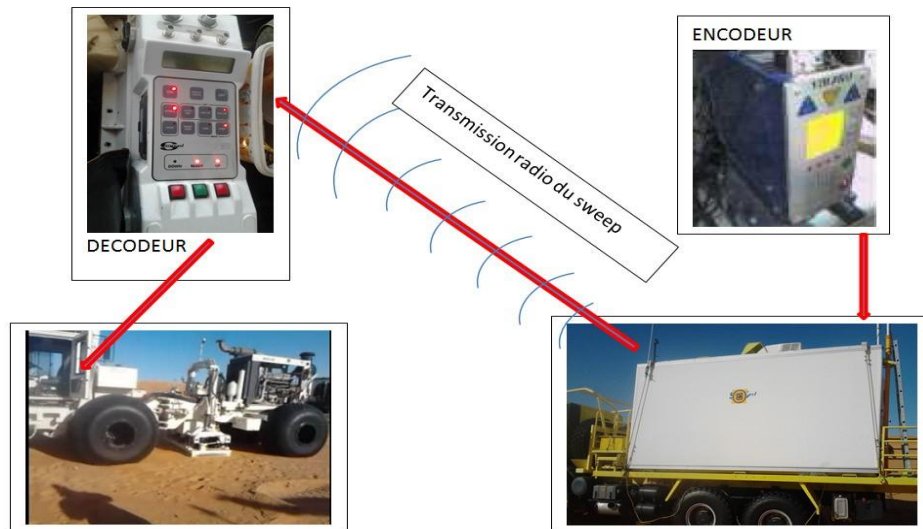
Les instruments d'enregistrement sont installés dans une cabine climatisée montée sur un camion. Les instruments de périphériques inclus dans le labo de réflexion sont :

- Un ploter digital.
- Deux lecteurs de bandes cartridges 3592, format SEG D 2.5 bytes,
- Un générateur de sweep VE 432 DPG (Digital Pilot Generator) qui permet de contrôler en continu les paramètres de tous les sweeps envoyés dans le sous-sol en temps réel (phase, force, distorsions, ...).
- Trois (03) monitors sont disponibles au niveau du labo permettant de visualiser plusieurs paramètres et plusieurs graphes en relation avec la préparation, le contrôle et l'enregistrement des VP's (positionnement des vibrateurs en post plot et DGPS, contrôle de la ligne, contrôle PSS,...) .
- Un écran est réservé exclusivement pour le SQCPPro qui permet de voir le data sismique et de visualiser tout les VP's exploités en temps réel, en mettant en évidence les traces.

Les informations concernant la production en matière de sweeps et de positionnement des vibrateurs sont reportés en fin de journée sur un support magnétique.

Le traitement de ces données à l'aide des programmes des logiciels de contrôle permet de tracer des graphes sous forme d'histogrammes (analyse statistique) ou sous forme de courbes linéaires, du premier au dernier sweep envoyé dans le sous-sol. Ces graphes concernent la phase, l'amplitude, le peak-force et le pourcentage des distorsions harmoniques.

Chaque soir les données DGPS sont envoyées au bureau topo pour traitement et analyse avant de les inclure dans les données du Mesa (calcul de couverture, calcul des fichiers SPS) et les données du ProMax (calcul des fichiers SPS, calcul des corrections statistiques et traitement sismique), voir **Photos 8**.



PHOTOS 8: Transmission radio du sweep

**Dispositif d'enregistrement**

En utilisant une machine de forage 'Western Star IN 61' l'équipe a foré un total de **4874,00** mètres et un total de **4390,00** mètres enregistré à l'aide du laboratoire 'Geoods Es 3000' et un hydrophone de type 'Geometrics's model' avec 12 canaux et l'échantillonnage des profondeurs d'enregistrement est de 2.5m et une source marteau (chute de poids) avec un offset de 03 mètres pour le dispositif d'enregistrement (voir Figure III.3).

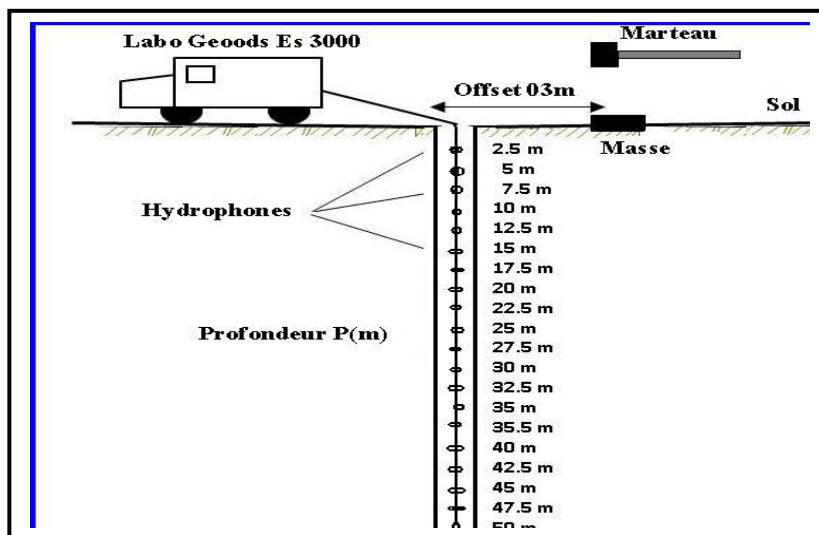


FIGURE III. 3 : Dispositif d'enregistrement

Quand le trou est foré, le chapelet d'hydrophones branchés au labo d'enregistrement est descendu au fond à la profondeur désirée. Le tir est effectué à l'aide d'un marteau qui tape un plaque métallique posée sur un géophone enterré, branché aussi au labo, il d'éclanche l'enregistrement et délimite le point t=0. Le résultat est enregistré dans un fichier d'extension .DAT (en format binaire). Le chapelet est ensuite remonté de 2.5m pour enregistrer un autre tir, et ainsi de suite jusqu'à balayer tout le trou. Les fichiers enregistrés, ainsi



que les canaux de chaque trace mentionnés dans le rapport CVT sont traités avec le logiciel UPHOLE pour déterminer le nombre, les vitesses et les profondeurs des couches de la zone altérée.

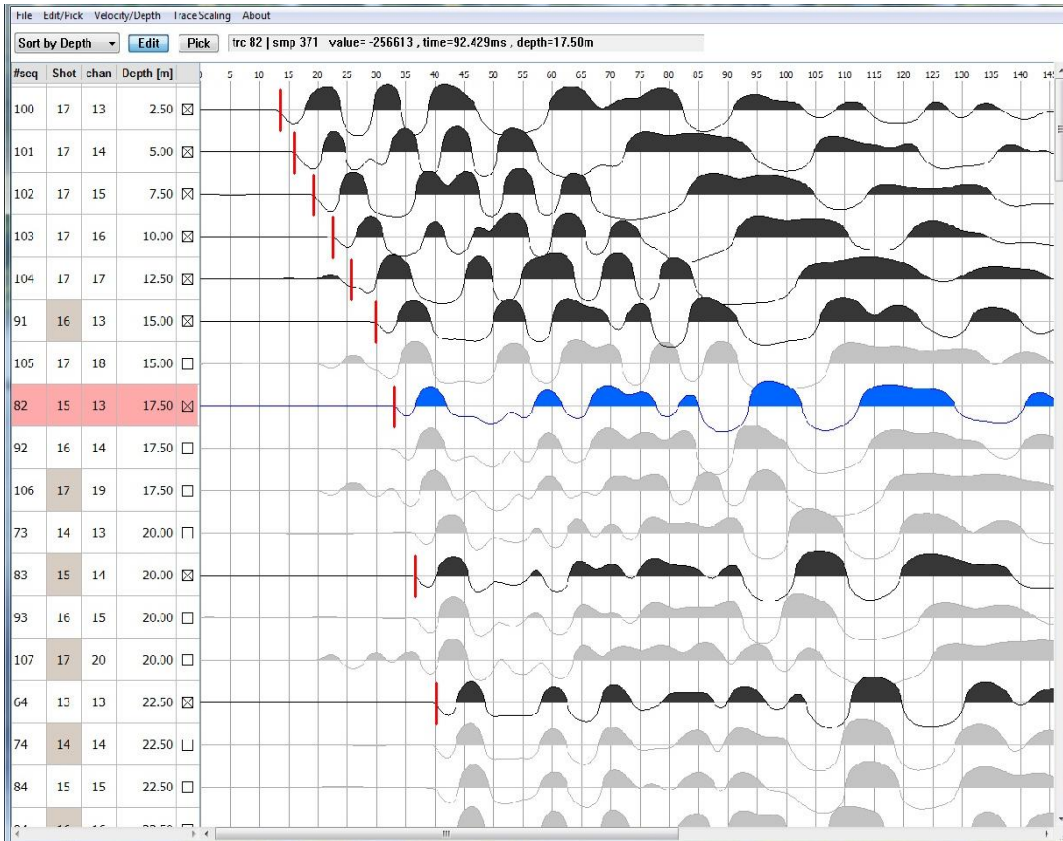


FIGURE III. 4 : Film CVT enregistré

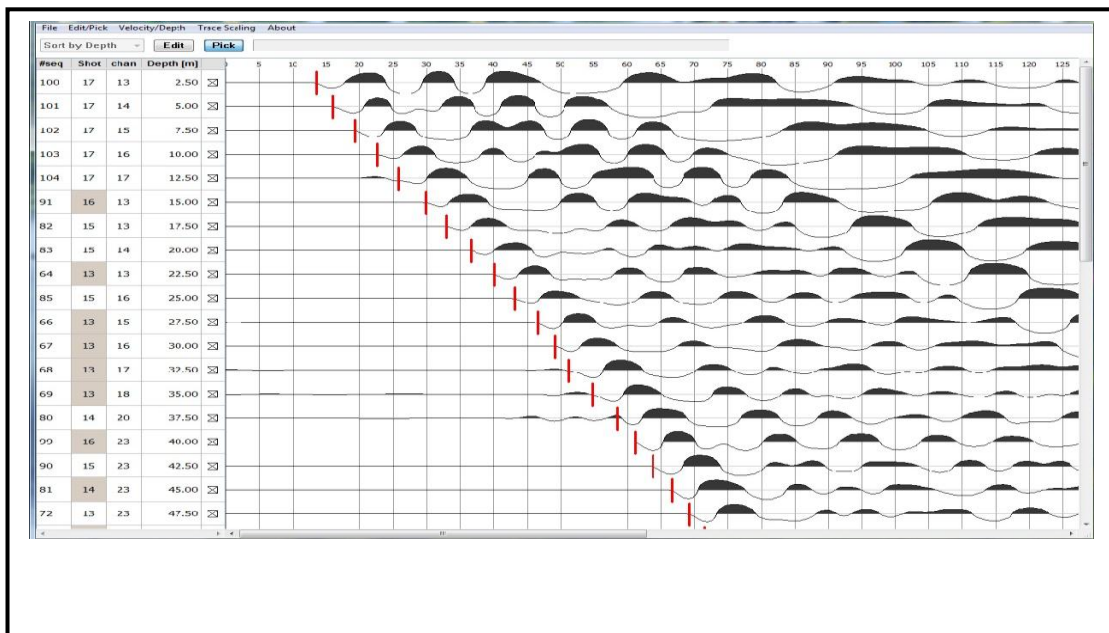
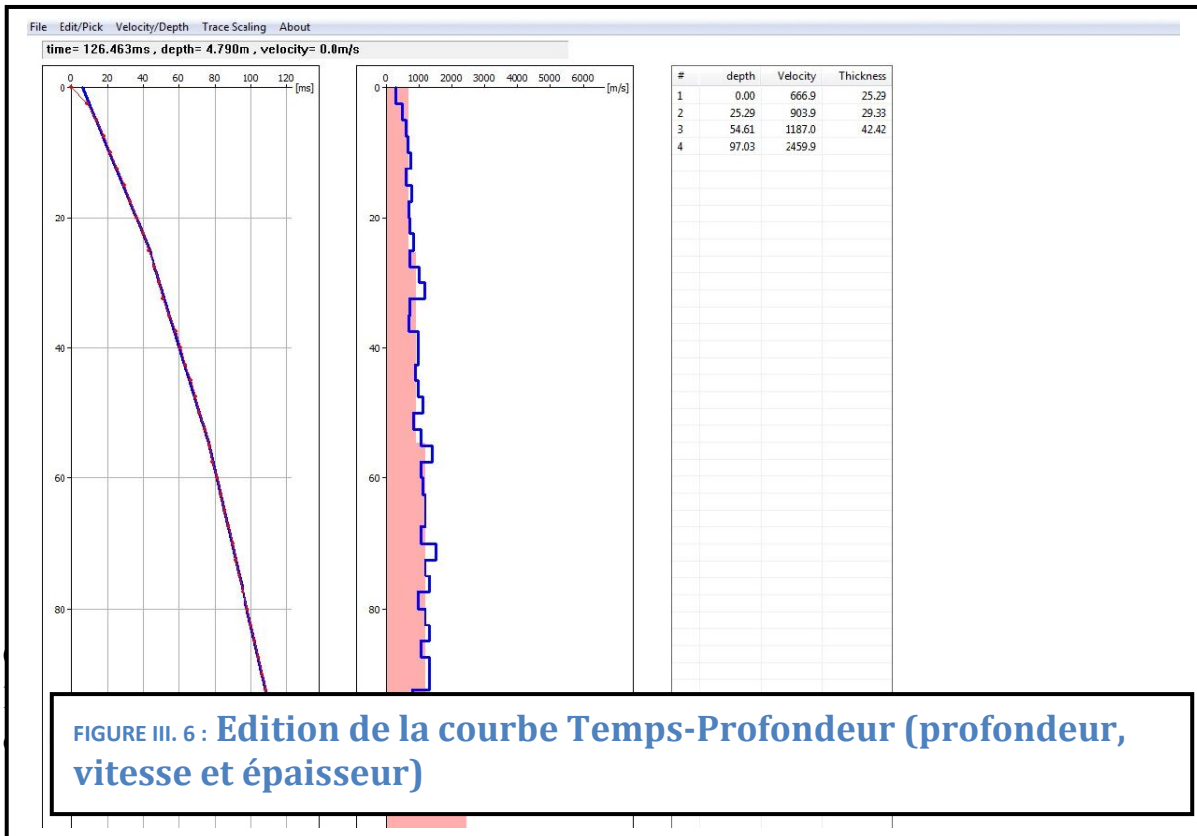


FIGURE III. 5: Le pic des premières arrivées



Les tableaux suivants III.2 montrent les vitesses CVT avec la nature des différentes couches en profondeur.

TABLEAU III. 2 : Les vitesses CVT et la nature des couches

N°	Line	Station	X	Y	Z	H0	H1	V0	V1	Vc	Natur de coche
<b>CVT 01</b>	1099	6369	587762,30	3647931,00	533,02	2,50	2,96	723,20	1181,10	2407,00	argiles
<b>CVT 02</b>	1099	6451	590224,40	3647934,21	547,13	2,50	3,28	797,00	1103,60	2902,60	argiles
<b>CVT 03</b>	1099	6551	593224,33	3647930,60	569,63	2,50	3,33	650,90	1313,00	2234,00	argiles
<b>CVT 04</b>	1099	6651	596224,35	3647934,23	543,60	2,54		612,60		1796,10	Sable humide
<b>CVT 10</b>	1309	5650	566194,39	3651084,14	610,24	3,35		589,50		3206,90	Sable humide

<b>CVT 11</b>	1309	6052	578254,82	3651084,22	551,76	5,35		861,00		3178,00	marnes
<b>CVT 18</b>	1309	6752	599254,43	3651084,22	558,96	4,17		933,80		3279,70	marnes
<b>CVT 19</b>	1309	6855	602344,44	3651084,22	544,11	5,09		1036,80		2782,90	Sable humide
<b>CVT 20</b>	1505	5225	553444,40	3654024,20	689,05	3,36		581,90		2268,10	Sable humide
<b>CVT 28</b>	1505	6052	578254,41	3654024,19	551,04	2,50	3,08	480,60	915,60	2296,50	Sable humide
<b>CVT 29</b>	1505	6147	581284,39	3654024,19	552,97	5,08	11,76	639,00	1593,50	3391,30	Sable humide
<b>CVT 30</b>	1505	6252	584254,40	3654024,19	534,71	12,55		1090,40		2140,40	marnes
<b>CVT 43</b>	1701	6351	587224,00	3656964,00	559,00	10,61		976,20		2531,80	marnes
<b>CVT 44</b>	1701	6451	590224,40	3656964,20	597,70	2,28	18,01	484,80	1507,20	3218,00	Sable humide
<b>CVT 45</b>	1701	6550	593194,42	3656964,15	602,85	3,28		695,00		2144,30	Sable humide
<b>CVT 46</b>	1701	6651	596224,38	3656964,20	580,09	5,38		1112,10		2913,20	marnes
<b>CVT 47</b>	1701	6753	599284,38	3656964,21	560,19	12,89		1625,40		2492,40	gres
<b>CVT 48</b>	1701	6856	602374,38	3656964,19	544,18	2,55		1277,40		2689,60	gres
<b>CVT 49</b>	1813	5551	563224,40	3658644,19	649,52	3,45		768,20		2758,80	marnes
<b>CVT 53</b>	1925	5448	560134,40	3660324,20	651,90	5,25		1699,00		3237,20	gres
<b>CVT 54</b>	1925	5551	563224,40	3660324,20	657,00	5,15		892,60		3547,20	marnes
<b>CVT 55</b>	1925	6552	593254,41	3660324,14	598,06	4,54		784,70		2837,60	marnes
<b>CVT 56</b>	1925	6667	596704,45	3660324,18	572,95	2,93		801,20		2430,60	marnes
<b>CVT 57</b>	1925	6751	599224,39	3660324,21	562,29	3,19		838,70		2537,00	marnes
<b>CVT 58</b>	1925	6851	602224,34	3660324,22	533,72	3,34		614,50		1929,20	argiles
<b>CVT 59</b>	1981	6435	589744,01	3661164,20	610,00	3,10	5,94	819,90	1508,00	2591,60	marnes

<b>CVT 60</b>	2093	6554	593314,38	3662844,22	592,70	3,19		758,40		2532,60	marnes
<b>CVT 61</b>	2135	5336	556774,40	3663474,20	712,10	2,68	7,09	624,80	1009,00	2387,90	Sable humide
<b>CVT 62</b>	2135	5448	560134,40	3663474,20	696,30	4,38	7,06	720,70	1637,80	3610,60	Sable humide
<b>CVT 63</b>	2135	5549	563164,38	3663474,17	666,10	2,92		664,70		2837,30	Sable humide
<b>CVT 70</b>	2331	6773	599884,40	3666414,20	563,80	4,16		1003,70		2764,80	Sable humide
<b>CVT 71</b>	2345	6852	602254,40	3666624,10	534,60	11,71		1826,00		2950,60	gres
<b>CVT 72</b>	2345	5244	554014,63	3666624,10	728,72	2,60	6,58	710,00	1545,10	2855,50	Sable humide
<b>CVT 73</b>	2345	5347	557104,40	3666624,20	731,20	2,51		650,90		2420,20	Sable humide
<b>CVT 74</b>	2345	5452	560254,40	3666624,20	695,90	3,42		801,10		2012,60	marnes
<b>CVT 75</b>	2583	5244	554014,41	3670194,19	722,64	3,75	14,07	430,40	1540,50	5257,40	Sable humide
<b>CVT 76</b>	2583	5341	557104,38	3670194,25	710,11	3,35	8,93	816,90	1703,60	2960,80	Sable humide
<b>CVT 77</b>	2583	5451	560224,45	3670194,29	715,70	8,43		777,50		3127,10	marnes
<b>CVT 78</b>	2583	5552	563254,41	3670194,20	727,42	7,29	14,00	898,00	1856,60	3136,50	Sable humide
<b>CVT 79</b>	2583	6551	593224,15	3670194,07	576,29	9,63		1145,20		1982,40	Sable humide
<b>CVT 80</b>	2583	6653	596284,43	3670194,15	580,92	2,62		801,20		3276,00	marnes
<b>CVT 81</b>	2681	5183	552184,38	3671664,25	748,63	9,10	22,13	643,90	1528,20	2595,60	Sable humide
<b>CVT 82</b>	2681	5297	555604,40	3671664,20	721,67	2,70	5,56	604,80	1754,20	2466,90	Sable humide
<b>CVT 83</b>	2681	5398	558634,44	3671664,21	702,86	5,78		859,70		2407,00	marnes
<b>CVT 84</b>	2681	5502	561754,46	3671664,14	734,88	9,32		726,90		2503,40	Sable sec
<b>CVT 89</b>	2849	5648	566134,39	3674184,17	711,05	9,62		1351,50		2636,50	gres
<b>CVT 90</b>	2849	5751	569224,40	3674184,22	654,65	7,74		733,40		2046,90	Sable humide

<b>CVT 91</b>	2849	5851	572224,35	3674184,17	627,91	3,94	19,98	800,50	1192,30	2905,20	marnes
<b>CVT 92</b>	2849	5948	575134,40	3674184,10	651,70	1,98	9,00	513,80	1279,00	2743,70	argiles
<b>CVT 93</b>	2849	6054	578314,34	3674184,15	664,88	4,90		681,70		2772,20	argiles
<b>CVT 96</b>	2947	5646	566074,46	3675654,22	682,76	3,14	7,57	578,50	1317,20	3064,70	argiles
<b>CVT 97</b>	2947	5995	576544,41	3675654,26	663,50	5,77		893,40		2521,70	marnes
<b>CVT 98</b>	2947	6170	581794,42	3675654,27	631,68	4,43		757,20		1924,10	marnes
<b>CVT 99</b>	2947	6652	596254,41	3675654,16	604,25	3,44		867,40		2688,60	marnes

V1: vitesse des ondes S

H1:L épaisseur de la couche

La vitesse des ondes sismiques dépend de nombreux paramètres :

De manière simple, un changement dans la nature des roches provoque une variation brusque de la vitesse de propagation des ondes longitudinale.

L'interprétation des résultats des CVT réalisé dans la zone d'étude nous a permis de déduire qu'une variation brusque de vitesse de propagation des ondes sismiques correspond au passage d'un matériau à un autre de composition différente.

Les résultats de l'interprétation des CVT ont permis de mettre en évidence trois couches principales, une quatrième couche est présentée localement (observée sur le premier CVT).

- La première couche WZ à un épaisseur varie de 0 à 22.1 m et une vitesse varie de 553 à 1687m/s.

- La deuxième couche WZ à un épaisseur varie de 4.6 à 46 m et une vitesse varie de 1101 à 2809 m/s.

- La troisième couche WZ à un épaisseur varie de 7 à 25.6 m et une vitesse varie de 1456 à 2948 m/s.

L'épaisseur de la WZ varie de 0 à 47.10 m.

La vitesse de comblement varie de 1711 à 2992 m/s.

Des inversions de vitesse évidente sont observées sur quelque CVT.

Un exemple d'une dromochrone d'un carottage VT réalisés dans ce projet est présenté dans l'annexe A.

# **Conclusions générales**

### IV. Conclusions générales

Les différents essais in situ en géotechnique ont vu une évolution croissante. Parmi ces essais, nous avons appliqué un cas d'étude pratique et théorique des prospections géophysiques. Notre étude permettra de connaître la nature des sols en profondeur, allant jusqu'à 50 mètres. En fonction de nature des couches, on définira les gisements à prendre en considération (gaz, pétrole ect.....)

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**



## Références bibliographiques

---

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. Brahim Farid. **Levé d'une coupe géologique détaillée, Prélèvement d'échantillons pour identification et essais mécaniques, prélèvement d'échantillons.**
2. revue française de géotechnique, étude géotechnique et reconnaissance des sols projet de dtu (n 22 presses ponts et chaussées)
3. Sylvain Pasquet. Apport des méthodes sismiques à l'hydrogéophysique : importance du rapport Vp/Vs et contribution des ondes de surface. Sciences de la Terre. Université Pierre et Marie Curie - Paris
4. Mari J. L, Arens G, Chapellier D. & Gaudiani P., Géophysique de gisement et de génie civil, chapitre6: la sismique de puits, Editions Technip, Paris
5. Jean-Luc Mari et Christophe Vergniault , Sismique en forage et diagraphies acoustiques
6. ETUDE GEOTECHNIQUE ET RECONNAISSANCE DES SOLS : Association Amicale des Ingénieurs Anciens Elèves de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées P. Habib
7. LES MÉTHODES GÉOPHYSIQUES ... Géophysique. Bordas, Paris, 186 p. CHAPEL P., 1980. Géophysique ... Géophysique appliquée, cours sur la gravimétrie.
- Revil, A., Jardani, A.: "The Self-Potential Method", 2013, Cambridge
- 8.cours online de géophysique du Pr D. Chapellier, Pr Jean-Luc Mari
- 9.Keary, P. et M. Brooks (1991). An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Scienti\_c Publications, 2e \_edn.
- 10.Richard LAGABRIELLE Ingénieur Civil des Mines Docteur ès Sciences Chef de la Division Reconnaissance et Mécanique des Sols Laboratoire Central des Ponts et chaussées
11. La propagation des ondes sismiques appliquee a la sismique C. Champollion (Aki et Richards, 1980 ; Chapman, 2004), de la géophysique appliquée (Sheriff et Geldart, 1995) ou de l'ingénierie géotechnique (Richart et al., 1970).
12. Contribution des méthodes géophysiques (sismique réfraction et électrique), à l'identification des corps sédimentaires piégés dans le remplissage lacustre des Brenets (Doubs, France) depuis la dernière glaciation Autor(en): Bouncristiani, Jean-François / Bichet, Vincent / Bossuet, Gilles
13. [www.abemfrance.eu](http://www.abemfrance.eu), [www.iris-instruments.com](http://www.iris-instruments.com), [www.sercel.com](http://www.sercel.com)•
- 14.DOCUMENT INERIEUR DE SONATRACK