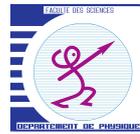




# UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

## FACULTE DES SCIENCES



DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

### MEMOIRE

Pour l'obtention du

MAITRISE DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
EN GEOPHYSIQUE APPLIQUEE

Option : Mines et Environnements

Intitulé

**ANALYSE DES RESULTATS DES SONDAGES REALISES A  
AMBATOVY DANS LE CADRE DU PROJET NICKEL-AMBATOVY**

Présenté par

**LALA HARIMANANA Fanomezantsoa**

Devant la commission d'examen composée de :

Président:	Madame RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo	Professeur Titulaire
Rapporteur:	Monsieur RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier	Docteur
Examineurs:	Monsieur RASOLOMANANA Eddy Harilala	Professeur
	Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien	Professeur

*le 27 décembre 2007*







UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES



DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

## MEMOIRE

Pour l'obtention du

MAITRISE DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
EN GEOPHYSIQUE APPLIQUEE

Option : Mines et Environnements

Intitulé

**ANALYSE DES RESULTATS DES SONDAGES REALISES A  
AMBATOVY DANS LE CADRE DU PROJET NICKEL-AMBATOVY**

Présenté par



Devant la commission d'examen composée de :

Président:	Madame RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo	Professeur Titulaire
Rapporteur:	Monsieur RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier	Docteur
Examineurs:	Monsieur RASOLOMANANA Eddy Harilala	Professeur
	Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien	Professeur

*le 27 décembre 2007*



## REMERCIEMENTS

Du fond du cœur, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire jusqu'à la phase finale de ce présent ouvrage. Je m'adresse plus particulièrement :

- à Madame RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo, Professeur Titulaire, chef de département de Physique qui a accepté de gâité de cœur de présider honorablement les membres de jury,
- à Monsieur RANAIVO-NOMENJANAHARY Flavien, Professeur, Responsable de notre formation et Directeur de l'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA), qui tout au long de la formation, n'a cessé de me conseiller, qu'il trouve ici toute ma gratitude et qui a bien voulu juger ce mémoire,
- à Monsieur RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier, Docteur, Chercheur Enseignant au Laboratoire de Géophysique Appliquée de l'IOGA qui m'a proposé le thème de ce mémoire et de ne pas avoir ménagé son temps pour m'encadrer tout au long de ce travail,
- à Monsieur RASOLOMANANA Eddy, Professeur, Enseignant Chercheur à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et au Laboratoire de Géophysique Appliquée de l'IOGA qui m'a fait le grand honneur de bien vouloir juger ce mémoire,
- à Monsieur RAOELISON Jean Mamisoa L. Ingénieur des mines et Responsable service Forage d'avoir agréer ma demande de stage au sein de la Société COLAS.
- aux corps enseignants et à tous les personnels de l'IOGA, mes collègues étudiants, ainsi qu'à toute l'équipe qui m'a assisté pendant les travaux sur terrain.
- à toute ma famille et mes proches qui m'ont soutenu moralement et financièrement sans me décourager tout au long de cette étude.

**SOMMAIRE**

**REMERCIEMENTS**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES PHOTOGRAPHIES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**LISTE DES ACRONYMES**

**LISTE DES ANNEXES**

**INTRODUCTION**

**PARTIE I: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

I.1- Cadre géographique

I.2- Contexte géologique

I.3- Descriptions des travaux

I.3.1- Historiques des activités

I.3.2- Bilan des travaux

**PARTIE II : METHODES ET MATERIELS DES SONDAGES DE RECONNAISSANCE**

II.1- Quelques définitions

II.1.1- Forage

II.1.2- Sondage

II.1.3- Les sondages de reconnaissance de sol

II.2- Objectifs

II 3- Matériels et méthodes

II.3.1- Machine de sondeuse

II.3.2- Les opérations spéciales

II.3.3- Besoin personnel

II.3.4: Mode opératoire

II.3- Essai de pénétration en place

II.4.1- Essai pénétromètre dynamique

II.4.1.1- Définition

II.4.1.2- domaine d'application et appareillage

II.4.1.3- Procédures en dehors du domaine de référence

II.2- Essai de pénétromètre S.P.T.

II.4.2.1- Généralité sur l'essai et appareillage

II.4.2.2- Mode d'exécution de l'essai

II.4.2.3- Précaution et domaine d'application

II.5- Méthode de prélèvement des sols

II.5.1- Généralité

II.5.2- Forages

II.5.3- Conservation et présentation des sols extraits

II.5.4- Préparation des piézomètres

II.5.4.1- Piézomètres

II.5.4.2- Implantation des piézomètres

### PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES FORAGES

III.1- Résultats des forages

III.1.1- Localisation

III.1.2- Résultats des S.P.T

III.1.3- Résultats des P.E.I.

III.1.4- Résultats des essais de pénétromètre

III.1.5- Résultats des carottages

III.2- Description et Interprétation

III.2.1- Descriptions des échantillons de S.P.T.

III.2.2- Description des échantillons de P.E.I

III.2.3- Description des échantillons des carottages

III.2.4- Coupe lithologique

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Localisation de la zone d'étude .....	2
Figure 2: Géologies régionales de la zone d'étude .....	4
Figure 3: couronne à grenaille.....	12
Figure 4: couronne à prismes de carbure de tungstène .....	12
Figure 5: Tube carottier à couronne diamantée .....	12
Figure 6: Pénétrromètre dynamique .....	17
Figure 7: Carottier S.P.T. ....	19
Figure 8: Double carottier .....	22
Figure 9: principe de piézomètre .....	24
Figure 10: Localisation des forages .....	25

## **LISTE DES PHOTOGRAPHIES**

Photographie 1: Machine sondeur .....	10
Photographie 2: Pompe à boue .....	11
Photographie 3: caisse de carotte .....	11
Photographie 4: tubages .....	13
Photographie 5: Equipements de machine sondeur.....	15

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: coupe lithologique de forage N°1.....	41
Tableau 2: coupe lithologique de forage N°2 .....	42
Tableau 3: coupe lithologique de forage N°3 .....	43
Tableau 4: coupe lithologique de forage N°4 .....	44

**LISTE DES ACRONYMES**

**Au:** Or

**Cr:** Chrome

**BD:** Bases des Données.

**BRGM:** Bureau de Recherche Géologique et Minière.

**EIE:** Etude Impact Environnementale.

**FTM:** Foiben- Taontsaritany Malagasy.

**IOGA :** Institut et Observatoire Géophysique d'Antananarivo.

**MSTGA:** Maîtrise des Sciences et Techniques en Géophysique Appliquée.

**PEI:** Prélèvement Echantillon Intact.

**Pt:** Palladium

**RN:** Route Nationale.

**RQD:** Rock Quality Designation.

**SPT:** Standard Penetration Test.

**LISTE DES ANNEXES**

**ANNEXES I:** FORMULE DE VALEUR DE RESISTANCE EN PENETROMETRE

DYNAMIQUE ..... VIII

**ANNEXES II:** TABLEAUX DES RESULTATS..... X

**ANNEXES III:** ROCK QUALITY DESIGNATION (R.D.Q)..... XIV

## **INTRODUCTION GENERALE**

Les sondages sont un moyen d'exploration qui permet de faire la reconnaissance du sous-sol. Ils peuvent également être un moyen d'exploitation des fluides qu'ils contiennent, de l'eau, d'hydrocarbure ou de l'élément d'une construction.

Dynatec est une société canadienne spécialisée dans le domaine minier. A Madagascar, elle s'intéresse à l'exploitation du nickel sous le nom de « Projet Nickel-Ambatovy ». De nos jours, la société est en phase d'exploration comme la construction de l'usine de traitement (port, barrage pipeline...). En effet, le projet nécessite une étude de reconnaissance du sol et de sous-sol.

Le choix de la méthode est conditionné par la nature des formations que l'on doit connaître ainsi que le but de ces projets. Comme pour toute démarche scientifique, les explorateurs doivent au préalable planifier leurs travaux. Il s'agit de localiser et de déterminer les zones favorables à la découverte de gisements prometteurs. Les explorateurs vont habituellement consulter les données recueillies lors de travaux réalisés sur le territoire. Ils utilisent aussi des forages ou sondages des reconnaissances pour identifier les structures de sous-sols contenues dans un site d'intervention. La reconnaissance des sols permet d'appréhender les problèmes qui peuvent se poser lors de l'étude d'un projet de construction. L'objectif principal de ces travaux vise la nature, les coupes lithologiques et les différentes formations des sous-sols.

Lors d'un stage effectué au sein de la société COLAS MADAGASCAR, qui a entrepris les travaux de forages du projet Nickel Ambatovy, quelques dizaines des forages ont été effectués.

Nous prenons quelques résultats de ce forage pour faire une analyse des résultats de forage et la structure géologique d'un terrain. Pour cela, ce présent mémoire comporte trois grandes parties :

- la première partie se rapporte sur la description de la zone d'étude, et les renseignements généraux sur le projet Nickel Ambatovy,
- la deuxième partie définit la méthodologie appliquée pour exécuter un forage de reconnaissance,
- enfin, la troisième et dernière partie consacre à la présentation et interprétation de quelques résultats de forages.

**PARTIE I**  
**PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

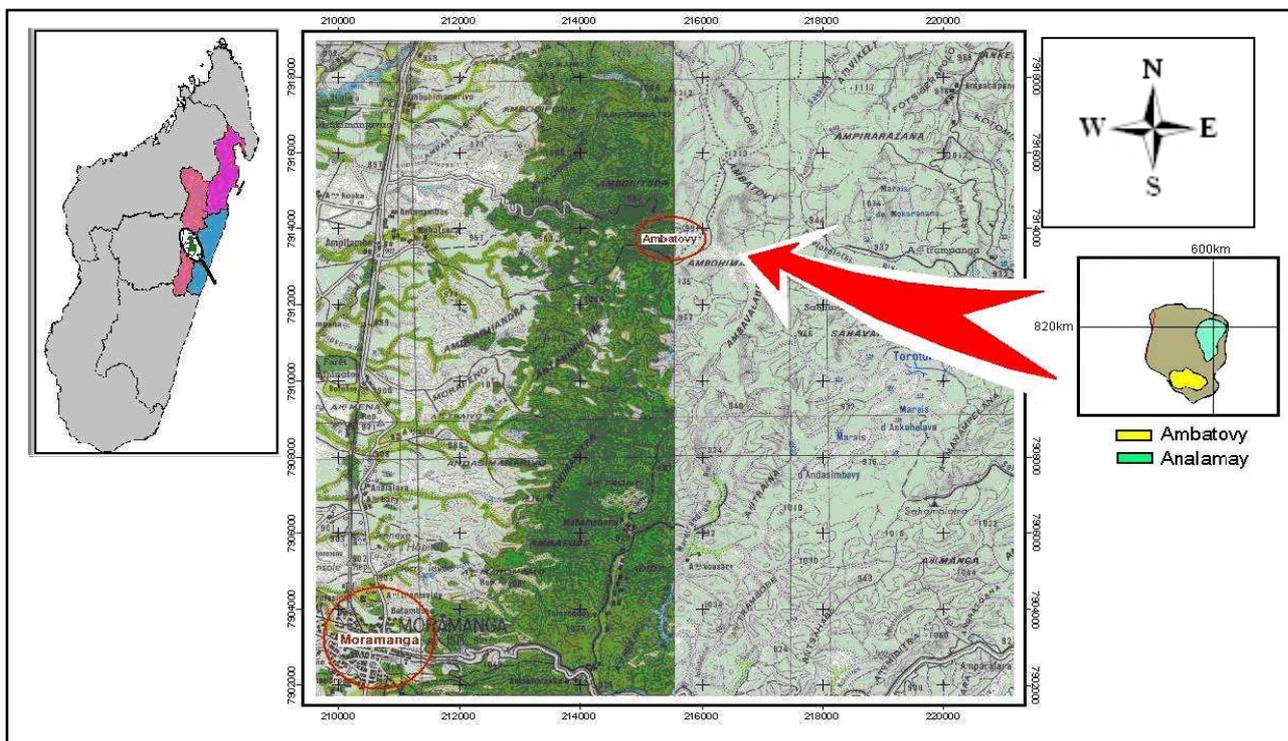
## I.1- Situation géographique

La zone d'étude appartient au gisement dit « Moramanga » car elle se trouve à 15km au Nord- Nord Est (N-NE) de cette ville, elle est située dans la partie forestière de l'Est de Madagascar, à 115km d'Antananarivo, sur la route Antananarivo menant à Toamasina (RN2). Elle se situe sur des crêtes à quelques kilomètres seulement du chemin de fer liant Antananarivo-Toamasina ou plus précisément l'axe nord reliant Moramanga - Lac Alaotra.

Cette zone est appelée géographiquement Ambatovy et Analamay, ces derniers se trouvent environ à 15km à l'Est du village d'Ampitambe et au cœur d'une vaste forêt primaire humide.

Morphologiquement, le relief est presque uniforme et mamelonné. Le gisement d'Ambatovy-Analamay fait partie du massif d'Antampombato culminant à 1206m à l'Est de la plaine de Mangoro qui doit avoir une altitude moyenne de 800m. La dénivellation moyenne est de l'ordre de 300m entre un plateau très érodé qui est à l'Est et le fossé tectonique de l'Ouest.

Ambatovy est localisé géographiquement, dans le système de projection Laborde, X=597076m et Y=804503m, par contre Analamay est localisé par X=599068m et Y=808485m dans le même système.



Source : Extrait BD 500 FTM

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

## **I.2- Situation géologique**

Le sol est constitué de la formation appartenant au système de graphite. L'encaissante est formée essentiellement des migmatites de Mangoro à l'Ouest, des Migmatites, des gneiss à biotite, de sillimanite et des graphites à l'Est.

L'encaissant de ce massif est formé par une série migmatito-gneissique archéenne avec, par endroits, une granitisation plus poussée (migmatites, granitoïdes et granites). Cette série est affectée de plis isoclinaux d'axe N40 à déversement SE. Le complexe gabbro-syénitique est intrusif dans l'encaissant sans provoquer de variations sensibles des directions de couches ni de transformation pétrographique (pas de métamorphisme de contact). L'allongement du massif est NW-SE, donc franchement discordant sur l'encaissant métamorphique.

La trame du massif est constituée par des gabbros formant une ellipse dont le grand axe mesure 9 à 10km, le petit axe 8km. Dans ces gabbros apparaissent :

- à l'Ouest et au Nord-Ouest, un gros massif syénitique circulaire de 2,5km de diamètre, entouré de ring dykes de même nature ; les syénites sont de type calco-alcalin monzonitique. Il n'existe pas de faciès alcalin du type Ampasindava ;
- à l'Est et au Sud-Est, deux ensembles de péridotites et pyroxénolite, les secondes enveloppant les premières ;
  - plus à l'Est, ensemble d'Analamay,
  - plus au Sud-Est, ensemble d'Ambatovy.

La constitution de la région Moramanga se divise en deux grands ensembles à savoir :

- à l'Est, la série de Manampotsy supérieur est formée essentiellement de gneiss à biotite, pyroxène et de migmatite quartzite, avec banc important de graphite. Les directions tectoniques ont des valeurs de N45 Est au Sud qui passe à Nord-Sud et N10 Est à l'extrémité de la zone étudiée. Les pendages sont toujours l'Ouest et ne dépasse pas de 40°.
- à l'Ouest, la série de Mangoro ne contient pratiquement plus de graphite. Les faciès pétrographiques sont représentés par des migmatites à pyroxène, amphibole et biotite ; les granites et migmatites en lames sont beaucoup plus fréquents que dans la série du graphite.

Les directions tectoniques sont subméridiennes et les pendages toujours Ouest, ayant des valeurs plus élevées de l'ordre de 50 à 80°.



- En 1962, le BRGM effectua, pour le compte du syndicat BRGM UGINE, une campagne d'exploration de 11 mois.
- En 1964, le BRGM effectua une phase d'étude préliminaire, sur l'ensemble du massif intrusif d'Antampombato
- En 1968, une courte mission de BRGM réalisa un puits de 30m et 4 sondages à la tarière à main.
- En 1971, les travaux de topographie, rayonnage et sondages se sont déroulés de mai à novembre.
- En 1979, les "Coréens" réalisent des essais de fusion sur un échantillon de 2000 tonnes, ils proposeront par la suite un avant-projet pour la mise en exploitation du gisement et la création d'une usine de raffinage de nickel.
- En 1996, lancement des essais métallurgiques, du forage et de l'évaluation environnementale (EIE): fin de l'étude de délimitation.
- En 1997, début de l'étude de faisabilité et fin du programme de forage sur 22000m.
- En 1998, premiers modèles de blocs et plan de la mine complète. Fin de l'EIE et de l'étude faisabilité. Suspension minière à grande échelle commanditée par la Banque Mondiale.
- En 1999, diffusion du nouveau code des mine et ratification d'une entente de gestion conjointe des forêt.
- En 2001, renouvellement des licences d'exploitation jusqu'en 2010, établissement des modalités du bail de surface d'Ambatovy.
- En 2002, adoption de la loi sur les grands investissements miniers (LGIM).
- En 2003, adaptation des règlements afférents à LGIM, ratification par Dynatec et Philips Dodge d'une entente de partenariat.
- En 2004, début de l'EIE redéfinie.
- En 2005, Dynatec acquiert à 100% la propriété du projet.
- En 2006, Dynatec eu son nouveau partenariat : Sheritt qui détient la majorité du capital, SNC Lavalin et le CONSORTIUM Coréen.
- De 2007, totalement en phase d'exploration.

### **I.3.2- Bilan des travaux**

Les travaux de prospection antérieurs ont été résumés comme suit :

- En 1960, le lever de la carte d'affleurements au 1/5 000 des deux massifs, avec prélèvements géochimiques d'alluvions et prospection à la batée.
- En 1962, l'ouverture de layons équidistants de 200m et le lever topographique des deux secteurs (110km de layons) ; Une prospection géochimique tactique avec prélèvement de sol tous les 50m sur les layons, sauf sur la cuirasse (1873 échantillons)
- En 1964, des sondages à la tarière, une campagne géochimique pour le cuivre et une prospection alluvionnaire pour Cr, Au et Pt.
- En 1968, pendant les six mois de campagne, 23 sondages, totalisant 1224m et 26 puits, totalisant 191m, ont été exécutés. De plus, 1400 échantillons de Nickel et de Cobalt ont été analysés.
- En 1971, ouverture d'un layon de 70km a été fait pour faire des sondages, implantés suivant une maille carrée de 195m de côté;

- à Ambatovy :

199 sondages carottés dont 28 distants de 7m pour la croix (étude variographique), la profondeur moyenne de ces sondages est de l'ordre de 45,5m dont 5m dans le bed rock, au total on a une colonne de 8468m des carottes;

- à Analamay :

- 155 sondages carottés dont 13 sondages à la tarière sont faites sur le bed-rock sub-affleurant,
- profondeur moyenne : 37m,
- 5806m de carottes

- Entre 2001 et 2006, reprises des travaux de forages par le Dynatec, des essais métallurgiques et d'étude de la faisabilité ont été faits.
- De 2007, plusieurs travaux ont été entamés dans le cadre de ce projet :

**Forages de reconnaissances:** Pour construire des barrages et des bureaux.

**Mines:** Les deux gisements de minerai qui se situent à Ambatovy et Analamay seront exploités, selon la méthode d'exploitation de récupération à ciel ouvert progressive. Le minerai sera traité sur place à l'usine pour être mis en pulpe.

**Parc à résidus:** Le parc à résidus sera situé dans des vallées au Sud et à l'Ouest de Toamasina. La région sera exploitée et récupérée progressivement et contiendra tous les résidus solides produits.

**Pipeline:** Un pipeline d'environ 220km avec une dimension de 60cm sera mis en place entre la mine et l'usine de traitement qui se situent à proximité de Toamasina pour être acheminé la pulpe du minerai.

**Usine de traitement:** L'usine de traitement utilisera le procédé de lixiviation acide sous pression et pour déterminer l'étude de faisabilité. L'installation comprendra également une centrale électrique et à vapeur, des installations d'épuration de l'eau, une usine d'acide, une usine de sulfure d'hydrogène, une usine de séparation d'air et une usine de transformation de calcaire et de chaux

**PARTIE II**  
**METHODES ET MATERIELS DES SONDAGES DE**  
**RECONNAISSANCE**

## **II.1- QUELQUES DÉFINITIONS**

### **II.1.1- Forage**

Le forage est un moyen d'exploitation, développement et une mise en produit (eau, pétrole gaz, minéral, ...). Il permet de savoir si une structure contient ou non des fluides ou matériaux en qualité suffisante pour justifier l'exploitation.

### **II.1.2- Sondage**

Les sondages servent comme un moyen d'exploitation, de reconnaissance et d'exploration du sous-sol. En outre, c'est un moyen d'exploitation pour les fluides qu'il contient, eau ou hydrocarbure, et enfin, il est un moyen de définir un élément de construction (pieux coulés de fondation, injection de fondation, injections de consolidation, etc.).

### **II.1.3- Sondage de reconnaissance**

Les sondages de reconnaissance réalisés dans les travaux publics ne descendent généralement pas très profondément dans le sous-sol et une étude géologique basée sur les affleurements des couches peut donner d'utile indication. Néanmoins, il est préférable de réaliser toujours des sondages à carotte continue. Si les carottes sont convenablement paraffinées dès leurs extractions, on pourra facilement expédier au laboratoire les échantillons les plus caractéristiques pour déterminer leurs caractéristiques mécaniques.

Le but d'une reconnaissance de sol est déterminé suivant les conditions:

- la localisation, l'épaisseur, l'étendue de chaque couche de sol, en incluant la description et la classification des sols, leur structure, leurs caractéristiques physiques et mécaniques.
- le type et la profondeur du substratum rocheux.
- la caractéristique d'une nappe d'eau, incluant le niveau statique.

## **II.2- OBJECTIFS**

Dans tout le sondage de reconnaissance, on peut étudier simultanément le terrain et les écoulements sous terrain. Cet objectif concerne donc :

- Les sondages doivent permettre d'établir; avec une approximation suffisante des coupes du terrain dans diverses directions, à l'emplacement de l'ouvrage projeté.
- Le problème, il appartient toujours, au géologue d'en profiter pour en tirer le maximum d'information.

- Faire une reconnaissance du sol par l'examen d'extrait à différente profondeur. Elle permet également de faire une reconnaissance complémentaire comme, mesure de la perméabilité, détermination de niveau d'eau, compacité et l'élasticité du sol, etc.

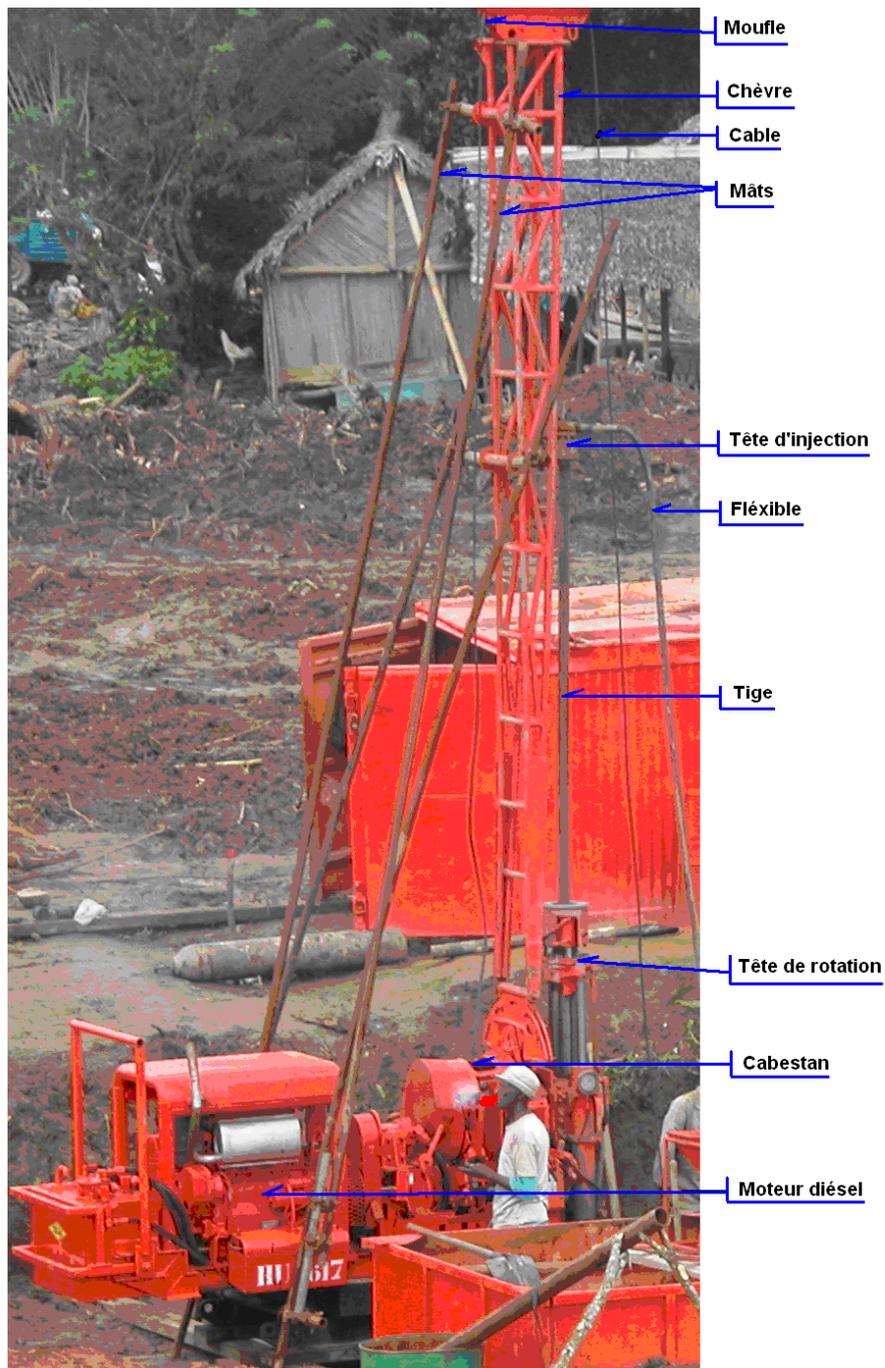
### **II.3- MATÉRIELS ET MÉTHODES**

On développe dans cette partie, la description du matériel utilisé et la mode opératoire y afférant lors d'une exécution d'un forage.

#### **II.3.1- Machine de sondeuse**

Pour faire un puit par forage, il faut utiliser les matériels suivants:

- la machine sondeuse se composent des:
  - la force motrice et sa transmission, c'est le moteur diesel,
  - le mouflage qui est constitué par un moufle fixe, une chèvre et un câble. Un système de verrouillage permettant de bloquer la rotation du crochet et de l'immobiliser dans une position déterminée. L'ensemble de moufle fixe, câble et le crochet supporte le train de sonde pendant le forage lors des manœuvres.
  - la chèvre et les mâts, ils sont un chevalement métallique permettant, par l'intermédiaire d'un système de moufle et de treuil de forage, pour remplacer le carottier usé par exemple.



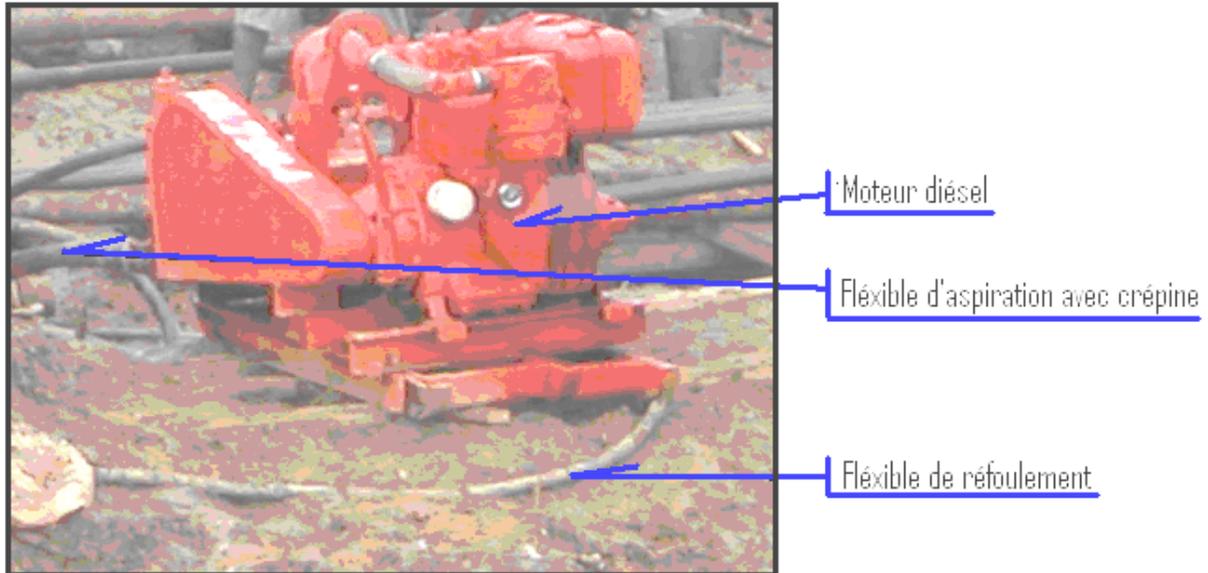
*Photographie 1: Machine sondeur*

La pompe à boues est un élément vital de la sonde. Elle permet l'évacuation des déblais qui nettoient et lubrifient l'outil, ainsi maintiennent les parois du trou.

L'installation d'une pompe est généralement complété par:

- une crépine d'aspiration et une crépine de refoulement sont démontables, elles évitent que les matériaux éventuellement aspirés dans le bassin puissent boucher les évènements de l'outil,

- une soupape de sécurité qui permette de ne pas dépasser la pression maximale due au service de la pompe,
- un amortisseur de pulsation qui absorbe la variation de pression,
- un manomètre indiquant la pression de refoulement de la boue.



*Photographie 2: Pompe à boue*

Pour la récupération des échantillons, on les conserve dans une caisse carotte de dimension 1m x 0,50m (dimension standard).



*Photographie 3: caisse de carotte*

Les clés à mâchoire ou clés à griffe complètent la machine de sondeuse comme matériels accessoires.

### II.3.2- Opération spéciale

Les modes opératoires exigent des matériels spécialisés et sophistiqués ainsi que des méthodes minutieuses :

- **Le carottage**, c'est l'opération qui consiste à découper dans la formation un cylindre de terrain appelé carotte. Comme les outils de forage, les couronnes de carottage peuvent être à rouleaux ou grenaille ou à prismes de carbure de tungstène ou diamantées suivant la dureté des terrains à carotter. Ces couronnes sont raccordés à la partie inférieure d'un tube carottier. Elles attaquent et détruisent le terrain sur sa périphérie; la partie centrale reste intact et pénètre dans le carottier au fur et à mesure de l'avancement de l'opération.

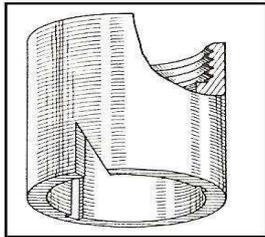


Figure 3: couronne à grenaille

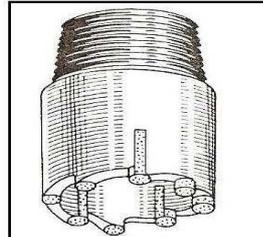


Figure 4: couronne à prismes de carbure de tungstène

- **Les carottiers**, Les carottiers les plus couramment utilisés sont du type simple ou double. Ils sont constitués de deux tubes, le tube extérieur sur lequel se visse la couronne, relié au train de tiges à sa partie supérieure, et le tube intérieur, libre de tourner avec la carotte et la protégeant de la circulation de boue. Un système d'anneaux de retenue permet la coupe de la carotte et son maintien dans le tube intérieur pendant la manœuvre de remontée.

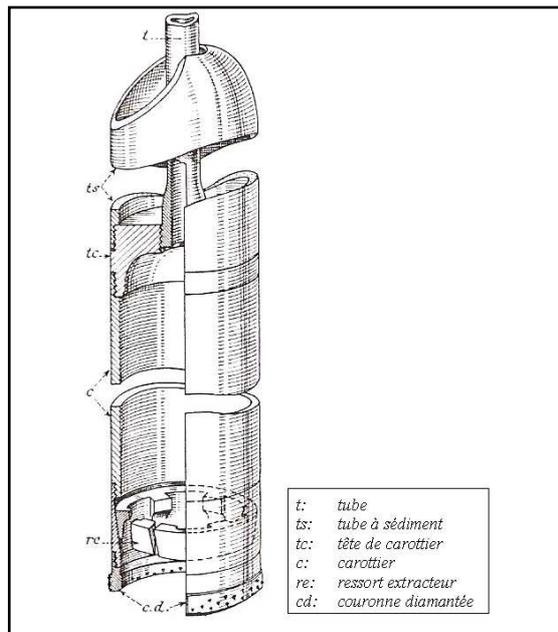


Figure 5: Tube carottier à couronne diamantée

- **Le tubage et cimentation:** le tubage d'un puits est la descente dans ce puits d'une colonne de tube ayant un diamètre extérieur inférieur à celui du trou foré. La cimentation est l'injection d'un laitier de ciment dans l'espace annulaire créée entre ces tubes et le trou. Bien que les améliorations apportées ces dernières années aux boues de forage permettent une bonne tenue du trou, lorsqu'un grand découvert a été foré, il est nécessaire de tuber le puits pour en maintenir les parois. Un tube peut également être rendu obligatoire par la rencontre d'une difficulté telle que la perte totale de la circulation. Plusieurs colonnes de tubage peuvent ainsi être descendues successivement. Le diamètre de la dernière colonne ne devant pas être inférieur à 4" ½ pour permettre des travaux éventuels à l'intérieur, il est nécessaire de commencer un trou à grande profondeur dans un diamètre suffisamment large.

La descente d'un tubage et sa cimentation sont des opérations qui doivent être soigneusement préparées pour éviter tout incident pendant leur développement et être effectuées en sécurité et rapidement. L'opération d'un tubage peut être, à quelques détails près, comparée à la descente des tiges, le blocage est achevé aux clés à mâchoires



*Photographie 4: Les tubages*

- **Instrumentation ou "PECHE" aux objets perdus**

Peu de forage, malheureusement sans incidents: fuite de boue dans les fissures des roches (qu'il faut colmater alors avec des produits variés), éboulement, coincements ou bris de tiges, rupture et perte d'outils. On appelle "poisson" tout objet qui se trouve dans le puits et qui, manifestement n'aurait pas dû s'y trouver, interrompant le forage. Pour des "poissons", on utilise une panoplie d'instruments adaptés à chaque cas particulier.

- Pour dégager une tige coincée par un éboulement: couronne de surforage.

- Pour dévisser un joint de tige bloquée: dévissage à exploitation ou coulisse.
- Pour repêcher une tige cassée: cloche de repêchage (overshot)
- Pour repêcher une tige engagé contre la paroi: crochet redresseur.
- Si le carottier n'a pas de carotte, on utilise la soupape.

- **Boue de forage :**

On appelle boue de forage ou eau lourde, le liquide de circulation qui permet de :

- refroidir et lubrifier l'outil de foration,
- remonter les débris ou les sédiments à la surface.
- Maintenir les parois du trou du forage, elle joue de ce faite le rôle de tubage.

Les boues de forage sont des suspensions d'argile. On peut utiliser la kaolinite mais elle possède un volume important d'eau libre dans sa structure et donne une croûte trop épaisse. Ainsi le matériel de choix est la bentonite.

- **La soupape :**

La soupape, partie essentielle, est un tube en acier inoxydable sur lequel en partie basse est fixée une valve en acier inox ou en matière synthétique. Il suffit d'enfoncer fermement celle-ci dans le sol pour que l'échantillon soit prélevé. En principe, cela se passe en dessous du tube où il y a de l'espace disponible. Ce qui permet à la soupape d'être enfoncée plus profondément dans le sol.

### **II.3.3- Besoin personnel**

La composition d'une équipe de forage varie avec l'importance du chantier. Pour un grand projet, qui nécessite un appareil lourd, elle peut atteindre jusqu'à sept personnes :

- **Le maître sondeur:** Il manœuvre le train de forage, commande et exécute toutes les opérations essentielles du sondage. Le sondeur assure la remontée de la carotte vers la surface.
- **Le second:** Il doit pouvoir occasionnellement remplacer le maître sondeur pendant le forage et manœuvrer le train de sonde sous le contrôle de celui-ci. Il fait exécuter et supervise tous les travaux annexes.
- **L'accrocheur:** Il travaille sur l'accrochage pendant les manœuvres de remonter ou de descendre le train de sonde. Pendant le forage, il contrôle les caractéristiques de la boue.

- **Les ouvriers sondeurs:** Au nombre de trois ou quatre, ils exécutent toutes les manœuvres nécessitées par l'approfondissement du forage, tous les travaux annexes tiennent le matériel en bon de fonctionnement et aussi enlèvent la carotte en utilisant un compresseur.
- **Le mécanicien:** Il est chargé de l'entretien mécanique des moteurs, du matériel et de l'outillage du chantier.



*Photographie 5: Equipements de machine sondeur*

### **II.3.4- Mode opératoire**

Un sondage est un trou, exécuté depuis la surface; le trou est normalement rempli d'eau. Le soutènement est, lorsqu'il nécessaire, formé de tube d'aciers vissés. Un tube une fois posé, on ne peut plus utiliser que des outils d'une largeur inférieure à son diamètre intérieur, et la suite du trou sera donc forée en plus petit diamètre. Chaque colonne de tube posée se traduit par une diminution de diamètre. L'outil de forage est placé à l'extrémité d'un train de tiges, vissées les unes à la suite des autres, et qui permettent des manœuvres de la surface. Lorsqu'on remonte l'outil, il faut, une fois le crochet de levage arrivé en haut de sa course, caler la tige à l'aide d'une clé à griffe, dévisser le dernier joint dégagé, ranger les tiges

dégagées, redescendre le crochet pour reprendre la remontée. Pour réduire le nombre de ces opérations, il y a intérêt à disposer d'un derrick assez haut pour sortir les tiges (généralement en éléments de 3m ou 6m) par des ensembles aussi longs que possible.

Pour le prélèvement d'échantillons intacts du terrain, par carottage, l'outil présente une forme annulaire (couronne), et laisse subsister en son centre une colonne de roche, ou carotte. Pour que l'avancement soit possible, la couronne est vissée à l'extrémité d'un tube de même diamètre (tube carottier). L'eau d'injection amenée par les tiges dans le carottier contourne la couronne et remonte entre la carottier et les parois, en entraînant les débris résultant de la destruction de la roche. Ces débris tendent à se déposer au-dessus du carottier, par suite de l'élargissement brusque de la section offert. à la circulation.

Un ressort annulaire fendu à griffes, s'appuyant sur une surface conique, permet au carottier de descendre librement autour de la carotte, mais tend à entraîner celle-ci lorsqu'on remonte le carottier.

La couronne qui doit user le terrain peut agir de différentes manières. On peut utiliser une grenaille d'acier spécial, dont les grains sont introduits dans les tiges en même temps que l'eau d'injection. La couronne est un simple tube d'acier dont le bord présente une encoche qui pousse la grenaille contre la roche et l'use.

En roche très dure, il est nécessaire d'utiliser une couronne armée de diamants, et ce procédé peut se révéler le plus avantageux, même pour des roches de dureté moyenne. On a d'abord utilisé des couronnes comportant un petit nombre de diamants relativement gros, sertis à la main: ils doivent être disposés de manière à balayer toute la largeur de la couronne; on en place également sur la paroi externe, de manière à aléser le trou à un diamètre supérieur à celui du carottier, pour éviter tout calage, et également sur la face intérieure.

## **II.4- ESSAI DE PÉNÉTRATION**

L'essai de pénétration en place comporte:

- essai de pénétromètre dynamique,
- essai de pénétration S.P.T.

### **II.4.1- Essai pénétromètre dynamique**

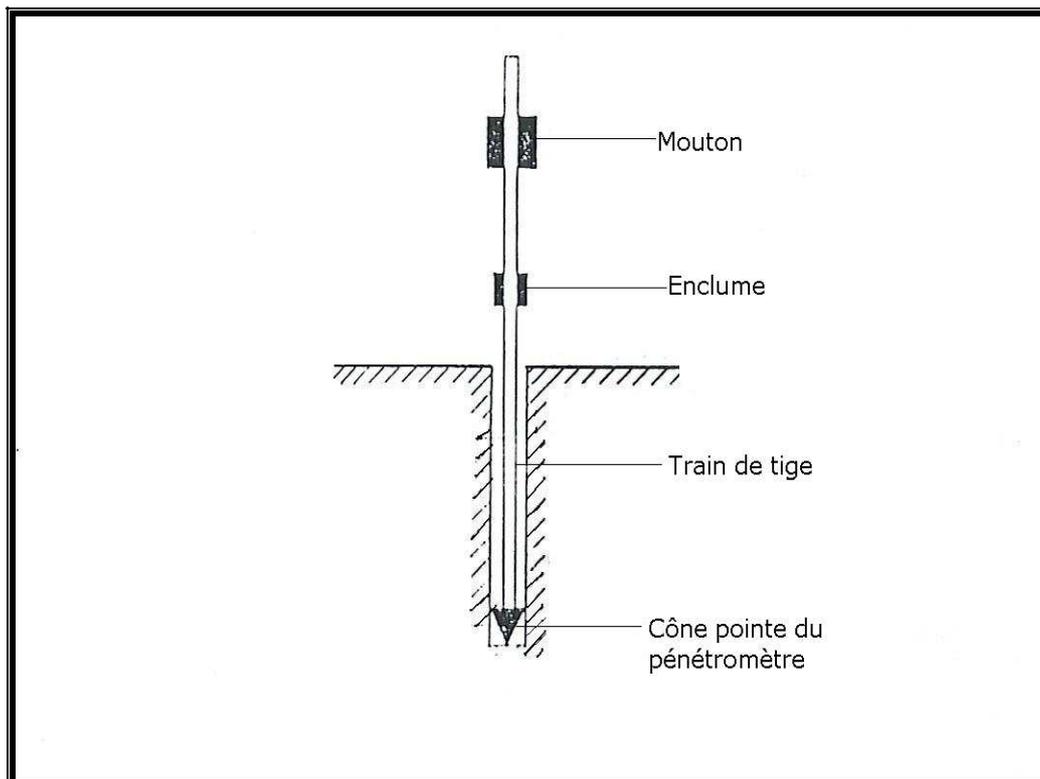
#### **II.4.1.1- Définition**

Le pénétromètre dynamique permet la détermination de la résistance mécanique d'un sol. L'essai consiste à faire pénétrer dans le sol par battage une pointe métallique de section

déterminée, portée par un train de tiges et à mesurer l'énergie nécessaire à leur enfoncement sur une profondeur déterminée.

#### **II.4.1.2- Domaine d'application et appareillage**

On doit utiliser la pénétration dynamique principalement dans les sols pulvérulents. Il permet de définir l'homogénéité d'un site et la cote du substratum. Il s'agit d'un essai de reconnaissance que l'on ne doit utiliser que pour avoir une idée qualitative de la succession des couches.



**Figure 6: Pénétromètre dynamique**

- Mouton de masse doit être de  $63.5\text{kg} \pm 0.5\text{kg}$ . Il comporte un trou axial dont le diamètre est 3 à 4mm.
- L'inclue doit être parfaitement solidaire du train de tiges, sa masse doit être comprise entre 10 et 15kg.
- Le diamètre des tiges doit être de  $32\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$ .
- La hauteur de chute normalisée est de  $0.75\text{m} \pm 0.02\text{m}$ .
- la pointe a une forme cylindrique: Le diamètre et sa section normale sont de  $62\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$  et de  $30\text{cm}^2$ .

Les essais au pénétromètre dynamique sont conduits jusqu'au refus, c'est à dire jusqu'à ce que la pointe rencontre un niveau suffisamment dur pour qu'elle ne puisse s'enfoncer davantage. Les résistances mesurées sont en fonction de la résistance sur la pointe et du coefficient de frottement le long du train de tiges et elles donnent des informations sur le sol récepteur de la fondation.

#### **II.4.1.3- Procédures en dehors du domaine de référence**

La résistance de pénétration dynamique est située dans le domaine de référence quand 5 à 100 coups sont nécessaires pour enfoncer le pénétromètre de 0.2m. Le rebond, pour chaque coup, être inférieur à 50% de la pénétration sous le coup.

Si plus de 100 coups sont nécessaires pour 0.2m d'enfoncement, on peut fixer la hauteur de chute à 1m.

Si la résistance de pénétration est inférieure à 5 coups pour 0.2m, il est recommandé de réduire la hauteur de chute et la porter à 0.5m voire 0.25m.

#### **II.4-2 Essai de pénétration S.P.T**

L'essai de Pénétration Standard fut développé aux Etats-Unis, il y a de cela une trentaine d'années, par le Raymond Concrete, Pile Company et a connu, grâce que lui porte Terzaghi, un essor considérable en Amérique, au Canada et en Angleterre où il constitue un chapitre important dans tout programme de forage et de reconnaissance géotechnique.

##### **II.4.2.1- Généralité sur l'essai et appareillage**

###### **Généralité**

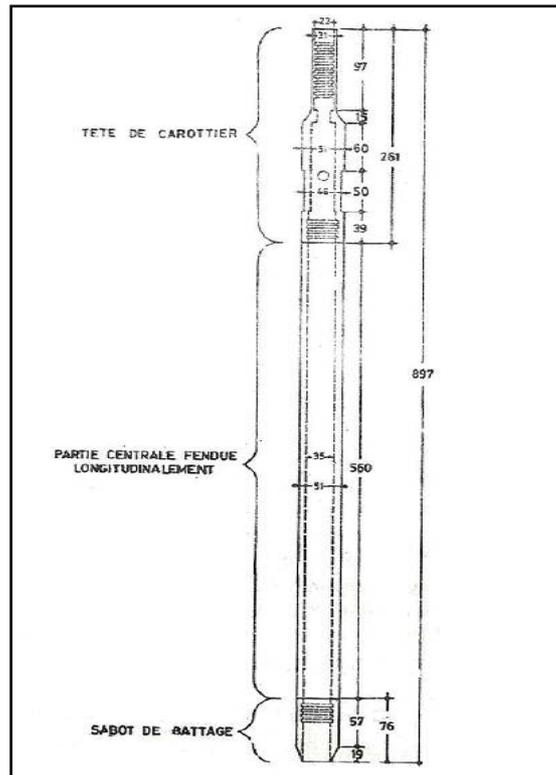
Le S.P.T.est un essai de pénétration dynamique. Il est réalisé à l'intérieur d'un forage. Il permet de déterminer la résistance à la pénétration, dans les terrains essentiellement sableux, d'un tube échantillonneur fendu, enfoncé par battage dans un forage.

Il permet d'obtenir des échantillons remaniés indicatifs des couches traversées pour examen visuel et essais d'identification. L'essai consiste à compter le nombre de coups N nécessaires à l'enfoncement d'un carottier donné d'une profondeur 30cm sous une énergie de percussion connue.

## Appareillages

Il est constitué d'un tube carottier en trois parties:

- une tête de carottier comportant à sa partie supérieure un filetage permettant l'assemblage avec les tiges de forage, des orifices de sortie d'eau et des méplats de serrage,
- un corps de carottier long de 560mm, fendu longitudinalement selon une génératrice,
- un sabot battage de 76mm de longueur avec une trousse coupante de 19mm et un filetage d'assemblage avec le corps du carottier,



*Figure 7: Carottier S.P.T.*

Les caractéristiques de l'appareil assemblé, en ordre de marche, sont les suivant:

- longueur totale 897mm,
- longueur extérieur utile 560mm,
- diamètre intérieur 51mm
- diamètre intérieur 35mm

L'appareil comporte un mouton de battage de 63.5kg, actionné de préférence à l'aide d'un cabestan, avec une chute de 0.76m.

#### **II.4.2.2- Mode d'exécution de l'essai**

Avant l'essai, le fond de forage doit être soigneusement nettoyé. Dans un premier temps, on enfonce de 15cm le carottier dans la couche à étudier pour assurer une bonne mise en place. On note alors le nombre de coups nécessaire à l'enfoncement. Si cet enfoncement n'est pas obtenu après 50 coups, le battage de mise en place doit être arrêté.

On reprend le battage et on note le nombre de coups  $N$  nécessaires à l'enfoncement de 30cm supplémentaires. Pour s'assurer que l'on n'est pas à l'interface de deux couches de sol, on recommande de noter le nombre de coups  $N_1$  nécessaires à l'enfoncement de 15cm du carottier, et le nombre  $N_2$  nécessaire au battage des 15 derniers cm. Le nombre  $N$  sera donc la somme de  $N_1 + N_2$ .

On ne tiendra pas compte, en général, du nombre de coups nécessaires à l'enfoncement des 15 premiers cm de mise en place du fait qu'il est difficile d'éviter un remaniement du fond de forage préalable.

La valeur S.P.T.  $N$  doit toujours être inférieure à 50 coups. Dans le cas où elle est égale à 50 coups, on notera l'enfoncement obtenu.

On doit également noter:

- la dénomination du chantier,
- le numéro du forage,
- la profondeur de l'essai,
- les caractéristiques de pénétration.

#### **II.4.2.3- Précaution et domaine d'application**

Le plus souvent, les essais S.P.T. sont réalisés dans des forages carottés tubés.

On vérifiera le bon fonctionnement du système de battage. On ne devra pas laisser un laps de temps trop long entre l'ouverture du sondage et la réalisation de l'essai.

Si, au début de la mise au point de l'essai, on limitait la profondeur d'essai, maintenant on peut opérer à toute profondeur en fixant le carottier à l'extrémité d'un train de tiges que l'on bat en tête. Mais il ne faudrait pas dépasser la profondeur de 15m pour ne pas avoir d'absorption de l'énergie de battage.

Les essais de pénétration S.P.T. sont particulièrement pour les sols pulvérulents (sable) et éventuellement pour les limons fins. Ils ne sont pas utilisables dans les graves ou le sol rocheux à cause de la section du carottier.

## **II.5- METHODE DE PRELEVEMENT**

### **II.5.1- Généralité**

Il existe un grand nombre de méthodes de prélèvement pour l'étude des sols. Les choix de l'une ou l'autre de ces méthodes sont liés au type de problème. Il n'existe pas de méthode universelle mais un éventail de techniques que le géotechnicien doit utiliser avec discernement à la lumière de son expérience.

### **II.5.2- Forages**

Les forages peuvent être classés en trois catégories selon la méthode utilisée:

- les forages carottés
- les forages semi-destructifs,
- les forages destructifs.

Le choix de la méthode est conditionné par la nature des formations que l'on doit reconnaître ainsi que par le but recherché.

Les forages carottés sont réalisés en découpant le terrain par rotation ou par poinçonnement à l'aide d'un tube creux appelé carottier muni à sa base d'une couronne.

La pénétration échantillon intact est réalisée à l'intérieur d'un forage. Il permet de déterminer la résistance et la nature des terrains, et de déterminer par appareil enfoncé par de machine sondeuse dans un forage.

Il permet d'obtenir des échantillons remaniés indicatifs des couches traversées pour examen visuel et essais d'identification.

En général, on distingue les carottiers rotatifs et les carottiers poinçonneurs.

Les carottier rotatifs peuvent être de plusieurs types: simples ou doubles avec ou sans amovible.

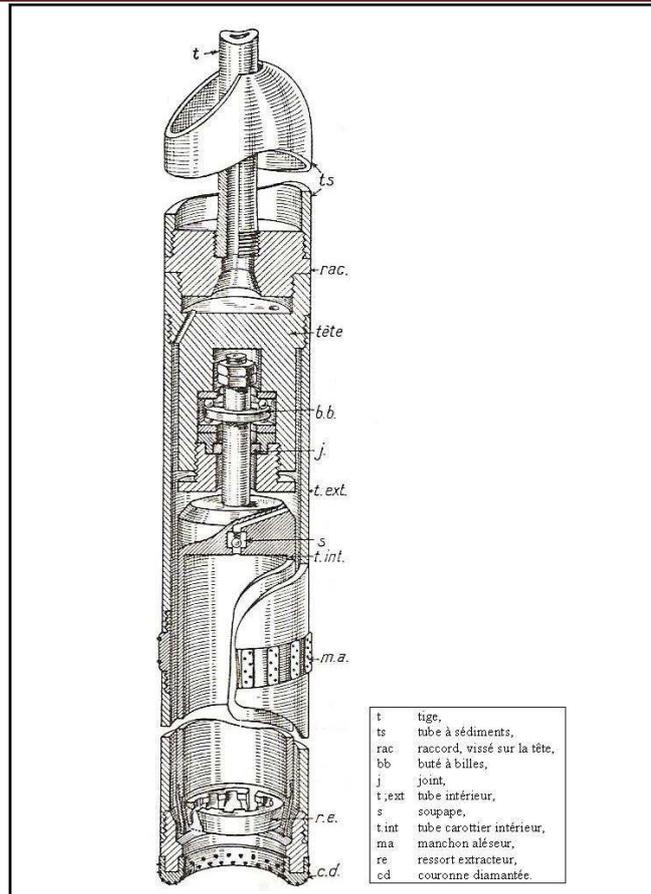


Figure 8: Double carottier

L'usage des carottiers simples avec fluide de forage doit être limité aux reconnaissances sommaires. Il est interdit dans le terrain meuble, dans le rocher altéré, d'une façon générale, dans tous les sols susceptibles d'être désorganisés par les fluides de forage. Les carottiers simples peuvent être parfois employés à sec dans les sols meubles s'ils permettent une récupération supérieure 60%.

Les carottiers poinçonneurs doivent être munis d'un dispositif qui maintient la carotte en place pendant la remontée de l'outil.

D'une façon générale, tous les carottiers, qu'ils soient rotatifs ou poinçonneurs, le prélèvement d'échantillons doit être intacts. Dans ce cas, les opérations doivent être conduites selon les modalités du paragraphe du prélèvement d'échantillons intacts.

### II.5.3- Conservation et présentation des sols extraits

Les échantillons extraits sont soigneusement conservés dans les caisses et dans le gène. Sur chaque caisse, doit être notés de façon inaltérable:

- le numéro du chantier,
- le numéro du forage,

- le numéro d'ordre de la caisse pour le forage considéré,
- les profondeurs extrêmes des terrains reconnus dans la caisse.

De plus, les différentes passes de carottage sont séparées par une cale transversale, la totalité des carottes est placée dans les caisses et pour chaque passe de carotte, on note les profondeurs sur les cloisons longitudinales séparant les différents compartiments.

## **II.5.4- Préparation des piézomètres**

### **II.5.4.1- Piézomètres**

Les piézomètres sont des dispositifs qui servent à la mesure de la pression d'eau en un point donné du sous-sol. Cette mesure permet de suivre le compartiment en fonction du temps d'une nappe, même très profonde. Très fréquemment, les piézomètres sont des appareils simples qu'ils conviennent de disposer dans tout sondage de reconnaissance, après son achèvement pour compléter l'étude. Lorsque le point de mesure est unique, on a un piézomètre simple.

### **II.5.4.2- Implantation des piézomètres**

Le piézomètre simple est normalement réalisé en disposant un tube plastique dans un forage. Le tube étant perforé à sa partie inférieure à une profondeur connue, il suffit de mesurer le niveau d'eau dans le tube pour connaître la pression au point considéré. Pour faciliter la mesure, le diamètre intérieur du tube est compris entre 20 et 40mm.

Les perforations du tube sont appelées 'crépine' avec capuchon inférieur constituant le point de prise de pression qui est entourée d'un géotextile pour empêcher l'introduction des éléments fins du terrain.

On peut aussi disposer entre le tube et la paroi du forage un sable constituant un filtre, il est convenablement calibré en fonction de la dimension des éléments à retenir et de l'ouverture de la prise de pression. Au-dessus de celle-ci, on peut remplir de coulis de ciment et bentonite jusqu'à la surface du sol. On peut séparer des bouchons bentonites en boule entre les coulis des ciments et les sables fins. A la surface du sol, le forage est protégé en tube de dimension 140mm environ, qu'on l'appelle « Tête de forage ».



### **PARTIE III**

## **RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES FORAGES**

Dans le but de notre travail, il est important de citer les résultats, les descriptions de la coupe lithologiques et de faire l'interprétation des forages. On présente les résultats de quatre forages dans les annexes.

### **III.1- RÉSULTATS DES FORAGES**

Dans cette partie on va présenter les résultats des quatre forages qui avaient effectuées dans le site d'ambatovy. Chaque forage comprend quatre étapes :

- essai S.P.T.,
- essai P.E.I.,
- essai de pénétromètre,
- carottage.

#### **III.1.1- Localisation**

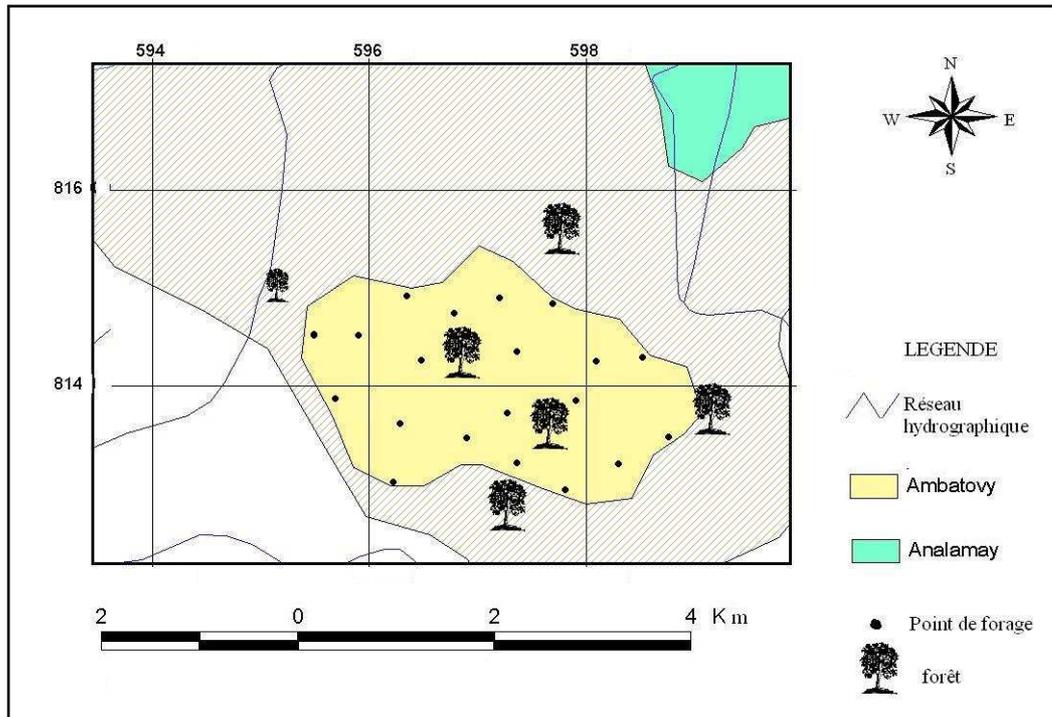
Par raison de confidentialité professionnelle des travaux réalisés, nous n'avons pas l'autorisation de dire exactement la localisation exacte de ces forages. Quatre forages ont été interprétés dans la suite de ce travail.

Forage N°1 : Est d'Ambatovy

Forage N°2 : Est d'Ambatovy

Forage N°3 : Sud –Ouest d'Ambatovy

Forage N°4 : Sud d'Ambatovy



Source : Extrait BD 500 FTM

Figure 10: Localisation des forages

### III.1.2- Résultats des S.P.T

En général, l'essai S.P.T. doit être réalisé tous les 1 à 2m avec prélèvement presque continu d'échantillons. Le nombre des essais peut être judicieusement réduit une fois que le caractère homogène de la couche ou du terrain a été précisé.

Forage N°1 : quinze essais (15) des S.P.T. ont été effectués.

Forage N°2 : vingt (20) essais des S.P.T. ont été effectués.

Forage N°3 : quinze essais (15) des S.P.T. ont été effectués.

Forage N°4 : dix huit (18) essais des S.P.T. ont été effectués.

### III.1.3- Résultats des P.E.I.

Après l'essai de S.P.T., on va faire une P.E.I. L'essai de P.E.I. est réalisé tous les 1m et dépend de la compacité du sol.

Forage N°1 : un (1) essai de P.E.I. a été effectué.

Forage N°2 : cinq (5) essais de P.E.I. ont été effectués.

Forage N°3 : cinq (5) essais de P.E.I. ont été effectués

Forage N°4 : deux (2) essais de P.E.I. ont été effectués.

### **III.1.4- Résultats des essais de pénétromètre**

L'essai de pénétromètre dépend des échantillons obtenus à essai de S.P.T., essai de P.E.I. et le carottage. Si la compacité du sol est variée, on va faire l'essai de pénétromètre en même temps.

Forage N°1: un (1) essai de pénétromètre a été effectué.

Forage N°2: treize (13) essais de pénétromètre ont été effectués.

Forage N°3: deux (2) essais de pénétromètre ont été effectués.

Forage N°4: six (6) essais de pénétromètre ont été effectués.

### **III.1.5- Résultats des carottages**

Le carottage est réalisé tous les 1 m après des essais de S.P.T. et essai de P.E.I.

Forage N°1: dix neuf (19) carottages ont été effectués.

Forage N°2: vingt(20) carottages ont été effectués.

Forage N°3: vingt un(21) carottages ont été effectués.

Forage N°4: vingt un(21) carottages ont été effectués.

## **III.2- DESCRIPTIONS ET INTERPRÉTATIONS**

Les descriptions des échantillons consistent à la classification du sol, structure, densité, compacité, odeur, cimentation, composition minéralogique et couleur.

### **III.2.1- Descriptions des échantillons de S.P.T.**

#### **Forage N°1 :**

- 0.00 à 0.45m : Latérite dure, silt argileux, avec des grains de quartz fin à moyen, de couleur rougeâtre, plasticité moyenne, structure en bloc, faiblement cimenté, humide, avec une dilatation lente et des racines à l'état de trace.
- 1.00 à 1.45m : Latérite très dure, silt argileux. De couleur marron, avec des grains de quartz fin, élasticité fort à moyen, humide et faiblement cimenté, dilatation lente, quelque fois avec des graviers un peu rond de couleur marron blanchâtre.
- 1.55 à 2.00m : Latérite très dure, silt argileux. De couleur marron foncé avec un trace des grains de quartz fin à grossier, fort à moyen plasticité, structure en bloc, cimentation faible, humide, dilatation lente, avec des graviers à grain grossier arrondi et très altéré.
- 2.00 à 2.45m : Sol résiduel, très dure. Silt, marron jaunâtre avec un trace des grains de quartz fin à grossier, plasticité bas, structure en bloc, cimentation faible à modéré avec

une dilatation lente, humide, pas d'odeur, quelquefois avec des graviers sub-arrondis et un trace de mica.

- 3.00 à 3.45m : Sol résiduel, très dure. Silt, marron jaunâtre, présence de quelque grains de quartz et mica, plasticité faible, structure en bloc, cimentation faible à modérer, dilatation lente, humide, pas d'odeur.
- 4.00 à 4.45m : Sol résiduel, dure. Le premier 30cm, silt marron tacheté : jaune, rouge, avec une trace des grains de quartz fin et de mica, plasticité faible, structure en bloc, cimentation faible à modéré, dilatation lente, humide, pas d'odeur. Le dernier cm contient des minéraux carbonés, noirs.
- 5.00 à 5.45m : Sol résiduel très dure, silt marron, tacheté de: jaune, rouge, noire, avec une trace de mica et des minéraux carbonés, plasticité faible, structure en bloc et homogène, cimentation faible à modéré, dilatation lente, humide, pas d'odeur.
- 6.00 à 6.45m : Sol résiduel, dure. Silt marron, tacheté de: jaune, rouge, noire, avec une trace de mica, talc, pyroxène et des gains de quartz fin à moyen, faible plasticité, structure en bloc et homogène, cimentation faible à forte, dilatation lente, humide, pas d'odeur.
- 7.00 à 7.45m : Roche très altérée, sol résiduel, silt marron, tacheté en jaune, rouge, noire, blanc, avec une trace de mica, talc , pyroxène et des grains de quartz fin à moyen, faible plasticité, structure en bloc et homogène, cimentation faible à modéré, dilatation lente, humide, pas d'odeur.
- 8.00 à 8.45m : Roche très altérée du sol résiduel, silt marron, tacheté de : jaune, rouge noire, blanc, avec une trace de mica, talc, pyroxène et des grains de quartz fin à moyen, plasticité faible, structure en bloc et homogène, cimentation modéré à fort, dilatation lente, humide.
- 9.00 à 9.45m : Roche très altérée, sol résiduel, silt sableuse tacheté en jaune, marron, rouge, blanc, avec des grains de quartz fin à moyen, plasticité faible, structure en bloc et homogène, cimentation modérée à fort, humide, présence de talc et pyroxène à l'état de trace.
- 10.00 à 10.45m : Roche très altérée, silt sableuse marron jaunâtre, avec des grains de quartz fin à moyen, plasticité faible, structure en bloc, cimentation modéré à fort, humide, présence de talc, mica, et pyroxène à l'état de trace.
- 11.00 à 11.45m : Roche très altérée, silt sableuse marron jaunâtre ,avec des grains de quartz fin à moyen, plasticité faible, structure en bloc, cimentation modéré à fort, humide, présence de talc et pyroxène à l'état de trace.

- 12.00 à 12.45m : Roche très altérée, silt sableuse tacheté en marron, noire, gris, sable fin et grossier, structure en bloc, presque pas de plasticité, cimentation modéré à fort, humide. Les plagioclase et pyroxène sont à l'état de trace.
- 13.00 à 13.45m : Refus, plus de 13+30=43 cm, dure, marteau rebondi.

**Forage N°2:**

- 0.00 à 0.45m: Latérite, silt argileux, trace de kaolin, faible plasticité, marron foncé, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré.
- 1.00 à 1.45m: Latérite, silt argileux, trace de kaolin, moyen plasticité, marron foncé, rougeâtre, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation faible.
- 2.00 à 2.45m: Latérite, silt argileuse, de tacheté: marron, rougeâtre, trace de kaolin et minéral blanc, moyen à fort plasticité, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.
- 3.00 à 3.45m: Latérite, silt argileux, de tacheté: marron foncé, rougeâtre, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, moyen plasticité.
- 4.00 à 4.45m: Latérite très dure, silt argileux, présence d'un trace de minéral blanc et quelque kaolin, moyen plasticité, de tacheté: rougeâtre, marron foncé, jaunâtre, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.
- 5.00 à 5.45m: Latérite, silt argileux tacheté en marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré. , trace de kaolin et de minéral blanc,
- 6.00 à 6.45m: Latérite, silt argileux, trace de kaolin, trace de minéral blanc, tacheté en marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, plasticité moyen.
- 7.00 à 7.45m: Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en, jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, existence de quelques kaolins et minéral blanc
- 8.00 à 8.45m: Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, existence de quelques kaolin et minéral blanc.
- 9.00 à 9.45m: Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en jaune, rouge, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, trace de kaolin, et minéral blanc.

- 10.00 à 10.45m: Latérite très dure, silt argileux marron foncé jaune, rouge, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation, trace de kaolin, et minéral blanc.
- 11.00 à 11.45m: Latérite très dure, silt argileux marron foncé tacheté en jaune, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation. Présence de quelques de kaolin et un trace de minéral blanc
- 12.00 à 12.45m: Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en jaune, rouge, faible à forte plasticité, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation, trace de kaolin et de minéral blanc.
- 13.00 à 13.45m: Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en jaune, rouge, faible à forte plasticité, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation, trace de kaolin et minéral blanc.
- 14.00 à 14.45m: Latérite, silt argileux marron jaunâtre tacheté en, rouge, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, existence de quelque kaolin.
- 15.00 à 15.45m: Latérite, silt argileux: marron tacheté en jaune, rouge, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, existence de quelque kaolin.
- 16.00 à 16.45m: Latérite, silt argileux marron, tacheté en jaune, rouge, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré. Les kaolins et les minéraux blancs sont en trace.
- 17.00 à 17.45m: Latérite, silt argileux marron tacheté en jaune, rouge, avec une trace de kaolin et minéral blanc, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.
- 18.00 à 19.45m: Latérite, silt argileux marron tacheté, jaune, rouge, avec une trace de kaolin et minéral blanc, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.

**Forage N°3 :**

- 0.00 à 0.45m : silt argileux compact de couleur jaune marron avec des grains de quartz fin à moyen à l'état de trace, structure en bloc, humide, plasticité moyen et cimentation faible.
- 2.00 à 2.45m : argile compact de couleur rouge marron, disparition des grains de quart, structure en bloc, humide, plasticité forte et faible cimentation.

- 3.00 à 3.45m : argile compact de couleur rouge marron, disparition des grains de quart, structure en bloc, humide, plasticité forte et faible cimentation.
- 4.00 à 4.45m : argile compact de couleur rouge marron, disparition des grains de quart, structure en bloc, humide, forte plasticité et faible cimentation.
- 5.00 à 5.45m : argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grain moyen avec des grains de quartz à l'état de trace, plasticité moyen, structure en bloc, faible cimentation.
- 6.00 à 6.45m : argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grain moyen avec des grains de quartz à l'état de trace, plasticité moyen, structure en bloc, faible cimentation.
- 7.00 à 7.45m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 8.00 à 8.45m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 9.00 à 9.45m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 10.00 à 10.45m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 12.00 à 12.45m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 14.45 à 14.95m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin, matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.
- 16.00 à 17.45m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin, matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.
- 19.00 à 19.45m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 20.50 à 20.95m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 22.00 à 2.45m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 23.00 à 23.45m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.

**Forage N°4 :**

- 0.00 à 0.45m : silt sableux de couleur marron foncé avec des grains de quartz fin à moyen, structure en bloc, faible dilatation, pas d'odeur, et faible cimentation.
- 1.00 à 1.45m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxène, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 2.00 à 2.45m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxène, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 3.50 à 3.95m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxène, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 5.00 à 5.45m : silt sableux de couleur gris avec des grains de quartz fin à grossier et un trace de pyroxène, argile et mica, plasticité faible, faible dilatation, humide et structure en bloc.
- 6.00 à 6.45m : silt sableux de couleur gris foncé avec des grains de quartz fin à moyen, présence de mica mais l'argile à l'état de trace, faible dilatation, faible cimentation, et humide.
- 7.00 à 7.45m : silt sableux de couleur gris foncé avec des grains de quartz fin à moyen, présence de mica mais l'argile à l'état de trace, faible dilatation, faible cimentation, et humide.
- 8.00 à 8.45m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen, faible cimentation, structure en bloc, faible dilatation et humide.
- 9.00 à 9.45m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen et l'argile à l'état de trace, faible cimentation, structure homogène, faible dilatation et humide.
- 10.00 à 10.45m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen et l'argile à l'état de trace, faible cimentation, structure homogène, faible dilatation et humide.
- 11.00 à 11.45m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen et l'argile à l'état de trace, faible cimentation, structure homogène, faible dilatation et humide.

- 12.00 à 12.45m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 13.00 à 13.45m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 14.00 à 14.45m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 15.00 à 15.45m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 16.00 à 16.45m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 17.00 à 17.45m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 18.00 à 18.45m : silt argileux de couleur marron, présence des graviers avec des grains de quart fin à l'état de trace, structure homogène, faible cimentation et humide.

### **III.2. 2- Description des échantillons de P.E.I**

#### **Forage N°1 :**

Il n'y a pas d'échantillon car l'essai est refus.

#### **Forage N° 2:**

- 0.45 à 0.95m: Latérite, silt argileux marron foncé avec une trace de kaolin, pas d'odeur, structure en bloc, plasticité faible, humide, cimentation modéré.
- 1.45 à 1.95m: Latérite, silt argileux marron foncé, avec un trace de kaolin et minéral blanc, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré.
- 2.45 à 2.95m: Latérite, silt argileux marron foncé, avec un trace de kaolin et minéral blanc, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré.
- 3.45 à 3.95m : Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en jaune et rouge, avec un trace de kaolin et minéral blanc, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré cimentation modéré.
- 4.45 à 4.95m : Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en jaune et rouge, avec un trace de kaolin et minéral blanc, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré cimentation modéré.

**Forage N°3 :**

- 5.50 à 6.00m : argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grain moyen avec des grains de quartz à l'état de trace, plasticité moyen, structure en bloc, faible cimentation.
- 7.50 à 8.00m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 9.50 à 10.00m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 13.50 à 14.00m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin et matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.
- 16.50 à 17.00m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin, matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.

**Forage N°4 :**

- 2.00 à 3.00m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxène, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 4.00 à 4.50m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxène, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.

**III.2.3- Description des échantillons des carottages**

**Forage N°1 :**

On utilise le carottier de dimension 146mm au 0.00m jusqu'à 13.00m et le carottier HQ de dimension 90mm au 13.00m jusqu'à 20.00m.

- 0.00 à 1.00m : Latérite dure, silt argileux de couleur rougeâtre, avec une trace des grains de quartz fin à moyen et des débris des racines, plasticité moyen, structure en bloc, ciment faible et humide, dilatation lente.
- 1.00 à 1.50m : Latérite très dure, silt argileux, de couleur marron, avec des grains de quartz fin, élasticité fort à moyen, humide et faiblement cimenté, dilatation lente, quelque fois avec des graviers un peu rond de couleur marron blanchâtre.

- 1.55 à 2.00m : Latérite très dure, silt argileux marron, avec une trace des grains de quartz fin à grossier, fort à moyen plasticité, structure en bloc, cimentation faible, humide avec dilatation lente, quelque fois avec des graviers un peu rond de couleur marron blanchâtre et altéré.
- 2.00 à 3.00m : Sol résiduel, très dure. Silt marron jaunâtre, avec un trace des gains de quartz fin à grossier, plasticité faible, structure en bloc, cimentation faible à modéré, dilatation lente, humide, pas d'odeur, quelquefois avec des graviers sub-arrondis et un trace de mica.
- 3.00 à 4.00m : Sol résiduel, très dure. Silt marron jaunâtre, présence de quelque grains de quartz et de mica, plasticité faible, structure en bloc, cimentation faible à modéré, dilatation lente, humide, pas d'odeur.
- 4.00 à 5.00m : Sol résiduel, dure. Le premier 30cm est constitué de silt ,marron tacheté en jaune, rouge, avec une trace des grains de quartz fin et de mica, plasticité faible, structure en bloc, cimentation faible à modérer, dilatation lente, humide, pas d'odeur.
- Le dernier 9cm est constitué par des, minéraux carbonés noirs avec un trace des grains de quartz fin à moyen, cimentation forte à modérer, humide, pas d'odeur, structure en bloc.
- 5.00 à 6.00m : Sol résiduel très dure, silt marron tacheté en jaune, rouge, noire avec un trace des grains de quartz fin, plasticité faible, structure en bloc et homogène, cimentation faible à modérer, dilatation lente, humide, pas d'odeur, trace de mica et minéraux carbonés.
- 6.00 à 7.00m : Sol résiduel, dure. Silt, de tacheté : jaune, marron, rouge, noire avec un trace des grains de quartz fin et moyen, faible plasticité, structure en bloc et homogène, cimentation faible à forte, dilatation lente, humide, pas d'odeur, trace de mica, talc et pyroxène.
- 7.00 à 8.00m : Roche très altérée à sol résiduel, silt marron tacheté: jaune, rouge, noire, blanc, trace des grains de quartz fin et moyen, plasticité faible, structure en bloc et homogène, cimentation faible à modérer, dilatation lente, humide, pas d'odeur, trace de mica, talc, pyroxène.
- 8.00 à 9.00m : Roche très altérée à sol résiduel, silt tacheté en jaune, marron, rouge noire, blanc, trace des grains de quartz fin et moyen, faible plasticité, structure en bloc et homogène, cimentation modéré à fort, dilatation lente, humide, trace de mica, talc et pyroxène.

- 9.00 à 10.00m : Roche très altérée, sol résiduel, silt sableuse tacheté en jaune, marron, rouge, blanc, avec des grains de quartz fin et moyen, plasticité faible, structure en bloc et homogène, cimentation modéré à fort, humide, trace de talc, pyroxène.
- 10.00 à 11.00m: Roche très altérée, silt sableuse marron jaunâtre, avec des grains de quartz fin et moyen, plasticité faible, structure en bloc, cimentation modéré à fort, humide, trace de mica, pyroxène et talc.
- 11.00 à 12.00m: Roche très altérée, silt sableuse marron jaunâtre, avec des grains de quartz fin et moyen, plasticité faible, structure en bloc, cimentation modéré à fort, humide, trace de mica et pyroxène.
- 12.00 à 13.00m : Roche très altérée, silt sableux tacheté en marron, noire, gris, avec des grains de quartz fin à grossier, structure en bloc, presque pas de plasticité, cimentation modéré à fort, humide, trace de plagioclase et pyroxène.
- 13.00 à 14 m: Roche un peu altérée mais parfois très altérée. Silt extrêmement tendre, jaunâtre constitué par des minéraux à grain hétérogène, massive, roche ignée, fracturée.
- 14.00 à 16.00m : Roche, RQD : très pauvre qualité (10%) un peu altérée, très tendre, humide, de couleur noir et blanc, dimension de grain : fin à grossier, silt. Type de roche, ignée, massive, composition minéralogique : pyroxène, feldspath, mica.
- 16.00 à 17.00m : Roche, RQD : Pyroxénite très pauvre qualité (10%) un peu altérée, très tendre, humide, dimension de grain : fin à grossier. Type de roche, ignée, massive, composition minéralogique : pyroxène, feldspath, mica.
- 17.00 à 18.50m : Roche, RQD : Pyroxénite, très pauvre qualité (8.66%) un peu altérée, très tendre, dimension de grain : fin à grossier. Type de roche, ignée, massive, composition minéralogique : pyroxène, feldspath, mica, humide lié à des basaltes décomposés.
- 18.50 à 20.00m : Roche, RQD : Pyroxénite, très pauvre qualité (0%) un peu altérée, très tendre, sec à humide, melanocrate, dimension de grain : fin à grossier. Type de roche, ignée, massive, composition minéralogique : pyroxène, feldspath, mica, fracture verticale.

### **Forage N°2 :**

On utilise le carottier de dimension 146mm au 0.00m jusqu'à 20.00m.

- 0.00 à 1.00m: Latérite, silt argileux marron foncé, contient un peu de kaolin, plasticité faible, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré.

- 1.00 à 2.00m: Le premier 20cm, latérite, silt argileux marron foncé, contient quelque de kaolin, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modérée. Le dernier 80cm, latérite, silt argileux marron foncé, avec de kaolin et minéral blanc en trace, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation forte.
- 2.00 à 3.00m: Latérite, silt argileux marron foncé, contient quelque kaolin et minéral blanc, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré.
- 3.00 à 4.00m: Le premier 60cm est formé par la latérite, silt argileux marron foncé, contient des kaolins et minéral blanc en trace, plasticité moyen, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré. Le dernier 40cm est formé par la latérite, silt argileux marron foncé, trace de kaolin, trace de minéral blanc, moyen à forte plasticité, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré.
- 4.00 à 5.00m: Latérite, silt argileux marron foncé rougeâtre, moyen à forte plasticité, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré, le kaolin et le minéral blanc sont toujours en trace.
- 5.00 à 6.00m: Latérite, silt argileux marron foncé rougeâtre, moyen à forte plasticité, pas d'odeur, structure en bloc, humide, cimentation modéré, le kaolin et le minéral blanc sont toujours en trace.
- 6.00 à 7.00m: Latérite, silt argileux marron foncé rougeâtre, de tacheté:, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, plasticité moyen, le kaolin et le minéral blanc sont toujours en trace .
- 7.00 à 8.00m: Latérite, silt argileux marron foncé tacheté en jaune, rouge, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, moyen plasticité le kaolin et le minéral blanc sont toujours en trace.
- 8.00 à 9.00m: Latérite, silt argileux tacheté en marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, plasticité moyen.
- 9.00 à 10.00m: Latérite, silt argileux tacheté en marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation.
- 11.00 à 12.00m: Latérite très dure, silt argileux tacheté en marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, fort cimentation.
- 12.00 à 13.00m: Latérite, silt argileux, trace de kaolin, trace de minéral blanc, de tacheté: marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, faible à forte plasticité, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation.

- 13.00 à 14.00m: Latérite, silt argileux, trace de kaolin, trace de minéral blanc, de tacheté: marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, faible à forte plasticité, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation.
- 14.00 à 15.00m: Latérite, silt argileux, trace de kaolin, trace de minéral blanc, de tacheté: marron foncé, jaunâtre, rougeâtre, faible à forte plasticité, pas d'odeur, humide, structure en bloc, forte cimentation.
- 15.00 à 16.00m: Latérite, silt argileux tacheté en marron, jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.
- 16.00 à 17.00m: Latérite, silt argileux, de tacheté: marron, jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré, contient quelque de kaolin.
- 17.00 à 18.00m: Latérite, silt argileux tacheté en marron, jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.
- 18.00 à 19.00m: Latérite, silt argileux tacheté en marron, jaunâtre, rougeâtre, plasticité moyen, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.
- 19.00 à 20.00m: Latérite, silt argileux tacheté en marron, jaunâtre, rougeâtre, moyen plasticité, pas d'odeur, humide, structure en bloc, cimentation modéré.

**Forage N°3 :**

- 0.00 à 1.00m : silt argileux compact de couleur jaune marron avec des grains de quartz fin à moyen à l'état de trace, structure en bloc, humide, plasticité moyen et cimentation faible.
- 1.00 à 2.00m : silt argileux compact de couleur jaune marron avec des grains de quartz fin à moyen à l'état de trace, structure en bloc, humide, plasticité moyen et faible cimentation.
- 2.00 à 3.00m : argile compact de couleur rouge marron, disparition des grains de quart, structure en bloc, humide, plasticité forte et faible cimentation.
- 3.00 à 4.00m : argile compact de couleur rouge marron, disparition des grains de quart, structure en bloc, humide, plasticité forte et faible cimentation.
- 4.00 à 5.00m : argile compact de couleur rouge marron, disparition des grains de quart, structure en bloc, humide, forte plasticité et faible cimentation.
- 5.00 à 6.00m : argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grain moyen avec des grains de quartz à l'état de trace, plasticité moyen, structure en bloc, faible cimentation.

- 6.00 à 7.00m : argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux à grain moyen avec des grains de quartz à l'état de trace, plasticité moyen, structure en bloc, faible cimentation.
- 7.00 à 8.00m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 8.00 à 9.00m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 9.00 à 10.00m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 10.00 à 11.00m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 12.00 à 13.00m : Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constitué par des minéraux à grains fin à moyen, humide, plasticité moyen, structure homogène.
- 13.00 à 14.00m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin et matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.
- 14.00 à 15.00m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin, matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.
- 15.00 à 16.00m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin, matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.
- 16.00 à 17.00m : argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin, matière carboné à l'état de trace, plasticité forte, humide, faible cimentation et structure en bloc.
- 17.00 à 18.00m : argile de couleur jaune rougeâtre, disparition de trace de kaolin et de matière carboné, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 18.00 à 19.00m : argile de couleur jaune rougeâtre, disparition de trace de kaolin et de matière carboné, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 19.00 à 20.00m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 20.00 à 21.00m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.

- 21.00 à 22.00m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 22.00 à 23.00m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 23.00 à 24.00m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.
- 24.00 à 25.00m : silt argileux compact de couleur jaunâtre, présence des graviers, plasticité moyen, faible cimentation, humide et structure en bloc.

**Forage N°4 :**

- 0.00 à 1.00m : silt sableux de couleur marron foncé avec des grains de quartz fin à moyen, structure en bloc, faible dilatation, pas d'odeur, et faible cimentation.
- 1.00 à 2.00m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxènes, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 2.00 à 3.00m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxènes, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 3.00 à 4.00m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxènes, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 4.00 à 5.00m : silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, des pyroxènes, argile et mica à l'état de trace, structure en bloc, plasticité faible, humide et faible cimentation.
- 5.00 à 6.00m : silt sableux de couleur gris avec des grains de quartz fin à grossier et un trace de pyroxène, argile et mica, plasticité faible, faible dilatation, humide et structure en bloc.
- 6.00 à 7.00m : silt sableux de couleur gris foncé avec des grains de quartz fin à moyen, présence de mica mais l'argile à l'état de trace, faible dilatation, faible cimentation, et humide.
- 7.00 à 8.00m : silt sableux de couleur gris foncé avec des grains de quartz fin à moyen, présence de mica mais l'argile à l'état de trace, faible dilatation, faible cimentation, et humide.

- 8.00 à 9.00m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen, faible cimentation, structure en bloc, faible dilatation et humide.
- 9.00 à 10.00m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen et l'argile à l'état de trace, faible cimentation, structure homogène, faible dilatation et humide.
- 10.00 à 11.00m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen et l'argile à l'état de trace, faible cimentation, structure homogène, faible dilatation et humide.
- 11.00 à 12.00m : silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen et l'argile à l'état de trace, faible cimentation, structure homogène, faible dilatation et humide.
- 12.00 à 13.00m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 13.00 à 14.00m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 14.00 à 15.00m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 15.00 à 16.00m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 16.00 à 17.00m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 17.00 à 18.00m : silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace, faible dilatation faible cimentation et humide.
- 18.00 à 19.00m : silt argileux de couleur marron, présence des graviers avec des grains de quart fin à l'état de trace, structure homogène, faible cimentation et humide.
- 19.00 à 20.00m : silt argileux de couleur marron, présence des graviers avec des grains de quart fin à l'état de trace, structure homogène, faible cimentation et humide.

### **III.2.4- Coupe lithologique**

La coupe lithologique du terrain au forage de reconnaissance connaît le profil du gisement et la nature de sous-sol. Elle détermine leur couleur, les compositions minéralogiques les niveaux d'altérations et les autres particuliers des couches. L'interprétation est basée à la géologie des coupes lithologiques des terrains

**Forage N°1**

Profondeur (m)	Coupe lithologique
0.00	Silt argileux, de couleur marron avec des grains de quartz et gravier rond.
2.00	Silt de couleur marron jaunâtre avec quartz et mica à l'état de trace .
4.00	Silt de couleur marron jaunâtre tacheté noir et rouge avec des traces de quartz fin, mica et minéraux carbonés.
7.00	Silt de couleur marron de tacheté rouge noir et blanc avec des grains de quartz fin à moyen, mica, talc et pyroxène à l'état de trace.
12.00	Silt sableux avec des grains de quartz grossier, pyroxène et plagioclase.
13.00	Silt marron, roche ignée massive, fracturée .
14.00	Pyroxénite un peu altéré à grain grossier, massive, constitué de feldspath altéré, pyroxène mica, présence des fissures virtuelles.
20.00	

**Tableau 1: Coupe lithologique de forage N°1**

D'après la lithologie, on peut classer les roches en 2 types: les roches d'altération à savoir le silt argileux, le silt et le silt sableux et les roches mères à savoir les pyroxénites.

Les roches d'altération se trouvent entre 0.00m à 12.00m. Elles sont tendres et ne subissent pas des phénomènes tectoniques car elles ne contiennent pas ni fissures ni plis. Elles peuvent être dérivées de la roche mère mafique car on ne voit aucun signe de transport des sédiments donc on a une roche d'altération latéritique des roches mafiques. Mais entre 12.00m à 13.00m de profondeur, on a un silt sableux ce qui signifie qu'il provient des roches acides. Il y a donc une roche acide qui se trouve entre les roches mafiques.

Il y a un changement de lithologie entre 13.00m à 20.00m de profondeur, les roches deviennent ignées mais très altérées à un peu altérées. On peut dire que ce sont des roches mères ou bed-rock. Elles sont fracturées.

Forage N°2:

Profondeur (m)	Coupe lithologique	
0.00		Silt argileux, de couleur marron foncé, présence des débris des racines et de trace de kaolin.
1.00		Silt argileux, de couleur marron foncé, présence des minéraux noir et de trace de kaolin .
4.00		Silt argileux, de couleur marron foncé, présence des minéraux noir et de trace de kaolin mais la roche devient compact.
9.00		Silt argileux, de couleur marron, il y a une enrichissement en kaolin.
20.0		

Tableau 2: Coupe lithologique de forage N°2

Dans la profondeur 0.00m à 20.00m, il n'y a pas des changements des lithologies. Les roches sont constituées essentiellement par des argiles. Elles peuvent provenir de l'altération des roches basiques car il n'y a aucun signe de sédimentation et ne subissent aucun événement tectonique, pas de fissuration, pas de faille, ni plissement .Dans le gisement d'Ambatovy, le nickel se concentre dans les argiles latéritiques alors, si c'est le cas, ces argiles représentent des réserves importantes à cause de leur épaisseur qui peut dépasser de 20.00m.

**Forage N°3 :**

Profondeur (m)	Coupe lithologique	
0.00		Silt argileux compact de couleur jaune marron avec des grains de quartz à l'état de trace.
2.00		Argile compact de couleur marron rouge, disparition des grains de quartz.
5.00		Argile de couleur jaunâtre, roche altérée constituée par des minéraux à grain moyen avec des grains de quartz à l'état de trace.
7.00		Argile de couleur jaunâtre, roche très altérée constituée par des minéraux de grain fin à moyen.
13.00		Argile de couleur jaunâtre avec des grains de quartz fin à grossier, kaolin et carbone à l'état de trace.
17.00		Argile de couleur jaunâtre, rougeâtre. Disparition de trace de kaolin et carbone.
19.00		Silt argileux compact de couleur jaunâtre. Présence des graviers.
25.00		

**Tableau 3: Coupe lithologique de forage N°3**

Comme dans le forage N°2, dans la profondeur 0.00m à 25.00m, les roches sont généralement constituées par des argiles. Elles peuvent provenir de l'altération des roches basiques car il n'y a aucun signe de sédimentation et ne subissent aucun événement tectonique: pas de fissuration, pas de faille, ni plissement. Le phénomène d'altération est important sur ce lieu car jusqu'à 25.00m on n'arrive pas à rencontrer le bed-rock. Dans le gisement d'Ambatovy, le nickel se concentre dans les argiles latéritiques alors, si c'est le cas ces argiles représentent des réserves importantes à cause de leurs épaisseurs.

**Forage N°4**

Profondeur (m)	Coupe lithologique	
1.00		Silt sableux de couleur marron foncé, avec des grains de quartz fin à moyen .
3.00		Silt sableux de couleur jaune paille avec des grains de quartz fin à moyen, pyroxène, argile et mica à l'état de trace.
5.00		Silt sableux de couleur jaune et gris avec des grains de quartz fin à moyen, pyroxène, argile et mica à l'état de trace.
6.00		Silt sableux de couleur gris avec des grains de quartz fin grossier et trace de pyroxène et mica.
8.00		Silt sableux de couleur gris foncé avec des grains de quartz fin à moyen , présence de mica main l'argile à l'état de trace.
9.00		Silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen.
12.00		Silt sableux à mica de couleur gris avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace.
18.00		Silt sableux de couleur marron avec des grains de quartz fin à moyen et des argiles à l'état de trace.
20.00		Silt argileux de couleur marron, présence des graviers avec des grains quartz fin à l'état de trace.

**Tableau 4: Coupe lithologique de forage N°4**

Sur ce forage, le silt sableux a une épaisseur de 18.00m. Il est une roche d'altération mais la présence des quartzs avec un pourcentage important montre que la roche originelle est une roche acide. De 18.00m à 20.00m, le silt devient argileux cela veut dire que la roche d'origine devient basique. Ces roches ne subissent aucun événement tectonique. D'après le type de gisement d'Ambatovy, ces roches ne peuvent pas contenir des quantités de nickel importantes mais il faut faire des analyses géochimiques pour confirmer une telle hypothèse.

## CONCLUSION GENERALE

Les essais S.P.T., P.E.I. et pénétromètre dynamique sont incontournables lors d'une étude minière à grande échelle, comme celle du projet Nickel-Ambatovy. Elles permettent non seulement de faire une analyse globale de la réserve à exploiter mais surtout, elles donnent des informations non négligeables pour la reconnaissance géotechnique, avant d'adopter les différentes techniques adéquates pour la construction des ouvrages nécessaires à la phase d'exploitation.

L'objectif de ce mémoire de fin d'étude est d'éclaircir le rôle de l'essai de forage pour identifier les différentes structures géologiques, les caractéristiques physiques et mécaniques, et les paramètres hydrodynamiques. Les résultats des études antérieures ont été confirmés par la réalisation de quelques dizaines des forages éparpillés dans les deux sites, Ambatovy et Analamay.

Le gisement de nickel d'Ambatovy correspond à des argiles latéritiques nickélifères. Les résultats de ces forages nous montrent que les argiles nickélifères ont une épaisseur suffisamment importante. Elles ont une puissance plus de 20m, sauf dans le premier forage qui n'a que 13m d'épaisseur. Ces résultats sont largement satisfaisants, ils ont dépassé la prévision qu'on attend auparavant, c'est-à-dire après les données de forage d'essai pendant la phase d'identification de ce projet.

Le stage de deux mois qu'on a effectué au sein de la société Colas Madagascar, service forage, a permis de maîtriser l'utilisation de la machine de forage. Les plusieurs identifications des différentes formations géologiques me permettent d'éclaircir la réalité sur terrain, il augmente l'expérience dans la filière mines. On a pu bénéficier d'une grande expérience et de savoir faire dans l'équipe de Colas Madagascar.

Dans le cadre du projet Nickel-Ambatovy, la réalisation des services de forage n'est pas encore terminées, notamment des forages allant jusqu'à 45m de profondeur sont prévus pour avoir beaucoup plus des informations. A notre époque, à Madagascar, un bel avenir nous attendra dans le monde de travail du service de forage et c'est pour les ingénieurs et les

techniciens spécialisés dans ce domaine. Non seulement, dans ce projet mais également dans les autres projets que soit en gestation où même en phase de réalisation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CAMBEFORT H. (1965), 'Forage et Sondages' Ingénieur civil de l'école normale des ponts et chaussées.
- CONRAUX J. (1963) Syndicat nickel Moramanga. 'Etude des latérites nickélifères des massifs d'Ambatovy et Analamay'. Rapport BRGM TAN 63A8.
- CASSAN M. (1987) 'Les essais in-situ en mécanique des sols' Tome 1.
- COST et SANGLERAT 'Cours pratique de mécanique des sols' Tome 2.
- DEBOS L. et RANTOANINA M. (1960), ' Les gisements Fer-Nickel des environs de Moramanga', Service Géologique.
- FILLIAT G. 'La pratique des sols et fondations' édition du moniteur 1981.
- JOURDE G. (1964) 'Le complexe intrusif d'Antampombato'. Rapport BRGM TAN 64A21.
- GOGUEL J. (1952) 'Application de la géologie' aux travaux de l'ingénieur 203.
- GOGUEL J. (1952), 'Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur'. Un volume de 384 pages.
- HAVARD M. (1983) 'Guide de géotechnique Lexique et essais-Eyrolles '.
- LIAUTAUD G. Outre-Mer (janvier 1967) 'Note technique sur le STANDARD PENETRATION TEST'.
- NUYENS J. (1973) 'Capacité portante et tassement des fondations à partir d'essais in-situ' Presse Universitaires de Bruxelles.
- PROJET DE DTU 11-1 'Revue géotechnique N° 22'.
- RANTOANINA M. LEVERS 1960-1961: carte géologique antérieure 1/ 200 000.
- WAYNE H. et TENG C. Eyrolles PARIS (1960) ' Calcul des fondations et murs de soutènement'.

FOISSY B. (1968) Syndicat nickel Moramanga. 'Travaux exécutés en 1968 à Ambatovy'.  
BRGM 68 TAN 32.

**Les sites web consultés :**

- [http://reconnaissance\\_chap1](http://reconnaissance_chap1) (consulter le 10 mai 2007)
- [http://Géotechnique\\_ Mécanique des sols et des roches.htm](http://Géotechnique_Mécanique des sols et des roches.htm) (consulter le 9 octobre 2007)

**ANNEXES I :**

**FORMULE DE VALEUR DE RESISTANCE EN PENETROMETRE DYNAMIQUE :**

Les résultats des différents types de pénétration dynamique s'expriment par des valeurs résistance  $q_d$  ( $q_{dA}$ ,  $q_{dB}$ ) ou  $r_d$  ( $r_{dA}$ ,  $r_{dB}$ ) exprimées en Pa, kPa ou MPa, telles que:

$$r_d = \frac{M.g.H}{A.e}$$

et

$$q_d = \frac{M}{M+M'} \cdot \frac{M.g.H}{A.e}$$

Où:

- M est la masse du mouton (en N ou kN).
- M' est la somme des masses du train de tiges, de l'enclume des accessoires (en N ou kN).
- H est la hauteur de chute (en m).
- A est la section droite de la pointe ( $m^2$ ).
- g est l'accélération de la pesanteur.
- e est la pénétration moyenne par coups et égale à:

$$e = \frac{h}{N_d}$$

Avec h: hauteur de l'enfoncement (m)

$N_d$  : nombre de coups nécessaires à l'enfoncement h.

**ANNEXES II :**

**TABLEAUX DES RESULTATS :**

**1- Résultats des S.P.T :**

Forage N°1 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Forces
0.00-0.45	0.45	1	0.14	3-4-4
1.00-1.45	0.45	2	0.24	7-10-14
1.55-2.00	0.45	3	0.19	6-10-12
2.00-2.45	0.45	4	0.33	7-11-14
3.00-3.45	0.45	5	0.42	10-13-13
4.00-4.45	0.45	6	0.39	9-14-18
5.00-5.45	0.45	7	0.41	11-13-17
6.00-6.45	0.45	8	0.44	12-15-17
7.00-7.45	0.45	9	0.45	10-12-15
8.00-8.45	0.45	10	0.32	11-17-23
9.00-9.45	0.45	11	0.42	13-14-18
10.00-10.45	0.45	12	0.45	12-17-22
11.00-11.45	0.45	13	0.40	24-44-60
12.00-12.45	0.45	14	0.23	34-52(refus)
13.00-13.45	0.45	15	0.00	52 (Refus)

*Résultat de S.P.T. Forage N°3.*

Forage N°2 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Forces
0.00-0.45	0.45	1	0.15	8-7-7
1.00-1.45	0.45	2	0.10	6-6-8
2.00-2.45	0.45	3	0.21	6-6-10
3.00-3.45	0.45	4	0.23	6-10-12
4.00-4.45	0.45	5	0.30	6-11-21
5.00-5.45	0.45	6	0.37	6-8-14
6.00-6.45	0.45	7	0.33	10-16-27
7.00-7.45	0.45	8	0.45	11-16-23
8.00-8.45	0.45	9	0.43	11-13-19
9.00-9.45	0.45	10	0.45	10-13-20
10.00-10.45	0.45	11	0.45	13-20-33
11.00-11.45	0.45	12	0.38	12-20-22
12.00-12.45	0.45	13	0.45	14-17-23
13.00-13.45	0.45	14	0.36	12-15-21
14.00-14.45	0.45	15	0.45	11-14-22
15.00-15.45	0.45	16	0.45	13-17-21
16.00-16.45	0.45	17	0.42	16-14-44
17.00-17.45	0.45	18	0.45	6-14-24
18.00-18.45	0.45	19	0.45	14-14-24
19.00-19.45	0.45	20	0.42	13-19-40

*Résultat de S.P.T. Forage N°2.*

Forage N°3 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Forces
0.00-0.45	0.45	1	0.16	6-10-10
1.00-1.45	0.45	2	0.29	5-10-12
2.00-2.45	0.45	3	0.20	8-15-14
3.00-3.45	0.45	4	0.27	9-17-12
4.00-4.45	0.45	5	0.30	7-12-14
5.00-5.45	0.45	6	0.24	6-11-13
6.00-6.45	0.45	7	0.23	4-8-10
7.00-7.45	0.45	8	0.29	5-9-13
8.00-8.45	0.45	9	0.28	5-13-17
9.00-9.45	0.45	10	0.25	12-15-22
10.00-10.45	0.45	11	0.26	7-14-21
11.00-11.45	0.45	12	0.30	8-10-23
12.00-12.45	0.45	13	0.24	7-14-20
13.00-13.45	0.45	14	0.37	5-12-14
14.50-14.95	0.45	15	0.32	13-16-18
16.00-16.45	0.45	16	0.28	4-7-12
19.00-19.45	0.45	17	0.32	12-21-26
20.50-20.95	0.45	18	0.40	4-8-22
22.00-22.45	0.45	19	0.33	7-12-19
23.50-23.95	0.45	20	0.38	10-16-26

*Résultat de S.P.T. Forage N°3.*

Forage N°4 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Forces
0.00-0.45	0.45	1	0.18	8-11-13
1.00-1.45	0.45	2	0.21	5-3-10
2.00-2.45	0.45	3	0.24	4-10-12
3.50-3.95	0.45	4	0.25	5-11-14
5.00-5.45	0.45	5	0.28	5-7-11
6.00-6.45	0.45	6	0.30	9-12-17
7.00-7.45	0.45	7	0.26	11-19-21
8.00-8.45	0.45	8	0.35	11-12-15
9.00-9.45	0.45	9	0.40	11-17-22
10.00-10.45	0.45	10	0.35	20-21-37
11.00-11.45	0.45	11	0.42	13-33-49
12.00-12.45	0.45	12	0.28	43-76(refus)
13.00-13.45	0.45	13	0.26	31-55-53(refus)
14.00-14.45	0.45	14	0.25	42-76(refus)
15.00-15.45	0.45	15	0.24	13-40-53(refus)
16.00-16.45	0.45	16	0.15	60-76(refus)
17.00-17.45	0.45	17	0.07	56(refus)
18.00-18.45	0.45	18	0.09	58(refus)

*Résultat de S.P.T. Forage N°2.*

## 2- Résultats des P.E.I. :

Forage N°1 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Observation
1.50-2.0	0.50	1	0.00	refus

*Résultat de P.E.I. Forage N°1.*

Forage N°2 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Observation
0.45-0.95	0.50	1	0.35	-
1.45-1.95	0.50	2	0.36	-
2.45-2.95	0.50	3	0.28	-
3.45-3.95	0.50	4	0.27	-
4.45-4.95	0.50	5	0.15	-

*Résultat de P.E.I. Forage N°2.*

Forage N°3 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Observation
5.50-6.00	0.50	1	0.35	-
7.50-8.00	0.50	2	0.45	-
9.50-10.00	0.50	3	0.04	refus au 9.45m
13.50-14.00	0.50	4	0.50	-
16.50-17.00	0.50	5	0.00	refus

*Résultat de P.E.I. Forage N°3.*

Forage N°4 :

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons			
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)	Observation
2.50-3.00	0.50	1	0.45	-
4.00-4.50	0.50	2	0.50	-

*Résultat de P.E.I. Forage N°4.*

## 3- Résultats des essais de pénétromètre:

Forage N°1:

profondeur (m)	Valeurs (kg/cm <sup>2</sup> )		
	N°1	N°2	N°3
1.40	2.00	2.50	2.25
2.70	1.25	1.50	-

*Résultat d'essai pénétromètre Forage N°1.*

**Forage N°2:**

profondeur (m)	Valeurs (kg/cm <sup>2</sup> )		
	N°1	N°2	N°3
1.20	0.50	0.75	-
1.70	1.00	2.00	-
4.60	1.00	2.00	-
5.80	1.50	2.00	-
6.40	2.00	2.50	-
7.80	2.00	3.00	-

**Résultat d'essai pénétromètre Forage N°2.**

Forage N°3:

profondeur (m)	Valeurs (kg/cm <sup>2</sup> )		
	N°1	N°2	N°3
4.25	0.75	0.75	0.50

**Résultat d'essai pénétromètre Forage N°3.**

Forage N°4:

profondeur (m)	Valeurs (kg/cm <sup>2</sup> )		
	N°1	N°2	N°3
2.93	2.75	2.50	3.00
4.00	1.75	1.20	1.25
4.50	2.25	2.50	2.25
5.85	1.00	1.00	1.25
6.25	1.00	1.25	1.00
7.74	1.75	1.50	1.50
8.33	1.00	0.75	1.00
11.54	2.25	2.00	2.00
12.26	1.50	1.25	-
13.33	0.25	0.50	-
14.35	1.25	1.00	-
15.30	1.00	-	-
16.00	1.25	-	-
17.00	1.00	0.75	-

**Tableau 10: Résultat d'essai pénétromètre Forage N°4.**

**4- Résultats des carottages :**

Forage N°1:

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons		
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)
0.00-1.00	1.00	1	1.00
1.00-1.50	0.50	2	0.50
1.50-2.00	0.50	3	0.50
2.00-3.00	1.00	4	0.67
3.00-4.00	1.00	5	1.00
4.00-5.00	1.00	6	0.70
5.00-6.00	1.00	7	0.80
6.00-7.00	1.00	8	1.00
7.00-8.00	1.00	9	0.82
8.00-9.00	1.00	10	0.68
9.00-10.00	1.00	11	0.81
10.00-11.00	1.00	12	0.53
11.00-12.00	1.00	13	0.70
12.00-13.00	1.00	14	1.00
13.00-14.00	1.00	15	1.00
14.00-16.00	2.00	16	1.40
16.00-17.00	1.00	17	0.32
17.00-18.50	1.50	18	0.84
18.50-20.00	1.50	19	0.75

*Carottage de Forage N°1.*

Forages N°2:

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons		
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)
0.00-1.00	1.00	1	1.00
1.00-2.00	1.00	2	0.85
2.00-3.00	1.00	3	0.99
3.00-4.00	1.00	4	0.95
4.00-5.00	1.00	5	0.85
5.00-6.00	1.00	6	0.65
6.00-7.00	1.00	7	0.68
7.00-8.00	1.00	8	0.57
8.00-9.00	1.00	9	0.73
9.00-10.00	1.00	10	1.00
10.00-11.00	1.00	11	0.76
11.00-12.00	1.00	12	1.00
12.00-13.00	1.00	13	0.83
13.00-14.00	1.00	14	0.96
14.00-15.00	1.00	15	1.00
15.00-16.00	1.00	16	0.97
16.00-17.00	1.00	17	0.87
17.00-18.00	1.00	18	0.87
18.00-19.00	1.00	19	1.00
19.00-20.00	1.00	20	0.53

*Tableau 16: Carottage de Forage N°2.*

Forage N°3:

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons		
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)
0.00-1.00	1.00	1	1.00
1.00-2.00	1.00	2	1.00
2.00-3.00	1.00	3	1.00
3.00-4.00	1.00	4	0.80
4.00-5.00	1.00	5	0.65
5.00-6.00	1.00	6	0.40
6.00-7.00	1.00	7	1.00
7.00-8.00	1.00	8	0.64
8.00-9.00	1.00	9	1.00
9.00-10.00	1.00	10	0.40
10.00-11.00	1.00	11	0.50
11.00-12.00	1.00	12	0.75
12.00-13.00	1.00	13	0.63
13.00-14.50	1.50	14	0.85
14.50-16.00	1.50	15	0.98
16.00-17.50	1.50	16	0.62
17.50-19.00	1.50	17	0.55
19.00-20.50	1.50	18	0.45

20.50-22.00	1.50	19	0.54
22.00-23.50	1.50	20	0.48
23.50-25.00	1.50	21	0.65

*Carottage de Forage N°3.*

Forage N°4:

Intervalle de profondeur (m)	Echantillons		
	Profondeur (m)	Numero	Recuperation(m)
0.00-1.00	1.00	1	1.00
1.00-2.00	1.00	2	1.00
2.00-2.50	0.50	3	0.50
2.50-3.50	1.00	4	0.85
3.50-4.00	0.50	5	0.50
4.00-5.00	1.00	6	0.60
5.00-6.00	1.00	7	1.00
6.00-7.00	1.00	8	0.78
7.00-8.00	1.00	9	1.00
8.00-9.00	1.00	10	0.84
9.00-10.00	1.00	11	0.58
10.00-11.00	1.00	12	0.86
11.00-12.00	1.00	13	0.74
12.00-13.00	1.00	14	0.75
13.00-14.00	1.00	15	0.60
14.00-15.00	1.00	16	0.40
15.00-16.00	1.00	17	1.00
16.00-17.00	1.00	18	0.15
17.00-18.00	1.00	19	0.60
18.00-19.00	1.00	20	0.51
19.00-20.00	1.00	21	0.30

*Carottage de Forage N°4.*

**ANNEXES III**

**ROCK QUALITY DESIGNATION (R.D.Q.):**

La densité de fracturation s'exprime par la formule suivante :

$$\text{R.D.Q. (\%)} = \frac{\sum \text{longueurs des carottes} > 10\text{cm}}{\text{longueur de la passe de forage}} \cdot 100$$

Le tableau suivant donne une indication de description de fracturation.

Classe.	R.D.Q. (%)	Description de la fracturation.
R.D.Q. 1	> 90	Densité de fracturation très faible.
R.D.Q. 2	90 à 75	Densité de fracturation faible.
R.D.Q. 3	75 à 50	Densité de fracturation moyenne
R.D.Q. 4	50 à 25	Densité de fracturation forte.
R.D.Q. 5	<25	Densité de fracturation très forte.

Cette information peut être utilement complétée par l'estimation de l'indice de fracturation qui est égale à la longueur médiane des carottes prélevées sur une passe de carottage.

**TABLE D MATIERES**

REMERCIEMENTS .....	I
SOMMAIRE .....	II
LISTE DES FIGURES .....	IV
LISTE DES PHOTOGRAPHIES .....	IV
LISTE DES TABLEAUX .....	IV
LISTE DES ACRONYMES .....	V
LISTE DES ANNEXES .....	V
INTRODUCTION.....	1
I.1- Cadre géographique .....	2
I.2- Contexte géologique .....	3
I.3- Description des travaux .....	4
I.3.1- Historiques des activités .....	4
I.3.2- Bilan des travaux .....	6
II.1- Quelques définitions .....	8
II.1.1- Forage .....	8
II.1.2- Sondage .....	8
II.1.3- Les sondages de reconnaissance de sol .....	8
II.2- Objectifs .....	8
II 3- Matériels et méthodes.....	9
II.3.1- Machine de sondeuse .....	9
II.3.2- Les opérations spéciales .....	12
II.3.3- Besoin personnel .....	14
II.3.4: Mode opératoire .....	15
II.3- Essai de pénétration en place .....	16
II.4.1- Essai pénétromètre dynamique.....	16
II.4.1.1- Définition .....	16
II.4.1.2- domaine d'application et appareillage .....	17
II.4.1.3- Procédures en dehors du domaine de référence .....	18
II.2- Essai de pénétromètre S.P.T.....	18
II.4.2.1- Généralité sur l'essai et appareillage .....	18
II.4.2.2- Mode d'exécution de l'essai .....	20
II.4.2.3- Précaution et domaine d'application .....	20

II.5- Méthode de prélèvement des sols .....	21
II.5.1- Généralité .....	21
II.5.2- Forages .....	21
II.5.3- Conservation et présentation des sols extraits.....	22
II.5.4- Préparation des piézomètres .....	23
II.5.4.1- Piézomètres .....	23
II.5.4.2- Implantation des piézomètres.....	23
III.1- Résultats des forages .....	25
III.1.1- Localisation .....	25
III.1.2- Résultats des S.P.T.....	26
III.1.3- Résultats des P.E.I.....	26
III.1.4- Résultats des essais de pénétromètre .....	27
III.1.5- Résultats des carottages .....	26
III.2- Description et Interprétation .....	27
III.2.1- Descriptions des échantillons de S.P.T. ....	27
III.2.2- Description des échantillons de P.E.I .....	33
III.2.3- Description des échantillons des carottages .....	34
III.2.4- Coupe lithologique .....	41
CONCLUSION GENERALE .....	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	VI
ANNEXE I .....	VII
ANNEXE II .....	IX
ANNEXE III .....	XV

**Titre:** ANALYSE DES RESULTATS DE SONDAGES REALISEES A AMBATOVOY  
DANS LE CADRE DU PROJET NICKEL-AMBATOVOY

**RESUME**

Dans le cadre d'un stage effectué au sein de la société Colas Madagascar, l'objectif de ce mémoire est de faire l'étude de quelques sondages de reconnaissance du sol et du sous-sol réalisés dans le cadre du projet nickel-Ambatovy. On utilise la méthode de forage carottier et les essais de pénétromètre standard.

Des travaux des reconnaissances ont été abordés, la description et l'interprétation des coupes lithologiques de terrains sont largement développées.

En prenant les résultats de ces quatre forages, l'interprétation des différentes coupes lithologiques a montré la structure et la nature du sous-sol de différentes formes. La reconnaissance doit être considéré comme pré-étude avant toute exploitation d'un gisement.

**Mots clés:** Forage, sondage, reconnaissance, essai de pénétromètre, Nickel-Ambatovy.

**ABSTRACT**

As part of a traineeship in society Colas Madagascar, the objective of this thesis is to study some polls recognition of the soil and subsoil made in the project nickel-Ambatovy. It uses the method of core drilling and testing of standard penetrometer.

Work recognition were discussed, the description and interpretation of cuts lithologic land are largely developed.

By taking the results of the four wells, the interpretation of the different lithological cuts showed the structure and nature of the basement of different forms. Recognition must be considered before any preliminary exploitation of a deposit.

**Keywords:** drilling, sampling, reconnaissance, penetrometer test, Nickel-Ambatovy.

**Encadreur:**

Dr. RAZAFINDRAKOTO Boni Gauthier

**Impétrant:**

LALA HARIMANANA Fanomezantsoa

**Tel:** 0331449100

**E-mail:** [lalafano111@yahoo.fr](mailto:lalafano111@yahoo.fr)

**Adresse:** Bloc 416 Porte CD Cité Ambatomaro.  
Antananarivo 101.