



**UNIVERSITE  
D'ANTANANARIVO**



**ECOLE SUPERIEURE  
POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO**

**MENTION GENIE GEOLOGIQUE**

**PARCOURS GEOLOGIE MINIERE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE  
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE LICENCE EN GEOLOGIE MINIERE**

**RAPPORT DE STAGE  
D'INITIATION  
A LA GEOTECHNIQUE**

**Soutenu par : DADA Sylvano Manacé**

**Le 15 Avril 2016**

*Année académique : 2014-2015*



**UNIVERSITE  
D'ANTANANARIVO**



**ECOLE SUPERIEURE  
POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO**

**MENTION GENIE GEOLOGIQUE**

**PARCOURS GEOLOGIE MINIERE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE  
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE LICENCE EN GEOLOGIE MINIERE**

**RAPPORT DE STAGE  
D'INITIATION  
A LA GEOTECHNIQUE**

**Soutenu par : DADA Sylvano Manacé**

**Le 15 Avril 2016**

**Président de jury :** Mr RABENANDRASANA Samuel

**Encadreur :** Mr ZOKIMILA Niainarivony Pierre

**Examineur :** Mme RAVALONANDRO Vonifanjanirina M. Georgina

*Année académique : 2014-2015*

## **AVANT PROPOS**

Dans le cadre de la formation au sein de l'ESPA (Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo), il est conseillé aux étudiants de la troisième année d'effectuer un stage au sein d'une entreprise, que ce soit une entreprise privée ou publique dans le domaine des géosciences.

Un rapport doit être rédigé, à l'issue du stage, pour l'entreprise et en vue d'une soutenance de mémoire permettant la validation du grade de licence.

Ainsi, j'ai eu la chance d'effectuer un stage d'initiation à la géotechnique au sein du Laboratoire National du Travaux Publics et du Bâtiments (LNTPB).

Ce stage m'a permis d'avoir des connaissances particulières sur la mécanique des sols et m'a permis d'acquérir des expériences sur les travaux de laboratoire. Ceux la constituent un atout essentiel pour l'intégration dans le monde professionnel.

## **REMERCIEMENT**

D'abord, je tiens à remercier Dieu le Père de m'avoir donné le temps et l'opportunité d'accomplir ce présent travail.

Mes sincères reconnaissances à Monsieur ZOKIMILA Niainarivony Pierre, Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui a accepté de m'encadrer et qui a partagé ses connaissances durant ce mémoire.

Je tiens vivement à remercier :

- Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo,
- Monsieur MANDIMBIHARISON Aurélien Jacques, Responsable de la mention GENIE GEOLOGIQUE à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo,
- Monsieur RANDRIAMIHARIVELO Philibert Daniel, Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo,
- Monsieur RANDRIANARISATA Louis de Gonzague, Directeur général du LNTPB,
- Monsieur RAKOTOARISON Pierre Donat, Directeur des opérations au LNTPB,
- Monsieur RAZAFIMAHATRATRA Raymond, Directeur de Recherche, Développement et commercial au LNTPB,
- Monsieur RANAHARIJAONA Robin: Responsable de Management et qualité au LNTPB,
- Monsieur RAKOTONIAINA René, Chef de Laboratoire de sols au LNTPB.
- Tous les personnels du LNTPB,
- Ainsi que tous les enseignants de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo,

A mes amis, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce rapport.

Enfin, un vif remerciement à mes parents qui m'ont soutenu moralement et financièrement durant le stage et durant l'élaboration de ce présent rapport.

# TABLES DES MATIERES

<b>AVANT PROPOS</b> .....	<b>1</b>
<b>REMERCIEMENT</b> .....	<b>2</b>
<b>TABLES DES MATIERES</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
<b>GENERALITES SUR LES SOLS :</b> .....	<b>7</b>
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA MECANIQUE DES SOLS : .....	7
CHAPITRE II : LE SOL .....	7
1. <i>Quelques définitions sur le sol et son origine:</i> .....	7
2. <i>Classification des sols :</i> .....	8
a. <i>Classification par la taille des grains solides :</i> .....	8
b. <i>Classification par le comportement des sols :</i> .....	8
CHAPITRE III : LE SOL ET LA GEOTECHNIQUE : .....	9
<b>LES DIFFERENTS ESSAIS REALISES AU LABORATOIRE SUR LES IDENTIFICATIONS DES SOLS</b> .....	<b>10</b>
CHAPITRE I : LA TENEUR EN EAU : .....	10
1. <i>Définition et objectif de l'essai :</i> .....	10
2. <i>Matériels nécessaires et mode opératoire :</i> .....	11
3. <i>Conclusion :</i> .....	12
CHAPITRE II : ESSAI DE COMPACTAGE: .....	12
1. <i>Définition et objectif de l'essai :</i> .....	12
2. <i>Matériels nécessaires et mode opératoire :</i> .....	13
3. <i>Principe :</i> .....	14
4. <i>Conclusion :</i> .....	15
CHAPITRE III : LE C.B.R (CALIFORNIA BEARING RATIO) .....	15
1. <i>But de l'essai :</i> .....	15
2. <i>Indice portant CBR:</i> .....	15
3. <i>Appareillages :</i> .....	15
4. <i>Modes opératoires:</i> .....	16
5. <i>Résultats :</i> .....	16
CHAPITRE IV : LIMITE D'ATTERBERG .....	16
1. <i>Définition et objectif :</i> .....	16
2. <i>Matériel nécessaire et mode opératoire :</i> .....	17
3. <i>Conclusion :</i> .....	18
CHAPITRE V : EQUIVALENT DE SABLE .....	18
1. <i>Définition et objectif de l'essai :</i> .....	18
2. <i>Principe de l'essai et matériel nécessaire :</i> .....	18
3. <i>Mode opératoire :</i> .....	18
4. <i>Interprétation et conclusion :</i> .....	20
CHAPITRE VI : GRANULOMETRIE .....	20
1. <i>Définition et objectif de l'essai :</i> .....	20
2. <i>Matériels nécessaires et mode opératoire :</i> .....	20
3. <i>Interprétation.</i> .....	21
CHAPITRE VIII : LE POIDS SPECIFIQUE .....	22
1. <i>Définition et Objectif de l'essai :</i> .....	22

**Rapport de stage du Laboratoire National du Travaux Publics et du Bâtiments (LNTPB)**

2. Matériels nécessaires :.....	22
3. Mode opératoire : .....	22
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>23</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>24</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>24</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>25</b>
<b>LISTES DES TABLEAUX.....</b>	<b>25</b>
<b>BIBLIOGRAPHIES .....</b>	<b>25</b>

# **INTRODUCTION**

Dans le cadre du système LMD (Licence-Master-Doctorat), les étudiants en troisième année devraient effectuer un stage au sein d'une entreprise public ou privée a la fin de leur année académique. Etudiant, troisième année en Géologie de l'ESPA (Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo), j'ai bénéficié un stage au sein du Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB).

Ce laboratoire fait des études sur le comportement mécanique des sols en tant que matériau de construction et support utilisé en construction. C'est-à-dire un ensemble de technique de construction en rapport avec les propriétés du sol ou la géotechnique.

Pour cela, il faut identifier les sols, car la reconnaissance de ce dernier nous permet de préciser l'utilisation possible ou non du sol pour un ouvrage déterminé tel que : les routes, immeubles, barrages, canaux, drainages et autres fondations,....

Ce rapport de stage intitulé " Initiation à la géotechnique" est basé sur des travaux bibliographiques et expérimentales.

Dans ce rapport, deux parties seront élaborés. En première parties, la généralité sur les sols, et en deuxième partie, les différentes essais réalisé au laboratoire.

## **Historique du LNTPB:**

Le Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB) est une société créée en 1954 dans sa forme initiale et transformée en 1995 en Société d'Economie Mixte et placée sous tutelle du Ministère des Travaux Publics et de la Météorologie.

Il bénéficie d'une cinquantaine d'années d'expériences autour des pôles de compétences suivantes :

- Connaissances dans les domaines de la Mécanique des Sols et des Fondations ;
- Connaissances des caractéristiques et du comportement des matériaux de construction ;
- Connaissances dans le développement des normes, méthodologies et technologies appropriées au contexte local.

Les étapes d'évolution :

- De 1954 à 1960 : le laboratoire a été crée par le service administration de la République Française assisté par le C.E.B.T.P. (Centre d'Etude des Bâtiments et des Travaux Publics de Paris) ;
- De 1960 à 1975 : l'Etat Malagasy a racheté le laboratoire et l'a transformé en E.P.I.C. (Entreprise Publique Industrielle à caractère Commerciale) ;
- De 1975 à 1980 : durant la période de la nationalisation à Madagascar, le laboratoire est rattaché au Ministère des Travaux Publics ;

## ***Rapport de stage du Laboratoire National du Travaux Publics et du Bâtiments (LNTPB)***

- De 1980 à 1991 : le laboratoire est transformé en une entreprise socialiste régie par la charte des entreprises socialistes ;
- En 1991 : le laboratoire est transformé en société anonyme dont la seule actionnaire jusqu'alors est l'Etat Malagasy, qui est encore à la recherche de collaborateurs étrangers ;
- En 1995 : le laboratoire est transformé en Société d'Economie Mixte et placée sous tutelle du Ministère des Travaux Publics et de la Météorologie.

Cependant, le Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment (LNTPB), sur les domaines de la Mécanique des Sols et des Fondations, fait des essais sur les sols pour une identification, c'est-à-dire identifier si le sol s'il est apte ou inapte à un ouvrage.

### **But du stage :**

D'abord, le stage a pour but de faire un rapport pour l'obtention du grade de licence dans le cadre du système LMD (Licence-Master-Doctorat).

Et aussi pour, il a pour but de :

- Initiation à la géotechnique
- Faire connaître les différents essais sur les sols,
- Mettre en pratiques nos connaissances
- A identifier les sols
- Faire savoir manipuler les instruments ou les appareils utilisés correspondant à chaque essai
- Nous faire intégrer dans le monde professionnel

## Généralités sur les sols :

### Chapitre I : Généralités sur la mécanique des sols :

La mécanique des sols, c'est une application des lois mécaniques au matériau sol. Elle est voisine de la mécanique des milieux continus qui étudie de nombreux matériaux comme l'acier, le bois, les bétons, les plastiques dont la plupart sont artificiels et donc de constitution bien connue.

Par d'autres aspects, la mécanique des sols est aussi proches des disciplines qui étudient les milieux minéraux naturels : la géologie, l'hydrogéologie, la mécanique des roches

La mécanique des sols est utilisée sur plusieurs domaines :

- Construction : Bâtiments et travaux publics
- Milieux naturels : problèmes de glissement de terrains sur un versant
- Aux ouvrages où le sol est le matériau de base :
  - les remblais (routes, barrages, digues de bassina en terre,...)
  - les déblais (talus, canaux, bassins,...)
- Aux ouvrages mixtes :
  - Murs de soutènements (béton, terre armée,...)

Voici quelques paramètres qu'on utilise en mécaniques des sols :

$\gamma_h [kN/m^3]$  : Le poids volumique du sol humide dans l'état où il se trouve ;

$\gamma_d [kN/m^3]$  : Le poids volumique sec (après l'expulsion de l'eau libre)

$\gamma_w [kN/m^3]$  : Le poids volumique de l'eau, égal à  $9,81 [kN/m^3]$

$\gamma_s [kN/m^3]$  : Le poids volumique des grains solides (en général compris dans l'intervalle  $26 \text{ à } 28 kN/m^3$ )

$w[\%]$  : La teneur en eau : rapport du poids d'eau au poids de sol sec

$w_{sat}[\%]$  : La teneur en eau a saturation : l'eau garnit tous les vides

Le sol supporte les fondations d'ouvrages. Il sert comme matériau de construction (barrages, remblais) et il contient des ouvrages souterrains (tunnels). Il reçoit aussi des matériaux à stocker (déchets industriels et nucléaires). Sert à extraire des minérales et autres ressources de production de l'énergie et des matériaux

### Chapitre II : Le sol

#### 1. Quelques définitions sur le sol et son origine:

- Partie superficielle de la croûte terrestre, à l'état naturel ou aménagée par l'homme.

- Ce sont des agrégats des minéraux qui résultent de l'altération des roches, qui peut être une altération chimique (oxydation,...), ou physique (variation de température, gel, dégel,...), ou mécanique (érosion, vagues,...).

**Les sols ont 02 origines principales :**

- Par la désagrégation des roches (altération mécanique ou physico-chimique sous l'effet des agents naturels)
- Par la décomposition des organismes vivants (végétaux comme la tourbe ou animaux comme la craie)

**2. Classification des sols :**

On peut classer les sols par la tailles des ses grains et par son comportement (sols pulvérulents ou sols cohérents),...

**a. Classification par la taille des grains solides :**

Cette classification se définit granulométriquement. Et se distingue par le diamètre moyen  $D$  des grains. On distingue :

Diamètre	Classe du sol
>200mm	Blocs rocheux
20mm-200mm	Cailloux
2mm-20mm	Graviers
0,2mm-2mm	Sables grossiers
20 $\mu$ m-0,2mm	Sables fins
2 $\mu$ m-20 $\mu$ m	Silts ou limons
<2 $\mu$ m	Argiles

**Tableau 1: classes des sols en fonction de leur taille de grains**

**b. Classification par le comportement des sols :**

- **Comportement pulvérulents :** Ce sont les sables, les graviers, les cailloux,... c'est-à-dire, les sols ayant comme diamètres des grains  $D > 20\mu$ . Ces sols sont constitués essentiellement de la silice, du calcaire et d'autres roches qui sont inertes.
- **Comportement des sols cohérents :** Cette classe est pour les sols dont la dimension des grains est  $D < 20\mu \Leftrightarrow 0,02\text{mm}$ . C'est donc des sols fins.

### **Chapitre III : Le sol et la géotechnique :**

A la différence des autres matériaux du génie civil et du bâtiment, les sols et les roches préexistent sur le site des travaux et la première phase de toute étude géotechnique consiste à définir la nature et l'état de ces terrains.

Les ouvrages utilisent le sol autant qu'un élément de l'infrastructure qui transmet la charge globale de l'ouvrage vers une couche du sol suffisamment stable et résistante. Selon le type de l'ouvrage et son mode de conception, le sol peut constituer une base d'appuis pour l'ensemble de l'ouvrage tel que la route, le tunnel, le barrage poids, ou un point d'appuis pour quelques éléments seulement tels que bâtiment, pont, barrage en arc.

On peut dire alors que pour faire un ouvrage, il faut d'abord étudier le sol qui tient l'ouvrage, c'est-à-dire étudier les comportements de ce sol.

## Les différents essais réalisés au laboratoire sur les identifications des sols.

Pourquoi on fait des essais sur les sols ? D'abord, tout ouvrage de Génie Civil est construit sur un sol. Donc, il est indispensable et nécessaire de connaître les caractéristiques et la nature du sol qui supporte l'ouvrage afin de choisir les meilleures options techniques.

Cette deuxième partie abordera les différentes essais réalisés lors du stage, les objectifs, le principe, les appareils nécessaires ainsi que les résultats obtenus pendant les essais.

### Chapitre I : La teneur en eau :

#### 1. Définition et objectif de l'essai :

On désigne par teneur en eau la quantité d'eau contenue dans un échantillon de matière. Par exemple un échantillon de sol, de roche, de céramique ou de bois, la quantité étant évaluée par un rapport de poids humides sur poids secs.

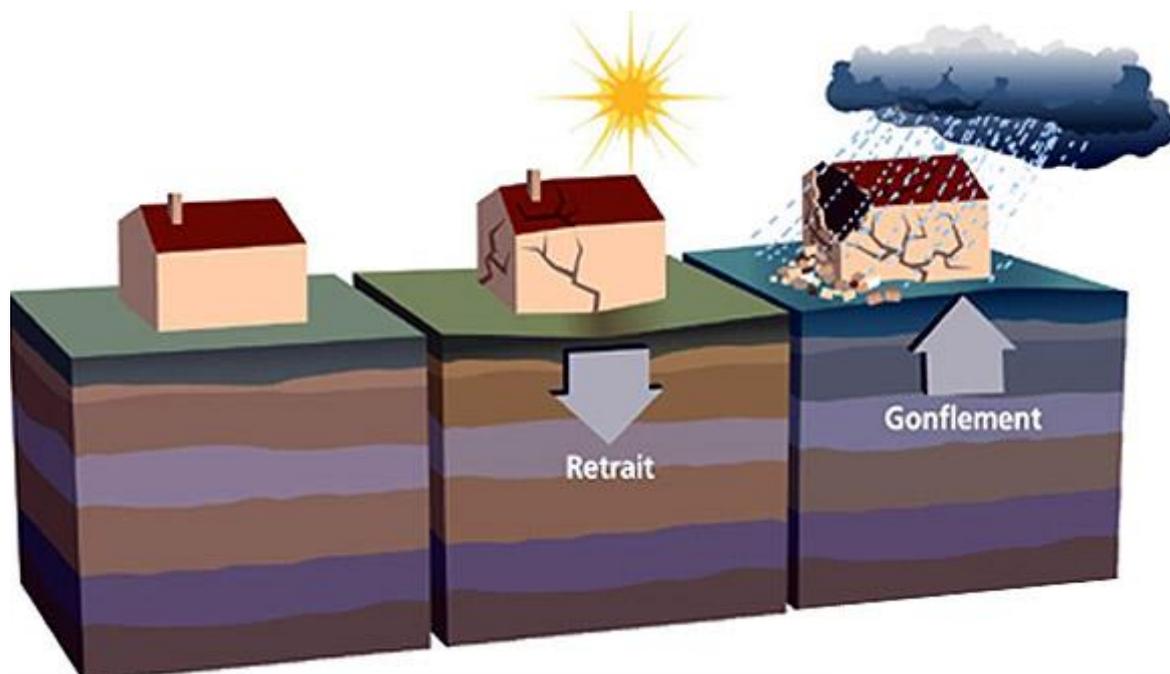


Figure 1: Déformation d'un sol en fonction de la teneur en eau

(Source : iDropProject.com)

Un sol se déforme en fonction de la variation de la quantité d'eau qu'il contient. Maîtriser la quantité d'eau; revient à maîtriser la portance du sol et donc à protéger les ouvrages qui y sont construits.

L'essai de teneur en eau nous permet de connaître le pourcentage massique ( $w\%$ ) d'eau dans le sol étudié, c'est-à-dire la masse d'eau présente par rapport à 100 grammes de sol sec.

Le calcul de teneur en eau est donné par la formule suivante :

$$w\% = \frac{P_{eau}}{P_{sec}} \times 100 \quad (1)$$

Avec :  $P_{sec}$  : poids sec de l'échantillon

$P_{eau} = P_h - P_{sec}$ : Le poid d'eau contenu dans l'échantillon

$P_h$ : Poids humide de l'échantillon

## **2. Matériels nécessaires et mode opératoire :**

Les appareils nécessaires pour la détermination de la teneur en eau d'un échantillon de matière sont :

- **Une balance de précision** : pour trouver ou mesurer le poids de l'échantillon
- **Étuve** : pour le séchage de l'échantillon
- **Une calculatrice** : pour calculer la teneur en eau



**Figure 2: Les instruments nécessaires à la mesure du teneur en eau**

**(Source : iDropProject.com)**

La mesure de teneur en eau se déroule suivant les phases suivantes :

- **Phase 1** : Détermination du poids humide ( $P_h$ ) de l'échantillon
  - Sur le terrain, disposer d'une balance type balance de cuisine et d'un récipient à faire contenir l'échantillon.
  - Poser le récipient sur la balance et faire la tare. (La balance doit indiquer «00» lorsque le récipient est dessus).
  - Répartir dans le récipient une couche de sol épaisse d'environ 2cm.
  - Noter le poids indiqué par la balance. On obtient le poids humide ( $P_h$ ) de l'échantillon.
- **Phase 2** : Détermination du poids sec ( $P_s$ ) de l'échantillon
  - Mettre l'échantillon dans l'étuve et le chauffer (105°C pendant 24heures) pour les matières non organique.

- Utiliser des gants pour éviter tout risque de brûlure.
- Après 24 heures, laisser se refroidir l'échantillon sous surveillance.
- Peser l'échantillon et noter le poids indiqué, c'est le poids sec ( $P_s$ ).

➤ **Phase 3** : Détermination de  $w\%$

- A l'aide d'une calculatrice, remplacer les valeurs de  $P_s$  et  $P_h$  dans la formule mathématique (1) et déterminer la teneur en eau ( $w\%$ ) du sol étudié.

### **3. Conclusion :**

L'essai permet de connaître la teneur en eau du matériau à mettre en œuvre, afin de la corriger si on a besoin, en aérant le sol, ou en l'humidifiant. Le but de la correction d'une teneur en eau est de se rapprocher de la teneur en eau optimale qui permet d'obtenir un compactage maximum du matériau. (Voir essai Proctor)

## **Chapitre II : Essai de compactage:**

### **1. Définition et objectif de l'essai :**

Le compactage est un ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place d'un sol. Il permet de resserrer la texture du matériau et réduit les possibilités de déformation du terrain tout en améliorant sa capacité portante.

Si on fait une variation de la teneur en eau  $w\%$  de l'échantillon d'un sol et que l'on représente graphiquement l'évolution de  $\gamma_d$  (poids volumique sec), après compactage, en fonction de  $w\%$ , on obtient une courbe "**en cloche**" qui présente un point haut appelé **optimum Proctor**.

L'essai Proctor est un essai géotechnique qui nous permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol par compactage à énergie fixe (dame de poids et dimensions normés).

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible.

Il existe deux essais Proctor :

- L'essai **Proctor Normal** réservé aux **couches de forme** et de remblais, et réalisé avec la dame normale (petite dame), quelque soit le moule,
- L'essai **Proctor Modifié** utilisé pour les **couches d'assise (les routes nationales)**, et réalisé avec la dame modifiée (grande dame)

## 2. Matériels nécessaires et mode opératoire :

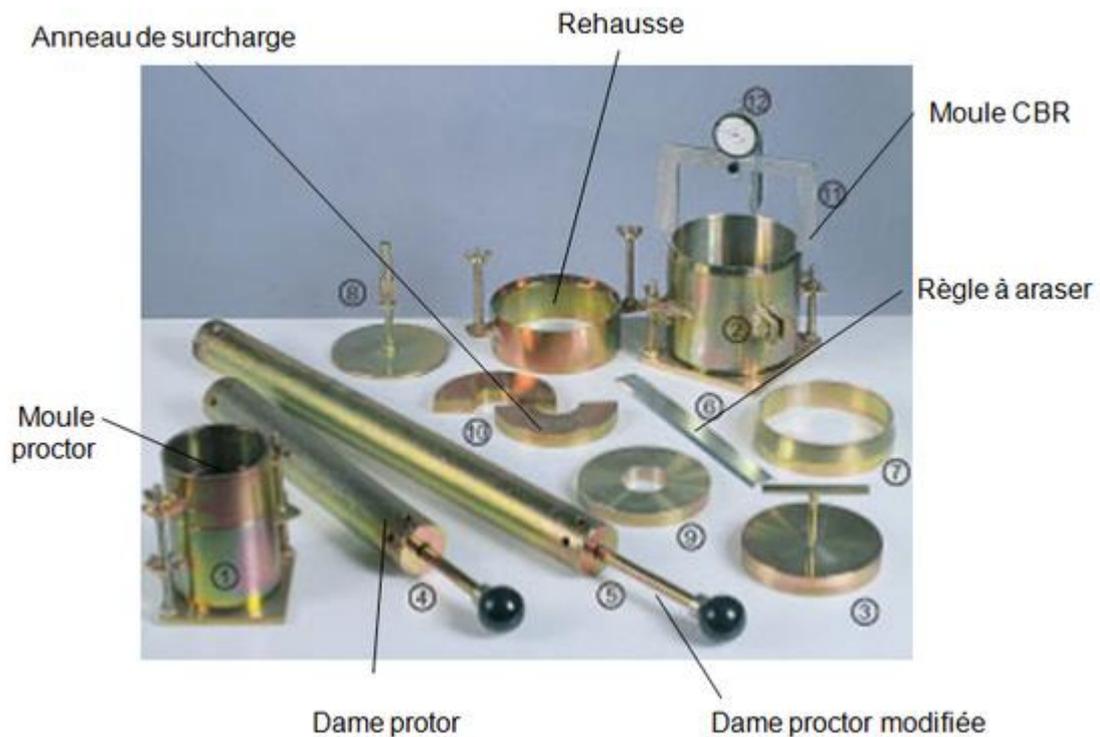
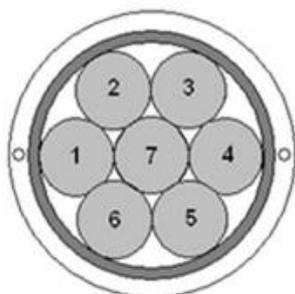


Figure 3: Les matériels nécessaires pour le compactage « PROCTOR »

(Source : iDropProject.com)

### Mode opératoire:

- Faire le choix du matériel (moule, dame) : Le choix du moule est défini par la taille des grains et le choix de l'énergie de compactage est défini par l'utilisation envisagée du sol et le peser à vide.
- Humidifier le sol à la teneur en eau voulue (la teneur en eau doit être inférieure à la teneur en eau optimale), bien homogénéiser (quartage) et monter la base du moule sur son socle et peser cet ensemble.
- Monter la rehausse sur le moule et effectuer l'essai Proctor suivant la norme (nombre de couches, nombre de coups de dame par couche et disposition de ces coups) et le plan de compactage ci-contre.



Plan de compactage  
par couches

Figure 4: la répartition des coups pour le compactage

- Retirer la hausse et araser
- Peser le moule sans la rehausse.

### **3. Principe :**

- **On détermine la masse humide nette de l'échantillon total  $W_h$  :**

Désolidariser la rehausse du moule et on arase le matériau à l'aide de la règle à araser. On nettoie le moule à l'aide d'un pinceau. Peser le moule plein. Et on calcul la masse humide nette a partir de la formule suivante :

$$W_h = \text{Masse du moule plein} - \text{Masse du moule vide} \quad (2)$$

- **Calcul de la teneur en eau  $w\%$  de l'échantillon :**

On démoule le contenu du moule. On prélève un échantillon partiel de matériau compacté. Et on détermine le poids d'eau et le poids sec de l'échantillon et on applique la formule de la teneur en eau Voir (1).

- **Calcul de la densité humide  $\gamma_h$  de l'échantillon:**  
On applique la formule suivante :

$$\gamma_h = \frac{W_h}{V_{Moule}} \quad (3)$$

Avec :  $W_h$  : masse humide nette de l'échantillon  
 $V_{Moule}$  : Volume intérieur du moule

- **Calcul de la densité sèche  $\gamma_d$  de l'échantillon:**

On applique la formule suivante :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{(1+w)} \quad (4)$$

**N.B :** Répéter 5 fois le même mode opératoire en ajoutant à chaque fois 2% d'eau au matériau. Collecter les résultats pour tracer une courbe sur lequel il est reporté la teneur en eau en abscisses et la densité sèche correspondante en ordonnées.

On obtient la courbe Proctor ci-après, et à partir de celui-ci on lit la teneur en eau optimale ( $w_{opt}$ ) pour le Proctor normal et la densité sèche optimale  $\gamma_{d Max}$ .

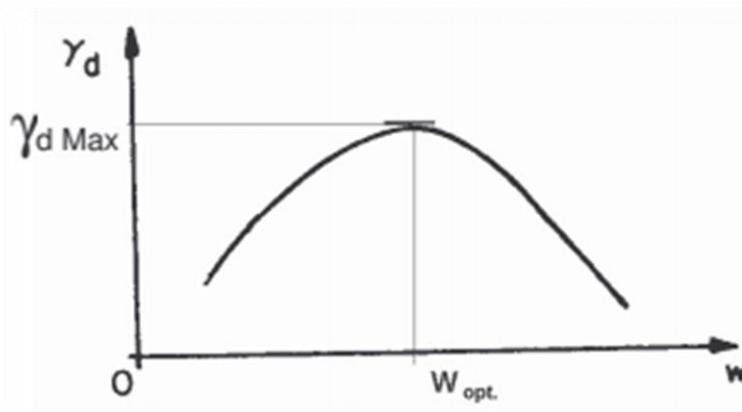


Figure 5: Courbe Proctor (Source : Google)

La courbe obtenue a une forme de cloche. Elle indique que dans un premier temps, lorsqu'on augmente la teneur en eau du matériau, sa densité sèche augmente, ce qui signifie que le matériau devient plus dur, plus compact et plus portant. Puis la courbe arrive à un maximum obtenu pour une valeur précise de la teneur en eau ( $w_{opt}$ ) appelée l'optimum Proctor.

#### 4. Conclusion :

Pour la valeur de ( $w_{opt}$ ), la densité sèche  $\gamma_d$  est maximale. Si on poursuit l'augmentation de la teneur en eau à nouveau, le sol se fragilise.

### Chapitre III : Le C.B.R (California Bearing Ratio)

#### 1. But de l'essai :

C'est pour déterminer la résistance au poinçonnement (indice portant) des sols compactés a l'optimum d'un Proctor modifiés a des énergies variables ou tout simplement a 95% ou encore avec des teneurs en eau différentes.

#### 2. Indice portant CBR:

C'est un nombre sans dimension exprimant en pourcentage, le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part, et un matériau type d'autre part.

#### 3. Appareillages :

- Une balance portées 20kg et une balance de précision au centigramme près ; des cristallisoirs pour déterminer la teneur en eau
- Un moule CBR de diamètre 15,2 Cm et de hauteur 15,2 Cm.
- Une dame modifiée de poids 4,350kg et la hauteur de chute est de 46,7Cm
- Une presse munie d'un anneau dynamométrique et un indicateur de cadence a vitesse normalisée 1,27 tours/minute
- Bac d'immersion

#### 4. Modes opératoires:

- Homogénéiser d'abord l'échantillon et on fait la prise nécessaire
- Humidifier l'échantillon a la teneur en eau optimum (optimum Proctor)
- Noter les pressions lues sur l'anneau dynamométrique tous les 0,1mm d'enfoncement jusqu'au 2mm ; tous les 0,5 jusqu'au 5mm et 1mm jusqu'au 10mm, ou bien pour les enfoncements ci-après : 0,625 ; 1,25 ; 2 ; 2,5 ; 5 et 7,5mm
- Prélever deux échantillons de sol, a l'empreinte laissé par le poinçon pour déterminer la teneur en eau finale.

#### 5. Résultats :

On peut tracer la courbe de pression en fonction de l'enfoncement. La courbe tracée ne doit pas présenter inflexion au voisinage de l'origine.

### Chapitre IV : Limite d'Atterberg

#### 1. Définition et objectif :

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état.

C'est un essai qui permet de déterminer la limite **de liquidité** et la **limite de plasticité** d'un sol, et de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau.

Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui nous permet de faire une classification du sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400  $\mu\text{m}$ .

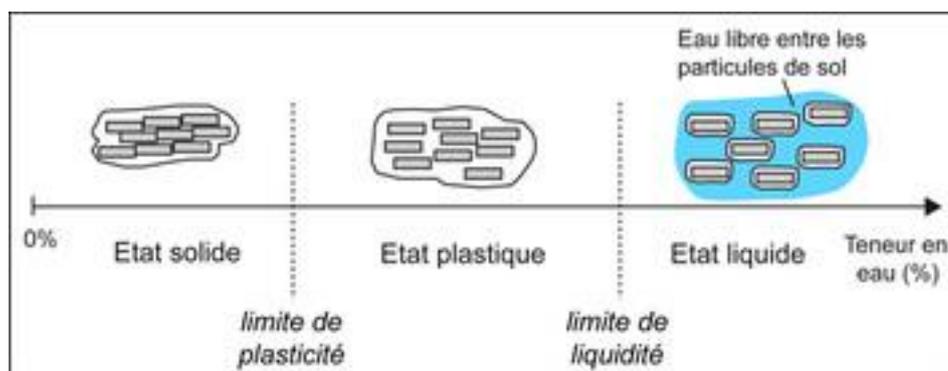


Figure 6: Etat du sol en fonction de la teneur en eau

(Source : iDropProject.com)

## 2. Matériel nécessaire et mode opératoire :



**Figure 8 : la coupelle de Casagrande (Source : iDropProject.com)**

**La limite de liquidité** se détermine par la "**Méthode de la Coupelle de Casagrande**". Cette méthode consiste en un appareillage composé d'un bol et d'un arbre à came permettant de transformer le mouvement de rotation en translation, on arrive donc à élever le bol d'une certaine hauteur et de le laisser retomber sur un plan rigide.

Pour la réalisation de ce test, il faut :

- Humidifier l'échantillon de sol fin
- L'homogénéiser
- Etaler l'échantillon dans le bol, de manière à avoir une épaisseur à peu près constante, de 1 [cm], avec une surface horizontale
- Appliquer une rainure au milieu, séparant l'échantillon en deux parties distinctes et égales, de manière à voir le fond du bol
- Tourner la manivelle en comptant la norme de fois que le bol s'est élevé puis rabattu jusqu'à ce que la fente se referme.
- Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau.

**La limite de plasticité** se détermine par la "**Méthode du rouleau**".



**Figure 7: Détermination de la limite de plasticité par la méthode du rouleau**

**(Source : Google)**

Pour déterminer cette limite, le procédé est le suivant :

- Prendre un échantillon séché du sol fin

- Y ajouter un peu d'eau et homogénéiser le mélange
- Former trois fils de 3 [mm] de diamètre et de 10 [cm] de longueur sur le modèle d'une petite barre de fer
- Rouler les fils sur une planche de bois, servant à l'assécher au fur et à mesure, jusqu'à l'apparition des premières fissures. Les rétrécir si nécessaire pour maintenir la même longueur (10 [cm])
- Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau.

### **3. Conclusion :**

A l'état liquide, les grains sont indépendants les uns des autres et leurs mouvements relatifs sont aisés.

A l'état plastique, les grains se sont rapprochés et ont mis en commun les couches adsorbées ; lorsqu'il y a mouvement, les grains restent attachés les uns aux autres sans éloigner.

A l'état solide, les grains sont encore plus proches les uns des autres et arrivent même en contact en chassant l'eau adsorbée ; les frottements internes sont alors importants.

## **Chapitre V : EQUIVALENT DE SABLE**

### **1. Définition et objectif de l'essai :**

C'est un essai qui donne une indication sur la proportion relative de particules fines (argiles) par rapport aux particules grenues (sable).

### **2. Principe de l'essai et matériel nécessaire :**

Cet essai permet de mettre en évidence des traces d'argile, de limon ou de matières très fines, contenues dans un sol, surtout lorsque l'indice de plasticité n'est pas mesurable. C'est un essai pratique très utile à effectuer dans le cas des sols peu plastiques (sol sableux).

#### **Les matériels nécessaires :**

- Eprouvette et bouchon
- Tube laveur
- Entonnoir
- Eau

### **3. Mode opératoire :**

- Préparer une solution en diluant une dose de solution lavante concentrée de 125 cm<sup>3</sup> dans 5 litres d'eau déminéralisée.
- Tamiser le matériau à tester de façon à séparer les éléments sableux les plus grossiers des particules fines (fraction 0/2), puis en prélever 120 gr.
- Remplir une éprouvette avec la solution lavant jusqu'au premier trait de jauge.

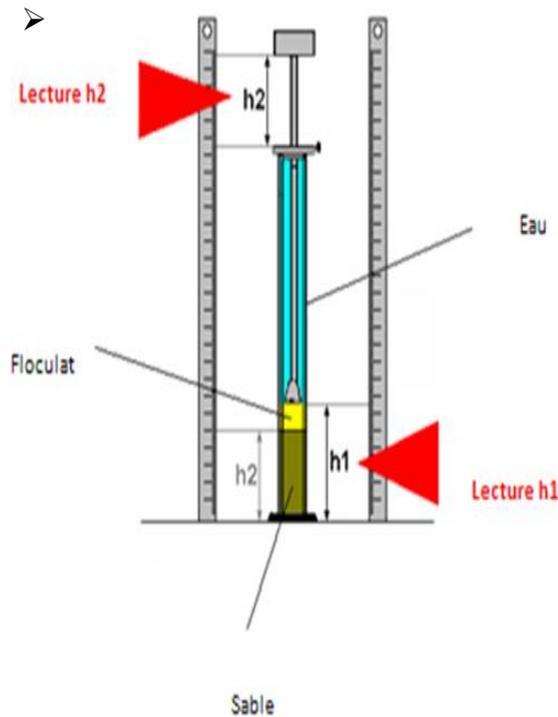


Figure 8: Détermination de  $h_1$  et  $h_2$

(Source : Google)

- Verser les 120 gr de l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide de l'entonnoir. Préparer de la même façon une seconde éprouvette.
- Laisser les deux éprouvettes au repos pendant 10 minutes.
- Boucher les éprouvettes à l'aide des bouchons et les agiter avec la machine agitatrice.
- Remplir les éprouvettes jusqu'au second trait de jauge en lavant le bouchon et les parois intérieures afin de récupérer toutes les impuretés et le sable au fond des tubes.
- Laisser reposer chaque éprouvette 20 minutes en tenant compte des décalages de temps dus aux manipulations.
- Abaisser le piston dans le liquide pour séparer le floculat de l'eau.
- Lire les valeurs de  $h_1$  et  $h_2$  à l'aide du réglet.
- Calculer « ES » en remplaçant  $h_1$  et  $h_2$  dans la formule suivante :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (5)$$

#### **4. Interprétation et conclusion :**

<b>Valeur de ES (en %)</b>	<b>Interprétation</b>
0	Argile
0-20	Sols plastique à très plastiques
20-40	On a des matériaux aptes à être stabilisés mécaniquement (sols pour les remblais)
40-60	On a des graves naturelles
60-80	On a des matériaux pour béton
80-100	On a des sables très propres (pour béton de ciment)
100	On a des sables purs

**Tableau 2: Caractéristique du sol en fonction de la valeur de l'ES**

## **Chapitre VI : Granulométrie**

L'analyse granulométrique est une étape fondamentale pour la classification d'un sol. Cela consiste à mesurer la dispersion des grains d'un sol suivant leurs dimensions, c'est-à-dire leurs diamètres respectifs. Puis, reporter sur une courbe granulométrique les résultats ainsi obtenus.

### **1. Définition et objectif de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet, à l'aide de différents tamis, de déterminer précisément la composition d'un matériau afin d'en déduire ses caractéristiques mécaniques. Elle permet également de vérifier un matériau élaboré en carrière, en comparant sa courbe granulométrique avec le fuseau de prescription correspondant.

Les informations que fournit l'analyse granulométrique permettent de savoir dans quels types de tâches on emploie les matériaux analysés et cette analyse se fait au laboratoire.

### **2. Matériels nécessaires et mode opératoire :**

Pour cet essai, on utilise les matériels suivants :

- Tamis : pour avoir les tailles des différentes particules qui composent l'échantillon
- Balance : pour le pesage de chaque taille des particules
- Calculatrice : pour le calcul des pourcentages des fines
- Eau : pour le lavage de l'échantillon

- Etuve : pour le séchage de l'échantillon après lavage



**Figure 9: Instruments nécessaires pour la granulométrie (Source : iDropProject.com)**

### **Mode opératoire :**

L'analyse granulométrique se déroule comme suit :

- **Quartage :** Prélever un échantillon représentatif du matériau à analyser.

Retenir la valeur " D", du diamètre des plus gros éléments. (Ex: Si matériaux 0/20, D=20)

Peser une masse (en gr) de matériaux égale à  $300 \times D$ . (Ex: Si matériaux 0/20,  $m = 300 \times 20 = 6\ 000$  gr)

- **Examen du matériau :**

Peser l'échantillon humide pour déterminer le poids humide « Ph ».

Etuver l'échantillon à  $105^\circ$  pendant 24 heures pour éliminer l'humidité

Peser l'échantillon sec obtenu pour déterminer le poids sec « Ps ».

Calculer « W% » la teneur en eau du matériau.

Laver l'échantillon à l'eau claire pour éliminer les particules fines ( $< 0.063\text{mm}$ ).

Etuver l'échantillon à  $105^\circ$  pendant 24 heures pour éliminer l'humidité.

- Traçage de la courbe granulométrique

### **3. Interprétation.**

Si on obtient une:

- Courbe continue : Le matériau possède toutes les dimensions du grain.
- Courbe discontinue : Le matériau ne contient pas certaines dimensions du grain.
- Courbe serrée : le matériau est spécifique d/D (ex : 6.3/10)

## **Chapitre VIII : Le poids spécifique**

### **1. Définition et Objectif de l'essai :**

C'est un essai qui consiste à déterminer le poids volumique des particules solides d'un sol. Le poids spécifique se calcule par le rapport du poids du sol sec au volume des grains de sol suivant la formule suivante:

$$\gamma_s = \frac{P_{solsec}}{V_{sol}} \quad (5)$$

### **2. Matériels nécessaires :**

- Pycnomètre (pour les éléments inférieurs à 4mm)
- Tamis
- Balance
- Etuve

### **3. Mode opératoire :**

- On passe le sol et on le passe dans l'étuve jusqu'à poids constant.
- Tamiser au tamis 4 mm.
- Bien homogénéiser l'échantillon
- On remplit à moitié le pycnomètre avec de l'eau distillée.
- On verse ensuite l'échantillon dans le pycnomètre à 1/3 de son volume.
- Agiter soigneusement pour enlever les vides.
- On le laisse se décanter pendant 24h.
- Peser.
- Remplir totalement le pycnomètre.
- Peser.

## **CONCLUSION**

Pour en conclure, nous pouvons souligner les essentielles de ce mémoire, nous avons évoqués :

- Les généralités sur les sols
- Les mécaniques des sols
- La méthodologie des différents essais pour une identification des sols ainsi que les buts de ses différents essais

Nous pouvons classer les sols à partir des expériences ou les essais du laboratoire, ainsi que son comportement afin de les utiliser pour les ouvrages de génie civil.

## **Résumé**

Pour la réalisation de ce mémoire, on a effectués des recherches bibliographiques ; aussi nous avons fait certains pratique pour ces différents essais, des enquêtes auprès des géotechniciens sont effectués pour avoir une vraie information et éviter des erreurs ou des ambiguïtés.

Ce présent mémoire nous permet d'acquérir des notions sur la mécanique des sols, à la géotechnique, mais aussi sur les essais qu'on réalise au laboratoire des sols pour une identification.

L'identification des sols est nécessaire et indispensables pour une réalisation des ouvrages.

L'étude géotechnique est alors donc non négligeable pour tout projet de génie civil.

## **Abstract**

For the realization of this memory, we have done a bibliographical research; therefore we did some practices for these various tests, of the investigations near the geotechnicians are carried out to have true information and to avoid errors and ambiguities.

This present report enables us to acquire concepts on the soil mechanics, with geotechnics, but also on the tests which one carries out at the laboratory of the grounds for identification.

The identification of the grounds is necessary and essential for a realization of the works.

The geotechnical study is then thus considerable for any project of civil engineering.

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Déformation d'un sol en fonction de la teneur en eau .....	10
Figure 2: Les instruments nécessaires à la mesure du teneur en eau .....	11
Figure 3: Les matériels nécessaires pour le compactage .....	13
Figure 4: la répartition des coups pour le compactage .....	13
Figure 5: Courbe Proctor .....	15
Figure 6: Etat du sol en fonction de la teneur en eau .....	16
Figure 7: Détermination de la limite de plasticité par la méthode du rouleau .....	17
Figure 8: Détermination de h1 et h2 .....	19
Figure 9: Instruments nécessaires pour la granulométrie .....	21

## **LISTES DES TABLEAUX**

Tableau 1: classes des sols en fonction de leur taille de grains .....	8
Tableau 2: Caractéristique du sol en fonction de la valeur de l'ES .....	20

## **BIBLIOGRAPHIES**

Catherine Le Guen, Jean Alain Fleurisson (Octobre 1998) : Mécaniques des sols (Rappels)

Gérard Degoutte et Paul Royet (Cemagref) : Aide mémoire de mécanique des sols (Réédition 2005)

Martin CYR et Jaques LERAU : Géotechnique 1

J.M Tchouani Nana : Cours des mécaniques des sols Tome 1

**Auteur :** DADA Sylvano Manacé

**Adresse :** Bloc 32 porte 04 – Cité des 67 ha

**Tel :** 032 76 159 78 – 034 45 846 68

**E-mail :** sylvanomanace@gmail.com

**Titre de mémoire :** Rapport de stage d'initiation à la géotechnique

**Nombre de pages :** 28

**Nombres de figures :** 09

**Nombre de tableaux :** 02



## **Résumé**

Pour la réalisation de ce mémoire, on a effectués des recherches bibliographiques ; aussi nous avons fait certaines pratiques pour ces différents essais, des enquêtes auprès des géotechniciens sont effectuées pour avoir une vraie information et éviter des erreurs ou des ambiguïtés.

Ce présent mémoire nous permet d'acquérir des notions sur la mécanique des sols, à la géotechnique, mais aussi sur les essais qu'on réalise au laboratoire des sols pour une identification.

L'identification des sols est nécessaire et indispensables pour une réalisation des ouvrages.

L'étude géotechnique est alors donc non négligeable pour tout projet de génie civil.

**Mots clés :** *essai géotechniques, Proctor, limite d'Atterberg, équivalent de sable, granulométrie, mécaniques des sols, plasticité des sols.*

## **Abstract**

For the realization of this memory, we have done a bibliographical research; therefore we did some practices for these various tests, of the investigations near the geotechnicians are carried out to have true information and to avoid errors and ambiguities.

This present report enables us to acquire concepts on the soil mechanics, with geotechnics, but also on the tests which one carries out at the laboratory of the grounds for identification.

The identification of the grounds is necessary and essential for a realization of the works.

The geotechnical study is then thus considerable for any project of civil engineering.

**Rapporteur :** ZOKIMILA Niainarivony Pierre, Enseignant à l'ESPA

**DADA Sylvano Manacé**