

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

UNIVERSITE d'ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TCHNOLOGIE



RAPPORT DE STAGE DE FIN D'ETUDE

en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE en Génie Civil

Option : infrastructure Urbaine

Thème

Initiation pour établir une étude de sol

Présenté par :

HAMRAOUI FATIMA

FERGAG FATMA

Suivie par :

ABOU MOHAMED

Examineurs

Promotion :2013/2014

Sommaire

Dédicace	I
Remerciements	II
Table des matières	III
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	V
Liste des photos	X
INTRODUCTION GENERALE	1
PRESENTATION DU LTPO	2

Chapitre I :Partie théorique

I.1.Introduction	3
I.2.Généralité sur sol	3
I.2.1. Définition de sol	3
I.2.2.Composition du sol	3
I.2.2.1.Végétation	3
I.2.2.2. L'humus	3
I.2.2.3. La couche arable	3
I.2.2.4. Le sous sol	3
I.2.2.5.La roche mère	3
I.2.3.Fonctions.....	4
I.2.4.Utilisation	4
I.2.5.Les différents types de sol	4
I.2.6.Le rôle d'un sol	4
I.3.Les essais de laboratoire	4
I.4.Les essais in situ	4
I.5.Prélèvement de l'échantillon	4
I.5.1.Equipement pour micro-carottage	5
I.5.2.Echantillonnage de faible profondeur.....	5
I.5.2.1.Pelle et truelle	5
I.5.2.2.Tarière manuelle	5
I.5.3.Méthode de sondage ou de tirage	5
I.5.3.1. Définition	5
I.5.4.Echantillonnage dans un puits d'exploration ou dans une tranchée	6

chapitre II: Identification des matériaux

II.1.Introduction	7
II.2.Prélèvement de l'échantillon	7
II.3.Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire)	7
II.4.Echantillonnage	7
II.5.Analyse granulométrique	7
II.5.1.But de l'essai	7
II.5.2. Principe de l'essai	7
II.5.3.Matérielle nécessaire	7
II.5.4.Mode d'opération	8
II.5.5. Résultats d'analyse granulométrique	8
II.6.L'essai de limite d'Atterberg	9
II.6.1.But de l'essai	9
II.6.2.Préparation de sol	9
II.6.3.Détermination de la limite de liquidité	9
II.6.3.1. Principe de l'essai	9
II.6.3.2. Les résultats	10
II.6.4.Détermination de la limite de plasticité	10
II.6.4.1. Mode opératoire	10
II.6.4.2 Les résultats	11
II.6.5Indice de Plasticité	11
II.7.Essai Proctor	12
II.7.1.But de l'essai	12
II.7.2. Définition	12
II.7.3. Le principe de l'essai	12
II.7.4. Matérielle nécessaire	12
II.7.5.Mode opératoire	13
II.7.6. Présentation des résultats	13
II.8.Essai C.B.R immediate (California bearing ratio test)	14
II.8.1. But de l'essai	14
II.8.2. Principe de l'essai	14
II.8.3. Les résultats	15
II.9.Conclusion	15

Chapitre III:Essai in situ

III.1.Introduction	16
III.2.Pénétromètre dynamique	16
III.2.1.Objectif de l'essai.....	16

III.2.2. Principe de l'essai	16
III.2.3. Réalisation d'un essai Pénétrömètre dynamique in situ.....	16
III.2.4. Résultats	17
III.3.Conclusion	17
CONCLUSION GENERALE	19
BIBLOGRAPHIQUE	

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : le résultat d'analyse granulométrique	8
Tableau 2.2 : résultat de la limite de liquidité	10
Tableau 2.3 : résultat de la limite de plasticité	11
Tableau 2.4 : tableau de comportement plasticité	11
Tableau 2.5 : les conditions de chaque essai	12
Tableau 2.6 : de compactage	13
Tableau 2.7 : de la teneur en eau	14
Tableau 2.8 : résultat d'essai CBR	15
Tableau 3.10 : donnes de l'essai Pénétrömètre dynamique	17
Tableau 3.9: résultats de l'essai Pénétrömètre dynamique	17

Liste des figures

Figure 1.1 : composition de sol	3
Figure 2.2 : courbe d'analyse granulométrique	8
Figure 2.3 : courbe de limite de liquidité	10
Figure 2.4 : courbe Proctor (tuf)	14
Figure 3.5 : appareil Pénétrömètre dynamique	16
Figure 3.6 : courbe Pénétrömètre dynamique	18

Liste des photos

Photo 2.1 : matérielles utilises (analyse granulométrique)	7
Photo 2.2 : appareille Casagrande	10
Photo 2.3 : matérielles de l'essai Proctor	12
Photo 2.4 : l'essai Proctor	13
Photo 2.5 : appareille de CBR	15

INTRODUCTION GENERALE

Même si elle a trop souvent été négligée, l'étude des sols est un des éléments essentiels de la compréhension de l'environnement. Les sols constituent une mince couche recouvrant une grande partie de la terre ferme du globe. Ils retiennent les substances nutritives et l'eau utilisées par les végétaux et les animaux; ils filtrent et épurent l'eau; ils affectent la chimie de l'eau et la quantité d'eau qui retourne dans l'atmosphère; nos aliments et la plupart des matériaux que nous utilisons pour la construction, la fabrication du papier et les fibres textiles dépendent d'eux. Les sols contiennent des millions de petits animaux et de micro-organismes jouant un rôle dans la décomposition des déchets et dans la manière dont les matériaux du sol se déplacent dans le profil pédologique, donnant naissance au principal système de recyclage naturel de la planète.

L'étude du sol permettra aux élèves de mesurer les caractéristiques des sols, l'humidité, l'infiltration et la température du sol. Ils pourront aussi mieux comprendre le rôle du sol dans le climat et développer, par leurs observations, l'exactitude. Des comparaisons intéressantes pourront être faites entre les relevés locaux et ceux d'autres endroits de la planète. L'étude des sols se prête par ailleurs particulièrement bien au développement du langage, puisque ce que la majorité d'entre nous ne décrirait qu'avec deux ou trois termes peut en fait être minutieusement précisé avec force détails.

Les essais d'identification physique (comme la granulométrie et les limites d'Atterberg) et de classification de sol pour prendre l'aspect mécanique de sol. Le comportement mécanique basé sur l'essai Pénétrométrique dynamique. Ce matériau peut être classé d'après l'abaque de Casagrande .

L'étude de sols pour construction se réalise en 10 étapes

Étape 1 : Étude préalable

Nous prenons connaissance de la documentation géologique du site sur lequel l'ouvrage doit être implanté. Nous analysons les cartes géologiques et les données récoltées sur les chantiers antérieurement réalisés dans le secteur. Nous prenons également connaissance de l'atlas des carrières afin de savoir s'il s'en trouve sur le site. Grâce à ces données, nous pouvons déterminer le type de sondage qui nous permettra d'étudier au mieux le sous-sol.

Étape 2 : Collecte d'informations

Nous rassemblons un maximum d'informations sur la topographie des réseaux (eau, gaz, électricité, etc.), et nous nous informons sur le projet de construction.

Étape 3 : Visite du site

Cette visite, effectuée par nos ingénieurs géotechniciens, nous permet d'évaluer concrètement les données de l'étude.

Étape 4 : Établissement du devis

Étape 5 : Acceptation du devis par le client

Étape 6 : Programmation des travaux et organisation du chantier

Étape 7 : Réalisation des forages et des sondages

Étape 8 : Collecte des résultats d'enregistrement et des échantillons prélevés - Dépouillement des essais

Étape 9 : Réalisation des essais d'identification et de mécanique du sol (limites d'Atterberg, compactage, pénétromètre dynamique... etc.) par notre laboratoire indépendant

Étape 10 : Établissement du rapport

L'ingénieur ayant en main les enregistrements des sondages ainsi que les résultats du laboratoire établit un rapport qui définit les types de fondations adaptés à la nature du sol au regard du projet de construction défini.

PRESENTATION DU LTPO :

Le laboratoire des travaux publics de l'ouest (LTP-ouest) est né de la restructuration du laboratoire national des travaux publics et du bâtiment(LNTPB) dont la création remonte à plus d'un siècle.

Présentement le LTP-ouest, filiale du groupe LCTO, jouit du statut d'entreprise publique économique, société par actions au capital social de 1.090.000.000DA.

Sa vocation :

LTPO-ouest intervient principalement dans l'ouest algérien ou il s'impose comme l'origine technique le plus apte à satisfaire les demandes émanant des maitres d'ouvrage, maitres d'œuvre et des entreprise en matière de :

- ✚ Etude géotechnique de sol à bâtir, de sol et ouvrage à stabiliser
- ✚ Analyse des matériaux de construction
- ✚ Formulation des bétons hydrauliques et bitumineux
- ✚ Suivi et contrôle des chantiers du secteur BTPH
- ✚ Expertise et essais divers

Essai en laboratoire :

*laboratoires d'essais géotechniques et méca-sol

*laboratoires de produits noirs

*laboratoires de produits matériaux

Investigations et essais in situ :

-sondage carotté et destructif

-pressiomètre

-pénétrömètre dynamique

-essai de plaque

-CBR in situ

-SPT

-gamma densimètre

-pose et lecture piézomètres

Essais géophysiques :

- Sondage électrique
- Sondage sismique
- Micro gravimètre
- Cross hole et down hole

Les Essai qui on a fait dans ce stage sont :

- ✓ Analyse granulométrique
- ✓ Limite d'Atterberg
- ✓ Essai Proctor
- ✓ Essai CBR
- ✓ Pénétrömétrique dynamique

I.1.INTRODUCTION

Le sol a pour but de permettre la vie en tous saisons, dans des conditions suffisantes et aussi durable que possible de confort et de sécurité. Elle joue un rôle important dans le milieu vivant.

I.2.GENERALITE SUR LE SOL :

I.2.1. Définition de sol :

Le sol est un agrégat naturel de plusieurs dimensions de grains minéraux qui peuvent être séparés par une légère action mécanique ou agitation dans l'eau, ce qui engendre des phénomènes compliqués.

I.2.2.Composition du sol :

I.2.2.1. Végétation :

En surface la litière constituée des feuilles mortes encore identifiables avec beaucoup d'air, abritent plantes et animaux vivants.

I.2.2.2. L'humus :

Une terre noire et souple, riche en matières organique .l'humus désigne la matière issue de la décomposition de matières organiques brutes comme les feuilles, les branches et les tontes de gazon qui s'accumulent a la surface du sol.

Cette décomposition réalisée par les organismes du sol rend au sol des nutriments vitaux que les végétaux peuvent utiliser

I.2.2.3. La couche arable :

La couche dite arable que l'homme peut travailler, mélange riche en humus et en minéraux

I.2.2.4. Le sous sol :

Généralement pauvre en humus avec peu de traces de vie.

I.2.2.5. La roche mère :

100% minérale, sans air, sans vie

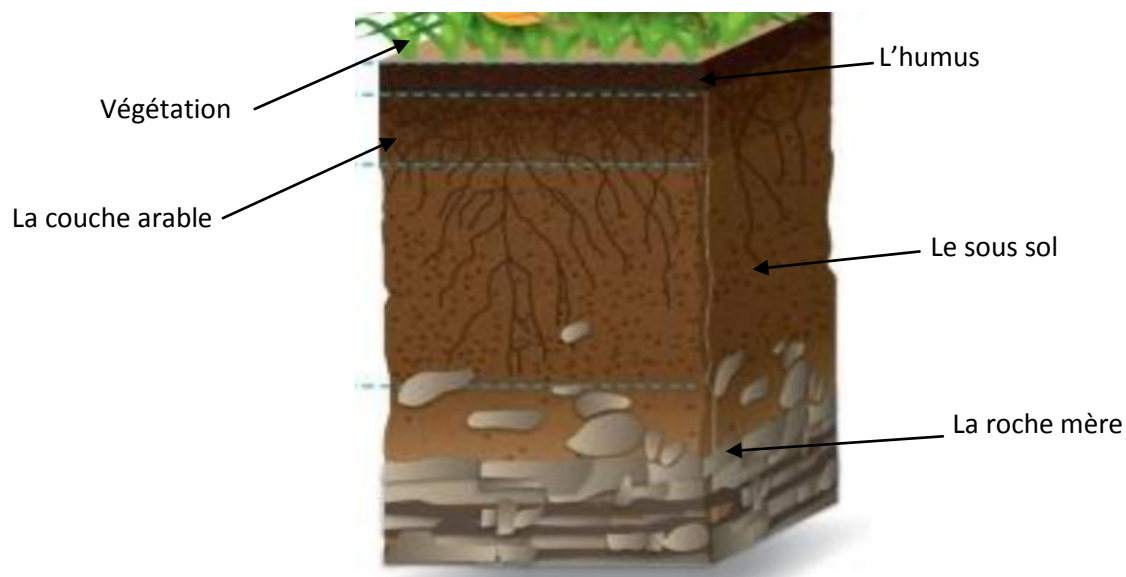


Figure 1.1 : composition du sol

I.2.3. Fonctions

Le sol assure des fonctions régulatrices des flux de matière et du milieu vivant. Son rôle est déterminant pour le stockage de l'eau, des éléments minéraux et pour la formation de la biomasse. Il épure les eaux de percolation.

Ces fonctions, ainsi qu'un pouvoir naturel d'autoconservation, sont affectées dans les sols soumis à des perturbations physiques et chimiques.

I.2.4. Utilisation

L'homme utilise les sols pour la production des plantes utiles et comme réservoir de gènes. Il l'exploite pour ses matériaux de construction et le consume pour ses bâtiments, ses activités diverses, ou encore pour y placer ses décharges.

Le sol est un bien culturel et une partie intégrante du paysage. Une utilisation erronée et trop intensive le dégrade, voire le détruit. Ses surfaces ne sont en principe pas extensibles.

I.2.5. Les différents types de sols :

- ✓ Sol sableux
- ✓ Sol calcaire
- ✓ Sol argileux

I.2.6. Le rôle d'un bon sol :

- ✓ Héberger un écosystème
- ✓ Produire des récoltes
- ✓ Stocker le carbone et l'azote de l'atmosphère
- ✓ Retenir les eaux de pluie et de ruissellement
- ✓ Dispersion et dégradation des polluants
- ✓ Des fonction importantes dans le cycle de biogéochimique du carbone, de l'azote du potassium, du calcium, du phosphore, des métaux.
- ✓ Limiter les risques d'érosion et de salinisation
- ✓ Etre un puits de carbone

I.3. LES ESSAIS DE LABORATOIRE :

Les essais de laboratoire son, dans tous les cas, nécessaire pour préciser et compléter la nature des sols .En étude de sol, les essais qui on a fait sont :

- Les essais d'identification : analyse granulométrique, limite d'Atterberg.
- Les essais mécaniques : essai Proctor, essai CBR.

I.4. LES ESSAIS IN SITU :

L'essai qui on fait en notre université est l'essai :

- Pénétromètre dynamique qui permet de :
 - d'apprécier de façon qualitative la résistance des terrains traversés, et de prévoir la réaction du sol à l'enfoncement de pieux.
 - de déterminer l'épaisseur et la profondeur des différentes couches de sol.
 - d'effectuer des contrôles de compactage
 - d'estimer une caractéristique de portance, la « résistance dynamique de pointe » .

I.5. PRELEVEMENT DE L'ECHANTILLON :

Il y a deux façons de prélever des échantillons de sol, selon le genre de tests qui doivent être faits. On distingue:

- Les échantillons perturbés, qui ne représentent pas tout à fait le sol dans l'état naturel qu'il avait avant l'échantillonnage.

- Les échantillons intacts, qui représentent exactement le sol à l'état naturel, avant l'échantillonnage.

Les échantillons perturbés sont utilisés pour les essais simples, en particulier pour ceux que vous ferez vous-même in situ. Des échantillons intacts sont nécessaires pour les essais plus complexes qui seront faits en laboratoire et sont destinés à des analyses physiques et chimiques plus précises. Les échantillons intacts doivent être prélevés très soigneusement, car ils doivent être l'image exacte de la nature du sol. Pour une étude complète des sols de votre terrain, il vous faudra aussi bien des échantillons perturbés que des échantillons intacts.

I.5.1..ÉQUIPEMENT POUR MICRO-CAROTTAGE :

Le prélèvement de micro-carottes est d'une grande utilité lors du contrôle des structures, car il ne provoque pas de dommages, vu les dimensions des trous; ces derniers peuvent être ensuite éventuellement fermés avec le mortier. L'essai est facile à accomplir; il faut un seul opérateur. Le gabarit du perçage, les pinces autobloquantes et le dispositif guide-couronne garantissent un prélèvement correct. Le refroidissement du carottier est à eau, le réservoir est placé sous pression moyennant la pompe à pédale.

I.5.2.Échantillonnage de faible profondeur

L'échantillonnage de faible profondeur s'effectue à moins de 1 mètre de profondeur. Il nécessite l'utilisation de techniques simples et d'un équipement facilement disponible et transportable. Les échantillons peuvent être prélevés rapidement. Ce qui suit ne constitue pas un relevé exhaustif de toutes les méthodes d'échantillonnage de sols de faible profondeur. Il s'agit plutôt d'une description des trois méthodes les plus couramment utilisées.

I.5.2.1.Pelle et truelle

Lorsque l'échantillon à prélever se situe très près de la surface, une pelle ou une truelle est utilisée. La méthode d'échantillonnage consiste essentiellement à creuser un trou à l'aide de la pelle ou de la truelle et à prélever le volume désiré de sol. Le trou doit avoir une bonne surface avec des parois stables afin d'éviter que les sols de surface ne retombent dans le fond et qu'ils soient prélevés.

I.5.2.2. Tarière manuelle

Ce système d'échantillonnage comprend une tarière, une rallonge et une poignée en T, reliées ensemble au moyen de raccords permettant de les démonter facilement. Des modèles de tarières sont conçus pour prélever des échantillons dans différents types de sols, allant de sableux à argileux. Leur utilisation est cependant plus difficile dans les sols compacts ou rocailleux. Le prélèvement d'un échantillon de sol à l'aide d'une tarière se fait en enfonçant manuellement la tarière dans le sol par un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre. Généralement, deux ou trois révolutions permettent d'enfoncer la tarière d'environ 10 cm. Une fois la tarière enfoncée sur toute sa longueur, elle est retirée du sol et l'échantillon est recueilli en renversant la tarière. L'échantillon ainsi prélevé est remanié.

I.5.3.Méthode de sondage ou de tirage :

Définir la façon dont nous devons prélever des individus (des valeurs) dans une population afin de constituer un échantillon.

I.5.3.1.Définition : Un sondage est probabiliste ou aléatoire si chaque individu de la population a une probabilité donnée connue d'avance et non nulle d'appartenir à l'échantillon. Cette probabilité est appelée probabilités d'inclusion ou probabilité de sélection. Nous parlons alors d'échantillon aléatoire ou d'échantillon probabiliste.

I.5.4.Échantillonnage dans un puits d'exploration ou dans une tranchée

Un puits d'exploration ou une tranchée est une excavation qui permet d'échantillonner à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 7 m. Cette méthode d'échantillonnage requiert l'utilisation d'une excavatrice ou d'une pelle hydraulique, selon la profondeur désirée.

À l'intérieur d'une tranchée, le sol peut être échantillonné directement sur la paroi lorsque la profondeur et les pentes d'excavation permettent au préleveur d'y descendre sans danger. Dans ce cas, il est recommandé de faire une excavation excédant de 30 cm la profondeur à échantillonner et de prélever l'échantillon de sol sur une seule des parois de la tranchée d'exploration. Avant d'échantillonner, le préleveur doit enlever la couche de sol (environ 2 cm) qui a été en contact avec l'équipement d'excavation. Il doit également éviter que la zone qui a été dégagée ne soit recouverte de nouveau par les sols environnants.

En plus de permettre l'échantillonnage de sol, cette méthode offre l'avantage de pouvoir examiner en détail la stratigraphie des sols en place et de faire des observations sur la présence de résidus ou d'autres contaminants. Pour ces raisons, cette méthode est fréquemment utilisée lors de campagnes d'échantillonnage.

II.1.INTRODUCTION :

Ce chapitre porte les essais effectués au niveau de laboratoire(LTPO)

Les essais effectués sont :

Analyse granulométrique

Limites d'Atterberg

Essai Proctor

Essai CBR

Pénétrömètre dynamique (in situ)

II.2.PRELEVEMENT DE L'ECHANTILLON IN SITU :

A l'aide d'une pelle mécanique qui permet de refouiller des fossés de 1m.

A la main, sur un tas d'élément grossier (sol) par ratissage dans un récipient.

II.3.Prélèvement en laboratoire (échantillonnage en laboratoire) :

Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur.

II.4.Echantillonneur :

Cet appareil de laboratoire permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de panière séparée.

La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir l'échantillon nécessaire après trois et quatre opérations identiques.

II.5.ANALYSE GRANULOMETRIQUE :**II.5.1.But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituent les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63mm, à l'exclusion des fillers.

A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

II.5.2.Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série des tamis, Emboîtées les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

II.5.3.Matérielle nécessaire :

Une série des tamis à mailles carrées, Une balance, Des récipients, Des fonds.



Photo 2.1 : matérielles utilisés

II.5.4.Mode d’opération :

Montre la colonne de tamis dans l’ordre décroissant de l’ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond

- Peser le matériau de masse égale à 6000kg.
- Verser le matériau sec dans la colonne de tamis .
- Agiter mécaniquement cette colonne .
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle .
- Agiter manuellement chaque tamis jusqu’à ce que le refus du tamis ne varie pas de plus de 1% en masse par minute de tamisage .
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.
- Déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis.
- Après le tamis (10mm) en prend une masse de cet matériau égale à 500kg.
- Poursuivre l’opération jusqu’ à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis .

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (Ri) en (g)	Pourcentage des refus cumulé (Ri /Ms)*100	pourcentage des tamisât cumulé 100-(ri/ms)*100
80	0	0	0	100
63	0	0	0	100
50	0	0	0	100
31,5	196	196,00	3,267	96,73
20	263	459,00	4,38	95,62
10	295	754,00	4,91	95,09
05	13,4	13,4	2,68	92,41
02	39,2	52,6	10,52	84,57
01	44	96,6	19,32	75,77
0,4	68,3	164,9	32,98	62,11
0,2	143,2	308,1	61,62	33,47
0,1	121,7	429,8	85,96	9,13
0,08	28,5	458,3	91,66	3,43

Tableau 2.1 : les résultats d’analyse granulométrique

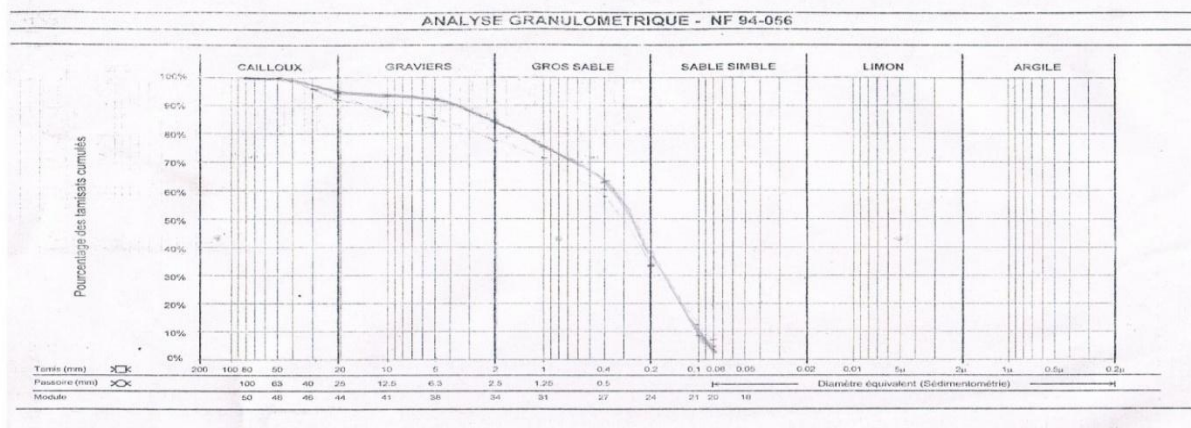

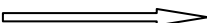



Figure 2.2 : courbe granulométrique

- Le coefficient d'uniforme C_u : $C_u = D_{60} / D_{10}$
 $D_{10} = 95,09$ $D_{60} = 100$ $C_u = 1,05$
- Le coefficient courbure C_c : $C_c = D_{30}^2 / D_{10} \times D_{60}$ $C_c = 0,98$

Classification :

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|---|-------------------------|
| 1) $D > 0,08 \text{ mm}$ | $R_c\% = 91,66\% > 50\%$ |  | le sol est sol grossier |
| 2) 2 mm | $R_c\% = 10,52\% < 50\%$ |  | le sol est sable |
| 3) $D < 0,08 \text{ mm}$ | $T_c\% = 3,43\% < 5\%$ |  | le sol est sable propre |

D'après le tableau de classification LCPC on conclue que notre sol est un sable propre mal gradué

II.6.L'ESSAI DE LIMITE D'ATTERBERG :

II.6.1. But d'essai :

Identifier un sol et caractériser sa nature et son état au moyen de son indice de plasticité

II.6.2. Préparation de sol :

- Échantillonner et homogénéiser le sol
- Imbiber une masse de matériau dans un récipient d'eau à la température ambiante pendant 24h
- Tamiser ce matériau par une voie humide sur un tamis de $40\mu\text{m}$
- Recueillir le matériau dans un bac
- Après une durée de décantation d'un moins 24h ; l'eau est siphonné sans entrainer des particules solides.

II.6.3. Détermination de la limite de liquidité :

II.6.3.1. Principe de l'essai :

- Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Répartir avec la spatule, dans la coupelle propre et sèche, une masse de sol
- Étaler la pâte recouvre par le fond de la coupelle, sauf une partie d'environ 3cm, et son épaisseur f est au centre de l'ordre de 15 à 20mm.
- partager la pâte en deux, au moyen de l'outil à rainure et le tenant perpendiculairement à la surface de la coupelle.
- fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareil de Casagrande.
- actionner la came de façon à soumettre à une série de chocs à la cadence de 2 coups par seconde.
- Noter le nombre N de chocs nécessaire pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ 1cm.

Observation :

La limite de liquidité W_L est la teneur en eau du matériau qui correspond conventionnellement à une fermeture sur 1cm des lèvres de la rainure après 25 chocs. Elle est calculée à partir de la droite moyenne ajustée sur le couple de valeurs expérimentales. La relation n'est acceptable si l'écart de la teneur en eau entre la valeur mesurée et la valeur calculée pour le même nombre de coups.

La limite W_L est obtenue pour une valeur N égale à 25.

Elle est exprimée en pourcentage et au nombre entre le plus proche.



Photo 2.2 : appareil de Casagrande

II.6.3.2. Les résultats :

Nombre de coups	19		26		33	
	87	20X	R	ON	G	Z
N° de tare	87	20X	R	ON	G	Z
Poids total humide	10,7	9,4	8,9	10,2	9,2	9,2
Poids total sec	9,1	8,1	7,8	8,8	8,1	8,1
Poids de la tare	3,8	3,7	4,0	4,0	3,9	3,9
Poids d'eau	1,6	1,3	1,1	1,4	1,1	1,1
Poids sec de l'échantillon	5,3	4,4	3,8	4,8	4,2	4,2
Teneur en eau(W%)	30,18	29,54	28,94	29,16	26,19	26,19
Teneur en eau moyenne (Wm%)	29,86		29,05		26,19	

Tableau 2.2 : Résultats de la limite de liquidité

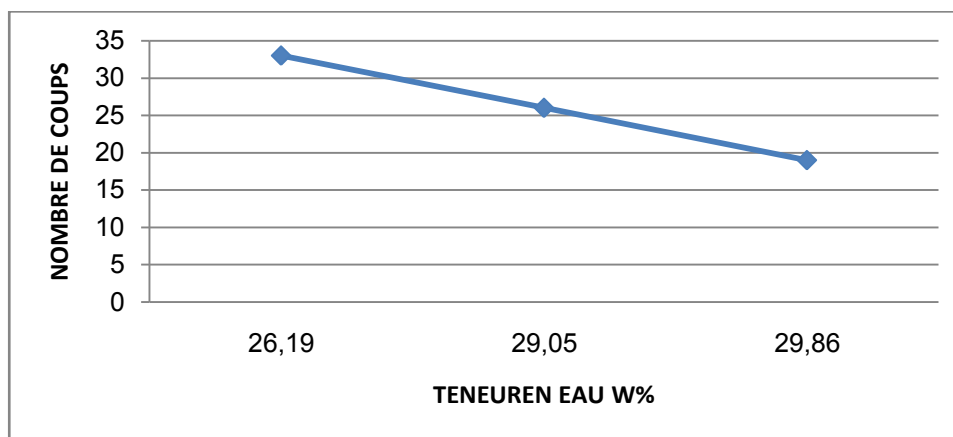


Figure 2.3 : courbe de limite de liquidité

On va déduire W_L correspondant à $N=25$ du graphe $W_L=28,36$

II.6.4. Détermination de la limite de plasticité :

II.6.4.1. Mode opératoire :

- Forme une boulette à partir de la pâte préparée de la limite plasticité

- Router la boulette sur une plaque lisse, à la main de façon à obtenir un rouleau qui est aminci progressivement jusqu'à l'atteindre 3mm de diamètre
- Amincissement du rouleau se fait de manière continue et sans effectuer de coupure dans le sens de sa longueur
- Le rouleau au moment où il atteint un diamètre de $3\text{mm}\pm 0,5$ doit avoir environ 10cm longueur et ne doit pas être creux.
- La limite de plasticité se obtient lorsque, simultanément le rouleau se fissure et que son diamètre atteint $3\text{m}\pm 0,5\text{mm}$.
- Réintégrer le rouleau à la boulette, si aucune fissure n'apparaît.
- Reforme un nouveau rouleau.
- Peser et étuver la masse prélevée.
- Etuver un deuxième essai sur une nouvelle boulette.

II.6.4.2. Les résultats :

La limite de plasticité W_P est la teneur en eau convention du rouleau qui se fissure au moment où son diamètre atteint $3\text{mm}\pm 0,5\text{mm}$

W_p est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenues à partir de 2 essais la valeur de la limite de la plasticité est exprimée en pourcentage et l'intervalle d'arrondissement et de 1.

Si les valeurs s'écartent de 2% de la valeur moyenne, un nouvel essai à effectuer.

N° de tare	11	X	T	4
Poids total humide	6,3	7,0	6,5	6,8
Poids total sec	6,0	6,5	6,0	6,4
Poids de la tare	3,7	3,7	3,4	3,8
Poids de l'eau	0,3	0,5	0,5	0,4
Poids sec de l'échantillon	2,3	2,8	2,6	2,6
Teneur en eau W%	13,04	17,85	19,23	15,38
Teneur en eau moyenne $W_m\%$	16,37			

Tableau 2.3 : résultats de la Limite de plasticité :

$$W_p = 16,37$$

$$W_L = 28,36$$

II.6.5. Indice de plasticité :

$$W_p = 16,37 \quad W_L = 28,36$$

L'indice de plasticité est la différence entre les valeurs de limite de liquidité et limite de plasticité.

$$I_p = W_L - W_p$$

$$I_p = 11,99$$

Indice de plasticité	Etat du sol
0-5	Non plastique
5-15	Peu plastique
15-40	Plastique
> 40	Très plastique

Tableau 2.4 : tableau de comportement plastique

$$5 \leq I_p \leq 15$$

A l'aide de tableau de comportement plastique cette sol est suivant les normes est le sol peu plastique

II.7.ESSAI PROCTOR :

II.7.1. But de l'essai :

L'essai Proctor consiste à placer dans un moule de dimensions déterminées un échantillon humidifié de manière homogène à une teneur en eau donnée, peu élevée au début, et à compacter cet échantillon par couches au moyen d'une dame de poids standardisé tombant d'une hauteur standardisée. Pour chacune des teneurs en eau considérée, on détermine le poids volumique sec du sol et on établit la courbe des variations de ce poids volumique de la teneur en eau.

II.7.2. Définition :

L'essai Proctor modifié est réalisé avec la dame modifiée (grande dame), quel que soit le moule.

II.7.3. Le principe de l'essai :

L'essai est consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à la compacter selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau .ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristique de compactage Proctor normal ou Proctor modifier suivant l'essai réalisé.

	Masse de la dame (kg)	Hauteur de chute	Nombre de coups par couche	Nombre de coups
Essai Proctor	Normal 2,490	30,50	25(moule Proctor)	3
			55(moule CBR)	3
	Modifié 4,540	45,70	25(moule Proctor)	5
			55(moule CBR)	5

Tableau 2.5 : les conditions de chaque essai

II.7.4. Matérielle nécessaire :

Moule Proctor avec embase et hausse.

Dame Proctor modifié.

Règle à araser.



Photo 2.3 : matériel de l'essai Proctor

II.7.5. Mode opératoire :

- Faire choix du matériel (moule, dame)
- Humidifier le sol à la teneur en eau voulue, bien homogénéiser
- Monter la base du moule sur socle et peser cet ensemble
- Monter la hausse sur le moule
- Effectuer l'essai Proctor suivant la norme (nombre de couches, nombre de coups de dame par couche et disposition de ces coups) retirer la hausse et araser
- Peser le moule, le socle et le contenu, en déduire la masse de sol contenu dans le moule
- Démontez le socle, prélever une petite quantité de sol de part et d'autre du moule et effectuer les mesures de teneur en eau

**Photo 2.4 :** l'essai Proctor**II.7.6. Présentation des résultats :**

La masse volumique du matériau compacté varie en fonction de sa teneur en eau, l'allure du graphe $\gamma_d = f(W\%)$. Après le compactage dans le moule Proctor on va mesurer la masse de l'échantillon.

$$\gamma_h = M_h / (\text{volume de moule}) ; v = 2259 \quad \gamma_d = \gamma_h / (1 - w)$$

Teneur en eau	4%	6%	8%
Poids de moule vide en kg)	10290	10290	10290
Poids de (moule +échantillon en kg)	15223	25014	15614
Poids de l'échantillon en kg)	4933	5324	5324
Volume de moule en m ³)	2295	2295	2295
γ_h (en kg/m ³)	2,14	2,31	2,31
γ_d (en kg/m ³)	2,05	2,18	2,14

Tableau 2.6 : tableau de compactage

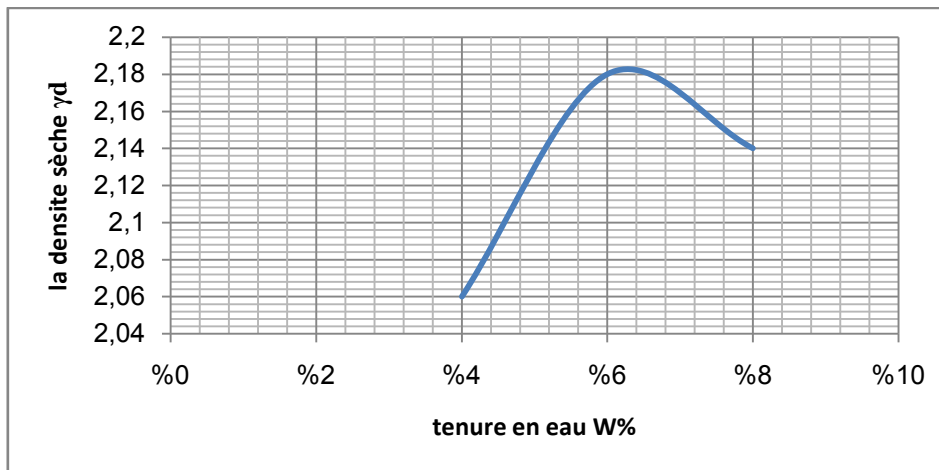


Figure 2.4 : courbe Proctor .

Teneur en eau	4%		6%		8%	
N° tare	F1	B	66A	10	17	21
Poids de tare vide	4,2	3,6	38,5	30,6	31,7	8,9
Poids d'humide	20,5	22	140,1	140,3	87,2	38,7
Poids de l'échantillon	16,3	18,4	101,6	109,7	55,5	29,8
Poids sec	19,7	21,2	133,3	133,5	82,9	36
Poids sec de l'échantillon	15,5	17,6	94,8	102,9	51,2	27,1
Poids de l'eau	0,8	0,8	6,8	6,8	4,3	2,7
W(la teneur en eau)	5,16	4,54	7,17	6,60	8,39	9,39
W_m (la teneur en eau moyenne)	4,85		6,88		8,89	

Tableau 2.7 : la teneur en eau

le trace de la courbe $\gamma_d=f(w)$ permet de déterminer la valeur maximale de la masse volumique sèche γ_d c'est-à-dire l'optimum Proctor normal ou modifié

II.8. ESSAI C.B.R IMMÉDIAT (California Bearing Ratio test)

II.8.1. But de l'essai:

L'essai C.B.R immédiat est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges).

II.8.2. Principe de l'essai:

On peut reproduire ce phénomène en compactant le matériau dans les conditions de l'essai Proctor dans un moule CBR puis en mesurant les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de ce matériau.



Photo 2.5 : appareille C.B.R

II.8.3. Les résultats:

Matériau: tuf d'aéroport Aoulef

La surface de poinçonnement=19,3cm²

La teneur en eau=6

Temps	Enfoncement (mm)	Valeur comparateur	$F=V \times 0,0221$ (kg)	$F=F \times 100$ (kg)	Surface S (cm ²)	Pression F/S (kg/cm ²)
1	1,25	500	11,05	1105	19,3	57,253
1 40s	2	700	15,47	1547	19,3	80,155
2	2,5	850	18,785	1878,5	19,3	97,331
4	5	1500	33,15	3315	19,3	171,761
6	7,5	1850	40,885	4088,5	19,3	211,839
8	10	2400	53,04	5304	19,3	274,818

Tableau 2.8 : résultat d'essai CBR

Indice CBR immédiat à 2,5mm=pression à 2,5mm/0,70= 139,044

Indice CBR immédiat à 5,0 mm=pression à 50mm/1,05= 163,582

Indice CBR immédiat =la plus grande valeur de 2,5mm et 5,0mm=163,582

II.9. CONCLUSION:

D'après les résultats obtenus : la courbe granulométrique est étalé.

La plasticité est moyen traduit par un indice de plasticité égale à 11,99.

Cependant le diagramme Proctor présent un sommet remarquable d'où la densité maximale est 2,185 g/cm³ pour une teneur en eau optimal égale à 65% donc le comportement mécanique est suffisamment.

Tout l'essai CBR présente une résistance au poinçonnement satisfaisant.

Nous avons conclure que le matériau (sol) présente des paramètres géotechnique appréciable.

III.1.INTRODUCTION :

En général, les pénétromètres dynamiques utilisés sont munis d'une pointe débordante. Selon les pays, on note le nombre de coups nécessaires pour enfoncer la pointe de 10, 20 ou 30 cm, que nous désignons par Nd 10, Nd 20 ou Nd 30. Cependant, Nd ne peut pas être une caractéristique dynamique, car elle est influencée par de nombreux facteurs tels que l'énergie de frappe, le diamètre et la largeur du débordement de la pointe, et le rapport variable entre la masse frappante et la masse frappée.

III.2.PENETROMETRE DYNAMIQUE :

III.2.1.Objectif de l'essai:

Le pénétromètre dynamique est un moyen simple, rapide et économique d'investigation des sols in situ. Il permet :

- d'apprécier de façon qualitative la résistance des terrains traversés, et de prévoir la réaction du sol à l'enfoncement de pieux.
- de déterminer l'épaisseur et la profondeur des différentes couches de sol.
- d'effectuer des contrôles de compactage
- d'estimer une caractéristique de portance, la « résistance dynamique de pointe ».

III.2.2. Principe de l'essai :

On enfonce dans le sol par battage, un train de tiges de faible diamètre muni à son extrémité d'une pointe, et on mesure le nombre de coups N nécessaires pour obtenir un enfoncement donné.

III.2.3. Réalisation d'un essai Pénétromètre dynamique in situ:

1-Peser l'ensemble des éléments du pénétromètre:

- Masse du mouton
- Masse de l'enclume + pointe + tige guide
- Masse d'une tige
- Section de la pointe
- Hauteur de chute du mouton

2- Réaliser 1 essai in situ dans l'université d'ADRAR.

- Mettre en place la pointe au pied de la 1^{ère} tige et assembler l'enclume + tige guide + mouton
- Enfoncer la pointe dans le sol
- Commencer l'essai (15 à 30 coups /min) en comptant le nombre de coups nécessaires pour enfoncer VERTICALEMENT le train de tiges jusqu'à la première graduation (10 cm).
- Renseigner la fiche de sondage fournie.
- Poursuivre l'essai jusqu'au refus en ajoutant les tiges nécessaires.

3- Retirer l'ensemble du matériel du terrain

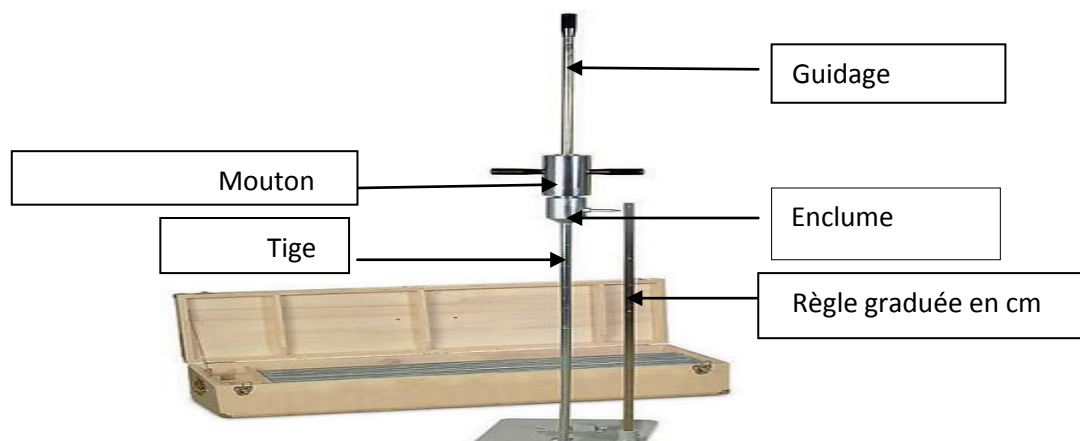


Figure 3.5 : Appareil Pénétromètre dynamique

III.2.4.Résultat :

Profondeur (cm)	Nombre de coups	Nombre de tiges	Observation
10	5	1	
20	4	1	
30	4	1	
40	5	1	
50	3	1	
60	4	2	
70	5	2	
80	3	2	Refus

Tableau 3.9 : Résultats de l'essai Pénétrömètre dynamique

Calcul la résistance de pointe:

$$R_p = \frac{M^2 \cdot H}{S \cdot e(M+P)} * N \text{ tel que:}$$

pois de mouton en kg(M)	32
Hauteur de chute en cm	75
Section de pointe en cm ² (S)	30
Enfoncement en cm(e)	10
Poids total en kg (guidage+enclume+mouton)(p)	57
Nombre de coups nécessaire pour un enfoncement de 10 cm(N)	

Tableau 3.10: les données de l'essai Pénétrömètre dynamique

$$R_{p1} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 5 = 14,382$$

$$R_{p2} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 4 = 11,5056$$

$$R_{p3} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 4 = 11,5056$$

$$R_{p4} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 5 = 14,382$$

$$R_{p5} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 3 = 8,629$$

$$R_{p6} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 4 = 11,5056$$

$$R_{p7} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 5 = 14,382$$

$$R_{p8} = \frac{(32)^2 \cdot 75}{30 \cdot 10(32+57)} * 3 = 8,629$$

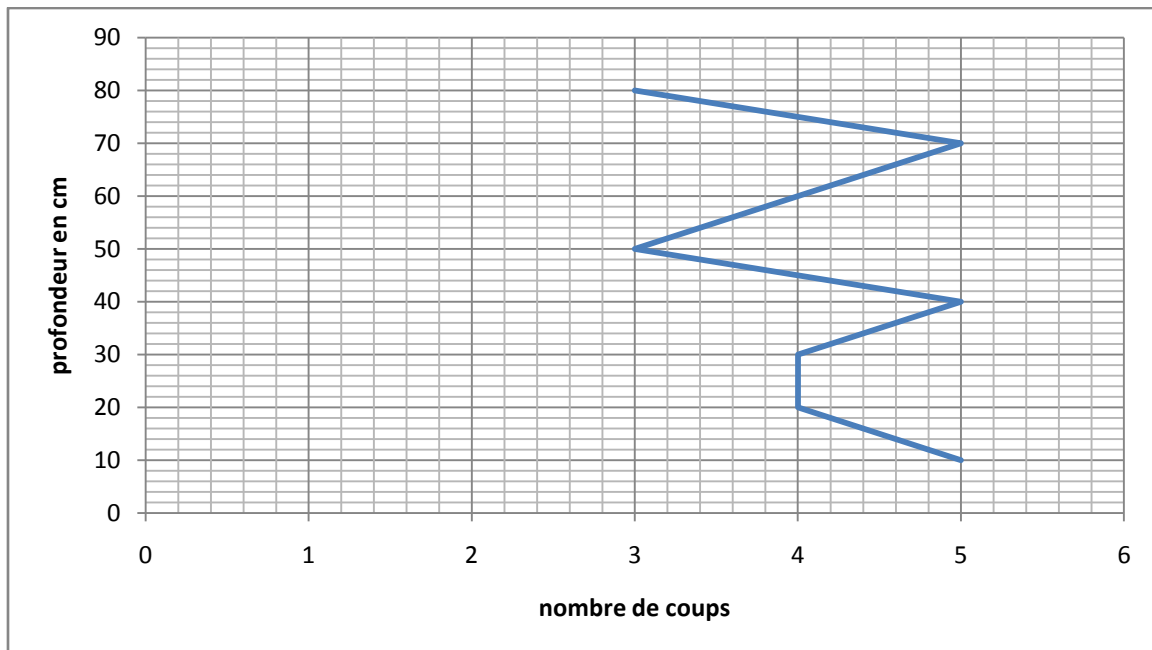


Figure 3.6 : courbe Pénétromètre dynamique

III.3.CONCLUSION :

Pour une reconnaissance de sols, l'essai au pénétromètre dynamique doit fournir une résistance dynamique unitaire de pointe qui puisse caractériser parfaitement une tranche de sol sans que ce résultat soit influencé par les couches de sols

CONCLUSION GENERALE

En définissant le choix de l'étude de sol dépend de paramètres à prendre en compte que l'on peut résumer ainsi :

- Les caractéristiques de sol à améliorer sont :
 - ✚ Epaisseur du mauvais sol à traiter
 - ✚ Nature du sol (cohérent, granulaire, présence des blocs), Déterminer par la courbe granulométrique et les essais d'identification (limite d'Atterberg, Proctor, CBR)
- Connaissance des déformations et évolution dans le temps :
 - Essai in situ (Pénétromètre dynamique)
 - Teneur en eau

BIBLIOGRAPHIE

[A]: Benazza Soumia , Les méthodes superficielles de stabilisation et de renforcement des sols(application du guide de la construction pour la wilaya d'ILIZI dans la région d'ADRAR) projet de master 2:Génie Civil, promotion:2013.

[B]: Addou Fatiha-Mehdaoui Oum Elkhier,Analuse physico-chimique de sol de deux racin d'ADRAR: cas de BOUDA et le centre d'ADRAR, mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de licence en génie des procédés ,option: Génie Chimie:2012-2013.

[C]: www.cima.ualg.pt/piloto/UVED-geochimie/UVED/.../1-3-1-2.html.

[D]: WWW.cbn-alpin-biblio.fr/GEIDE/File/BB22603.pdf?ArchiveFile .

[E]: WWW.VOLVOCE.com/.../Brochure-ECR305CL-EU-FR-3A1005311.pdf .

[F]: WWW.issep.be/files/.../prélèvement/p.6-Pr-1-vement-sols.Pdf .

[G]: www.sdec-france-com/ouverturepdf.php?File=108731701-6.pdf .

[H]: <http://shell.windous.com/fileassoc/fileassoc.asp?langID=04c&Ext=Pdf> .

[I]: <http://www.mtaterre.fr/dossier-moins/chap/867/comment-se-forme-le-sol>.

[J]: <http://www.domainedevens.com/>

[K]: echangetv.levantin-frre.fr/cours/...agro/c.chapitre_1_pgysique_sol.pdf .