



Université Cadi Ayyad  
Faculté des Sciences et Technique,  
Marrakech  
Département des Sciences de la Terre



# Mémoire de fin d'études

Licence Sciences et Techniques Eau et Environnement (LST EE)

## Application des essais géotechniques aux sols de la région de Taghazout, Agadir (Maroc)

Réalisé par : Fatima Zahra EL OUIHEN

Encadré par : **Pr. Abdellah AIT ADDI (Encadrant, FST-Marrakech)**  
**Dr. Abderahim ABDELGHAFAR (Co-encadrant, LPEE-Agadir)**

Soutenu le 28/6/2017 devant le Jury composé de :

Pr. Abdellah AIT ADDI: FST-Marrakech  
Pr. Mohamed JAFFAL: FST-Marrakech  
Dr. Abderahim ABDELGHAFAR: LPEE-Agadir

Année universitaire : 2016/2017

# Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Abreviation	
Chapitre 1: Généralités et objectifs du stage .....	1
I-Présentation de LPEE .....	1
1-Mission du Laboratoire LPEE .....	1
2-Domains d'intervention du Laboratoire LPEE.....	2
II-Objectifs de la présente étude.....	2
Chapitre 2 : Aperçus géographique et géologique de la zone d'étude.....	3
I-Aperçus géographique .....	3
II-Aperçus géologique.....	3
Chapitre 3 : Généralités sur les sols .....	7
Introduction.....	7
I- Les sols meubles.....	8
II-Les sols tireux : .....	9
III-Les sols tuffacés : .....	10
Chapitre 4 : Essais géotechniques effectués .....	11
I-L'échantillonnage : prélèvement et fractionnement .....	11
1-prélèvement .....	11
2-Fractionnement .....	12
II-Essai in-situ : essai pressiométrique .....	13
1-généralités sur l'essai pressiométrique .....	13
2-Expression des résultats .....	15
III-Les essais géotechniques au laboratoire .....	20

1-L'analyse granulométrique .....	20
1-Définition et but.....	20
2-Principe .....	21
3-Appareillage.....	21
4-Mode opératoire.....	22
5-Expression des résultats.....	23
2-Essai au Bleu de Méthylène (VBs) .....	24
1-Principe .....	24
2-Appareillage.....	25
3-Mode opératoire .....	25
4-Appareillage.....	26
5- Résultats et interprétation .....	26
3-Détermination des limites d'Atterberg .....	27
1-Principe .....	27
2-Appareillage.....	28
3-Preparation de l échantillon .....	27
4-Mode opératoire .....	28
5-Resultat .....	27
Conclusion générale .....	32
Référence bibliographique .....	33
Les sites webs consultés.....	33

## REMERCIEMENT

- Avant tout développement sur cette expérience en milieu professionnelle.il apparait opportun de commencer ce rapport par des remerciements.
- J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire
  - En premier lieu Je tiens à remercier mon directeur à IPEE Monsieur EICHARQUAOUI et mon encadrant de stage monsieur ABBEDLGHAFAR, chef division géotechnique de CTR d'Agadir, pour son accompagnement tout au long du stage, sa bienveillance et son aide
  - Je souhaite particulièrement remercier mon encadrant Mr Ait Addi, pour sa précieuse aide à la relecture et à la correction de mon mémoire je le remercie également pour toutes suggestions dont il m'a fait part pour orienter et améliorer mon travail.
  - Je remercie ensuite monsieur JAFFAL de m'avoir fait l'honneur de juger mon travail et d'assister à la soutenance de mon projet.

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail à mes parents que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leurs patiences illimitées, leurs encouragements, leur profond amour et respect pour leurs grands sacrifices. Mes chers frères et ma sœur pour leurs soutiens. Je dédie aussi à mes merveilleux amis qui m'ont aidé.

## Liste des tableaux

*Tab. 1 : organigramme du Laboratoire LPEE*

*Tab. 2 : classification des sols meubles de la classe A*

*Tab. 3 : classification des sols meubles de la classe B*

*Tab. 4 : consolidation des sols en fonction de rapport EM/PL*

*Tab. 5 : résultats de l'essai granulométrique*

*Tab. 6 : résultats de calculs des pourcentages massiques de l'essai granulométrique*

*Tab. 7 : degré de plasticité des sols*

## Liste des figures

*Fig. 1 : localisation du site étudié*

*Fig. 2 : contexte géologique de la zone étudiée*

*Fig. 3 : profil et coupe dans le Quaternaire dans la localité de Tamghart  
(d'après Weisrock et al. 1999)*

*Fig. 4 : classification des particules solides d'un sol*

*Fig. 5 : graphique synoptique de la classification générale des sols meubles*

*Fig. 6: plan de situation des différents sondages*

*Fig. 7: carottes récupérées dans le sondage SC1, prof. 15 m*

*Fig. 8: diviseur d'échantillons*

*Fig. 9: composants d'un pressiomètre*

*Fig. 10 : programme de mise en pression*

*Fig. 11 : courbe brute d'un essai pressiométrique*

*Fig. 12 : procédure et courbe d'étalonnage à l'air libre*

*Fig. 13 : courbe d'étalonnage dans le tube fondu*

*Fig. 14 : résultats de l'essai pressiométrique du sondage SC1*

*Fig. 15 : équipement nécessaire pour une analyse granulométrique*

*Fig. 16 : courbe granulométrique de SM1 à 0.8 m et SM1 à 3.5 m*

*Fig. 17 : appareillage et étapes de l'essai au Bleu de Méthylène VBs*

*Fig. 18 : résultats de valeur au Bleu de méthylène sur le papier filtre*

*Fig. 19 : limites d'Atterberg d'un sol*

*Fig. 20 : Essai Atterberg, détermination de la limite de liquidité*

*Fig. 21 : Essai Atterberg, étapes de détermination de la limite de plasticité*

*Fig. 22: Evolution de la teneur en eau en fonction de l'enfoncement*

## Abréviations

*LPEE : Laboratoire public d'essai et d'étude*

*D max : Diamètre maximale*

*W : Teneur en eau*

*Wl : Limite de liquidité*

*Wp : Limite de plasticité*

*Wr : Limite de retrait*

*IP : Indice de plasticité*

*VBS : Valeur de bleus sols*

*Pc : Pression de contact*

*Pl : Pression limite*

*Pf : Pression de fluage*

*Mh : Masse humide*

*Ms : Masse sèche*

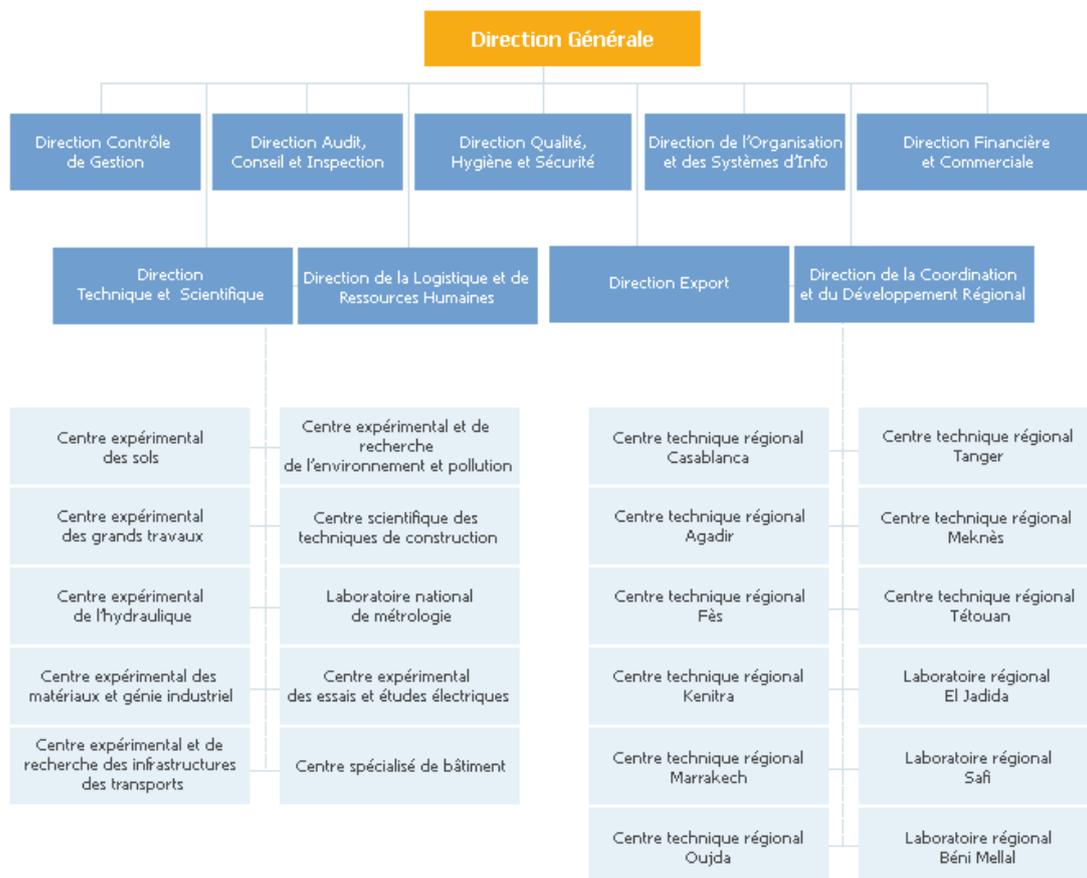
*T.80um : Tamis à 80 um*

# Chapitre 1: Généralités et objectifs du stage

## I-Présentation de LPEE

Le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes(LPEE), est une société anonyme, semi-public créée en 1947 sous la tutelle du Ministère de l'équipement et du transport marocain.

Le Laboratoire est formé par dix unités techniques spécialisées, installées et structurées à l'échelle nationale (Tab. 1). Toutes les unités techniques sont liées entre elles, et constituent un réseau pour améliorer leur efficacité et particulièrement leurs délais d'intervention.



**Tab. 1 : Organigramme générale de laboratoire LPEE**

### 1-Mission du Laboratoire LPEE

La principale mission du Laboratoire LPEE est l'application des essais géotechniques sur différents matériaux destinés à la réalisation de grands chantiers au Maroc.

LPEE offre des prestations de caractérisation et d'expérimentation à différents stades de la réalisation des projets dans divers domaines : le bâtiment, les travaux publics et l'industrie (conception, travaux, maintenance, expertise ...)

## **2-Domains d'intervention du Laboratoire LPEE**

Les prestations du Laboratoire couvrent des domaines aussi vastes et variés. Parmi ces domaines d'intervention, nous citons entre autres :

- Géotechnique et sciences de la terre ;
- Bâtiment, Structures et matériaux ;
- Infrastructures de transports ;
- Aménagements hydrauliques, maritimes et portuaires ;
- Environnement et prévention des pollutions
- Industrie ...

### **II-Objectifs de la présente étude**

L'identification des sols d'appuis est une tâche indispensable pour le bon fonctionnement et la durabilité d'un ouvrage. Les essais géotechniques ont pour objectif la caractérisation de l'état du sous-sol et la détermination du système de fondation le plus adéquat. L'importance du travail de tout Laboratoire est basée sur la réalisation des essais au Laboratoire et des essais in-situ sur le chantier (Terrain). La personne chargée d'effectuer l'essai doit respecter sévèrement une méthodologie bien déterminée pour aboutir à des résultats garantis. Il s'agit, en fait, de respecter un certain nombre de normes caractéristiques pour chaque essai géotechnique.

Les travaux du présent mémoire consistent en la réalisation de quelques essais géotechniques pour la caractérisation des exemples de sols pour un site de projet de construction d'un hôtel dans la localité de Taghazout, région d'Agadir (Fig. 1).

Pour atteindre ces objectifs nous avons effectué les travaux suivants :

1- Les travaux de terrain consistent en des visites du site étudié pour faire des levés de profils, décrire les sols et appliquer quelques essais géotechniques in-situ puis prélever les échantillons.

2- Les travaux de Laboratoire concernent des essais géotechniques tels que :

- Essai de l'analyse granulométrique
- Essai au Bleu de Méthylène (VBs)
- Essai d'Atterberg

Le présent mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

Chapitre 1 : expose les généralités sur le Laboratoire LPEE

Chapitre 2 : concerne les cadres géographique et géologique du site étudié

Chapitre 3 : porte sur les généralités sur les sols et expose leurs différentes classifications

Chapitre 4 : décrit les différents essais géotechniques effectués et expose leurs résultats et interprétations

A la fin du mémoire, nous retrouvons une conclusion générale englobant les résultats et les interprétations des différents essais géotechniques réalisés.

## Chapitre 2 : Aperçus géographique et géologique de la zone d'étude

### I-Aperçu géographique

Le site étudié est situé à environ 25 Km au NNW de la ville d'Agadir sur la côte atlantique entre les agglomérations de Tamraght et de Taghazout sur la route nationale n°1 reliant la ville d'Essaouira à Agadir (Coordonnées GPS : 30.527103, -9.691073 ; Fig. 1)

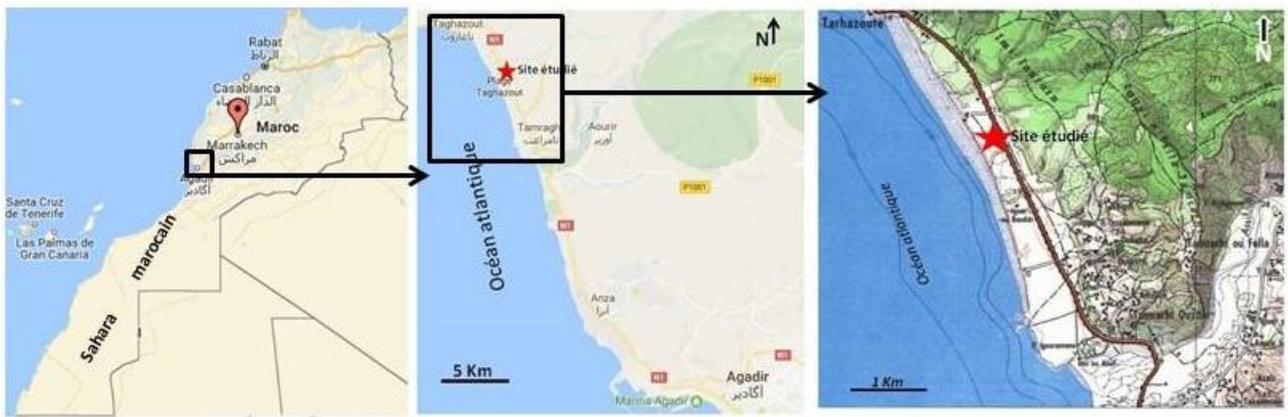
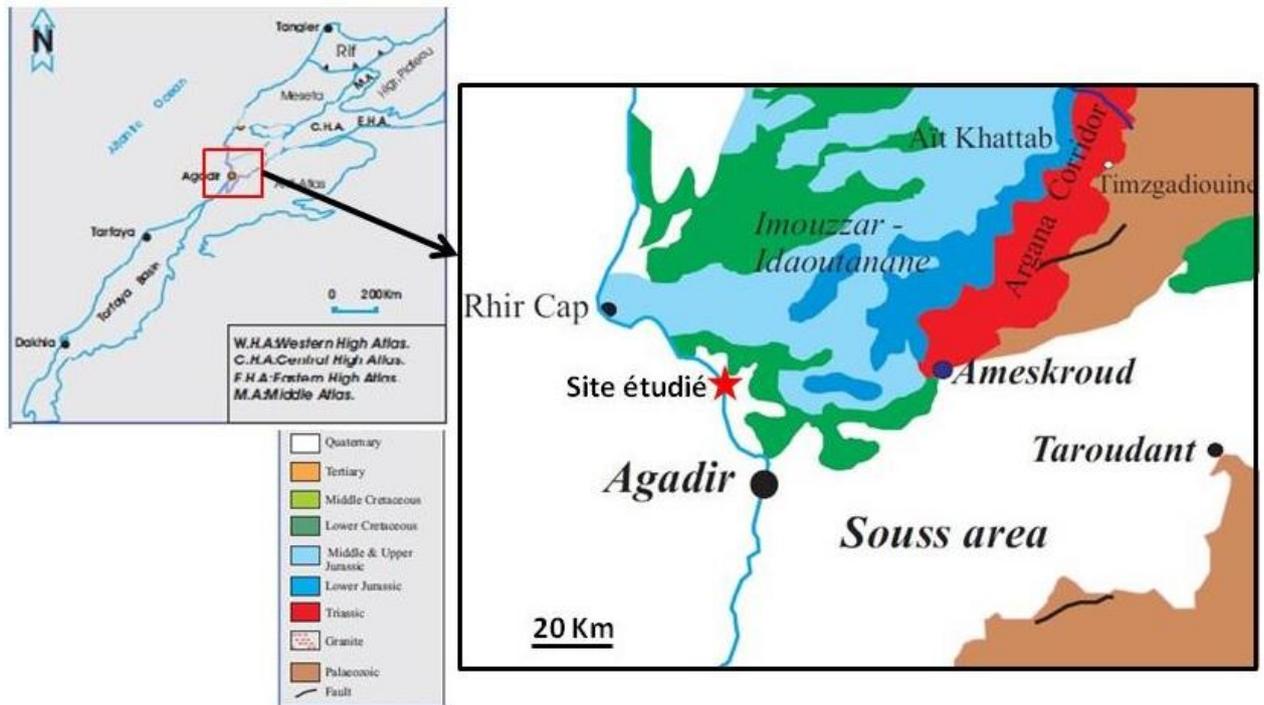


Fig. 1 : localisation du site étudié

Géomorphologiquement, la région est formée par des reliefs très bas parcourus par des oueds dont le plus important est l'oued Tamraght (Fig. 1). Tous ces oueds prennent naissance à partir des premiers reliefs, relativement hauts, appartenant au Haut Atlas atlantique (extrémité occidentale du Haut Atlas) et se jettent dans l'Océan atlantique (Fig. 1). La région est formée en grande partie par des dunes sableuses sous forme de buttes et de cordons le long de la côte. Sur ces dunes se développent niveaux épais (environ 3 m) de sols essentiellement limoneux et parfois sableux.

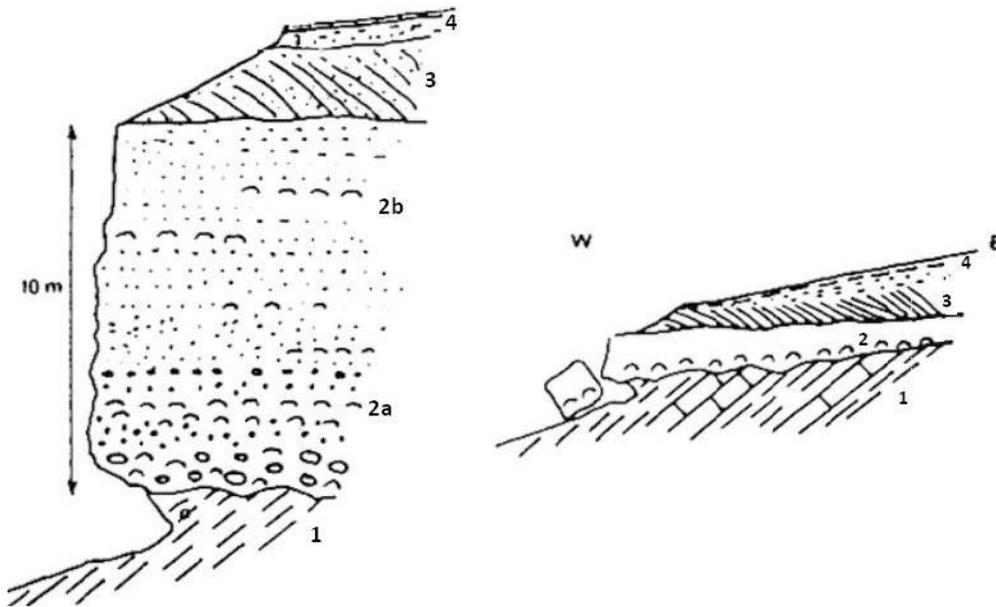
### II-Aperçu géologique

Le site étudié est entouré par des terrains d'âge essentiellement Méso-cénozoïque (Jurassique, Crétacé et Tertiaire). Ces terrains forment des structures anticlinales et synclinales dont les axes sont perpendiculaires à la côte atlantique. Il s'agit essentiellement de dépôts de marnes, marno-calcaires et grès (Fig. 2).



**Fig. 2 : Contexte géologique de la zone étudiée**

Dans notre site d'étude, ce méso-cénozoïque est couvert par des formations quaternaires essentiellement marines. Ces formations peuvent être facilement repérées le long de la côte sous forme de trois terrasses marines déformées d'âge pléistocène tranchées en basses falaises par l'Océan (Fig. 3 ; Weisrock et al. 1999). Ces trois terrasses marines se situent toutes en contrebas d'une large surface d'abrasion pliocène et plio-pléistocène appelée ici «rasa moghrébienne», et s'étagent au pied d'une haute falaise morte qui limite cette rasa élevée du côté de l'océan (Weisrock et al. 1999). Géologiquement, les matériaux formant le site étudié sont le produit de deux types d'apports : les apports continentaux liés à l'érosion des reliefs du Haut Atlas atlantique et les apports d'origine marine liés à la dynamique littorale le long de la côte atlantique.



**Fig. 3 : Profil et coupe dans le Quaternaire (le Maarifien) dans la localité de Tamghart  
(d'après Weisrock et al. 1999)**

**1** : marnes et marno-calcaires méso-cénozoïques, **2a** : faciès inférieur lumachellique, **2b** : faciès supérieur limoneux, **3** : dune, **4** : glacis d'érosion.

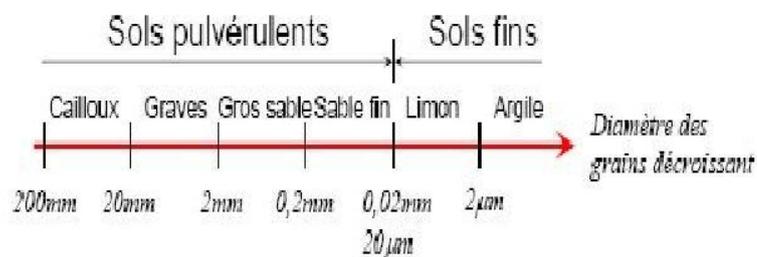
## Chapitre 3 : Généralités sur les sols:

### Introduction

Classer un sol consiste à l'identifier grâce à des mesures quantitatives et à lui donner un nom afin de le rattacher à un groupe de sols de caractéristiques semblables. Apparentée à la classification américaine U.S.C.S. (Unified Soil Classification System), la classification des Laboratoires des Ponts et Chaussées (L.P.C.) utilisée en France s'appuie essentiellement sur l'analyse granulométrique et sur les caractéristiques de plasticité de la fraction fine, complétée par des essais très simples (couleur, odeur, effets de l'eau, etc.).

Les sols sont désignés par le nom de la portion granulométrique prédominante qualifiée par un adjectif relatif aux portions secondaires (ex. sols à granulométrie uniforme et sols à granulométrie non uniforme). On distingue trois grands types de sols (Fig. 4):

- les sols pulvérulents dont le diamètre des grains est inférieur à 20  $\mu\text{m}$
- les sols fins dont le diamètre des grains supérieur à 20  $\mu\text{m}$ .
- les sols organiques dont la teneur en matière organique est supérieure à 10 %.



**Fig. 4 : Classification des particules solides d'un sol**

Le Guide des Terrassements Routiers "GTR" propose une classification géotechnique qui permet de traiter de manière rationnelle les remblais et des aspects technique liés à l'étude des projets la rédaction des marchés et la conduite des travaux de construction des remblais et des couches de forme.

Selon GTR, Les sols peuvent être classés en trois groupes : sols meubles, sols tirseux et sols tuffacès.

Dans le groupe des sols meubles on distingue 4 classes de sols :

Classe A : sols fins.

Classe B : sols sableux et graveleux avec fines.

Classe C : sols comportant des fines et des gros éléments.

Classe D : sols insensibles à l'eau.

## I- Les sols meubles

### a) La classe A : sols fins (silts, limons, argiles, ...)

Elle contient les sols fins qui présentent un  $D_{max} < 50 \text{ mm}$  et un tamisat  $80 \mu\text{m} > 35\%$ . Elle contient quatre sous classe suivant l'importance de la plasticité (Tab. 2) :

<i>Sous classe</i>	<i>Nature</i>	<i>VBs</i>	<i>IP</i>
A1	sols fins peu plastiques	$\leq 2,5$	$\leq 12$
A2	sols fins moyennement plastiques	$2,5 < VBs \leq 6$	$12 < IP \leq 25$
A3	sols fins plastiques (argiles, marnes, limons)	$6 < VBs \leq 8$	$25 < IP \leq 40$
A4	sols fins très peu plastiques (argiles et marnes)	$VBs > 8$	$IP > 40$

**Tab. 2 : Classification de sol meuble « classe A »**

### b) La classe B : sols sableux ou graveleux avec fines

Elle contient les sols sableux et graveleux avec fines avec un  $D_{max} \leq 50\text{mm}$  et un tamisât à  $80\mu\text{m} \leq 35\%$ . Elle subdivise en 6 sous classes suivant l'importance et les caractéristiques des fines et l'importance de la fraction sableuse (Tab. 3) :

<i>Sous classe</i>	<i>Nature</i>	<i>T. 2 mm</i>	<i>T. 80 μm</i>	<i>VBs</i>
B1	Sols sableux silteux	$> 70\%$	$\leq 12\%$	$0,1 \leq VBs \leq 0,2$
B2	Sols sableux peu argileux	$> 70\%$	$\leq 12\%$	$> 0,2$
B3	Graves et silts	$\leq 70\%$	$\leq 12\%$	$0,1 \leq VBs \leq 0,2$
B4	Graves et argiles	$\leq 70\%$	$\leq 12\%$	$> 0,2$
B5	Sables, graves et silts	--	12% à 35%	$\leq 1,5$
B6	Sables, graves et argiles	--	12% à 35%	$\leq 1,5$

**Tab. 3 : Classification de sol meuble « classe B »**

### c) La classe C : sols formés par des fines et des gros éléments

Cette classe englobe des sols formés par un mélange de particules de différentes tailles. Les sols de cette classe présentent les caractéristiques suivantes :  $D_{max} > 50 \text{ mm}$ , tamisat à  $80 \mu\text{m} > 12\%$ , tamisât à  $80 \mu\text{m} \leq 12\%$  et  $VBs > 0,1$ .

Cette classe est subdivisée en deux grandes sous classes C1 et C2.

- C 1 : contient les matériaux roulés et les matériaux anguleux peu charpentés.

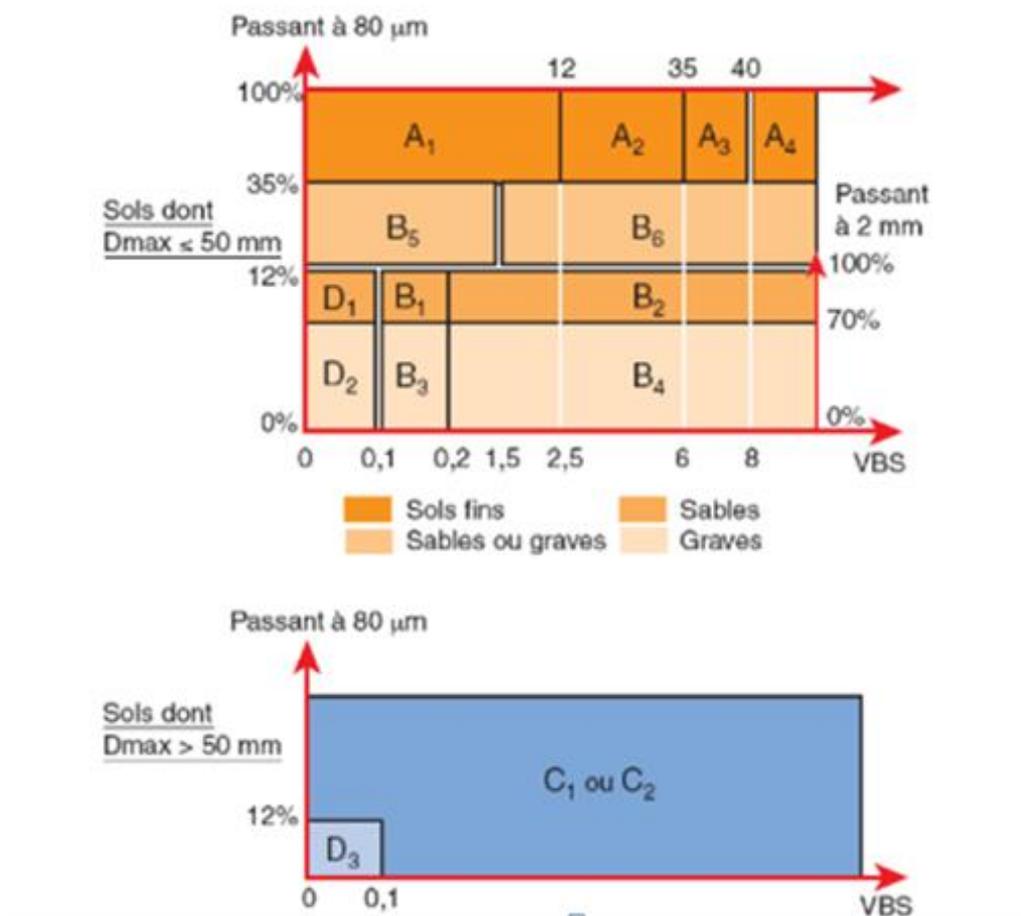
- C 2 : contient les matériaux anguleux très charpentés.

**d) La classe D : sols formés par des sables et graves propres**

Il s'agit de sols riches en sables et gravier propres insensibles à l'eau. Ces sols présentent une  $VBS \leq 0,1$  et un tamisat à  $80 \mu m \leq 12\%$ . Cette classe est subdivisée en trois sous classes

(Fig. 5) :

- D1 : contient les sables propres (alluvionnaires et autre...),  $D_{max} \leq 50$  mm et passant à  $2 \text{ mm} \leq 70\%$
- D2 : contient les graviers propres (alluvionnaires et autre...),  $D_{max} \leq 50$  mm et passant à  $2 \text{ mm} \leq 70\%$
- D3 : contient les graviers propres avec des éléments à diamètre supérieur à 50 mm.



**Fig. 5 : graphique synoptique de la classification générale des sols meubles**

**II-Les sols tirseux**

Les sols tirseux sont des sols fins noirs à gris foncés, généralement situés en couverture, qui présentent une forte instabilité volumique. Ces sols se caractérisent par une forte fissuration

par retrait en saison sèche et par un fort gonflement à l'état humide, ils sont caractérisés par les paramètres suivants :

- L'indice d'instabilité volumétrique :  $W_l - W_r > 42$  avec  
 $W_l$  (limite de liquidité)  $> 53$   
 $W_r$  (limite de retrait)  $< 13$

**La plasticité de ces sols permet de définir deux sous classes :**

- **T.A 3 : pour les sols avec  $IP \leq 40$**
- **T.A 4 : pour les sols avec  $IP > 40$**

Les sols tireux sont très présents en couverture dans la plaine du Gharb avec des épaisseurs importantes et dans la plaine de Berrechid avec des faibles épaisseurs où ces sols reposent en général sur des tufs et des encroûtements calcaires.

### **III-Les sols tuffacés**

Les tufs sont des sols calcaires. Ils peuvent se présenter sous forme de sols fins ou de sols graveleux à squelette plus ou moins indurés. Ces sols sont fréquemment rencontrés dans les plaines de Chaouïa, Doukkala et Abda et sont généralement situés sous les sols de couverture avec ou sans encroûtement en partie supérieure.

L'élément prédominant qui caractérise ce comportement est le taux de carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ).

*La classification se fera :*

-En faisant apparaître le degré de calcification :

- Si  $CaCO_3 < 70\%$  : tuf faiblement carbonaté Tf.
- Si  $CaCO_3 > 70\%$  : tuf fortement carbonaté Tc.

-En prenant en compte la classification générale pour les sols meubles :

- Soit : Tf Ai ou Tf Bi ;
- Soit : Tc Ai ou Tc Bi ;

Selon que le sol est classé en Ai ou Bi.

## Chapitre 4 : Essais géotechniques effectués

### I-L'échantillonnage : prélèvement et fractionnement

#### 1-prélèvement

Sur le site du projet étudié ont été implantés treize sondages (forages). Les forages manuels ne dépassant pas 5 m de profondeur sont référencés de SM1, tandis que les forages carottés arrivant à 15 m de profondeur sont référencés Sc1 (Fig. 6).

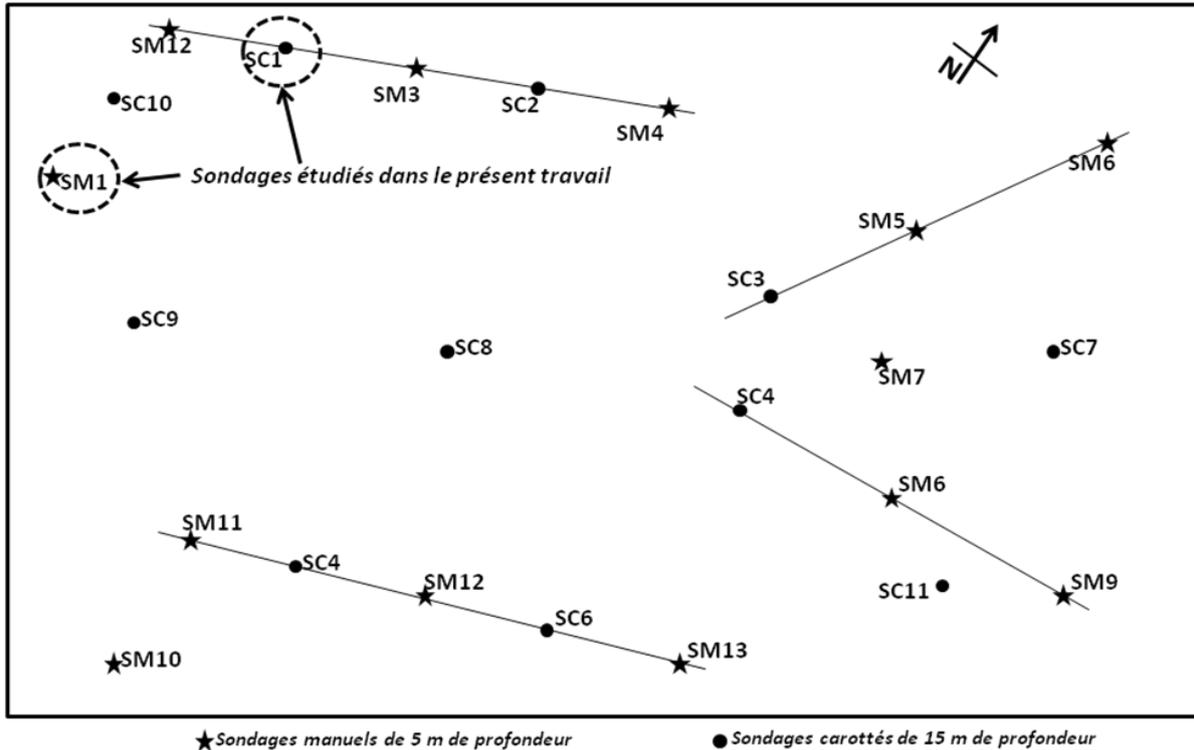


Fig. 6 : plan de situation des différents sondages

Les échantillons ont été prélevés d'une manière sélective dans des niveaux de sols à partir de forages carottés et manuels effectués dans l'emplacement du projet (Fig. 6). Les échantillons analysés dans le présent travail concernent le forage SC1 pour l'essai pressiométrique in situ et le forage SM1 pour les autres essais au Laboratoire (Figs. 6 et 7).



**Fig 7: carottes récupérées dans le sondage SC1, prof. 15 m.**

*Il s'agit de dépôts de sol sous forme de remblais (0 à 2.5 m) suivi d'intervalle de limon beige à traces de coquilles (2.5 à 5 m) ; sables gréseux d'origine marine (5 à 8.5 m) et en fin un épais intervalle de (8.5 à 15) de marno-calcaire correspondant parfois aux dépôts de tempêtes.*

Une quantité suffisante (2 kg) de matériaux doit être prélevée pour effectuer la totalité des essais nécessaires pour l'identification des sols. Les échantillons prélevés sont conservés soigneusement dans des sacs propres avec des indications précisant :

- La date du prélèvement
- Le lieu ou le nom du chantier
- Le client
- La nature de l'échantillon

## **2-Fractionnement**

Avant tout essai géotechnique les échantillons doivent être fractionnés à l'avance. Au début la séparation des différentes fractions peut se faire à l'état légèrement humide afin d'éviter la perte des éléments fins. La préparation peut s'effectuer selon deux procédures différentes :

**a-Par quartage ou fractionnement manuel.** Ce procédé est pratiqué quand la quantité de l'échantillon est très importante. Cette technique comprend les étapes suivantes :

- Brassage des matériaux se fait par un mortier pour dégrader les mottes et les agglomérées
- Etalement de l'échantillon sur une lisse selon un tas homogène des éléments

-Séparation des tas en quatre parties à peu près égales, suivant deux axes perpendiculaires en suite en choisi deux parties opposées

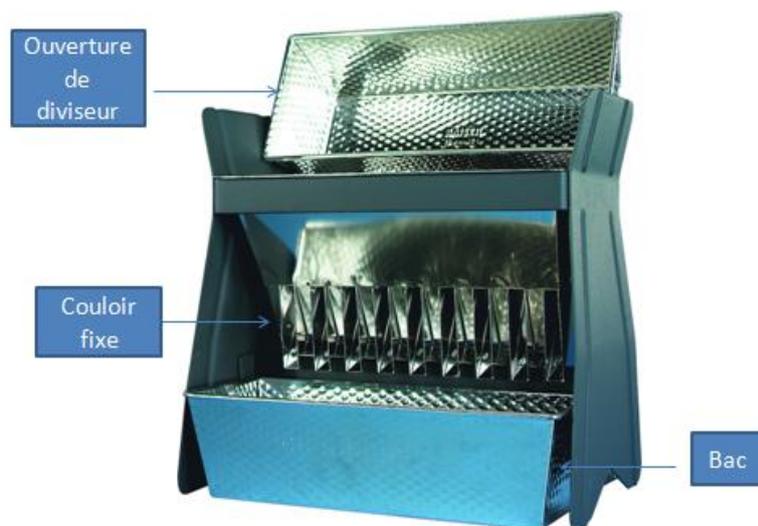
-Etalement de nouveau des deux parties choisies et refaire l'opération si la quantité de l'échantillon est trop importante pour l'essai que l'on veut effectuer.

**b-Par diviseur à couloir «échantillonneurs »** pour la séparation en fractions égales d'une qualité bien déterminée de l'échantillon (Fig. 8). Les étapes suivies sont :

-Verser les matériaux a l'aide d'une pelle dans le diviseur et veiller a ce qu'il soit uniformément reparti sur toute la surface de la pelle

-Régler la largeur des couloirs. Cette largeur doit être supérieure ou égale à  $2 \times D_{max}$   
D : exprimé en mm est la grande dimension spécifiée.

Si la quantité obtenue dans chaque bac est trop importante pour l'essai envisagé, recommencer l'opération avec le matériau récupéré dans l'un des deux bacs.



**Fig. 8: diviseur d'échantillons**

## II-Essai in-situ : essai pressiométrique

### 1-généralités sur l'essai pressiométrique

#### 1-But de l'essai

L'essai pressiométrique est un essai de chargement latéral in situ effectué au sein même du terrain grâce à la réalisation préalable d'un forage, utilisé selon la norme française NFP-94-110.

L'analyse des résultats permet d'obtenir, pour une profondeur donnée les caractéristiques mécaniques du sol. Ce qui permet d'effectuer les calculs de fondation « la capacité portante et le tassement »

L'essai permet d'obtenir une courbe de variation des déformations volumétriques du sol en fonction de la contrainte appliquée, et de définir une relation contrainte-déformation du sol en place dans l'hypothèse d'une déformation plane.

## **2-Principe de l'essai**

L'essai pressiométrique consiste à dilater radialement une sonde cylindrique tri-cellulaire placée dans le terrain «forage», à mesurer et à enregistrer les pressions appliquées par la sonde et variations volumiques de cette dernière afin de déterminer la relation entre la pression appliquée et l'expansion de la sonde à un graphe. Le Contrôleur de pression et de Volume exerce deux types de pressions :

La pression de gaz sur les deux cellules de garde, ensuite l'injection de l'eau par les tubulures dans la cellule centrale.

La pression sur le sol moyennement la cellule centrale pour étudier son comportement élastique et plastique.

Trois caractéristiques du sol sont ainsi déduites :

- le module pressiométrique EM qui définit le comportement pseudo-élastique du sol,
- la pression limite PL qui caractérise la résistance de rupture du sol,
- la pression de fluage PF qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et comportement plastique.

## **3-Appareillage de pressiomètre**

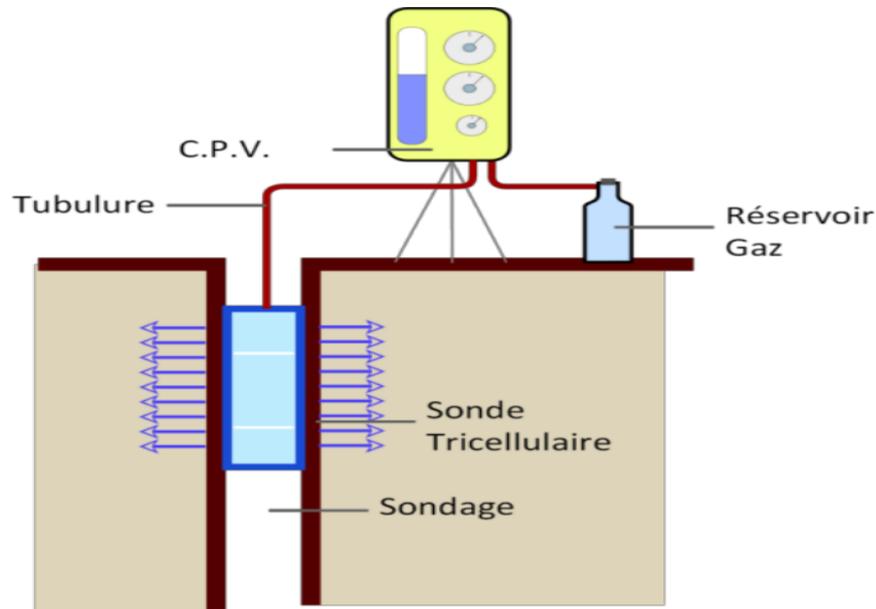
L'appareillage est formé par trois composants essentiels (Fig. 9).

**1- Contrôleur de pression et volume « CPV »** : permet de régler avec précision la pression dans la sonde en vue de réaliser le chargement statique du sol en place et de suivre l'évolution des paliers de chargement.

**2- Tubulures** : relie le CPV à la sonde, et permet le cheminement du gaz et de l'eau.

**3- Sonde pressiométrique** : sonde cylindrique tri-cellulaire présente en son centre une cellule dilatable radialement par injection de l'eau dont la variation de volume est enregistrée par un volumètre. La sonde est constituée de deux cellules de

garde en caoutchouc de part et d'autre de la cellule centrale. Les déplacements de cette paroi qui en résultent sont lus ou enregistrés pour chacune des pressions en fonction du temps

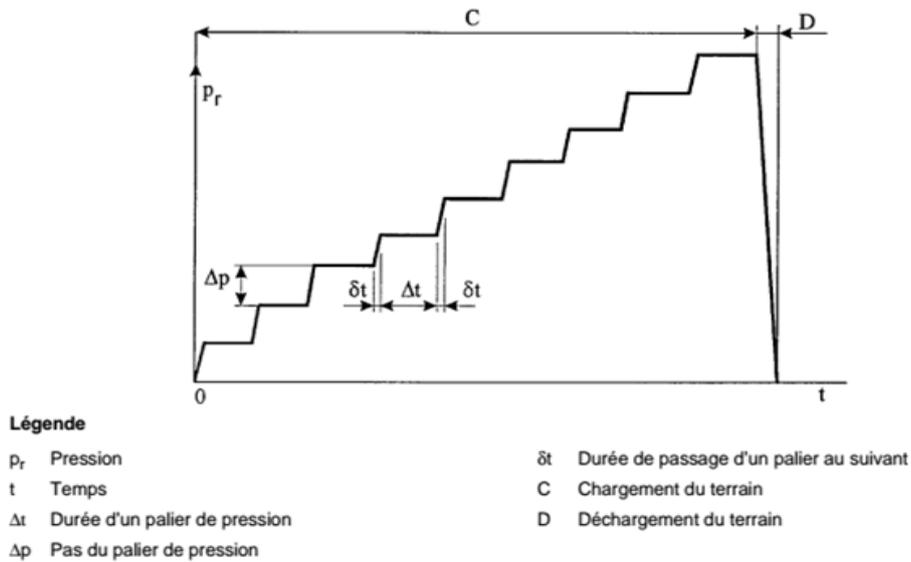


**Fig. 9: Composants d'un pressiomètre**

## 2-Présentation des résultats

### 1-programme de mise en pression

La pression  $p_r$  mesurée à l'indicateur de pression "manometre ». Elle est augmentée par paliers de pression suivant un pas de pression  $\Delta p$  constant, la durée  $\Delta t$  pour appliquer le pas de pression doit être inférieure à 20 s, une fois l'essai est terminé, le déchargement se fait progressivement sans palier (Fig. 10). Le pas de pression doit être en général constant durant tout l'essai (1 bar), toutefois, s'il apparait, au cours de l'essai que  $\Delta p$  a été surestimé ou sous estimé, sa valeur peut être réajustée au plus deux fois durant l'essai. Au niveau de chaque palier on doit noter les pressions appliqués (gaz et liquide) et le volume correspondant dans la sonde sont mesurés et enregistrés au moins aux temps :  $t = 1$  s,  $t = 15$  s,  $t = 30$  s,  $t = 60$  s.



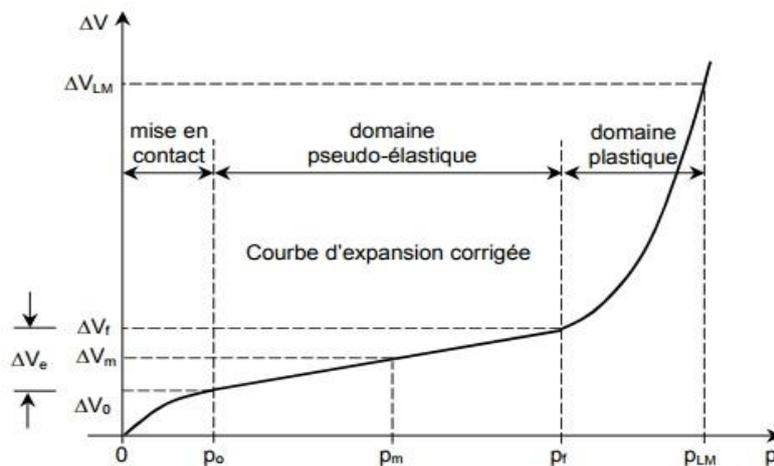
**Fig. 10: Programme de mise en pression**

2-courbe brute

La représentation graphique des valeurs du volume injecté  $V_{60}$  dans la sonde en fonction de la pression appliquée au terrain mesuré 60 s après le début de chaque palier.

Cette courbe montre trois zones (**Fig. 11**) :

- zone de mise en contact : la phase de contact de la sonde gonflée et les parois de forage. Cette zone se termine par une pression de contact «  $P_0$  » ou «  $p_c$  ».
- zone avec comportement pseudo-élastique : phase qui définit le module pressiométrique EM, le gonflement de la sonde résulte un début de la rupture de terrain.
- zone avec comportement plastique : la phase de rupture de terrain « cisaillement » due à l'importance de gonflement de la sonde et des contraintes normales de sol qui délimite la résistance de terrain.



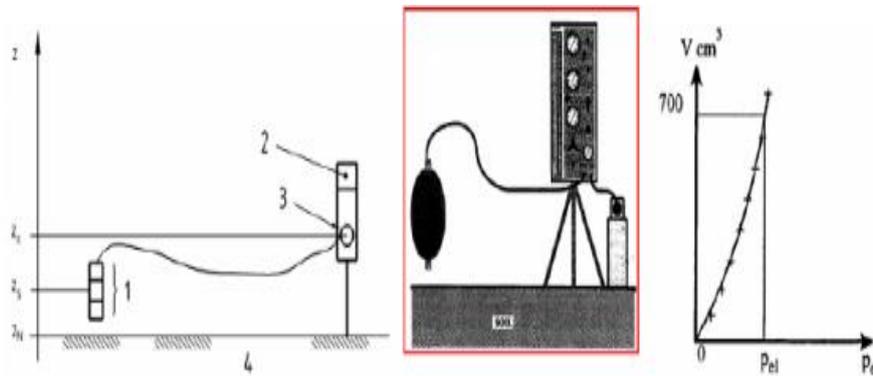
**Fig. 11 : Courbe brute d'un essai pressiométrique**

### 3-courbes d'étalonnage pour l'essai pressiométrique

#### a-Courbe d'étalonnage à l'air libre

La procédure d'étalonnage à l'air libre de la sonde d'un essai pressiométrique qui traduit l'inertie de la sonde gonflant à l'air est représentée sur la figure 12. La courbe qui permet de corriger les pressions appliquées à la sonde ( $p_c$ ,  $p_l$  et  $p_f$ ) en la gonflant à l'air libre avec injection de l'eau et l'azote. Cela produira un gonflement de la sonde libre sans contraintes normales de sol. La courbe brute représente trois pressions appliquées ( $P_c$ ,  $P_f$  et  $P_l$ ) correspondant aux volumes ( $V_c$ ,  $V_f$  et  $V_l$ ).

À partir des volumes précédant ( $V_c$ ,  $V_f$  et  $V_l$ ) on prend les pressions d'étalonnages correspondant ( $P_{e1}$ ,  $P_{e2}$  et  $P_{e1}$ ) qui se trouve sur la courbe d'étalonnage à l'air libre.



**Fig. 12 : procédure et courbe d'étalonnage à l'air libre**

1 : sonde, 2 : volumètre, 3 : manomètre, 4 : sol, z : hauteur

Les trois pressions corrigées sont

- Pression de contact corrigée ( $P_{cc}$ ) = Pression de contact lue ( $p_{cl}$ ) – Pression d'étalonnage ( $p_e$ ) + 0.1 ( $z_s+z_c$ )
- Pression de fluage corrigée ( $P_{fc}$ )= Pression de fluage lue ( $p_{cl}$ ) – Pression d'étalonnage ( $p_e$ ) + 0.1 ( $z_s+z_c$ )
- Pression limite corrigée ( $P_{lc}$ )= Pression limite lue ( $p_{cl}$ ) – Pression d'étalonnage ( $p_e$ ) + 0.1 ( $z_s+z_c$ )

#### b-Courbe d'étalonnage dans le tube fondu

La sonde est introduite dans un tube fondu et subit des pressions, la courbe permet de déterminer le volume initial de la sonde de mesure, noté  $V_{is}$  (Fig. 13).

$$V_{is} = (0.25 \pi \times L_s \times d_i^2) - V_c$$

Ls : la longueur de la membrane interne en caoutchouc

di : diamètre intérieur du tube qui porte la sonde

Vc : volume de contact entre la sonde et le tube

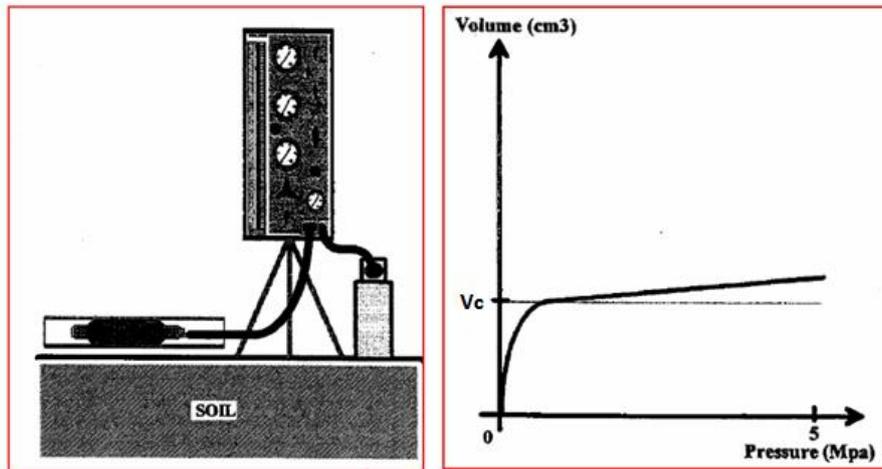


Fig. 13 : courbe d'étalonnage dans le tube fondu

## 2-résultats de l'essai pressiométrique du sondage SC1

Dans le présent travail nous avons exploité les résultats de l'essai pressiométrique effectué au niveau du sondage SC1 dans les sols de la région de Taghazout, Agadir (Fig. 2).

**Module pressiométrique Em :**

$$EM = 2 (1+v) ((vs+\Delta Vm)(\Delta pc/\Delta V))$$

v : le coefficient de Poisson du sol (pris conventionnellement égal à 0,33)

Vis : le volume initial de la sonde,  $Vis = (0.25 \pi \times Ls \times di^2) - Vc$

$\Delta Vm$  : la variation de volume moyenne du domaine pseudo-élastique

$\Delta pc$  : la variation de pression corrigée lue a partir de la courbe d'étalonnage a tube fondu

EM s'exprime en méga pascals

**Pression limite pressiométrique PI :**

$$PI = 1.70 * Pf$$

Pf : pression de fluage qui déterminer a partir de la courbe brute.

Pi est exprimé en méga pascals.

Les rapports EM/PL montrent que l'échantillon SC1 est fortement sur consolidé (Tab. 4).

Rapport EM/PL	Consolidation de sol
EM/PL<5	Argile remaniées ou triturées
5<EM/PL<8	Argile sous consolidé
8<EM/PL<12	argile normalement consolidées
12<EM/PL<15	argile légèrement sur consolidées
EM/PL>15	argile fortement sur consolidées

**Tab. 4 : consolidation des sols en fonction de rapport EM/PL**

Au niveau du sondage SC1, la pression de fluages et la pression limite sont très faibles dans l'intervalle de remblais (entre 0 et 2.5 m de profondeur). Ensuite ces pressions augmentent progressivement en profondeur pour atteindre des valeurs avoisinant 5 MPa pour la pression de fluage et 8 MPa pour la pression limite dans les formations marno-calcaires (environ 12 m de profondeur ; Fig. 14).

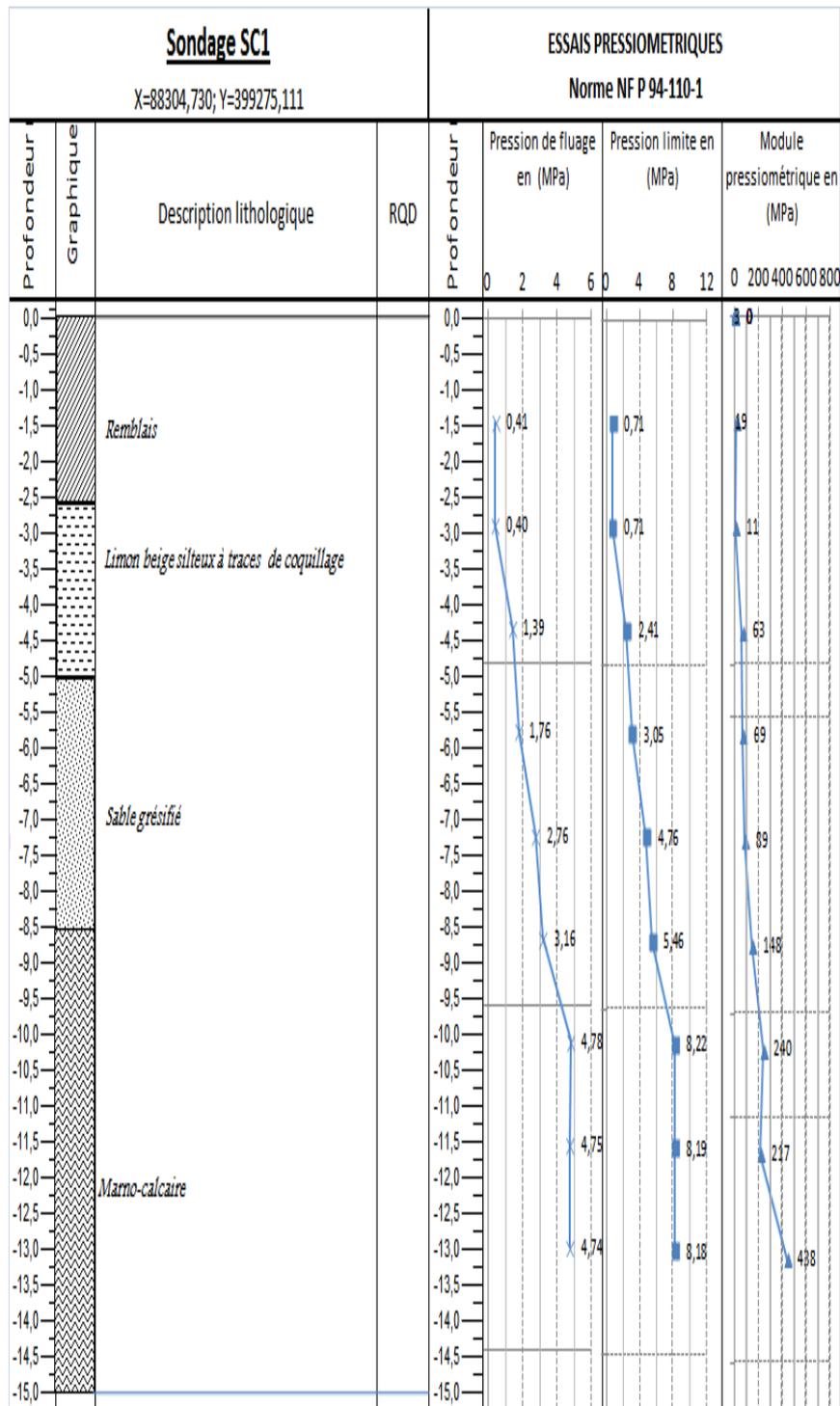


Fig. 14 : résultats de l'essai pressiométrique du sondage SC1

## II-Les essais géotechniques au laboratoire

### 1-L'analyse granulométrique

#### 1-Définition et but

L'essai de l'analyse granulométrique permet de détecter et de caractériser la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant un

échantillon. Cet essai consiste en la caractérisation et la classification géotechnique des sols en fonction de la taille des grains qui les constituent.

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. Cet essai a été pratiqué sur deux échantillons provenant du forage SM1 (à 0.80 m et à 3.50 m) (Fig. 6).

## 2-Principe

Elle consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un sol. Il s'agit de fractionner l'échantillon en plusieurs classes granulométriques au moyen d'une série de tamis à mailles carrées normalisées (Fig. 15). Les dimensions des mailles, généralement, utilisées selon la norme marocaine NM 13.1.008 s'échelonnent entre 80  $\mu$ m et 125 mm.



**Fig. 15: Equipement nécessaire pour une analyse granulométrique**

## 3-Appareillage

En plus de l'équipement principal (tamis) requis pour une analyse granulométrique (Fig. 15) ; d'autres appareils doivent être aussi disponibles au Laboratoire. Nous citons entre autres :

- une étuve ventilée réglée à 105°C pour sécher les échantillons
- une balance électrique de précision pour la pesée des refus

Thermologie :

Granulométrie : distribution dimensionnelle en masse des grains.

- REFUS sur un tamis : la quantité de matériau qui n'est pas retenue par le tamis (diamètre de l'échantillon > diamètre de tamis).

- TAMISAT (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis (diamètre de l'échantillon < diamètre de tamis).

Pourcentage massique d'un échantillon (p) : rapport, exprimé en pourcent, de la masse du passant à travers un tamis d'ouvertures, à la masse totale initiale du matériau sec.

Courbe granulométrique : représentation du pourcentage massique P des différents tamis en fonction de la dimension d'ouverture des tamis.

#### 4-Mode opératoire

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres et dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas (Fig. 15). Le matériau séché, de masse M (g), est versé dans le tamis supérieur de la colonne. En partie inférieure, on pose le tamis 0.08 mm sur un fond étanche (réceptacle) afin de récupérer les éléments les plus fins traversant ce tamis.

On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de variations de la tamiseuse.

Tous les refus récupérés sont pesés à l'aide d'une balance de précision. Ensuite on passe aux calculs des différents paramètres et indices granulométriques.

Le mode opératoire comprend les étapes suivantes :

Dans une première étape on choisit la masse hydrique de l'échantillon à analyser, notée Mh (g). Ensuite on effectue un pré-tamisage à l'aide du tamis DC (tamis 20 mm). Il s'agit d'un échantillonnage par partage.

Pour les échantillons dont le diamètre des grains est inférieur à celui de la maille du tamis DC ; la prise d'essai =  $0.2 \cdot D_{max}$ . Ces échantillons sont qualifiés **d'inférieurs**.

Pour l'échantillon dont le diamètre des grains est supérieur à celui de la maille tamis DC: on prélève toute la quantité. . Ces échantillons sont qualifiés de **supérieurs**

On prend deux prises d'essais des inférieurs :

- La première prise d'essais est de 2 kg pour la teneur en eau (**mh1**), on la sèche jusqu'à ce qu'on obtient une masse constante (**ms1**).

- La deuxième prise d'essais est de 2 kg pour le tamisage et lavage dans le tamis 80 um (**mh2**), on la sèche jusqu'à ce qu'on obtient une masse constante (**ms2**).

Ensuite, on pratique le tamisage dans la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles par agitation manuelle de chaque tamis. On pèse les masses des refus (**ri**) pour les inférieurs et les masses des refus (**Ri**) pour les supérieurs de tous les tamis.

### 5-Résultats

Les résultats de l'analyse granulométrique des échantillons prélevés dans le sondage SM1 à des profondeurs 0.8 m et 3.5 m sont représentés dans le tableau 5 ci-dessous.

Lieu de prélèvement	Référence échantillon	Granulométrie (en mm)				
		% < 0.08	% < 2	% > 20	% > 50	Dmax
SM1 à 0.8m	16-211-0194/1	47	74	10	4	40
SM1 à 3.5	16-211-0194/2	46	85	0	0	4

**Tab. 5: Résultats de l'essai granulométrique**

Les pourcentages des passants sont calculés et représentés dans le tableau 6 ci-dessous :

SM	SM1 à 0,80m	sm1 à 3,50m
RC	2925,10h	0g
Mh	31640,0g	24790,0g
Part (1) sur tamisat au tamis DC	masse humide :	
	Mh1=2806,0g	Mh1=2297,0g
	masse sèche:	
	Ms1=2429,0g	Ms1=1848,0g
Part (2) sur tamisat au tamis DC	masse humide :	
	Mh2=3436,0g	Mh2=2479,0g
	masse sèche:	
	Ms2=1431,5g	Ms2=1078,4g
Masse totale sèche : $Ms = RC + Mh \times Ms1 / Mh1$		
	Ms=19994,4g	Ms=30314,1g
coefficient multiplicateur sur refus au tamis de 80um: $b = Mh / Mh2$		
	b=1,00	b=9,21
%	De refus : $r = 100 * R / Ms$	
	De tamisat: $P = 100 * (1 - R / Ms)$	

**Tab. 6 : Résultats de calculs des pourcentages massiques de l'essai granulométrique**

La courbe granulométrique des deux échantillons récoltés à partir du sondage SM1 présente le pourcentage des passants en fonction des mailles des tamis (Fig. 16). Les deux courbes granulométriques sont presque confondues pour les mailles comprises entre 0.08 mm et 0.4 mm. Ce qui explique que les deux échantillons présentent une même fraction de grains fins

(même % passants des fines). Entre 0.4 mm et 10 mm, les deux courbes se séparent, les pourcentages des passants augmentent progressivement pour les deux échantillons et atteint 87 % pour l'échantillon à 0.8 m et 100% pour l'échantillon à 3.5 m. ce qui explique la présence d'une grande quantité du grossier dans les remblais superficiels par rapport aux sols beiges limoneux et silteux sous-jacents.

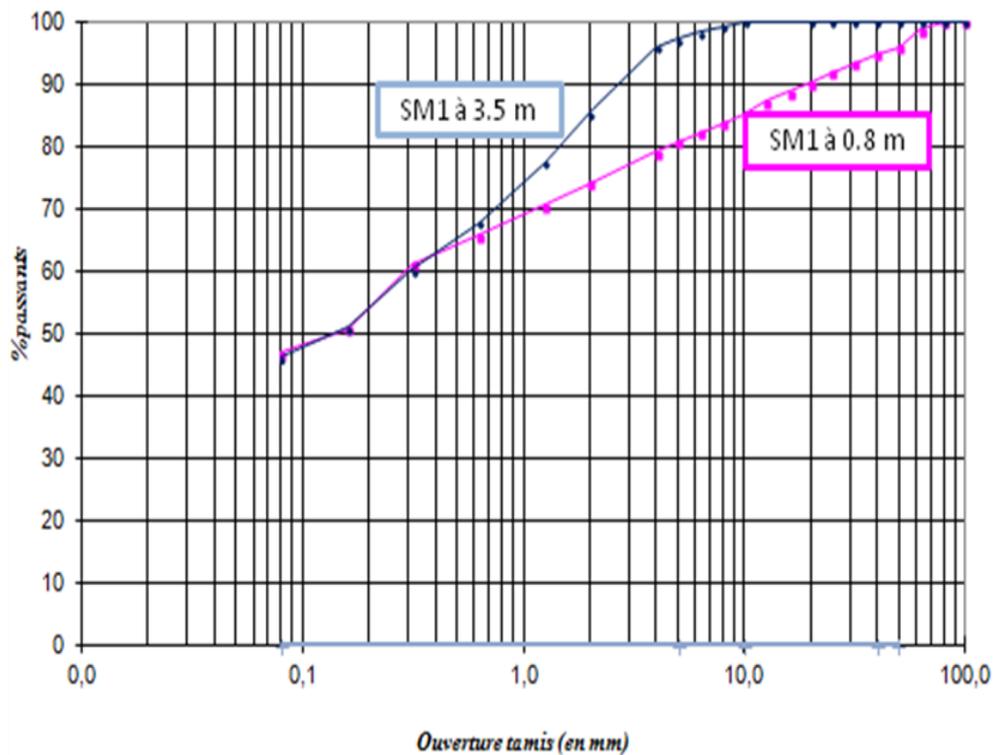


Fig. 16: Courbe granulométrique de SM1 à 0.8 m et SM1 à 3.5 m

## 2-Essai au Bleu de Méthylène (VBs)

### 1-Principe

L'essai au bleu de méthylène dit à la tache permet la détermination de l'activité et de la quantité de la fraction argileuse d'un échantillon, utilisées selon la norme française NFP 94-068.

Le bleu de méthylène est en effet adsorbé préférentiellement par les argiles du type montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu. L'essai consiste à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 100 g de la fraction granulaire analysée.

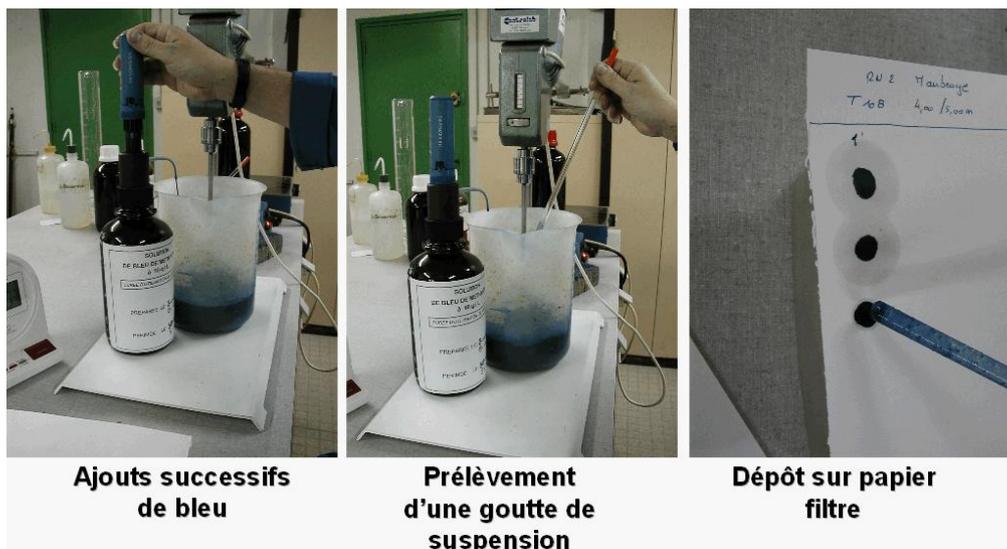
Le dosage s'effectue en ajoutant successivement des quantités de solution de "bleu" et en contrôlant l'adsorption au fur et à mesure. Une goutte de suspension est prélevée et est

déposée sur un filtre. L'essai consiste à déterminer l'adsorption maximale obtenue lorsque la tache est entourée d'une auréole bleu-clair persistante.

## 2-Appareillage

L'équipement matériel utilisé pour effectuer cet essai comprend (Fig. 17):

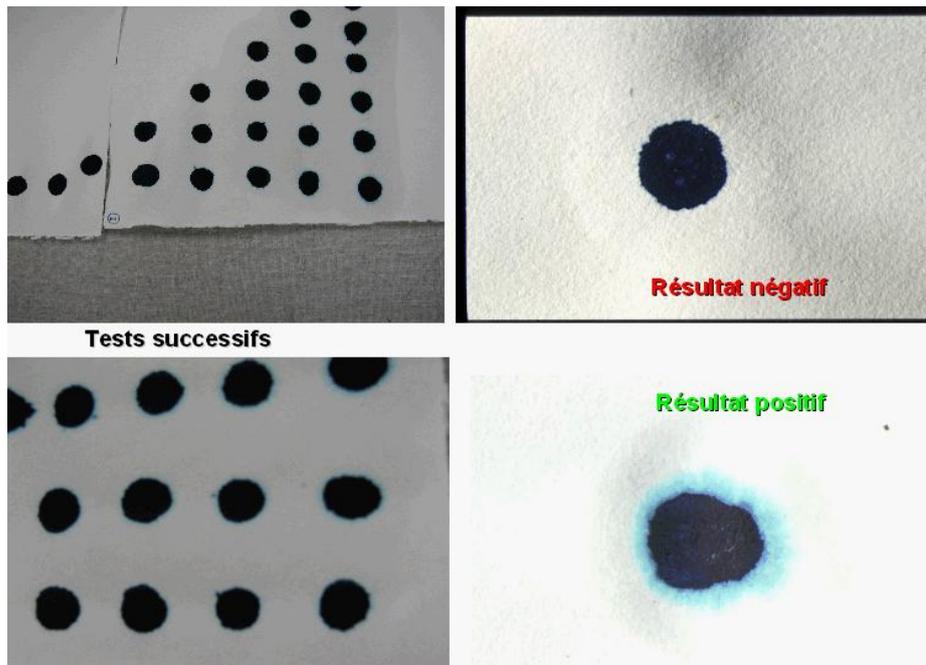
- Burette permettant le titrage à 2 ml
- Papier filtre
- Tige de verre
- Agitateur à ailettes, pouvant être mis en rotation à  $400 \pm 40$  et  $700 \pm 70$  tours par minutes
- Bécher de capacité de 1 à 2 litres
- Bleu de méthylène
- Balance
- Chronomètre.



**Fig. 17: Appareillage et étapes de l'essai au Bleu de Méthylène VBs**

## 3-Mode opératoire

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement des quantités de solution de "bleu" et en contrôlant l'adsorption au fur et à mesure. Une goutte de suspension est prélevée et est déposée sur un filtre. L'essai consiste à déterminer l'adsorption maximale obtenue lorsque la tache est entourée d'une auréole bleu-clair persistante.



**Fig. 18:** Résultats de valeur au Bleu de méthylène sur le papier filtre

#### 4-Appareillage

L'équipement matériel utilisé pour effectuer cet essai comprend (Fig. 17):

- Burette permettant le titrage à 2 ml
- Papier filtre
- Tige de verre
- Agitateur à ailettes, pouvant être mis en rotation à 400 +/- 40 et 700 +/- 70 tours par minutes
- Bécher de capacité de 1 à 2 litres
- Bleu de méthylène
- Balance
- Chronomètre.

#### 5- Résultats et interprétation

##### *Expression des résultats*

La valeur de bleu du sol est donnée par :  $VBs = B/ms \times C \times 100$  (exprimée en g de bleu pour 100 g de matériau sec).

B : masse de bleu introduite (solution à 10 g/l)

C : proportion du 0/5 mm (soumis à l'essai) dans la fraction mm du matériau sec.

La VBs est une grandeur qui exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans le matériau étudié.

Le GTR a retenu 6 seuils (Tab.2et Tab.3):

-0.1 : seuil d'insensibilité à l'eau (si tamisat à 80 um  $\leq$  12%)

-0.2 : seuil au dessus duquel apparait à coup sur la sensibilité à l'eau.

-1.5 : seuil entre les sols sablo limoneux et sablo-argileux.

-2.5 : seuil entre les sols limoneux peu plastiques et les sols limoneux à plasticité moyenne.

-6 : seuil entre les sols limoneux et argileux.

-8 : seuil entre les sols argileux et tres argileux.

Pour l'échantillon analysé dans le présent travail, comme nous l'avons constaté pour l'essai granulométrique, le tamisat à 80 um est supérieur à 12 %. Donc on classe le sol sans faire intervenir la VBs. Il s'agit d'un sol limoneux peu plastique ou à plasticité moyenne.

### **3-Détermination des limites d'Atterberg**

#### **1-Principe**

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance. Selon la norme française NFP 94-051, cet essai permet de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol.

Les limites d'Altterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre (**Fig. 19**):

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité WL).

- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité Wp).

Les limites d'Altterberg permettent de prévoir le comportement des sols fins pendant les phases de terrassement et / ou lorsqu'ils sont sollicités mécaniquement.

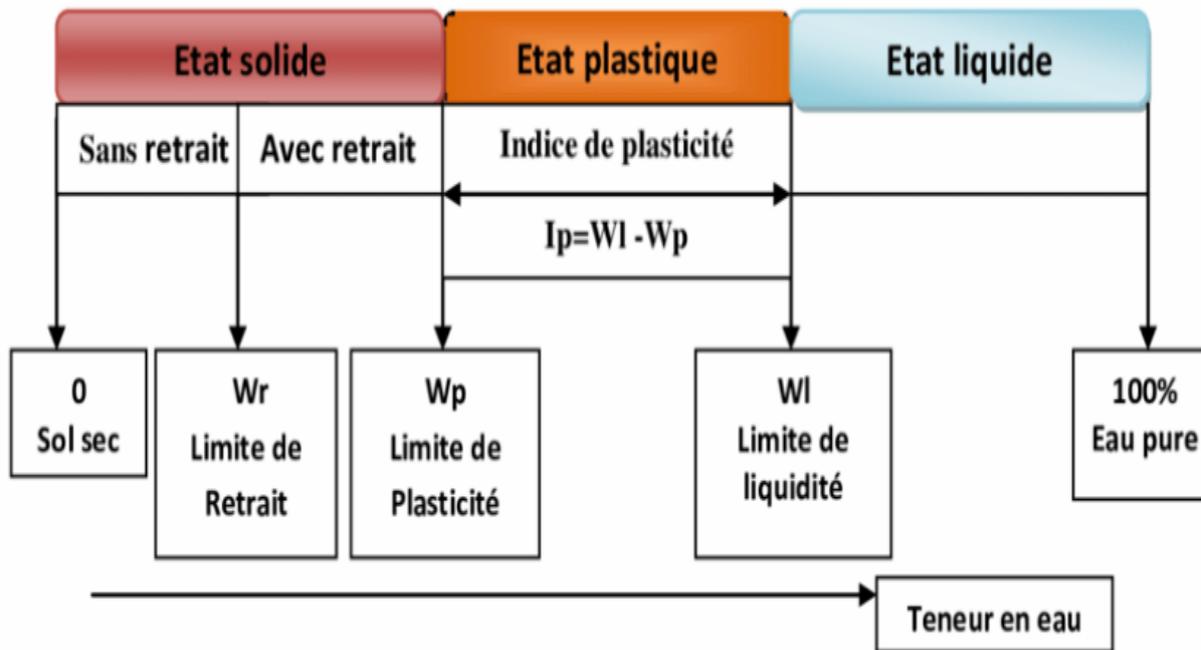


Fig. 19: limite d'Atterberg d'un sol

## 2-Appareillage

L'équipement matériel utilisé pour effectuer cet essai comprend (Fig. 20):

- un pénétromètre au cône
- une spatule
- une plaque de marbre (non absorbante de l'eau)
- une étuve
- une balance de précision
- des boîtes à pétri
- un tamis à mailles carrées de 400um d'ouverture.

## 3-Préparation de l'échantillon

- homogénéisation par brassage de l'échantillon du sol, puis prélèvement d'une masse en gramme supérieure à 200 X la dimension du plus gros élément du sol,
- tamisage par voie humique au tamis de 400um de la masse prélevée
- après décantation pendant au moins 12h, sans aucun additif en fait la siphonnassions de l'échantillon sans entrainer les particules solides.

## 4-Mode opératoire

L'essai se fait en deux phases pour déterminer les limites de liquidité ( $W_l$ ) de plasticité ( $W_p$ )

#### **a-Limite de liquidité – Méthode du cône de pénétromètre :WL**

L'essai se fait sur quatre échantillons, on obtient quatre points ( $E_i$ ,  $w_i$ ). La variation de la teneur en eau en fonction de l'enfoncement est une fonction linéaire. La limite de liquidité correspond à un enfoncement de 17 mm.



**Fig. 20 : Essai Atterberg, détermination de la limite de liquidité**

#### **b-Limite de plasticité ( $W_p$ )**

On forme 2 boulettes à partir de la pâte préparée, puis on roule les boulettes sur la plaque de marbre, à la main de façon à obtenir un rouleau qui est aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne 3 mm de diamètre et une longueur de 10 cm (Fig. 21).

La limite de plasticité est la teneur en eau du cylindre qui se fissure lorsque son diamètre atteint 3 mm.



**Fig. 21 : Essai Atterberg, étapes de détermination de la limite de plasticité**

### 5-Résultats

IP est la différence entre les valeurs des limites de liquidité et de plasticité (Tab. 7):

$$IP = WL - WP$$

Avec: WL : la limite de liquidité qui correspond à un enfoncement de 17 mm.

WP : La moyenne des deux valeurs obtenus lors de la limite de plasticité.

WL et WP sont exprimés en pourcentage, alors qu'IP est un nombre entier sans dimension.

Indice de plasticité	Degrée de plasticité
$0 < IP < 5$	Sol non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < IP < 30$	Sol peu plastique
$30 < IP < 500$	Sol plastique
$50 < IP$	Sol très plastique

**Tab. 7 : degré de plasticité des sols**

Dans le cas des échantillons de sol de la région de Taghazout, les résultats obtenus pour l'essai d'Atterberg sont comme suite :

a-limite de liquidité

Les résultats de la limite de liquidité sont représentés dans le tableau (Tab. 8) ci-dessous :

Enfoncement (mm)	23	19,5	16,5	14
Teneur en eau(%)	43,7	42,3	42	41,4

**Tab. 8 : Résultats de la limite de liquidité, échantillon SM1 à 0.80**

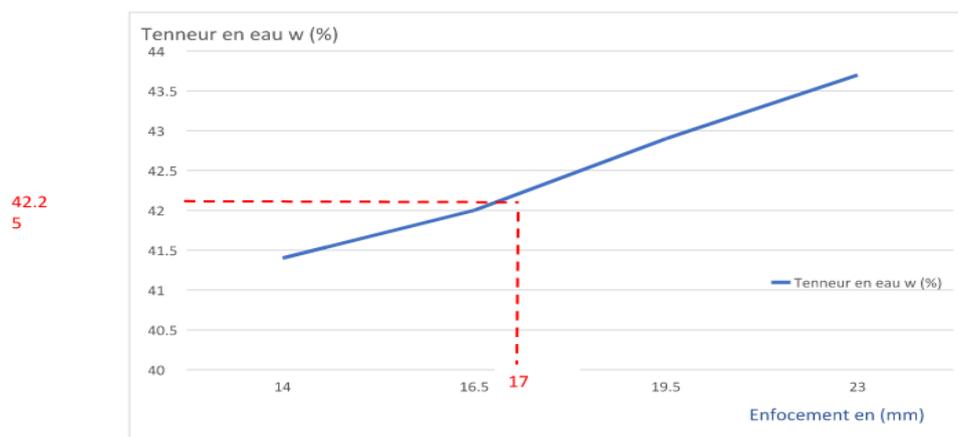
La teneur en eau de ces 4 échantillons est exprimés par la formule suivante :

$$W (\%) = W = [(mh - ms) / ms] \times 100$$

Dont : mh : masse humide.

ms : masse sèche après étuvage

Les résultats sont exprimés sous forme de graphique montrant l'évolution de la teneur en eau en fonction de l'enfoncement (Fig. 20).



**Fig. 22 : évolution de la teneur en eau en fonction de l'enfoncement**

D'après le graphique de la figure 22, la limite de liquidité est la teneur en eau  $W=42.25\%$  correspondante à l'enfoncement de 17 mm.

b-Limite de plasticité Les résultats de la limite de liquidité sont représentés comme suivant :

$$Wp1 = 21.46 \text{ et } Wp2 = 20.78$$

$$Wp = (w1 + w2) / 2 = 21.12$$

c-Indice de plasticité :

La valeur de l'indice de plasticité est :

$$Ip = wl - wp = 21.13\%$$

la valeur d' $Ip$  est comprise entre 5 et 30. D'après le tableau de degrés de plasticité (Tab. 7) on conclut que le sol est peu plastique.

## Conclusion générale

Les travaux du présent mémoire portent sur quelques essais géotechniques effectués sur des échantillons de sol provenant d'un site de projet de construction d'un hôtel dans la région de Taghazout (Agadir). Le projet est chapeauté par le Laboratoire LPEE, Agadir et porte sur une reconnaissance géotechnique détaillée des sols du site de la construction. Deux principaux objectifs ont été visés dans cette étude, (i) détermination de la nature (caractéristiques) des sols pour l'installation des fondations, (II) définir le type de fondation adéquat en tenant compte d'une sécurité convenable vis-à-vis de la rupture et du tassement des matériaux d'une manière pérenne à long terme en utilisant l'essai pressiométrique.

Pour arriver à ces objectifs le Laboratoire LPEE a réalisé, sur le site de projet, treize sondages manuels (5 m de profondeur) et onze sondages carottés (15 m profondeur). Les données et les résultats exposés dans le présent mémoire concernent deux sondages : SC1 pour l'essai pressiométrique réalisé in-situ et SM1 pour quelques essais réalisés au Laboratoire.

Les caractéristiques pressiométriques de la couverture (les remblais graveleux) sont faibles à moyennes. La pression limite varie entre 6 à 10 bars pour un module pressiométrique entre 30 et 190 bars. Les formations sous jacents formés de sable grésifié, grés et marno-calcaires présentent des caractéristiques très favorables, la pression limite varie de 30 à 82 bars pour un module pressiométrique entre 450 et 4230 bars. Les rapports  $E_m/p_l$  montrent que les formations de sondage étudié sont sur consolidées.

D'un point de vue granulométrique, les résultats de l'essai montrent qu'il s'agit généralement de formations quaternaires formées par de sols fins limoneux et argileux (classe A2) avec des inférieurs à 80  $\mu\text{m}$  de l'ordre de 53 à 78 %. Les résultats de l'essai d'Atterberg montrent que les sols du site contiennent des argiles plastiques (AP) et des graves argileuses (GA) selon la classification GTR. Selon cette norme (GTR) les de la VBs peuvent être négligées quand le tamisat à 80  $\mu\text{m}$  est supérieur à 12%.

## Référence bibliographique

Weisrock A., Occhietti S., Hoang C.-T., Lauriat-Rage A., Brebion P. & Pichet P. 1999. Les séquences littorales pléistocènes de l'Atlas atlantique entre Cap Rhir et Agadir, Maroc. Quaternaire 10, n°2-3, pp. 227-244

## Les sites web consultés

<http://www.wikip.fr/essais-de-sol>

[http://www.geomeca.fr/essais-etude-de-sol\\_p3978.htm](http://www.geomeca.fr/essais-etude-de-sol_p3978.htm)

<http://www.outils-cetu.fr/didactu/tunnel/reconnaisances/essaisinsitu/essaisInSituCptEtAutresPressio.php>

[http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/3\\_ClassificationSols/co/Contenu\\_1\\_Granulo.html](http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/3_ClassificationSols/co/Contenu_1_Granulo.html)

[http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/3\\_ClassificationSols/co/Contenu\\_3\\_ValeurBleu.html](http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/3_ClassificationSols/co/Contenu_3_ValeurBleu.html)

[http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/3\\_ClassificationSols/co/Contenu\\_2\\_Atterberg.html](http://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/3_ClassificationSols/co/Contenu_2_Atterberg.html)

<http://www.univ-tebessa.dz/fichiers/masters/st160013.pdf>