

ETUDES DES MATERIAUX



CHAPITRE 1 : L'ECHANTILLONNAGE

- 1) INTRODUCTION
- 2) BUT ET PRINCIPE
- 3) PRELEVEMENT SUR LE CHANTIER OU LA CARRIERE
- 4) ECHANTILLONNAGE AU LABORATOIRE
 - a) LE QUARTAGE
 - b) L'ECHANTILLONNEUR
- 5) CONCLUSION

CHAPITRE 2 : L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE NF P 94-056

- 1) INTRODUCTION
- 2) PRINCIPE DE L'ESSAI
- 3) TERMINOLOGIE
- 4) EQUIPEMENT
- 5) MODE OPERATOIRE
 - a) PREPARATION DE L'ECHANTILLON
 - b) TAMISSAGE ET PESAGE
- 6) EXPRESSION DES RESULTATS
- 7) CONCLUSION

CHAPITRE 3 : LA SEDIMENTOMETRIE NF P 94-057

- 1) INTRODUCTION
- 2) DEFINITION, BUT ET DOMAINE D'APPLICATION
- 3) APPAREILLAGE
- 4) MODE OPERATOIRE
- 5) EXPRESSION DES RESULTATS
- 6) CONCLUSION

CHAPITRE 4 : LIMITES D'ATTERBERG NF P 94-051

- 1) INTRODUCTION
- 2) BUT ET PRINCIPE DE LESSAI
- 3) DEFINITION ET TERMINOLOGIE
- 4) APPAREILLAGE
- 5) MODE OPERATOIRE
 - a) PREPARATION DEL'ECHANTILLON
 - b) DETERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITE
 - c) DETERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITE
- 6) EXRPRESSION DES RESULTATS
- 7) CONCLUSION

CHAPITRE 5 : LA TENEUR EN EAU PONDERALE NF P 94-050

- 1) INTRODUCTION
- 2) DEFINITION, BUT ET DOMAINE D'APPLICATION

Cours études des matériaux Géotechnique

- 3) APPAREILLAGE
- 4) MODE OPERATOIRE
- 5) EXPRESSION DES RESULTATS
- 6) CONCLUSION

CHAPITRE 6 : EQUIVALENT DE SABLE P 18-598

- 1) INTRODUCTION
- 2) BUT ET PRINCIPE
- 3) MATERIEL NECESSAIRE
- 4) MODE OPERATOIRE.....
- 5) EXPRESSION DES RESULTATS
- 6) CONCLUSION

CHAPITRE 7 : LA VALEUR DE BLEU DE METHYLENE D'UN SOL NF P 94-068

- 1) INTRODUCTION
- 2) BUT ET PRINCIPE DE L'ESSAI
- 3) APPAREILLAGE
- 4) MODE OPERATOIRE
- 5) EXPRESSION DES RESULTATS
- 6) CONCLUSION

CHAPITRE 8 : POIDS SPECIFIQUES DES GRAINS SOLIDES NF P 94-054

- 1) INTRODUCTION
- 2) BUT ET PRINCIPE DE L'ESSAI
- 3) APPAREILLAGE
- 4) MODE OPERATOIRE
- 5) EXPRESSIONS DES RESULTATS
- 6) CONCLUSION

CHAPITRE 9 : ESSAIS PROCTOR NORMAL ET MODIFIE NF P 94-093

- 1) INTRODUCTION
- 2) BUT ET ROLE DU COMPACTAGE
- 3) PRINCIPE DE L'ESSAI
- 4) MATERIEL NECESSAIRE
- 5) MODE OPERATOIRE
- 6) EXPRESSIONS DES RESULTATS
- 7) CONCLUSION

CHAPITRE 10: INDICE CBR NF P 94-078

- 1) INTRODUCTION
- 2) BUT ET PRINCIPE DE L'ESSAI

- 3) EQUIPEMENT
- 4) MODE OPERATOIRE
 - a) PREPARATION DE L'ECHANTILLON
 - b) COMPACTAGE
 - c) IMBIBITION ET MESURE DU GONFLEMENT
 - d) POINCONNEMENT
- 5) EXPRESSION DES RESULTATS
- 6) CONCLUSION
 - CONCLUSION GENERALE
 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION GENERALE

Le cours de mécanique des sols est d'une importance capitale dans la formation de l'ingénieur génie civil. En effet que ce soit au niveau des fondations de bâtiment, de la confection des bétons, des couches de chaussée et même des barrages et autres ouvrages hydrauliques, on se trouve confronté à des études du sol comme fondations. Il apparaît dès lors nécessaire de bien comprendre la structure et le comportement du sol (qui est complexe à tout point de vue) en différents états pour ensuite apporter des solutions face aux exigences de résistance et de durabilité etc... Les principes de la géotechnique sont simples mais leur expression est compliquée, car ils procèdent à la fois de la géologie et de la mécanique, de l'observation/expérimentation et du calcul, du raisonnement inductif et du raisonnement déductif. À partir du terrain, la géologie étudie la morphologie et le comportement des géomatériaux réels, roches, sols et eau constituant le sous-sol d'un site, qui sont tangibles, discontinus, variables, hétérogènes, anisotropes, contraints, pesants et bien plus que cela : la nature les a faits ainsi et on ne peut que le constater. À partir de sondages et d'essais, la géomécanique les réduit à des milieux virtuels de modèles qui doivent être continus, immuables, homogènes, isotropes, libres, parfois non pesants et rien que cela : le traitement mathématique l'impose. Pour passer des premiers aux seconds, de la réalité à l'image, il suffit d'un peu d'imagination et d'usage ; pour repasser ensuite et nécessairement des seconds aux premiers, des échantillons au site, il faut ajouter que les géomatériaux ne sont pas désordonnés, que leurs hétérogénéités et leurs comportements ne sont pas aléatoires, mais qu'au contraire, ils sont structurés de façon tout à fait cohérente, ce qui ramène à la géologie : tout résultat d'essai et de calcul géomécanique incompatible avec une observation géologique, est inacceptable en géotechnique. Dans la pratique actuelle, il est indispensable d'y recourir lors de l'étude, la construction, la maintenance et la réparation de tous types d'aménagements et d'ouvrages - routes, voies ferrées, canaux, aménagements de montagne, de cours d'eau, de littoraux, ponts et viaducs, tunnels, barrages, puits et forages, carrières, immeubles..., l'exécution de tous types de travaux - terrassements, fondations, drainage... dans tous types de sites - terrestres, fluviaux et maritimes, libres ou occupés.

C'est là tout le sens des essais de laboratoire que nous avons effectué et dont nous exposons ici le déroulement ainsi que les résultats.

Chapitre 1 : ECHANTILLONNAGE

1) INTRODUCTION :

L'échantillonnage du sol doit tenir compte des différentes particularités qui lui sont associées. En effet, le sol se distingue des autres milieux (eau, air) par son degré d'hétérogénéité de constitution et de distribution et par ses caractéristiques qui permettent parfois la migration de contaminants. Étant donné les différents modes de déposition géologique, la nature et la composition du sol peuvent varier rapidement sur de courtes distances, aussi bien dans le plan horizontal que vertical. Également, les sols de surface sont souvent remaniés par l'action de l'homme. Par ailleurs, le type de contaminant de même que le degré et l'étendue de la contamination dans les sols peuvent montrer une grande variabilité selon les activités qui y ont été réalisées. Les sols peuvent être contaminés par des matières dangereuses, par des résidus enfouis, par des fuites provenant d'un réservoir souterrain ou par toute activité contaminant la surface.

2) BUT ET PRINCIPE

Le but de cet essai consiste à prélever un échantillon représentatif utilisable au laboratoire. Cette étape est prépondérante car elle influence en grande partie la fiabilité des résultats obtenus au cours des essais. L'échantillonnage se fait en deux temps :

- Prélèvement sur le chantier ou la carrière d'une quantité suffisante de matériau pouvant réaliser l'essai,
- Prélèvement au laboratoire d'une quantité nécessaire à l'essai et qui soit également représentative de l'échantillon de départ.

3) PRELEVEMENT SUR LE CHANTIER OU LA CARRIERE

Sur le chantier les matériaux granulaires sont stockés en tas. Les gros éléments ont tendance à loger vers le bas supportant les éléments de petit diamètre qui se trouvent vers le haut. Le prélèvement se fera dans tous les sens : en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas, afin d'avoir un échantillon représentatif et homogène.

Il faut également prendre en compte l'hétérogénéité des bancs rocheux rencontrés au niveau des carrières.

4) ECHANTILLONNAGE AU LABORATOIRE

Au laboratoire l'échantillonnage peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur.

a) LE QUARTAGE

Il consiste à diviser en quartes parties égales l'échantillon dont on ne retient que la moitié en réunissant les deux quarts opposés. Ces derniers sont homogénéisés et un nouveau quartage est effectué. Cette opération sera répétée autant de fois, afin d'obtenir un échantillon représentatif du matériau initial.

b) L'ECHANTILLONNEUR

C'est un appareil qui permet de diviser facilement en deux parties représentatives, un échantillon de sol. Chaque partie est recueillie dans un bac de manière séparé. L'opération est répétée plusieurs fois de suite sur chaque bac pour obtenir la quantité de matériaux représentative de l'échantillon



1.1 ECHANTILLONNEUR

5) CONCLUSION :

Tout ouvrage construit par l'homme est fondé sur le sol ou le roc ou construit à partir de sol ou de roc. Le sol est un matériau naturel, tri-phasique, ses propriétés varient d'un point à l'autre, contrairement aux matériaux fabriqués par l'homme, et dans le temps. L'homme ne contrôle pas les propriétés des sols, il faut donc adapter la construction aux sols et non pas l'inverse; Les propriétés des sols sont prédéterminées par la géologie du site et elles sont hors de contrôle de l'homme. Les propriétés des sols et de la nappe peuvent être très différentes d'un point à l'autre. La construction des fondations est la première étape. En cas de problèmes

de fondation, on assiste à des retards de projets et à une augmentation importante du coût du projet. D'où la nécessité d'une bonne étude de sol.

CHAPITRE 2 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE NF P 94-056

1) INTRODUCTION

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grandeur des grains (granulométrie) d'un sol et la répartition (granularité) au moyen de tamis emboîtés à mailles carrés de dimensions égales ou inférieures à 100mm. La granulométrie d'un sol a un rôle déterminant pour prévoir la compacité, la cohésion de ce matériau. Elle permet de classifier un sol, de quantifier sa propreté, sa sensibilité à l'eau, de voir son aptitude au compactage.

2) PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai se fait par voie sèche ou après lavage. La granulométrie par tamisage après lavage consiste à immerger le matériau dans l'eau pendant au moins quatre heures suivant sa nature pour le permettre de décanter puis le laver à l'aide du tamis quatre-vingt micron (80 μm), afin de permettre à toutes les particules de dimensions inférieures à 80 μm de disparaître. L'échantillon est ensuite mis à l'étuve à une température de 105° pendant 24 heures afin qu'il puisse sécher, puis mis dans une colonne de tamis emboîtées les unes sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

3) TERMINOLOGIE

- Prise d'essai : matériau utilisé pour réaliser l'essai
- Tamisât ou passant : poids de matériau passant à travers un tamis
- Refus : poids du matériau retenu par un tamis

4) EQUIPEMENT

- Echantillon représentatif (5kg)
- Séries de tamis normalisé à mailles carrées
- Une étuve
- Des bacs pour le lavage et l'étuvage de l'échantillon
- De petits matériels (brosse métallique, pinceau...)

5) MODE OPERATOIRE

a) PREPARATION DE L'ECHANTILLON

L'échantillon est immergé pour faciliter la séparation de l'ensemble des grains. Le tamisage par lavage se fait à l'aide du tamis 80 μm tout en évitant de le dégrader, afin de séparer les éléments fins du reste de l'échantillon. Le lavage se termine lorsque l'eau passant à travers le tamis est claire. Si on compte effectuer un essai de sédimentométrie, prenez le soin de bien conserver ces éléments fins. L'échantillon ainsi lavé est ensuite séché à l'étuve à une température de 105°C, puis refroidie et pesé.

b) TAMISAGE ET PESAGE

- Dresser dans un premier temps, la colonne de tamis dont les ouvertures sont croissantes de bas vers le haut,
- Verser l'échantillon dans le tamis supérieur
- Procéder à l'agitation pendant 5 mn
- Peser les refus cumulés en commençant par le tamis supérieur.

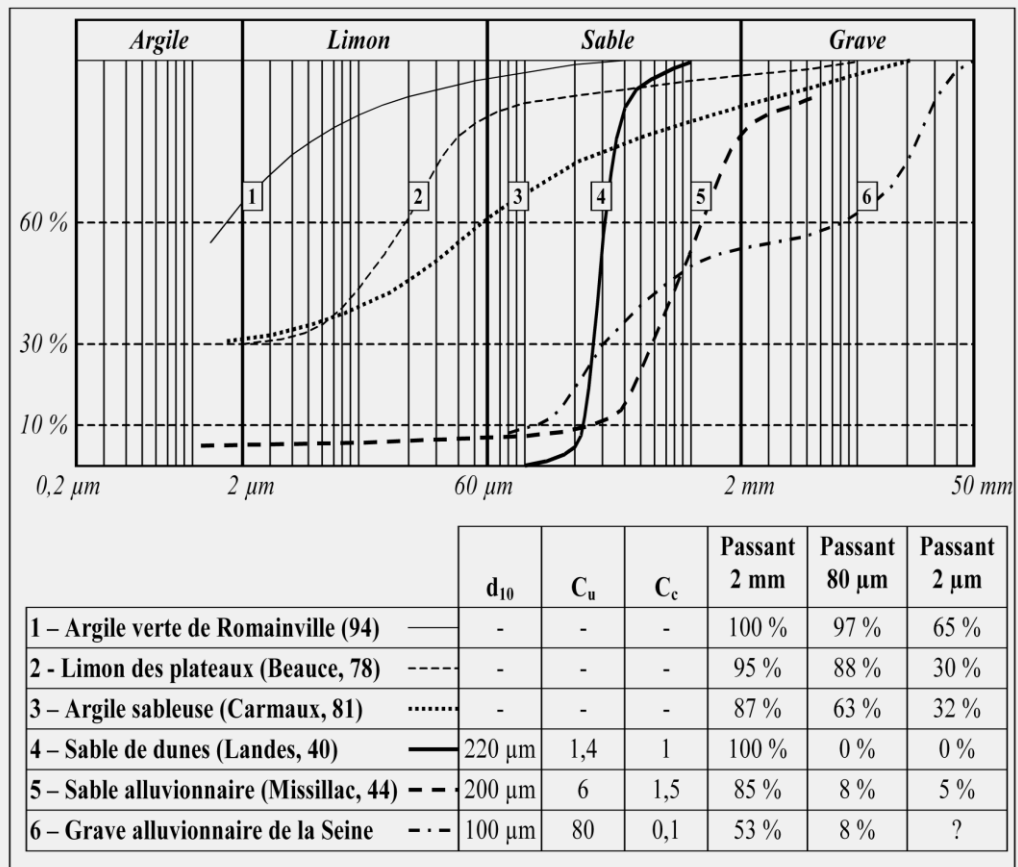


2.1 ETAPES DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Remarque : la perte éventuelle de matériau au cours du tamisage, ne doit pas dépasser 2% du poids total de l'échantillon de départ.

6) EXPRESSION DES RESULTATS

- Calculer le pourcentage de refus de chaque tamis par l'expression suivante :
% de refus = (refus du tamis / masse) x 100
- Calculer le pourcentage de passant ou tamisât de chaque tamis, donné par :
Tamisât = 100 - % de refus
- Tracer la courbe granulométrique : Tamisât en fonction des diamètres des tamis



2.2 COURBES GRANULOMETRIQUE

CALCUL DE C_u ET DE C_c

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$$

C_u : Coefficient d'uniformité

C_c : Coefficient de courbure

D_{60} : Diamètre correspondant à 60% de passant

D_{30} : Diamètre correspondant à 30% de passant

D_{10} : Diamètre correspondant à 10% de passant

Ainsi lorsque les grains sont de tailles variées la courbe est « étalée ». On dit que le matériau est « bien gradué » ou « mal classé » ou encore « hétérométrique ».

A l'inverse si tous les grains sont de même taille, la courbe est « redressée » (proche de la verticale). Le matériau est dit alors « mal gradué » ou « bien classé ».

7) CONCLUSION

L'analyse granulométrique est un essai dont la finalité est fondamentale dans la connaissance d'un sol donné. La taille des grains répartie de façon diversifiée influe beaucoup sur la portance du sol et sa classification.

En effet le tamisage n'est précis que pour les matériaux dénués de cohésion comme les sables et les graviers.

La classification qui en résulte permet de faire de prévisions par rapport aux modifications ou améliorations à apporter pour parvenir à de bons résultats.

CHAPITRE 3 : LA SEDIMENTOMETRIE NF P 94-057

1) INTRODUCTION

La sédimentométrie permet de déterminer le pourcentage de particules dans un matériau. Elle est basée sur la loi de Stokes qui mesure la vitesse (V) de décantation des particules sphériques dans un milieu visqueux sous l'influence de la force de gravitation et de la résistance du milieu

2) DEFINITION, BUT ET DOMAINE D'APPLICATION

C'est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage. Cet essai utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est en fonction de leur dimension.

Les particules inférieures à 80 μm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans l'eau additionnée d'un défloculant. Les particules sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille. Au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et la profondeur d'immersion de l'appareil. La distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de ces données.

3) APPAREILLAGE

- Balance dont les portées maximale et minimale sont compatibles avec les masses à peser.
- Un tamis de maille carrée de 80 μm d'ouverture et de diamètre supérieur ou égale à 250mm.
- Un bac non altérable et de dimension minimale 60 cm x 40 cm x 12 cm pour recueillir le tamisât à 80 μm .
- Une étuve de dessiccation à température, à température réglable à 105°C et 50°C.
- Un mortier de 20 cm de diamètre minimal avec son pilon en matériau souple pour séparer les particules de sol passées au tamis 80 μm .
- Un agitateur mécanique avec son récipient.
- Un mélange d'eau distillé ou déminéralisé additionné à un défloculant pour imbiber puis disperser l'échantillon. Ce mélange est constitué à partir de 440 cm³ d'eau distillé ou déminéralisé et de 60cm³ d'une solution à 5% d'hexamétaphosphate de sodium Na₆(PO₃)₆, 10H₂O.
- Un agitateur manuel pour homogénéiser la suspension avant l'essai.
- Un densimètre qui permet la mesure des densités à différents temps donnés.
- Un thermomètre pour la mesure de la température de la solution au pour la salle.
- Des chronomètres
- Des éprouvettes de 1000 millilitres ou 2000 millilitres.



3.1 APPAREILLAGE

4) MODE OPERATOIRE

- a) Etuver le tamisât du tamis 80 μm , le désagréger au pilon dans un mortier puis homogénéiser.
- b) Prélever 80 ou 40 g (selon qu'il s'agit d'une éprouvette de 1 ou 2 litres) puis l'imbiber dans le récipient de l'agitateur mécanique + 500 cm³ d'eau distillée + 4 ou 2 g d'héxamétaphosphate de sodium et laisser reposer pendant 15 à 24 h
- c) Agiter la solution pendant 3 mn, la verser ensuite dans l'éprouvette et compléter par de l'eau distillée pour avoir 1 ou 2 litres selon le cas.
- d) Retirer l'agitateur manuel, déclencher immédiatement le chronomètre et plonger lentement le densimètre.
- e) Noter les lectures sur le densimètre et la température à 30 secondes puis 1, 2, 3, 5, 10, 20, 40, 80 minutes, 4h et 24h. Les lectures à 30 secondes, 1 2 minutes se font sans retirer le densimètre.



3.2 ESSAI DE SEDIMENTOMETRIE

5) EXPRESSION DES RESULTATS

p est le pourcentage (par rapport à la masse de la prise d'essai à l'état sec) des particules de diamètre inférieur ou égal à D ;

V_s est le volume de la suspension ;

m est la masse de sol sec prélevée sur le tamis à $80 \mu\text{m}$;

$$p = \frac{V_s}{m} \times \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \times \rho_w \left[\frac{\rho_t}{\rho_w} - 1 \right]$$

ρ_s est la masse volumique des particules solides (voir 8.1.1) ;

ρ_w est la masse volumique de l'eau distillée ou déminéralisée à la température d'essai ;

ρ_t est la masse volumique de la suspension au temps t (voir paragraphe 8.1.2).

\bar{D} est le diamètre équivalent des particules ;

η est la viscosité dynamique de la solution (voir paragraphe 8.2.1) à l'instant t ;

ρ_s est la masse volumique des particules solides (voir 8.1.1) ;

ρ_w est la masse volumique de l'eau distillée à la température d'essai θ . Conventionnellement :

$\rho_w = 999 \text{ kg/m}^3$ lorsque : $12 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 18 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\rho_w = 998 \text{ kg/m}^3$ lorsque : $18 \text{ }^\circ\text{C} < \theta < 24 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\rho_w = 997 \text{ kg/m}^3$ lorsque : $24 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta < 30 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$D = \left[\frac{1}{g} \times \frac{18 \eta}{\rho_s - \rho_w} \times \frac{H_t}{t} \right]^{0,5}$$

g est l'accélération de la pesanteur ;

H_t est la profondeur effective du centre de poussée du densimètre à l'instant t (voir 8.2.2) ;

t est le temps écoulé depuis le début de l'essai (voir paragraphe 6.2.1).

Certaines de ces données sont obtenues par étalonnage du densimètre.

CHAPITRE 4 : LIMITES D'ATTERBERG NF P 94-051.

1) INTRODUCTION

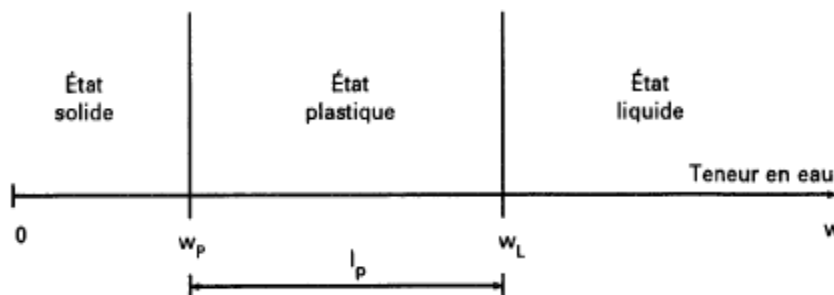
Les limites d'Atterberg ont été élaborées au XX^{ème} par un pédologue suédois du nom d'Atterberg, suite à des recherches de plasticité sur les argiles en vue de la fabrication des produits céramiques. Casagrande a repris et modifié les travaux du suédois, afin de trouver une relation entre la teneur en eau du sol et son comportement. Il consiste à :

- Rechercher la limite de liquidité (WL), pour laquelle une rainure de dimension normalisée, appliquée dans le sol situant dans la coupelle de Casagrande, se ferme sous l'action de 25 chocs.
- Rechercher la limite de plasticité (Wp), pour laquelle les cylindres de sol 3 mm de diamètre sont confectionnés. La limite est atteinte, lorsque ces cylindres commencent à se fissurer par simple soulèvement.

2) DEFINITION ET TERMINOLOGIE

Les limites d'Atterberg sont déterminées uniquement pour les éléments fins d'un sol (passant au tamis 0.400mm), car ce sont les seuls éléments sur lesquelles l'eau agit en modifiant la consistance du sol. Les deux limites utilisées sont :

- La limite de liquidité (WL) : teneur en eau qui sépare l'état liquide de l'état plastique.
- La limite de plasticité (WP) : teneur en eau correspondant à la transition entre un état plastique et un état solide.



$$IP = WL - WP$$

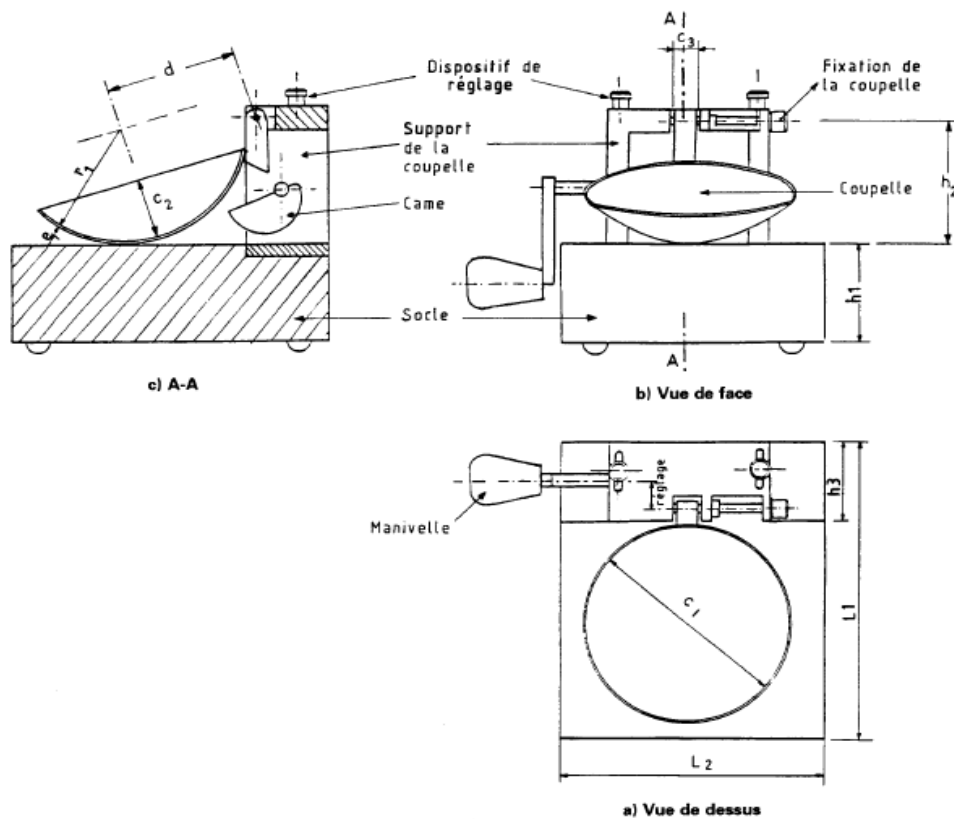
REPRESENTATION DES LIMITES D'ATTERBERG

La connaissance de ces limites permet de définir les indices de plasticité et de consistance :

- L'indice de plasticité (IP) : correspond à l'étendu du domaine plastique d'un sol. C'est la différence entre les limites de liquidité et de plasticité.
- L'indice de consistance (IC) : permet de caractériser l'état hydrique d'un sol fin

3) APPAREILLAGE

- Tamis à mailles de 0.400mm d'ouverture,
- Bacs de manutention,
- Récipients,
- Appareil de Casagrande muni de sa coupelle et de sa manivelle,
- Outil à rainurer,
- Spatule, truelle et boîtes de pétries,
- Plaque lisse en marbre,
- Etuve,
- Balance électronique,
- Eprouvette contenant de l'eau, pissette.



4.1 APPAREILLE DE CASAGRANDE

4) MODE OPERATOIRE

a) PREPARATION DE L'ECHANTILLON

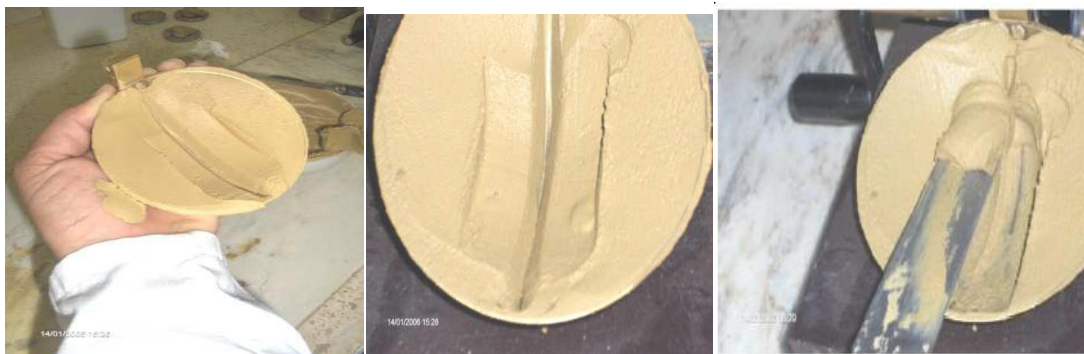
- Prélever un échantillon représentatif de sol et l'imbiber dans un récipient plein d'eau pendant 24 h.

- Tamiser ce matériau imbiber à l'aide du tamis 0.400 mm, l'ensemble du tamisât et eau de lavage étant ensuite décanté pendant 24 h
- L'eau claire surnageant est transvasée, en prenant garde de ne pas entraîner de particules fines, l'eau excédentaire étant évaporé à l'étuve à 50° C jusqu'à obtenir un mortier mou

b) DETERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITE

La limite de liquidité se détermine de la manière suivante :

- Prendre environ 200 grammes de sol préalablement tamisé au tamis 0,4 mm par voie humide et séché
- Malaxer la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Prendre une partie de la pâte et l'étaler dans la coupelle de l'appareil de Casagrande à l'aide de la spatule.
- Pratiquer une rainure dans cette pâte de telle sorte à la diviser en deux. L'outil à rainurer devra être tenu perpendiculairement à la coupelle en présentant sa partie biseautée face à la direction du mouvement.
- Soumettre la coupelle et le matériau qu'elle contient à des chocs répétés avec une cadence de 2 coups par seconde.
- Arrêter les chocs quand les deux lèvres se rejoignent sur environ 2 cm, noter le nombre de coups N correspondant.
- Prélever des deux côtés des lèvres à l'endroit où elles se sont refermées environ 5 grammes de sol afin d'en déterminer la teneur en eau.
- Rehomogénéiser le sol et le sécher un peu puis reprendre les opérations de 3 à 7. Il faut au moins trois essais avec un nombre de coups croissant et de préférence bien étalé entre 15 et 35.



4.2 PROCEDURE POUR LA DETERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITE

c) DETERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITE

La procédure pour la détermination de la limite de plasticité est la suivante :

- Prendre un peu de matériau et former une petite boule.
- Rouler à la main sur la plaque de marbre cette boule de telle sorte à obtenir un bâtonnet

Trois cas peuvent se présenter

- ✓ Le bâtonnet confectionné commence à se fissurer quand il atteint une longueur de 10 cm et un diamètre de 3 mm Dans ce cas, le sol est à la limite de plasticité et il faut la mesurer (c'est une teneur en eau).
- ✓ Le sol est encore fluide et vous n'arrivez pas à confectionner le bâtonnet. Il faut sécher un peu le matériau.
- ✓ Le bâtonnet commence à se fissurer trop tôt, le matériau est sec. Il faut l'humidifier un peu. Il faut réaliser au moins deux essais pour la limite de plasticité.



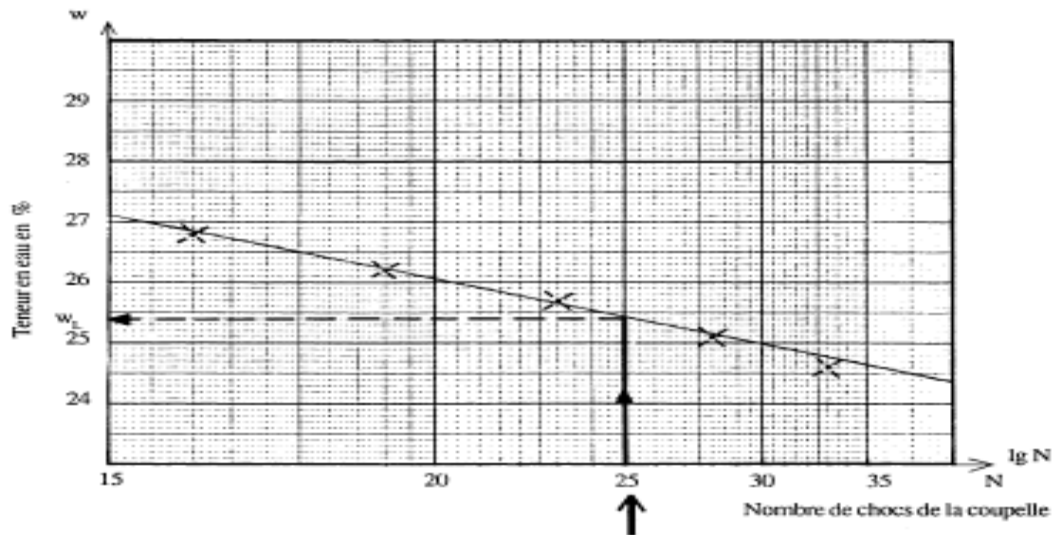
4.3 CONFECTION DE BATONNETS

5) EXPRESSIONS DES RESULTATS

Calcul des teneurs en eau :

$$W = \frac{\text{masse d'eau évaporée}}{\text{masse matériau sec}} \text{ exprimée en \%}$$

La limite de liquidité est déterminée à partir de la représentation graphique de la teneur en eau W , mesuré à chaque essai, en fonction du logarithme du nombre de coups correspondant. Elle correspond à la teneur en eau pour $N = 25$ coups



4.4 DIAGRAMME DES TENEURS EN EAU

La limite de liquidité se calcule également à partir de la formule :

$$W_L = \omega_N \cdot \left(\frac{N}{25} \right)^{0,121}$$

La limite de plasticité correspond à la moyenne des teneurs en eau trouvées.

Calcul de l'IP

$$IP = WL - WP$$

L'indice de plasticité caractérise l'étendu du domaine plastique, plus l'indice de plasticité est grand, plus le sol est plastique et est susceptible de se gonfler ou de se rétracter. Selon la valeur de l'indice de plasticité (IP), on peut définir différents états de sol.

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

TABLAU 4.1 CLASSIFICATION DE L'ARGILOSITE D'UN SOL SELON L'INDICE DE PLASTICITE

Calcul de l'I_c (Indice de consistance) :

La comparaison de la teneur en eau naturelle W d'un sol et des limites D'ATTERBERG permet de se faire une idée de l'état d'une argile qu'on peut caractériser par son indice de consistance :

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_p}$$

| Indice de consistance I_c | Etat- du sol |
|-----------------------------|--------------|
| $I_c > 1$ | Solide |
| $0 < I_c < 1$ | Plastique |
| $I_c < 0$ | Liquide |

TABLAU 4.2 ETAT DU SOL EN FONCTION DE L'INDICE DE CONSISTANCE

6) CONCLUSION

La connaissance de ces limites est importantes pour l'exécution des travaux de terrassement (fouille, tranchée) en particulier si le matériau doit être utilisé en prés remaniement (remblai, barrage en terre) ; leur détermination revêt d'une importance considérable.

CHAPITRE 5 : LA TENEUR EN EAU PONDERALE DES MATERIAUX

NF P 94-050

1) INTRODUCTION

La mesure de la teneur en eau d'un sol, d'un granulat ou d'un matériau de façon générale est une action courante en géotechnique et également des plus fondamentales. Cette valeur permet en effet d'exprimer beaucoup d'autres valeurs en les ramenant à une expression de masse sèche.

2) DEFINITION, BUT ET DOMAINE D'APPLICATION

La teneur en eau est un paramètre d'état ; c'est le rapport de la masse d'eau évaporée par étuvage sur la masse des grains secs. Elle est utilisée pour apprécier la consistance d'un sol, son influence sur les aspects mécaniques d'un sol.

3) APPAREILLAGE

- Etuve de dessiccation à température réglable à 50°C et 105°C,
- Balance de portées maximales et minimales compatibles avec les masses à peser,
- Des coupelles, des boîtes de pétri, des vases à peser une main écope...



5.1 APPAREILLAGE

4) MODE OPERATOIRE

Il faut s'assurer de la provenance et de la nature minéralogique des matériaux et procéder à une identification visuelle, afin de savoir si, par exemple, les matériaux sont latéritiques ou s'ils contiennent des matériaux. Les matériaux énumérés sont des matériaux susceptibles d'être modifiés sous l'action de la chaleur.

Une masse (m) de matériau est placée dans une coupelle ou un bac propre et sec de masse connue (m1).

La prise d'essai et son contenant sont pesés immédiatement ($m_2 = m + m_1$). Puis ils sont introduits dans une étuve à 105° C pour les matériaux insensibles à la chaleur et à 50°C pour les matériaux sensibles à la chaleur.

$$W = \frac{\text{masse d'eau évaporée}}{\text{masse matériau sec}} \text{ exprimée en \%}$$

5) EXPRESSION DES RESULTATS

La teneur en eau permet de caractériser l'état hydrique du sol :

- vis-à-vis de l'écart relatif avec la teneur en eau de l'OPN ($\frac{W}{W_{OPN}}$)

- par l'indice de consistance $I_c = \frac{W_L - W_n}{I_p}$

avec W_L limite de liquidité

I_p indice de plasticité

W_n teneur en eau naturelle de la fraction 0/400 μm

Elle permet également :

- de déterminer la masse volumique sèche d'un matériau à partir de sa masse volumique humide ;
- d'estimer les quantités d'eau nécessaires pour l'adaptation de l'état hydrique ;

6) CONCLUSION

La détermination de la teneur en eau pondérale s'effectue à partir d'un échantillon intact, remanié ou reconstitué, de tous les sols et de tous les matériaux cités de la NFP 11-300. La teneur en eau d'un matériau est variable dans le temps et dépend de nombreux facteurs. Ainsi la teneur en eau est un paramètre d'état qui permet d'approcher certaines caractéristiques mécaniques et d'apprécier la consistance d'un sol fin.

CHAPITRE 6 : EQUIVALENT DE SABLE

P-18 598

1) INTRODUCTION

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propriété d'un sable ou d'un grave. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains.

2) BUT ET PRINCIPE DE L'ESSAI

Le but de l'essai est de déterminer la proportion relative de sol fin et de sol grenu en provoquant la floculation (= séparation des composants d'une solution colloïdale en deux phases superposées) de la phase argileuse. La présence d'éléments fins dans un sable d'un mortier ou de béton, peut modifier le comportement et diminuer l'adhérence pâte-ciment-granat et créer des micros fissures. Il est utilisé pour étudier les matériaux destinés à la construction routière ou à la formulation.

L'essai consiste à placer un échantillon de 120g de poids sec de la fraction comprise entre 0 et 5 mm ou entre 0 et 2 mm dans une éprouvette contenant de l'eau et une solution lavant composé de calcium et de glycérine, destinée à disperser les particules fines après agitation. **Après 20 minutes de décantation on mesure la hauteur du sol (sédiment) et celle du floculat (partie trouble de la solution lavant), après 20 minutes de décantation visuellement ou à l'aide d'un piston.**

3) MATERIEL NECESSAIRE

- Deux échantillons secs passant au tamis 5 mm et pesant chacun 120g
- Deux éprouvettes en plexiglas avec deux traits de repère chacune et leurs bouchons
- Un agitateur mécanique
- Un piston
- Une règle métallique pour mesurer les hauteurs de sable et du floculat
- Une bombonne de 5 litres contenant une solution lavant avec un bouchon, un siphon, un tube souple laveur métallique plongeant. La solution lavant est constituée de chlorure de calcium anhydre, de glycérine et de solution aqueuse
- Un entonnoir permettant d'introduire le matériau dans les éprouvettes
- Des récipients
- Un chronomètre



6.1 ACCESSOIRES

4) MODE OPERATOIRE

- Mettre de l'eau mélangée avec la solution lavante jusqu'au premier trait de jauge
- Verser 120 g de matériau sec dans chaque éprouvette graduée, en la maintenant dans une position verticale.
- Taper le fond de chaque éprouvette à plusieurs reprises sur la paume de la main afin d'expulser les bulles d'air et de favoriser le mouillage du matériau. Laisser reposer pendant (10 ± 1) min
- Boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc, la fixer sur la machine d'agitation et agiter pendant (30 ± 1) s puis la replacer sur la table de travail dans la position verticale.
- Il convient que le temps d'agitation corresponde à (90 ± 3) cycles en utilisant l'appareil agitateur. Répéter le processus d'agitation avec la seconde éprouvette.
- Oter le bouchon en caoutchouc de l'une des éprouvettes graduées et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavante, en s'assurant que tout le matériau retombe dans l'éprouvette. **En descendant le tube laveur dans l'éprouvette, rincer tout d'abord les parois de l'éprouvette avec la solution lavante, puis enfoncer le tube de façon à ce qu'il traverse le sédiment (dépôt de matériau) au fond de l'éprouvette.**
- Maintenir l'éprouvette en position verticale tout en laissant la solution lavante agiter le contenu et en favorisant la remontée des fines et des éléments argileux. Ensuite, tout en faisant subir à l'éprouvette un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur.
- Quand le niveau du liquide avoisine le trait repère supérieur gravé sur l'éprouvette, on relève lentement le tube laveur.
- On lance alors le chronométrage du temps de repos, au moment du retrait du tube laveur.
- On Répète le mode opératoire de lavage avec la seconde éprouvette. Il faut laisser reposer chaque éprouvette graduée sans dérangement ni vibration, pendant $(20,00 \pm 0,25)$ minutes



6.2 EQUIVALENT DE SABLE

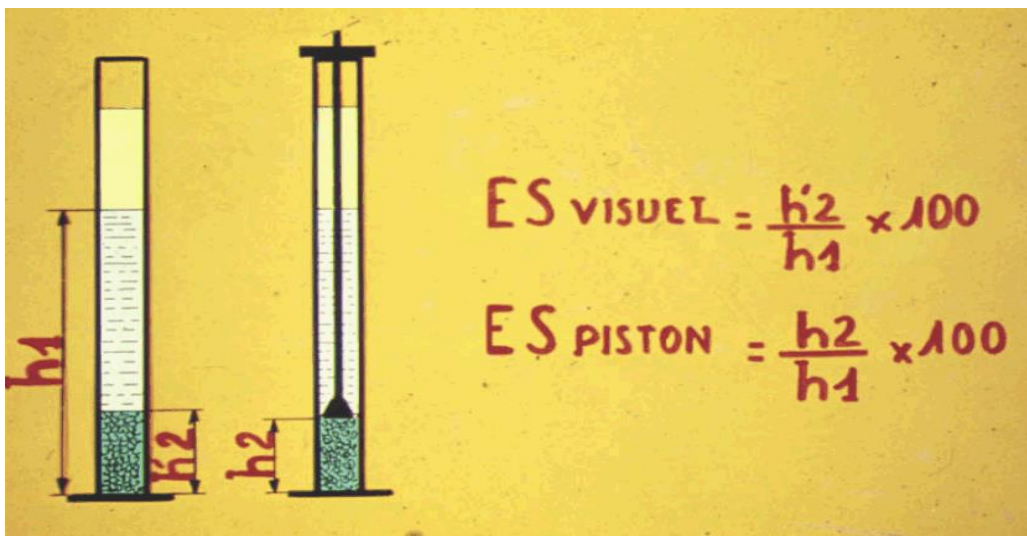
5) EXPRESSIONS DES RESULTATS

- Si $h_1 = h_2$ E.S. = 100 : l'échantillon est composé uniquement de sable
- Si $h_1 = 0$ E.S. = 0 : l'échantillon est composé uniquement d'argile

Ces valeurs théoriques permettent de concrétiser les limites de l'E.S.

Un sable dont l'E.S. est supérieur à 35% est considéré comme propre. Pour qu'un sable soit drainant on demande un E.S. supérieur à 70.

L'E.S. est en général pratiqué seulement sur les sols non plastiques, pour être alerté de la présence éventuelle d'argiles en faible quantité, venant altérer la perméabilité d'un sol que l'on pouvait croire propre.



Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX

| PS | Nature et qualité du sable |
|-------------------|--|
| < 60 | "Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité |
| $60 \leq PS < 70$ | "Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait. |
| $70 \leq PS < 80$ | "Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité. |
| $PS > 80$ | "Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. |

6.3 MESURE ET CALCUL DE h_1 , h_2 et h'_2

6) CONCLUSION

On peut dire que l'équivalent sable permet de déterminer dans un sol la proportion relative de sol fin et de sol grenu. C'est un essai important car la présence d'éléments fins peut modifier le comportement d'un sol.

CHAPITRE 7 : LA VALEUR DE BLEU DE METHYLENE D'UN SOL NF P 94-068

1) INTRODUCTION

L'essai de bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. Le bleu de méthylène est en effet absorbé préférentiellement par les argiles du type montmorillonite (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (illites et kaolinites) sont peu sensibles au bleu.

2) BUT ET PRINCIPE DE L'ESSAI

Les argiles se présentent sous la forme de plaquettes très fines, constituées par l'assemblage de feuillets liés entre eux. Cette structure particulière, confère aux argiles les propriétés de fixer des cations quand elles sont mises en solution.

Cette méthode permet d'appréhender rapidement l'argilosité d'un sol, en s'appuyant sur le fait qu'à volume de sol égal, plus les grains sont petits, plus la surface spécifique (= surface par unité de volume) est grande.

Or la propriété du bleu de méthylène a la propriété de recouvrir les particules uniformément, donc plus un sol est composé d'éléments fins, plus il consommera de bleu de méthylène.

L'essai de bleu de méthylène caractérise alors l'activité de la fraction argileuse contenu dans le sol, il permet aussi de quantifier de manière sûre et simple, la propreté des sols.

Cet essai consiste à introduire par dosages successifs de quantités croissantes de solution de bleu dans la prise d'essai, puis à déposer un prélèvement sur un papier filtre. Si le papier filtre reste propre, On rajoute du bleu jusqu'à l'apparition d'une auréole sur le papier filtre, donc jusqu'à saturation de la fraction argileuse.

3) APPAREILLAGE

- Un dispositif de dosage permettant d'injecter par pas des volumes de solution de bleu
- Un agitateur mécanique à ailettes ayant une vitesse de rotation couvrant au moins la plage de 400 tr/min à 700 tr/min. Le diamètre des ailettes est compris entre 70mm et 80mm. La forme et les dimensions des ailettes doivent permettre une mise en mouvement de la totalité des particules du sol.
- Un récipient cylindrique (en verre, plastique, métal inoxydable) d'une capacité minimale de 3000 cm³ et de diamètre intérieur (155 plus ou moins 10) mm
- Une baguette de verre de (8 plus ou moins 1) mm de diamètre
- Des tamis de mailles 80 µm, 5mm et 50mm

- Du papier filtre blanc de masse surfacique (95 plus ou moins 5) g/m², d'épaisseur (0.2 plus ou moins 0.02) mm, de vitesse de filtration (75 plus ou moins 10) seconde pour 100 ml
- Balance
- Chronomètre.....



7.1 APPAREILLAGE

4) MODE OPERATOIRE

Pour la solution on prend 10 g de bleu de méthylène mélangé à 1 L d'eau.

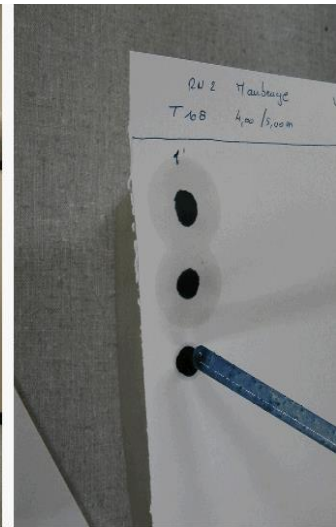
- ✓ On introduit le tamisât à 5mm sec (entre 30 et 100g) dans le bécher avec 500ml d'eau.
- ✓ A l'aide de l'agitateur (réglé à 700 tr/min), on disperse le mélange eau+sol qui est dans le bécher pendant 5 mn.
- ✓ Au bout de ce temps, on baisse la vitesse de l'agitateur à 400tr /min pour tout le reste de l'essai en injectant simultanément une quantité de la solution de bleu à l'aide de la burette
- ✓ Attendre une minute et faire un premier test.
- ✓ A chaque rajout et par minute, faire un test sur le papier filtre à l'aide de la baguette de jauge en verre : Si le test est négatif (pas d'apparition de l'auréole), il faut encore injecter du bleu tout en continuant l'agitation puis refaire le test ; le répéter jusqu'à l'obtention d'une auréole de couleur bleu-claire tout autour de la tâche en bleu foncé ;
- ✓ Si l'auréole est obtenue, faire encore 4 tests toutes les minutes pour confirmation sans rajouter de bleu.



Ajouts successifs de bleu



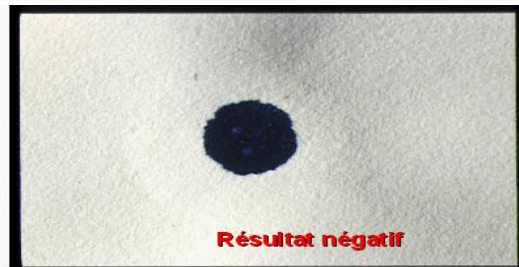
Prélèvement d'une goutte de suspension



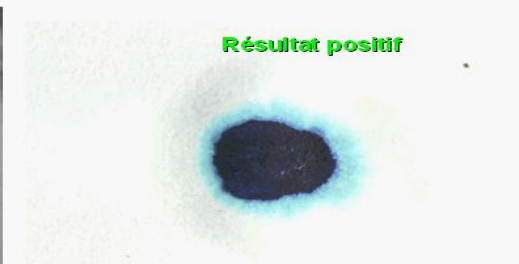
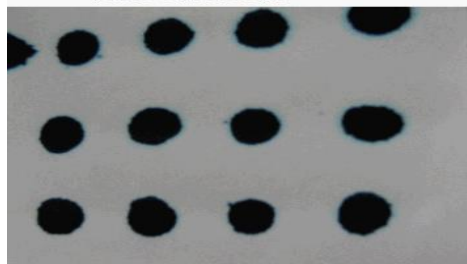
Dépôt sur papier filtre



Tests successifs



Résultat négatif



Résultat positif

7.2 PRINCIPE DE L'ESSAI

5) EXPRESSIONS DES RESULTATS

La valeur du bleu du sol est le rapport du volume de bleu injecté en ml (V) sur la masse de l'échantillon sec soumis à l'essai en g (M).

$$VBS = \frac{V}{M}$$

Cette classification des sols est tirée de la norme NF P 11-300

- VBS = 0.1 : sol insensible à l'eau.
- VBS = 0.2 : apparition de sensibilité à l'eau.
- VBS = 1.5 : seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux.
- VBS = 2.5 : seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne.
- VBS = 6 : seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
- VBS = 8 : seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

6) CONCLUSION

On considère que cet essai exprime de façon globale la qualité et la quantité de l'argile contenu d'un sol. Dans le domaine du béton, ces particules perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence entre les granulats et la pâte. Dans les mélanges bitumineux, comme les enrobés bitumineux ou les enduits superficiels, un défaut de propreté peut conduire également à une perte d'adhérence du granulat avec le liant et donc un désenrobage.

CHAPITRE 8 : POIDS SPECIFIQUES DES GRAINS SOLIDES NF P 94-054

1) INTRODUCTION

Le poids spécifique des grains d'un sol (γ_s) est le quotient du poids de ses grains solides (W_s) par leur volume absolu (V_s).

C'est un rapport exprimé en ($\text{g/cm}^3, \text{kg/m}^3$) de la quantité de la masse (M_s) des grains solides après un étuvage d'une durée de 24h à une température de 105°C au volume absolu (V_s) (volume des grains solides à l'état sec) de l'échantillon.

2) BUT ET PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai permet de déterminer le poids spécifique des grains solides (γ_s). Ce dernier est un paramètre important pour la détermination de l'indice des vides, de la porosité et surtout de l'état de saturation d'un sol. Il permet d'apprécier aussi la densité du matériau

3) APPAREILLAGE

- Un échantillon de sol passant au tamis 2mm
- Un pycnomètre de 100 ml
- Une balance
- Un chronomètre
- De l'eau, un entonnoir
- Une plaque chauffante



8.1 ACCESSOIRES DE MESURES

4) MODE OPERATOIRE

- ✓ Peser le pycnomètre vide (M1)
- ✓ Peser une masse de sol
- ✓ Peser le pycnomètre + le sol (M2)
- ✓ Ajouter de l'eau dans le pycnomètre contenant le sol et le mettre à ébullition si nécessaire sinon le mettre en dépression
- ✓ Lorsque les bulles d'air contenus dans le sol sont expulsés, ajouter de l'eau jusqu'au repère et peser le tout ; c'est le poids total : pycnomètre + sol + eau jusqu'au repère (M3). Si l'échantillon était mis à ébullition attendre qu'il refroidisse avant tout pesage.
- ✓ Vider le tout, nettoyer le pycnomètre et mettre de l'eau jusqu'au repère avant de peser le pycnomètre + eau (M4)

5) EXPRESSIONS DES RESULTATS

La masse volumique des grains du sol est obtenue en divisant la masse des grains (m_s) par le volume de ces grains (V_s).

$$\text{POIDS SPECIFIQUE } (\gamma_s) = m_s / V_s \quad \longrightarrow \quad (M2 - M1) / (M4 + M2 - M1 - M3)$$

M1 = TARE Pycnomètre

M2 = PYCNO + MATERIAU SEC

M3 = POIDS TOTALE PYCNO

M4 = PYCNO + EAU

PRECISER TOUJOURS LA TECHNIQUE UTILISEE A SAVOIR :

la dépression ou l'ébullition.

6) CONCLUSION

La détermination du poids spécifique des grains solides permet de connaître la densité du sol étudié dans différentes températures pour la comparer avec celle de 20°C. Afin d'établir une classification précise de suite savoir le type de ce dernier ; et tout ça pour ajuster le domaine de construction et bâtir des établissements et autres ouvrages appropriés

CHAPITRE 9 : ESSAIS PROCTOR NORMAL ET MODIFIE NF P 94-093

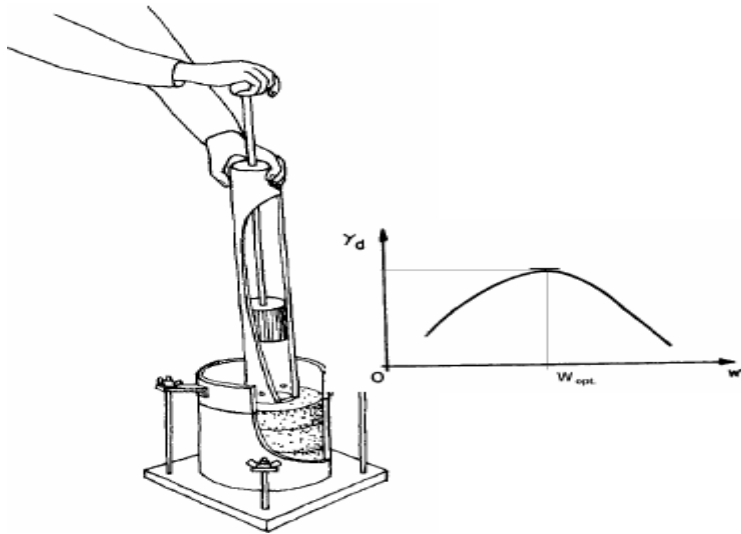
1) INTRODUCTION

L'essai Proctor, mis au point par l'ingénieur Ralph R. Proctor (1933), est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire (ou non) par compactage à une énergie fixée (poids de dame, nombre de coups et dimensions normés).

2) PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai consiste à compacter à l'aide d'une dame et d'un moule normalisé, un échantillon de sol et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage. Cet essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à des teneurs en eau différentes et croissantes (2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%.....), afin de définir plusieurs points permettant de tracer la courbe la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau.

Cette courbe permet de déterminer la densité sèche et la teneur en eau optimale de l'échantillon.



9.1 ESSAI PROCTOR

L'essai Proctor s'effectue généralement pour deux compactages d'intensités différentes :

- L'essai Proctor normal :

Le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études de remblais en terre (barrages et digues).

Il s'effectue en trois couches avec « la dame Proctor normal », l'énergie de compactage est de:

- 55 coups de dame par couche dans le moule C .B .R.
- 25 coups par couche dans le moule Proctor normal.

- L'essai Proctor modifié :

Le compactage est beaucoup plus intense ; il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pieds de mouton ou les rouleaux à pneus lourds modernes. C'est ordinairement par l'essai Proctor modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optimale, densité sèche maximale) des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussée des routes et des pistes d'aérodromes.

Le compactage dans ce cas-là s'effectue en cinq couches successives avec « la dame » l'énergie Proctor modifié de compactage est de :

- 55 coups de dame par couche dans le moule C.B.R.

- 25 coups par couche dans le moule Proctor.

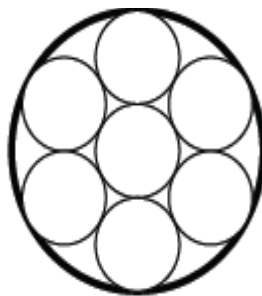
Le tableau ci-dessous préconise les conditions de chaque essai

| | Masse de la dame (Kg) | Hauteur de chute (cm) | Nombre de coups par couche | Nombre de couches | Energie de compactage Kj/dm ³ |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------|--|
| Essai Proctor | <i>Normal</i> 2,490 | 30,50 | 25 (moule Proctor) | 3 | 0,59 |
| | | | 55 (moule CBR) | 3 | 0,53 |
| | <i>Modifié</i> 4,540 | 45,70 | 25 (moule Proctor) | 5 | 2,71 |
| | | | 55 (moule CBR) | 5 | 2,41 |

TABLAU 9.1 CONDITIONS DES ESSAIS PROCTOR NORMAL ET MODIFIE



MOULE PROCTOR : 3 coups répétés 8 fois et le 25^{ème} coup au centre



MOULE CBR : 6 coups tangents et le 7^{ème} au centre répétés 8 fois

3) MATERIEL NECESSAIRE

- Un moule CBR ou Proctor et son dame
- Un tamis 20 mm de diamètre
- Eprouvette gradué
- Récipients, bacs de malaxages, petits bols pour teneur en eau
- Une étuve, une balance électrique
- Règles à araser, écope, truelle, marteau, pinceau
- Echantillonneur



9.3 MOULES ET DAMES

4) MODE OPERATOIRE

Il faut savoir que le prélèvement du matériau doit être représentatif ; une fois au laboratoire :

- On étale le matériau ou on l'étuve afin d'éliminer l'humidité qu'il peut renfermer.
- L'échantillonnage, qui consiste à faire le quartage du matériau jusqu'à avoir les points nécessaires pour démarrer l'essai, est effectué pour éviter d'éventuelles ségrégations.
- On passe alors l'échantillon au tamis de Ø 20 mm/module 44 pour les sols grossiers ou au tamis Ø 5 mm/module 38 pour le sable.
- on prélève 4 points de 6 kg pour les sols grossiers ou 4 points de 3 kg pour le Sable.
- On humidifie le matériau à une teneur en eau (W%) et on le compacte, selon un procédé et une énergie conventionnels (grande ou petite dame, hauteur de chute) et cela pour 4 éprouvettes au total. Le rapport des échelles est de 2% de teneur en eau pour 0,1 t/m³ de masse volumique ; on multiplie la prise d'essai (g) par le pourcentage de teneur voulue. Exemple : 6000 g x 2%.
On aura alors 120 ml pour humidifier le matériau.
- Pour chacune des valeurs de teneurs en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.
- Sur la **courbe Proctor**, on a une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur optimale de la teneur en eau.

5) EXPRESSIONS DES RESULTATS

Pour éprouvette compactée il convient de calculé :

- ✓ La teneur en eau
- ✓ La masse du matériau sec contenu dans le moule
- ✓ La masse du matériau sec en tenant compte du volume réel du moule utiliser, déterminé à travers de mesures géométriques

Teneur en eau (W%) = (Poids eau / Poids sol sec) X 100

Masse volumique humide (ρ_h) = Poids matériau humide compacté / Volume moule

Masse volumique sèche ($\rho_{d\text{ OPN ou OPM}}$) = [Masse volumique humide / (100+W%)] X 100

6) CONCLUSION

Sur les chantiers de stabilisation, on exige, en général, des densités sèches égales à 90% ou à 95% de la densité sèche maximum déterminée à l'essai Proctor ; d'où l'importance d'avoir au moment du compactage une teneur en eau très voisine de la teneur en eau optimum.

Cette condition est souvent difficile à remplir, ce qui limite les possibilités de stabilisation des sols : en période de pluie, la teneur en eau du sol naturel est généralement supérieure à

la teneur en eau optimum, il faut aérer le sol pour le faire sécher ou attendre une période plus sèche. En période sèche les apports d'eau sont importants (la teneur en eau optimum varie entre 6 et 12 % selon la nature du sol et l'engin de compactage utilisé.)

CHAPITRE 10 : INDICE CBR NF P 94-078

1) INTRODUCTION

L'essai CBR Californian Bearing Ratio a été développé en 1929 par les ingénieurs T.E.Stanton et O.J.Porter du département de route de Californie. Cette essai est utilisé partout dans le monde pour déterminer l'épaisseur des couches de fondation, établir une classification des sols et permettre d'étudier la traficabilité. La norme qui définit cet essai porte la référence NF P 94-078

2) BUT ET PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai CBR permet de caractériser l'aptitude d'un sol à supporter les charges qu'on lui impose. Il est effectué sur des sols à vocation routière de manière purement empirique. Selon le but considéré, deux essais CBR peuvent être définis :

- L'essai CBR immédiat : permet de mesurer la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau. Il caractérise l'aptitude d'un sol à permettre la circulation des engins en phase de chantier.
- L'essai CBR après immersion : permet de caractériser l'évolution de la portance d'un sol compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des conditions hydriques.

Après avoir compacté le matériau le matériau dans les conditions de l'essai Proctor le matériau est ensuite placé dans un moule selon sa teneur en eau optimale et sa densité sèche maximale. Il sera ensuite soumis à des charges puis poinçonné par un piston, tout en mesurant les forces et les enfoncements qui en résultent.

3) EQUIPEMENT

- Prise d'essai de 18 kg
- Moule CBR, dame Proctor, disque d'espacement, règle à araser
- Bacs de malaxage pour préparer le matériau
- Tamis 5 et 20 mm
- Truelle, écope, pinceau, spatule
- Eprouvette gradué 150 ml
- Balance de précision
- Un échantillonneur
- Etude réglé à 105° C
- Presse CBR (piston de section 19.3 cm³, vitesse d'enfoncement 1.27 mm/min)
- Disques de surcharges (au moins 2 disques ou encore 4 demi disques)
- Papier filtre arrondie (en fond de moule CBR pour éviter le départ des fines du sol)



10.1 PRESSE CBR

4) MODE OPERATOIRE

a) PREPARATION DE L'ECHANTILLON

- Effectuer au préalable un essai Proctor pour pouvoir connaître la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale.
- Tamiser l'échantillon au tamis 20 mm, les grains supérieurs à 20 mm, sont écrêtés.
- Mouiller le matériau à une quantité d'eau égale à la teneur en eau optimale, prenez le soin de bien malaxer le mélange.

b) COMPACTAGE

- Compacter à la teneur en eau optimale suivant le processus de l'essai Proctor modifié (moule CBR, dame de 4.5kg, 5 couches, 55 coups par couche)
- Araser le moule et déterminer sa teneur en eau
- Retourner le moule pour fixer sur la plaque de base, l'extrémité qui était en haut (mettre une feuille de papier filtre)
- Enlever la plaque de base et ôter le disque d'espacement
- Peser l'ensemble moule + plaque de base + le contenu
- Répéter l'opération sur deux autres moules qui seront compactés à 5 couches de 10 et 25 coups.

c) IMBIBITION ET MESURE DE GONFLEMENT

Après avoir pesé l'ensemble moule + plaque de base + échantillon compacté, un ensemble constitué de plaque perforée et de surcharges annulaires de 4.6kg (2 ou encore 4 demi-disques) représentant l'équivalent de la contrainte imposée par la chaussée sur la plateforme.

On immerge ensuite le tout dans un bac rempli d'eau, un comparateur tenu par un trépied placé sur le moule mesurera les variations de hauteur de l'échantillon. On note la lecture donnée par le comparateur au début de l'essai. L'immersion dans l'eau se fera pendant 96 heures.

Le gonflement se mesurera enfin à 96 heures d'immersion.

d) POINÇONNEMENT

- On utilise une presse qui est munie d'un piston de poinçonnement de diamètre 4.96 cm (section 19.3 cm²), qui est pourvue d'un contrôleur de cadence ainsi que d'un comparateur permettant de suivre les enfoncements au 1/100^{ième} de mm près. On place l'échantillon sur le plateau, bien axé sur le piston de poinçonnement. Les charges annulaires sont remises en place (leur trou central laisse le passage au piston de poinçonnement).
- On amène la tige au contact du sol et quand l'aiguille dynamomètre de la presse commence à bouger, on arrête le mouvement et on met le comparateur à zéro.
- Puis la presse est actionnée à une vitesse constante d'enfoncement égale à 1.27 mm/min, le mouvement étant régulé, soit de manière automatique, soit en suivant la cadence mètre de la machine.
- On effectue simultanément les mesures de l'enfoncement et de la force exercée et on note les forces en KN qui correspondent aux enfoncements à 2.5 et 5.0mm.

5) EXPRESSIONS DES RESULTATS

On calcule les valeurs suivantes :

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement (en kN)}}{13,35} \times 100$$

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement (en kN)}}{19,93} \times 100$$

— L'indice recherché est par convention la plus grande de ces deux valeurs ;

Les valeurs 13,35 KN et 19,93 KN sont respectivement les forces provoquant l'enfoncement du piston de 2,5 mm et 5 mm sur le matériau

la valeur de la déformation de l'éprouvette G, exprimée en pourcentage :

$$G = \frac{\Delta h}{h} \times 100$$

la teneur en eau après immersion de l'éprouvette.

6) CONCLUSION

Dans l'essai CBR le comportement du sol est différent en fonction du degrés d'altération (inaltéré ou altéré), sa granulométrie et les caractéristiques physiques (granulaires, fin, et peu plastique). Donc la méthode à suivre dans chaque cas pour la détermination du CBR est différent

CONCLUSION GENERALE

Lors des études d'aménagement ou de construction, il est indispensable d'acquérir en temps voulu les connaissances géotechniques qui permettent de répondre aux questions des décideurs, des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'œuvre.

Ainsi les essais de laboratoire effectués sont d'une grande utilité. En effet ils permettent de consolider les cours théoriques qui ont été effectués à cet effet et de comprendre de manière pratique le comportement du sol. Ceci devrait permettre au technicien ou à l'ingénieur une fois sur le terrain de savoir analyser le sol en place et de proposer des solutions adéquates et dans le respect des normes de constructions.

BIBLIOGRAPHIE

Pierre Martin - *Géotechnique appliquée au BTP* - Eyrolles, Paris, 2008.

Henri Cambefort - *Introduction à la géotechnique* - Eyrolles, Paris, 1971

Karl von Terzaghi et Ralph B. Peck - *Mécanique des sols appliquée aux travaux publics et aux bâtiments* - Dunod, Paris, 1961

Jaques Lereau- *Geotechnique 1*- INSA ,Toulouse,2005

Khaled Meftah- *Cours Mécaniques des sols*,PDF ,2008

Paillier C. Travaux pratiques de géotechnique. IUT St Pierre – Département Génie civil. http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/TP_CBR_laboratoire_materiaux.pdf

Michel Dysli-*Geologie Appliquée à l'Ingenieurie et à l'Environnement Module B2-2 :Mécanique des sols*, Ecole Polytechnique de Lausanne, PDF,1997

