

**UNIVERSITE CONSTANTINE 1**  
**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**  
**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

<b>LABORATOIRE DE RECHERCHE GEOTECHNIQUE</b>	<b>MASTER 1 SPECIALITE GEOTECHNIQUE</b>	<b>Année Universitaire 2018/2019</b>
<b>Dossier N°:</b> .....	<b>Détermination De La Teneur En Eau Pondérale des matériaux</b>	<b>Document de référence NF P94-050</b>
<b>Echantillon N°:</b> .....		

<b>Provenance du matériau :</b>	<b>Date de prélèvement:</b>
<b>Sondage N°:</b>	<b>Date d'essai:</b>
<b>Origine:</b>	<b>Profondeur:</b>

**Expression des résultats**

Essais	Prise 01	Prise 02
Numéro de la tare		
Poids du récipient $m_1$ (g)		
Poids de l'ensemble (échantillon humide+ récipient) $m_2$ (g)		
Poids de l'échantillon humide $m_h = m_2 - m_1$ (g)		
Poids de l'ensemble (échantillon sec + récipient) $m_3$ (g)		
Poids de l'échantillon sec $m_d = m_3 - m_1$ (g)		
Poids de l'eau $m_w = m_2 - m_3$ (g)		
Teneur en eau $(W = \frac{m_w}{m_d} \times 100 = 100 \times \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1})$ (%)		

**Observation:**

..... .....	
----------------	--

Sols : reconnaissance et essais

**Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux****Méthode par étuvage**

E : Soils : investigation and testing — Determination of moisture content — Oven drying method

D : Boden : Erkundung und Prüfungen — Bestimmung des Wassergehalts von Böden durch Ofentrocknung

**Norme française homologuée**

par décision du Directeur Général de l'AFNOR le 20 août 1995 pour prendre effet le 20 septembre 1995.

Remplace la norme homologuée de même indice, d'octobre 1991.

**Correspondance**

A la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux européens ou internationaux traitant du même sujet.

**Analyse**

Le présent document concerne la détermination par étuvage de la teneur en eau pondérale d'un échantillon de sol ou de matériau. Il définit les termes employés et les paramètres mesurés, spécifie les caractéristiques de l'appareillage, fixe le mode opératoire et précise les résultats à présenter.

**Descripteurs**

Thésaurus International Technique : sol, échantillon, analyse chimique, dosage, eau, essai à l'étuve.

**Modifications**

Par rapport à la précédente édition, le domaine d'application est étendu aux matériaux concernés par la norme NF P 11-300 et la masse de matériau soumise à l'essai est précisée.

**Corrections****Membres de la commission de normalisation**

Président : M PAREZ

Secrétariat : M BIGOT — LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES DE L'EST PARISIEN — DREIF

M	AMAR	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES
M	BARNOUD	UNION SYNDICALE GEOTECHNIQUE
M	BLONDEAU	COMITE PROFESSIONNEL DE LA PREVENTION ET DU CONTROLE TECHNIQUE
M	CASSAN	FONDASOL
M	CHAILLLOT	SNCF — DIRECTION DE L'EQUIPEMENT
M	DORÉ	MECASOL
M	FERNANDEZ	AFNOR
M	GONIN	SIMECSOL
M	LEGENDRE	SONDAGE FORAGE ET FONDATIONS SPECIALES — SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRENEURS
M	MALATERRE	EDF — TEGG — DGG
M	PAREZ	SOL — ESSAIS
M	RINCENT	RINCENT BTP SERVICES
M	ZERHOUNI	SOPENA



Sommaire

	Page
Avant-propos .....	4
1 <b>Domaine d'application</b> .....	4
2 <b>Références normatives</b> .....	4
3 <b>Généralités</b> .....	4
3.1 Définitions — Terminologie .....	4
3.2 Principe de la détermination de la teneur en eau .....	5
3.3 Méthode de détermination de la teneur en eau .....	5
4 <b>Appareillage</b> .....	5
5 <b>Mode opératoire</b> .....	5
5.1 Masse d'échantillon à soumettre à l'essai .....	5
5.2 Procédure d'essai .....	6
6 <b>Expression des résultats</b> .....	6
7 <b>Procès-verbal d'essai</b> .....	7
8 <b>Vérifications des appareils et des instruments de mesure</b> .....	7

Avant-propos

Trois normes traitent de la détermination de la teneur en eau avec des domaines d'application différenciés. Ce sont :

- NF P 94-049-1 Détermination de la teneur en eau pondérale des sols — Partie 1 : Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes.
- NF P 94-049-2 Détermination de la teneur en eau pondérale des sols — Partie 2 : Méthode à la plaque chauffante ou panneaux rayonnants.
- NF P 94-050 Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Méthode par étuvage.

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique à la détermination de la teneur en eau pondérale effectuée à partir d'un échantillon intact, remanié ou reconstitué, de tous les sols et de tous les matériaux cités de la NF P 11-300. 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.

2 Références normatives

Ce document comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à ce document que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

- NF P 11-300 Exécution des terrassements — Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- NF X 07-001 Normes fondamentales — Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie.
- X 15-016 Enceintes et conditions d'essais — Enceintes à régulation automatique de la température et de l'humidité.

3 Généralités

3.1 Définitions — Terminologie

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent :

**teneur en eau pondérale d'un matériau (w)** : Rapport de la masse de l'eau évaporée lors de l'étuvage ( $m_w$ ) sur la masse des grains solides ( $m_d$ ), exprimé en pourcentage :

$$w = m_w / m_d$$

**teneur en eau naturelle ( $w_{nat}$ ) d'un matériau** : Teneur en eau déterminée lorsque les conditions de prélèvement sur site, de transport et de conservation de l'échantillon n'ont entraîné aucune modification de celle-ci.



### 7 Procès-verbal d'essai

Le procès-verbal d'essai de détermination de la teneur en eau pondérale doit faire apparaître :

- a) la référence au présent document NF P 94-050 ;
- b) la provenance de l'échantillon : site, sondage, profondeur, date et mode de prélèvement, conditions de conservation ;
- c) le nom de l'organisme qui a réalisé l'essai, le numéro du dossier et la date de l'essai ;
- d) la température d'étuvage de la prise d'essai ;
- e) la valeur de la teneur en eau, w, en pour-cent ;
- f) les observations liées à la réalisation des essais ainsi que les incidents et détails opératoires non prévus dans le présent document et susceptibles d'avoir une influence sur les résultats.

### 8 Vérifications des appareils et des instruments de mesure

Les instruments et moyens de mesure sont gérés conformément aux prescriptions établies par le Bureau National de Métrologie (BNNM).

Le procès-verbal de vérification doit comporter :

- a) la date du dernier raccordement à l'étalon ;
- b) l'identification de l'appareil et son emplacement d'utilisation ;
- c) la température à laquelle la vérification a été effectuée ;
- d) le nom de l'organisme vérificateur ;
- e) la date limite de validité fixée par l'organisme habilité.

L'étuve doit être vérifiée au moins une fois tous les deux ans.

Pour la balance, l'intervalle entre deux raccordements à l'étalon est déterminé en accord avec l'organisme vérificateur habilité ; il ne doit jamais excéder deux ans.

**UNIVERSITE CONSTANTINE 1**  
**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**  
**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

<b>LABORATOIRE DE RECHERCHE GEOTECHNIQUE</b>	<b>MASTER 1 SPECIALITE GEOTECHNIQUE</b>	<b>Année Universitaire 2018/2019</b>
	<b>Feuille d'essai de laboratoire</b>	<b>Lab/Sol</b>
<b>Dossier N°:</b> .....	<b>Détermination De La Valeur De Bleu De Méthylène D'un Sol Ou D'un Matériaux Rocheux Par La Méthode De La Tache</b>	<b>Document de référence NF P 94-068</b>
<b>Echantillon N°:</b> .....		

<b>Provenance du matériau :</b>	<b>Date de prélèvement:</b>
<b>Sondage N°:</b>	<b>Date d'essai:</b>
<b>Origine:</b>	<b>Profondeur:</b>

**Expression des résultats**

Echantillon	Prise 01	Prise 02
Poids humide de la première prise d'essai (mh <sub>1</sub> ) (g)		
Poids humide de la deuxième prise d'essai (mh <sub>2</sub> ) (g)		
Poids sec de la deuxième prise d'essai (ms <sub>2</sub> ) (g)		
Déterminer la proportion pondérale (C) (%)		
Teneur en eau ( $W = \frac{mh_2 - ms_2}{ms_2}$ ) (%)		
Masse sèche de la prise d'essai ( $m_0 = \frac{mh_1}{1+W}$ ) (g)		
Volume du bleu introduit (V) (cm <sup>3</sup> )		
Masse de bleu introduit (solution à 10 g/l) $B = V \times 0.01$ (cm <sup>3</sup> )		
$D_{max} < 5 \text{ mm}; (V_{Bs} = \frac{B}{m_0} \times 100)$ (%)		
$D_{max} > 5 \text{ mm}; (V_{Bs} = \frac{B}{m_0} \times C \times 100)$ (%)		
Moyenne (%)		

**Mode opératoire**

- 1- Le prélèvement à l'essai s'effectue selon D<sub>max</sub> du matériau.
    - Si D<sub>max</sub> est supérieur à 50 mm: prélever 10 kg de ça fraction 0/50, et opérer tel qu'indiqué ci-dessous.
    - Si D<sub>max</sub> est compris entre 5 mm et 50 mm: prélever une masse humide, telle qu'elle que m > 200 D<sub>max</sub> (m en grame et D mm). En extraire la fraction 0/5 mm par tamisage (si nécessaire par lavage).
  - Déterminer la proportion pondérale (C) de la fraction 0/5 mm sèche contenue dans le matériau.
    - Si D<sub>max</sub> est inférieur à 5 mm: prélever une masse humide, (m) telle que m > 200 D<sub>max</sub>.
  - 2- Quarter et homogénéiser la fraction 0/5 mm D<sub>max</sub> < 5 mm.
  - 3- Préparer trois prises d'essai de masse égale à ± 5 g
  - 30 à 60 g: cas des sols très argileux. 0 à 120 g: cas des sols moyennement à peu argileux.
  - 4- Introduire la 1<sup>ère</sup> Prise d'essai (mh1) dans le récipient de 3000 cm<sup>3</sup> avec 500 cm<sup>3</sup> d'eau déminéralisée et agiter pendant au moins 5 min à 700 tour/min ± 10 tr/min.
  - 5- Peser la 2<sup>ème</sup> prise d'essai (mh2) Poids humide pour déterminer la teneur en eau.
  - 6- Sécher la 2<sup>ème</sup> prise d'essai (ms2) Poids sec pour déterminer la teneur en eau.
  - 7- Conserver le reste d'ans un sac en cas ou l'essai devra être renouvelé.
  - 8- Après disparition, de toutes agglomération de matériaux le tous est maintenu en agitation permanente pendant la duré de l'essai à une vitesse de 400 tour/min ± 10 tr/min.
  - 9- Introduire dans la prise d'essai mise en imbibition et en agitation permanente 5 à 10 cm<sup>3</sup> de bleu de méthylène (selon l'argilite).
  - 10- Poser le papier filtre sur un support non absorbant. Et à l'aide de la baguette prélever une goutte de la suspension et la déposer sur le papier filtre. Jusqu'à l'apparition d'une auréole bleu claire dans la zone périphérique de la tache, (la goutte doit former un dépôt centrale compris entre 8 et 2 mm de diamètre) l'essai et dit alors positif.
  - 11- A partir de ce moment laisser poursuivre l'absorption de la solution et effectuer des essais à la tache de minute en minute sans ajout de solution.
  - 12- Si l'essai devient négatif à la 5<sup>ème</sup> tache ou avant, procéder a des injections de 2 à 5 cm<sup>3</sup> de dosage, la procédure a la tache est poursuivi jusqu'à ce que l'essai reste positive à la 5<sup>ème</sup> tache. Noter le volume total de la solution (V).
  - 13- Laver le récipient et les accessoire en contacte avec la suspension (sol et bleu).
- Note:** dans tous les cas le volume de la solution doit être supérieur à 10 cm<sup>3</sup>, si non l'essai doit être refait avec une prise supérieure.

<b>Observation:</b>	
.....	
.....	

# norme française

NF P 94-068  
Octobre 1998

Indice de classement : P 94-068

iCS : 93.020

Sols : Reconnaissance et essais

## Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux

Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache

E : Soils : Investigation and testing — Measuring of the methylene blue adsorption capacity of a rocky soil — Determination of the methylene blue of a soil by means of the stain test  
D : Baugrund : Erkundung und Prüfungen — Messung der Methylenblauadsorptionsfähigkeit eines felsigen Bodens — Bestimmung des Methylenblauwertes eines Bodens durch Fleckprüfung

### Norme française homologuée

par décision du Directeur Général de l'AFNOR le 5 septembre 1998 pour prendre effet le 5 octobre 1998.

Remplace la norme homologuée NF P 94-068, de novembre 1993.

### Correspondance

À la date de publication du présent document, il existe des travaux européens traitant du même sujet.

### Analyse

Le présent document définit le principe et le domaine d'application de l'essai au bleu de méthylène «à la tache».

### Descripteurs

Thésaurus International Technique : sol, identification, matériau, roche, détermination, tache, bleu de méthylène, préparation, adsorption.

### Modifications

Par rapport au document remplacé, le présent document apporte des améliorations de rédaction, et des précisions et modifications sur le principe de l'essai, l'appareillage et le matériel d'essai, la préparation de l'échantillon, le mode opératoire de l'essai et le mode de préparation de la solution de bleu de méthylène (annexe A).

### Corrections

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris La Defense Cedex  
Tél. : 01 42 91 55 55 — Tél. International : + 33 1 42 91 55 55

## Chaussées Terrassements — Exécution des terrassements

BNSR CTT

Membres de la commission de normalisation

Président : M BOLLE

Secrétariat : M JOUBERT — BNSR

M	ABDO	CIMBETON
M	BERRAUD	BOUYGUES
M	BUFFALO	VALERIAN
M	GANDKILLE	QUINTOLI
M	LAVEAU	SNCF
M	MANOLJOVIC	CEMAGREF
M	MARLOU	SETRA — BNSR
M	POLPRE	RAZEL
M	PREL	EDF-TEEG
M	PULATTI	LHOIST
M	RAYNAUD	AEROPORTS DE PARIS
M	RINCENT	RINCENT BTP SERVICES
M	SCHAEFFNER	LCPC
M	SMERECKI	AFNOR

A participé en tant qu'expert :

M FEVRE  
LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS  
ET CHAUSSÉES DE ROUEN

Sommaire

1	Domaine d'application .....	Page	4
2	Références normatives .....	4	4
3	Définitions et symboles .....	4	4
4	Principe de l'essai .....	4	4
5	Appareillage et matériel d'essai .....	5	5
5.1	Appareillage spécifique .....	5	5
5.2	Appareillage courant .....	5	5
5.3	Produits .....	5	5
6	Préparation de l'échantillon .....	6	6
6.1	Si le $D_{max}$ du matériau est supérieur à 50 mm .....	6	6
6.2	Si le $D_{max}$ du matériau est compris entre 5 mm et 50 mm .....	6	6
6.3	Si le $D_{max}$ du matériau est inférieur ou égal à 5 mm .....	6	6
7	Mode opératoire .....	6	6
8	Calculs et expression des résultats .....	7	7
9	Rapport d'essai .....	7	7
	Annexe A (normative) Mode de préparation de la solution de bleu de méthylène à 10 g/l .....	8	8

1 Domaine d'application

Le présent document a pour objet de préciser la méthode de détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux au moyen de l'essai au bleu de méthylène «à la tache».

La valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS) mesure la capacité d'adsorption d'un sol ou d'un matériau rocheux. Elle constitue un des paramètres d'identification de la classification des sols décrite dans la norme NF P 11-300.

2 Références normatives

Ce document comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à ce document que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

- NF P 11-300 Exécution des terrassements — Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- NF P 11-301 Exécution des terrassements — Terminologie.
- NF P 94-049-1 Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Partie 1 : Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes.
- NF P 94-049-2 Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Partie 2 : Méthode à la plaque chauffante ou aux pannesaux rayonnants.
- NF P 94-050 Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Méthode par élavage.
- NF P 94-056 Sols : Reconnaissance et essais — Analyse granulométrique — Méthode par tamisage à sec après lavage.

3 Définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent :

- VBS est la valeur de bleu de méthylène d'un sol. Elle s'exprime en grammes de bleu pour 100 g de la fraction 0/50 mm du sol étudié.
- $D_{max}$  est la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol (voir NF P 11-301).
- $m_{h1}$  est la masse humide de l'échantillon constituant la première prise d'essai (exprimée en grammes).
- $m_{h2}$  est la masse humide de l'échantillon prévu pour être séché, constituant la deuxième prise d'essai (exprimée en grammes).
- $m_{h3}$  est la masse humide de l'échantillon constituant la troisième prise d'essai (exprimée en grammes).
- $m_{h2}$  est la masse de l'échantillon après séchage, correspondant à la deuxième prise d'essai (exprimée en grammes).
- B est la masse de bleu introduite dans la solution (solution à 10 g/l).
- V est le volume de la solution de bleu utilisée (exprimé en centimètres cubes).
- C est la proportion de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.
- w est la teneur en eau, exprimée en valeur décimale.



#### 4 Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre (voir article 7), ce qui provoque la création d'une tache.

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tache.

#### 5 Appareillage et matériel d'essai

##### 5.1 Appareillage spécifique

L'appareillage spécifique comporte :

- un dispositif de dosage permettant d'injecter par pas de  $10 \text{ cm}^3$ ,  $5 \text{ cm}^3$  et  $2 \text{ cm}^3$  des volumes de solution de bleu et de connaître la quantité totale injectée à  $\pm 1 \text{ cm}^3$  ;
- un agitateur mécanique à ailettes ayant une vitesse de rotation couvrant au moins la plage de  $400 \text{ tr/min}$  à  $700 \text{ tr/min}$ . Le diamètre des ailettes est compris entre  $70 \text{ mm}$  et  $80 \text{ mm}$ . 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  $3\,000 \text{ cm}^3$  et de diamètre inférieur ( $155 \pm 10$ ) mm ;
- une baguette de verre de ( $8 \pm 1$ ) mm de diamètre ;
- des lames de maille  $80 \mu\text{m}$ ,  $5 \text{ mm}$  et  $50 \text{ mm}$  ;
- du papier filtre blanc de masse surfacique ( $95 \pm 5$ )  $\text{g/m}^2$ , d'épaisseur ( $0,2 \pm 0,02$ ) mm, de vitesse de filtration ( $75 \pm 10$ ) s pour  $100 \text{ ml}$  (selon la méthode ASTM) et de diamètre de rétention ( $8 \pm 5$ )  $\mu\text{m}$ .

##### 5.2 Appareillage courant

L'appareillage courant comporte :

- balances dont les portées sont compatibles avec les masses à peser et permettent de faire les pesées avec une incertitude relative de  $0,2\%$  de la valeur mesurée ;
- thermomètre gradué en degrés (de  $0^\circ\text{C}$  à  $100^\circ\text{C}$ ) ;
- chronomètre ou équivalent indiquant la seconde ;
- enceinte thermique réglable à  $90^\circ\text{C}$  ;
- appareil de séchage permettant de déterminer la teneur en eau des sols selon une méthode normalisée ;
- sacs ou récipients hermétiques permettant de conserver la teneur en eau des échantillons.

##### 5.3 Produits

Les produits à utiliser sont les suivants :

- solution de bleu de méthylène à ( $10 \pm 0,1$ )  $\text{g/l}$  fabriquée depuis moins de un mois et conservée dans un flacon bouché à l'abri de la lumière (le mode de préparation est décrit en annexe A du présent document) ;
- eau déminéralisée ou distillée.

#### 6 Préparation de l'échantillon

##### 6.1 Si le $D_{\text{max}}$ du matériau est supérieur à 50 mm

Prélever  $10 \text{ kg}$  de sa fraction 0/50 mm, puis procéder comme indiqué en 6.2.

##### 6.2 Si le $D_{\text{max}}$ du matériau est compris entre 5 mm et 50 mm

Prélever une masse,  $m$ , du matériau humide telle que  $m > 200 D_{\text{max}}$  ( $m$  en grammes,  $D_{\text{max}}$  en millimètres).

Séparer par tamisage et si nécessaire par lavage la fraction 0/5 mm contenue dans cet échantillon.

Déterminer la proportion pondérale  $C$  de la fraction 0/5 mm (sèche) contenue dans le matériau (ou dans sa fraction 0/50 mm lorsque  $D_{\text{max}} > 50 \text{ mm}$ ).

Puis procéder comme indiqué en 6.3.

##### 6.3 Si le $D_{\text{max}}$ du matériau est inférieur ou égal à 5 mm

Prélever une masse,  $m$ , du matériau humide telle que  $m > 200 D_{\text{max}}$  ( $m$  en grammes,  $D_{\text{max}}$  en millimètres).

Quarter et homogénéiser la fraction 0/5 mm de manière à préparer trois prises d'essai de masses sensiblement égales et de l'ordre de :

- a)  $30 \text{ g}$  à  $60 \text{ g}$  dans le cas des sols très argileux à argileux ;
- b)  $> 60 \text{ g}$  dans le cas des sols moyennement à peu argileux.

La première prise d'essai de masse  $m_1$  est introduite dans le récipient de  $3\,000 \text{ cm}^3$  mise en suspension dans ( $500 \pm 10$ )  $\text{cm}^3$  d'eau déminéralisée et dispersée à l'aide de l'agitateur à ailettes (vitesse  $700 \pm 100$   $\text{tr/min}$  et positionnée à  $5 \text{ mm}$  environ du fond du récipient), au minimum durant  $5 \text{ min}$  et dans tous les cas jusqu'à disparition visuelle de tout agglomérat de particules de sol dans la suspension ou de toute accumulation sur les bords du récipient.

La deuxième prise d'essai de masse  $m_2$ , volontairement réduite par rapport aux spécifications des normes de teneur en eau, est utilisée pour déterminer la teneur en eau de chacune des prises d'essai.

La troisième prise d'essai de masse  $m_3$  est conservée dans l'éventualité où l'essai doit être renouvelé (voir article 7).

#### 7 Mode opératoire

La prise d'essai étant mise en suspension comme décrit précédemment, procéder au dosage de bleu de méthylène comme indiqué ci-après.

Pendant toute la durée du dosage, l'agitation permanente (vitesse  $400 \text{ tr/min}$  à  $100 \text{ tr/min}$ ) doit être telle que toutes les particules de sol en suspension soient mises en mouvement.

À l'aide du dispositif de dosage, introduire dans la suspension  $5 \text{ cm}^3$  à  $10 \text{ cm}^3$  de solution de bleu selon l'opacité estimée du matériau ( $10 \text{ cm}^3$  pour les matériaux les plus argileux) ; au bout de  $1 \text{ min}$  à  $10 \text{ s}$ , procéder à l'essai de la tache sur papier filtre de la manière suivante :

- poser le papier filtre sur un support adapté non absorbant ;
- prélever à l'aide de la baguette de verre une goutte de suspension et la déposer sur le papier filtre. La tache ainsi formée se compose d'un dépôt central de matériau coloré bleu sombre entouré d'une zone humide incolore ;

— la goutte prélevée doit former un dépôt central compris entre  $8 \text{ mm}$  et  $12 \text{ mm}$  de diamètre.

Procéder à des injections successives par pas de  $5 \text{ cm}^3$  à  $10 \text{ cm}^3$  (selon l'argilosité du matériau) de solution de bleu jusqu'à ce qu'apparaisse une auréole périphérique bleu clair, de largeur millimétrique, dans la zone humide de la tache. L'essai est dit alors positif. À partir de ce moment, laisser se poursuivre l'adsorption du bleu dans la solution et effectuer des taches, de minute en minute, sans ajout de solution.

Si l'essai redevenait négatif à la cinquième tâche ou avant, procéder à de nouvelles injections de bleu avec des pas de 2 cm<sup>3</sup> à 5 cm<sup>3</sup> selon l'argilosité du matériau, en lieu et place des pas de 5 cm<sup>3</sup> à 10 cm<sup>3</sup> introduits précédemment. En effet, il est nécessaire de réduire les quantités injectées, car à ce stade de l'essai la suspension est en voie de saturation.

Chaque addition est suivie des tâches effectuées de minute en minute. Ces opérations sont renouvelées jusqu'à ce que l'essai reste positif pour cinq tâches consécutives. Le dosage est alors terminé et l'on détermine le volume total (V) de la solution de bleu qui a été nécessaire pour atteindre l'adsorption totale.

Dans tous les cas, le volume V doit être supérieur à 10 cm<sup>3</sup>. Si le volume V est inférieur à 10 cm<sup>3</sup>, l'essai doit être recommencé avec une prise d'essai de masse supérieure.

Le récipient et les accessoires en contact avec la suspension de sol et de bleu sont lavés et abondamment rincés à l'eau claire.

Si en vidant le récipient sur le tamis de 80 µm, on observe des agglomérats de particules non colorés, on recommencera l'essai avec la troisième prise d'essai en augmentant la durée de mise en suspension du sol ou en adoptant toute disposition permettant de minimiser la formation de ces agglomérats (exemple : séchage à 50 °C maximum, émiettement manuel, puis imbibition de durée suffisante pour favoriser le délitage des éléments argileux).

### 8 Calculs et expression des résultats

Les calculs à exécuter sont :

— teneur en eau de l'échantillon soumis à l'essai (0,5 mm) :

$$w = \frac{m_{12} - m_{12}}{m_{12}}$$

— masse sèche de la prise d'essai :

$$m_0 = \frac{m_{11}}{1 + w}$$

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

$$B = V \times 0,01$$

Pour les matériaux dont le D<sub>max</sub> est inférieur à 5 mm, l'expression du résultat est :

$$VBS = \frac{B}{m_0} \times 100$$

VBS est exprimée en grammes de bleu pour 100 g de matériau sec.

Pour les matériaux dont le D<sub>max</sub> est supérieur à 5 mm, l'expression du résultat est :

$$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$$

VBS est exprimée en grammes de bleu pour 100 g de matériau sec.

C étant la proportion de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.

### 9 Rapport d'essai

Le rapport d'essai comporte les informations minimales suivantes :

- une référence au présent document ;
- la provenance de l'échantillon (site, sondage, profondeur, etc.) ;
- la date et le mode de prélèvement ;
- le nom de la firme ;
- la date de l'essai ;
- la proportion de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec ;
- la valeur de bleu du sol.

### Annexe A (normative)

#### Mode de préparation de la solution de bleu de méthylène à 10 g/l

Utiliser de l'eau déminéralisée ou distillée.

Utiliser du bleu de méthylène, de qualité pharmaceutique référence CODEX, degré de pureté ≥ 99,5 %, présenté sous forme de poudre et conditionné en flacon.

Déterminer la teneur en eau w de la poudre de bleu de méthylène contenue dans le flacon, comme suit :

— passer environ 5 g de poudre de bleu de méthylène à 0,01 g près et noter sa masse (m<sub>1</sub>) ;

— sécher<sup>1)</sup> cette poudre à (90 ± 5) °C pendant au minimum 2 h ; cette masse sera la masse sèche (m<sub>2</sub>) ;

— calculer et noter la teneur en eau w à la troisième décimale près à partir de l'équation suivante :

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2}$$

— ne pas réutiliser la poudre ayant servi à la détermination de la teneur en eau.

La teneur en eau doit être déterminée pour la préparation de chaque nouveau bain de solution.

Choisir un récipient de forme évitant toute perte de solution par projection lors de l'agitation.

— verser 500 g à 700 g d'eau déminéralisée ou distillée dans le récipient. Si on utilise de l'eau chaude la température ne doit pas excéder 50 °C ;

— prendre une masse de poudre de bleu de méthylène de (10 (1 + w) ± 0,01) g (équivalent à 10 g de poudre sèche) ;

— agiter le contenu du récipient en ajoutant lentement la poudre de bleu de méthylène dans l'eau ;

— vérifier la complète dissolution de la poudre : si elle n'est pas atteinte poursuivre l'agitation ;

— compléter la masse de la solution avec de l'eau déminéralisée ou distillée jusqu'à une masse totale de solution de (1 000 ± 5) g puis agiter la solution pendant au moins 5 min. Dans le cas où on utilise une fiole jaugée de 1 l, compléter avec de l'eau déminéralisée ou distillée jusqu'au trait repère en s'assurant que la température de la solution soit proche de (20 ± 1) °C ;

— conserver la solution ainsi préparée dans une bouteille de conservation fermée (en verre teinté de préférence) et placée à l'abri de la lumière.

Les indications suivantes doivent figurer sur la bouteille de conservation :

- nature du contenu : solution de bleu de méthylène à 10 g/l ;
- date de préparation : .....
- date limite d'utilisation : .....

La solution de bleu de méthylène ne doit pas être utilisée plus de un mois après sa préparation.

<sup>1)</sup> À des températures supérieures à 100 °C, la structure chimique du bleu méthylène peut être modifiée.

**UNIVERSITE CONSTANTINE 1**  
**FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**  
**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

<b>LABORATOIRE DE RECHERCHE GEOTECHNIQUE</b>	<b>MASTER 1 SPECIALITE GEOTECHNIQUE</b>	<b>Année Universitaire 2018/2019</b>
	<b>Procès verbal d'essais de laboratoire</b>	
Dossier N°: PV N°	<b>PROCTOR NORMAL</b>	Document de référence NF P94-093

<b>Provenance:</b>	<b>Date de prélèvement:</b>
<b>Sondage N°:</b>	<b>Dated'essai:</b>
<b>Echantillon:</b>	<b>Profondeur:</b>

**Expression des résultats**

Poids d'eau ajoutée					
Poids total humide (g)					
Poids du moule (g)					
Poids du sol humide (g)					
Poids du sol sec (g)					
Volume de moule (cm3)					
Densité sèche (g/cm3)					

**Correction aux éléments  
Supérieur à 20 mm**

$$\rho d' = \rho d \frac{1}{1 + \frac{m}{100} \left( \frac{\rho d}{\rho s} - 1 \right)}$$

$$W' = W \left( 1 - \frac{m}{100} \right)$$

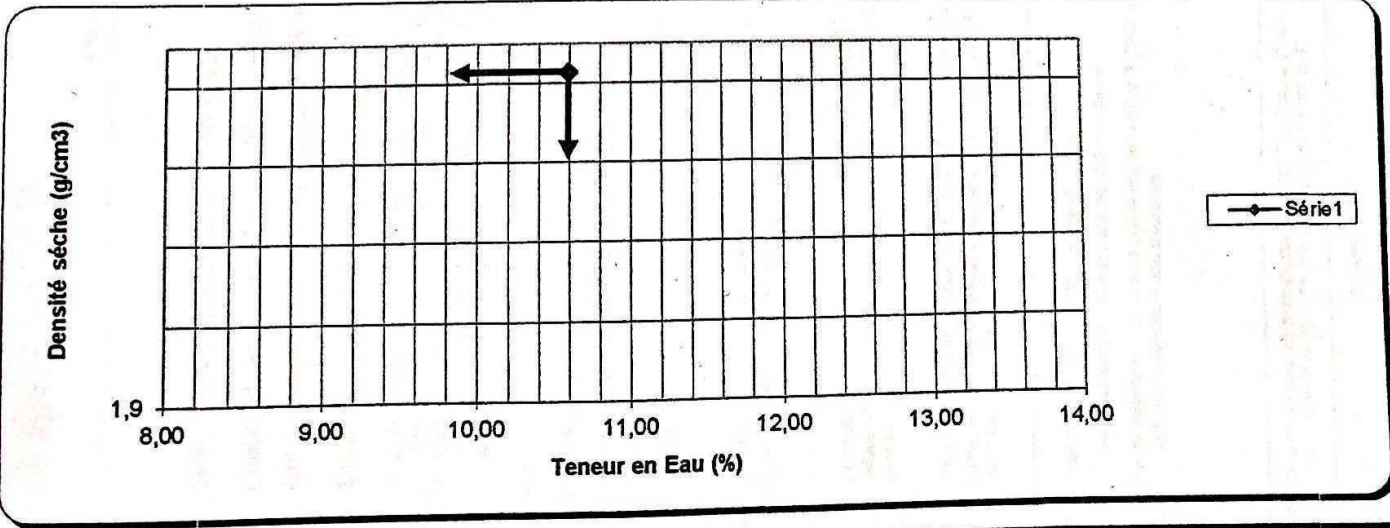
N: de la tare									
Poids total humide (g)									
Poids total sec (g)									
Poids de la tare (g)									
Poids de l'eau (g)									
Poids du sol sec (g)									
Teneurs en eau (%)									
Moyenne (%)									

<b>m %</b>	20,00
<b>ps g/cm2</b>	2,70

Poids d'eau ajoutée (%)	0%	0%	0%	0%	0%
Densité sèche (g/cm3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Teneurs en eau (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Retenu		
pd g/cm2		0,00
pd %		10,5

Retenu après correction	
pd'	0,00
W'	8,40



**Observation:**

NF P 94-093  
Octobre 1999

# norme française

Indice de classement : P 94-093

ICS : 93.020

## Sols : Reconnaissance et essais Détermination des références de compactage d'un matériau Essai Proctor normal — Essai Proctor modifié

E : Soils : Investigation and testing — Determination of the compaction characteristics of a soil — Standard Proctor test — Modified Proctor test  
D : Baugrund : Erkundung und Prüfungen — Bestimmung der Verdichtungsreferenzen für ein Material — Übliche Proctorprüfung — Modifizierte Proctorprüfung

### Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 septembre 1999 pour prendre effet le 5 octobre 1999.

Remplace la norme homologuée NF P 94-093, de septembre 1997.

### Correspondance

À la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux européens ou internationaux traitant du même sujet.

### Analyse

Le présent document détermine les caractéristiques de compactage d'un matériel : teneur en eau et masse volumique optimum Proctor normal et optimum Proctor modifié.

### Descripteurs

Thésaurus International Technique : sol, matériau, identification, détermination, caractéristique, compactage, dosage, eau, masse volumique, préparation de spécimen d'essai, essai.

### Modifications

Par rapport au document remplacé :  
— les dimensions des appareils ont été modifiées,  
— le volume réel du moule utilisé est déterminé à partir de mesures géométriques qui sont assorties d'une tolérance.

### Corrections

Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europa 92049 Paris La Défense Cedex  
Tél. : 01 42 91 56 56 — Tél. International : + 33 1 42 91 56 56

## Chaussées terrassements : Exécution des terrassements

BNSR CTT

### Membres de la commission de normalisation

Président : M BOLLE

Secrétariat : M JOUBERT — BNSR-SETRA

M	ABDO	CIMBETON
M	BERRAUD	BOUYGUES
M	BOLLE	
M	BUFALO	VALERIAN
M	GANDILLE	GUINTOU
M	GUIMONT	BNSR-SETRA
M	LAVEAU	SNCF
M	MANOLOVIC	CEMAGREF
M	MICHAUT	COLAS
M	POILPRE	RAZEL
M	PREL	EDF-TEGG
M	PUECH	SCETAUROUTE
M	PUATTI	LHOIST
M	RAYNAUD	AEROPORTS DE PARIS
M	RINCENT	RINCENT BTP SERVICES
M	SCHAEFFNER	LCPC
M	SMERECKI	AFNOR
M	VERHEE	USIRF



**Sommaire**

	Page
1	4
2	4
3	5
4	5
5	6
5.1	6
5.2	8
6	8
6.1	8
6.2	9
7	10
7.1	10
7.2	11
8	13
9	15
10	15
Annexe A (normative) Corrections pour les matériaux comportant moins de 30 % d'éléments de dimension supérieure à 20 mm	16
A.1 Hypothèses	16
A.2 Formules de correction	16
Annexe B (informative) Exemple de malaxeur à cisaillement rapide utilisé pour la préparation des matériaux argileux	18

**1 Domaine d'application**

Le présent document concerne l'essai permettant de déterminer les caractéristiques de compactage d'un matériau.

Ces caractéristiques sont la teneur en eau optimale et la masse volumique sèche maximale. Selon l'énergie de compactage appliquée à l'éprouvette, on distingue l'essai Proctor normal et l'essai Proctor modifié qui conduisent à des couples de valeurs différents.

Le présent document s'applique aux matériaux définis dans la classification NF P 11-300, dont la dimension des plus gros éléments ( $D_{max}$ ) ne dépasse pas 20 mm, qu'ils soient naturels ou traités avec de la chaux et/ou des liants hydrauliques.

Lorsque ces matériaux comportent une proportion inférieure ou égale à 30 % d'éléments excédant 20 mm, il est encore possible de déterminer leurs caractéristiques de compactage moyennant l'application d'une correction apportée aux caractéristiques mesurées sur la fraction 0/20. Les modalités de cette correction sont précisées en annexe A du présent document.

Lorsque la proportion des éléments > 20 mm dépasse 30 %, l'essai peut être réalisé sur la fraction 0/20, mais son interprétation est alors limitée à l'évaluation de son état hydrique.

Le document est par ailleurs complété par la norme NF P 98-231-1 pour ce qui concerne les matériaux d'assises de chaussées et les matériaux drainants.

**NOTE :** Les caractéristiques de compactage Proctor sont des paramètres très utilisés pour identifier les matériaux (en particulier selon la classification de la norme NF P 11-300) et pour définir les spécifications de compactage qui leur sont applicables lorsqu'ils sont utilisés dans la construction des remblais et des couches de forme.

Ces caractéristiques peuvent perdre tout ou partie de leur signification lorsqu'elles sont déterminées sur des matériaux friables tels que craies, marnes, schistes, grès et calcaires tendres etc. en raison de la modification granulométrique inhérente au processus de compactage propre à l'essai. Dans ce cas, l'essai nécessite une interprétation spécifique.

**2 Références normatives**

Ce document comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à ce document que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

- NF P 11-300 Exécution des terrassements — Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- NF P 94-078 Sols : Reconnaissance et essais — Indice CBR après immersion — Indice CBR immédiat — Indice Portant immédiat — Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR.
- NF P 98-231-1 Essais relatifs aux chaussées — Comportement au compactage des matériaux autres que traités aux liants hydrocarbonés — Partie 1 : Essai Proctor modifié adapté aux graves et sables utilisés en assises de chaussées.
- NF P 94-049-1 Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Partie 1 : Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes.
- NF P 94-049-2 Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Partie 2 : Méthode à la plaque chauffante ou panneaux rayonnants.
- NF P 94-050 Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Méthode par étuvage.

### 3 Définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent :

- w est la teneur en eau, exprimée en pourcentage ;
- $\rho_s$  est la masse volumique des particules solides du sol, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- $\rho_d$  est la masse volumique du sol sec, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- $\rho_w$  est la masse volumique de l'eau, exprimée en tonnes par mètre cube égale conventionnellement à une tonne par mètre cube ;
- $S_r$  est le degré de saturation exprimé en pourcentage :

$$S_r(\%) = \frac{w}{\rho_w \left( \frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s} \right)}$$

- I.CBR est l'indice portant CBR après immersion, exprimé en pourcentage ;
- IPl est l'indice portant Immédiat, exprimé en pourcentage ;
- $D_{max}$  est la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol. La présence d'un ou quelques gros éléments épars ne doit pas conduire à considérer leurs dimensions comme le  $D_{max}$  du sol ;

«Énergie» de compactage (exprimée en  $\text{kNm/m}^3$ ) =  $\frac{N \times H \times m \times g}{V}$

- où :
- N est le nombre total de coups ;
- H est la hauteur de chute de la dame ;
- m est la masse de la dame ;
- g est l'accélération de la pesanteur ;
- V est le volume du matériau compacté dans le moule.

### 4 Principe de l'essai

Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits : Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié.

Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules diffèrent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée.

Le principe de ces essais consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur 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.

D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor normal ou modifié suivant l'essai réalisé.

NOTE 1 : Le présent document envisage plus particulièrement la détermination de la courbe Proctor en cinq points. Il s'agit d'un nombre minimal et tout essai aboutissant à la détermination de cette courbe en davantage de points est évidemment conforme au document.

NOTE 2 : Il est souvent avantageux d'exécuter les essais de détermination des indices CBR immédiat et/ou après immersion et/ou de l'indice Portant Immédiat en concomitance avec les essais Proctor étant donné que ces essais se pratiquent sur des éprouvettes moulées et compactées conformément au mode opératoire décrit dans le présent document (voir norme NF P 94-078).

### 5 Appareillage

#### 5.1 Appareillage spécifique

L'appareillage spécifique comporte :

- un socle de compactage constitué d'un bloc de béton présentant une surface plane horizontale d'au moins 30 cm x 30 cm et une épaisseur d'au moins 30 cm ;
- deux modèles de moules :
  - moule Proctor ;
  - moule CBR.

Les deux modèles sont constitués d'un corps de moule, d'une embase et d'une rehausse. Le corps de moule peut être monobloc ou fendu. Les formes et les dimensions fonctionnelles de ces éléments doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1.

Le moule CBR comporte en plus un disque d'espacement dont la forme et les dimensions sont conformes à la figure 1.

— deux modèles de dames de compactage manuelles :

- la dame dite «dame Proctor normale» est constituée d'un mouton cylindrique de 51 mm  $\pm$  1 mm de diamètre. Ce mouton coulisse dans un fourreau qui lui autorise une hauteur de chute de 305 mm  $\pm$  2 mm. La masse de l'équipage mobile est de 2 490 g  $\pm$  2,5 g. Les formes et autres dimensions fonctionnelles de cette dame doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1 ;

- la dame dite «dame Proctor modifiée» est de conception analogue à la «dame Proctor normale» mais la hauteur de chute est de 457 mm  $\pm$  2 mm et la masse de l'équipage mobile de 4 535 g  $\pm$  5 g. Les formes et autres dimensions fonctionnelles de cette dame doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1 ;

— une règle à araser constituée par une lame en acier dont les formes et les dimensions doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1 ;

— les machines à compacter mécanisées peuvent avantageusement être utilisées si elles répondent aux conditions suivantes :

- 1) la masse, diamètre, hauteur de chute du mouton, épaisseur du fourreau lorsque la machine en comporte un, sont tels que définis sur la figure 1 ;
- 2) le mode de répartition des coups, précisé au paragraphe 7.2, est respecté ;
- 3) la cinématique du mécanisme permet au porte-moule d'être en appui direct sur le bâti de la machine au moment de l'impact de la dame ; si ce n'est pas le cas, il convient de vérifier pour chaque matériau que les écarts de mesure de la masse volumique maximale entre la machine et le mode manuel n'excèdent pas 1% ;
- 4) la machine est rendue solidaire d'un socle en béton dont l'épaisseur minimale est de 30 cm.

**3 Définitions et symboles**

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent :

- w est la teneur en eau, exprimée en pourcentage ;
- $\rho_s$  est la masse volumique des particules solides du sol, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- $\rho_d$  est la masse volumique du sol sec, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- $\rho_w$  est la masse volumique de l'eau, exprimée en tonnes par mètre cube égale conventionnellement à une tonne par mètre cube ;
- $S_r$  est le degré de saturation exprimé en pourcentage :

$$S_r(\%) = \frac{w}{\rho_w \left( \frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s} \right)}$$

LCBR est l'indice portant CBR après immersion, exprimé en pourcentage ;

IP1 est l'indice portant CBR immédiat, exprimé en pourcentage ;

$D_{max}$  est la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol. La présence d'un ou quelques gros éléments épars ne doit pas conduire à considérer leurs dimensions comme le  $D_{max}$  du sol ;

«Énergie de compactage (exprimée en  $kNm/m^3$ ) =  $\frac{N \times H \times m \times g}{V}$

où :

- N est le nombre total de coups ;
- H est la hauteur de chute de la dame ;
- m est la masse de la dame ;
- g est l'accélération de la pesanteur ;
- V est le volume du matériau compacté dans le moule.

**4 Principe de l'essai**

Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits : Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié.

Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules diffèrent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée.

Le principe de ces essais consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur 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.

D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor normal ou modifié suivant l'essai réalisé.

NOTE 1 : Le présent document envisage plus particulièrement la détermination de la courbe Proctor en cinq points. Il s'agit d'un nombre minimal et tout essai aboutissant à la détermination de cette courbe en davantage de points est évidemment conforme au document.

NOTE 2 : Il est souvent avantageux d'exécuter les essais de détermination des indices CBR immédiat et/ou après immersion et/ou de l'indice Portant Immédiat en concomitance avec les essais Proctor étant donné que ces essais se pratiquent sur des éprouvettes moulées et compactées conformément au mode opératoire décrit dans le présent document (voir norme NF P 94-078).

**5 Appareillage**

**5.1 Appareillage spécifique**

L'appareillage spécifique comporte :

- un socle de compactage constitué d'un bloc de béton présentant une surface plane horizontale d'au moins 30 cm x 30 cm et une épaisseur d'au moins 30 cm ;
- deux modèles de moules :
  - moule Proctor ;
  - moule CBR.

Les deux modèles sont constitués d'un corps de moule, d'une embase et d'une rehausse. Le corps de moule peut être monobloc ou fendu. Les formes et les dimensions fonctionnelles de ces éléments doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1.

Le moule CBR comporte en plus un disque d'espacement dont la forme et les dimensions sont conformes à la figure 1.

— deux modèles de dames de compactage manuelles :

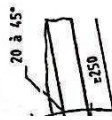
- la dame dite «dame Proctor normale» est constituée d'un mouton cylindrique de 51 mm  $\pm$  1 mm de diamètre. Ce mouton coulisse dans un fourreau qui lui autorise une hauteur de chute de 305 mm  $\pm$  2 mm. La masse de l'équipage mobile est de 2 490 g  $\pm$  2,5 g. Les formes et autres dimensions fonctionnelles de cette dame doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1 ;
- la dame dite «dame Proctor modifiée» est de conception analogue à la «dame Proctor normale» mais la hauteur de chute est de 457 mm  $\pm$  2 mm et la masse de l'équipage mobile de 4 535 g  $\pm$  5 g. Les formes et autres dimensions fonctionnelles de cette dame doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1 ;

— une règle à araser constituée par une lame en acier dont les formes et les dimensions doivent être conformes aux indications portées sur la figure 1 ;

— les machines à compacter mécanisées peuvent avantageusement être utilisées si elles répondent aux conditions suivantes :

- 1) la masse, diamètre, hauteur de chute du mouton, épaisseur du fourreau lorsque la machine en comporte un, sont tels que définis sur la figure 1 ;
- 2) le mode de répartition des coups, précisé au paragraphe 7.2, est respecté ;
- 3) la cinématique du mécanisme permet au porte-moule d'être en appui direct sur le bâti de la machine au moment de l'impact de la dame ; si ce n'est pas le cas, il convient de vérifier pour chaque matériau que les écarts de mesure de la masse volumique maximale entre la machine et le mode manuel n'excèdent pas 1% ;
- 4) la machine est rendue solidaire d'un socle en béton dont l'épaisseur minimale est de 30 cm.

RASER  
Iscau



## 5.2 Appareillage d'usage courant

- Tamis d'ouvertures de mailles carrées de dimensions nominales 5 mm et 20 mm ;
- balances dont les portées maximale et minimale sont compatibles avec les masses à peser et telles que les pesées soient effectuées avec une incertitude de 1/1000 de la valeur mesurée ;
- une enceinte thermique ou un appareil de séchage pour déterminer la teneur en eau des matériaux selon une méthode normalisée (NF P 94-049-1, NF P 94-049-2, NF P 94-050) ;
- des récipients (ou des sacs) hermétiques permettant de conserver la teneur en eau des échantillons ;
- un pulvérisateur à eau ;
- éventuellement un malaxeur-désagrégateur mécanique dont le volume de la cuve est d'au moins 10 dm<sup>3</sup> (voir exemple annexe B) ;
- un dispositif permettant d'extraire l'éprouvette hors du corps du moule (dans le cas d'un corps de moule monobloc) ;
- matériels et outillages divers.

IE

## 6 Préparation des échantillons soumis à l'essai

### 6.1 Prise d'échantillon

La masse totale de matériau nécessaire à l'exécution d'un essai doit permettre de faire un prélèvement différent pour chaque point de la courbe Proctor, car il n'est pas autorisé de réutiliser le même matériau pour la détermination de plusieurs points de la courbe Proctor. Elle varie entre 15 kg et 100 kg suivant la granularité du matériau et suivant que l'on cherche une détermination concomitante de ses caractéristiques de compactage, de son indice CBR après immersion et/ou de son indice Portant Immédiat. Le diagramme représenté sur la figure 2 précise ces masses. Il s'agit de quantités minimales nécessaires à la détermination de la courbe Proctor en cinq points.

Minimum  
4 trous  
55ø±10

Minimum  
4 trous  
55ø±10  
Epaisseur du  
fourreau  
maximum 3 mm



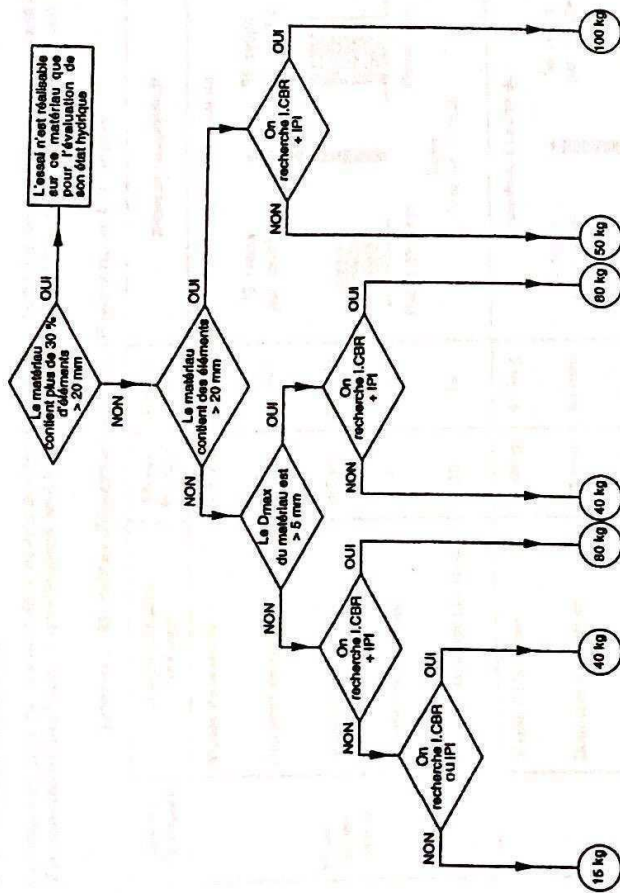


Figure 2 : Diagramme des quantités minimales de matériau sec nécessaires à l'essai

6.2 Préparation des éprouvettes

La totalité du matériau prélevé est, si nécessaire, séchée à l'air ou dans une étuve réglée à 50 °C maximum jusqu'à un état hydrique jugé suffisamment sec pour commencer l'essai.

Après séchage, le matériau est tamisé à 20 mm et seul le tamisat est conservé pour l'exécution de l'essai. Le matériau est homogénéisé et divisé par appréciation visuelle en au moins cinq parts égales.

Les parts sont humidifiées à une teneur en eau telle que les teneurs en eau de trois parts au moins et quatre au plus soient réparties entre :

- 0,8 wOPN (ou OPM) et 1,2 wOPN (ou OPM)

Après humidification, chaque part est conservée en boîtes ou sacs hermétiques durant un temps fonction de l'argilosité du matériau pour permettre la diffusion de l'eau. C'est à partir de chacune de ces parts que seront confectionnées les éprouvettes destinées à la détermination des points de la courbe Proctor (et le cas échéant la détermination de l'indice Portant Immédiat et l'indice CBR Immédiat ou après immersion des éprouvettes aux teneurs en eau considérées).

NOTE : L'humidification de chacune des parts du matériau constitue la phase la plus délicate de l'essai.

La première difficulté est celle du choix des teneurs en eau à attribuer à chaque part étant donné que l'on ne connaît pas la wOPN ou wOPM du matériau. L'opérateur doit donc en estimer une valeur approchée. Pour cela, il a recours à des tests tactiles et visuels et son expérience est déterminante dans la justesse de cette estimation.

A défaut d'une expérience suffisante, l'opérateur doit envisager une détermination de la courbe Proctor en plus de cinq points et préparer les quantités de matériaux et le nombre de parts en conséquence.

Une seconde difficulté réside dans les modalités d'incorporation de l'eau au sein du matériau qui dans tous les cas doit se faire lentement, de manière bien répartie à la surface du matériau et dans toute la mesure du possible à l'aide d'un pulvérisateur, en maintenant le malaxage pendant l'introduction de l'eau.

En outre, ces modalités dépendent de l'argilosité des matériaux (définie selon la norme NF P 11-300) :

- dans le cas des matériaux sableux et graveleux, le malaxage peut se faire manuellement ou à l'aide de n'importe quel type de malaxeur. L'observation d'une durée de conservation pour homogénéisation de 15 min en boîtes ou sacs hermétiques est suffisante ;
- dans le cas des matériaux limoneux et sablo-limoneux, les modes de malaxage indiqués pour les matériaux sableux et graveleux sont conservés mais le temps de conservation en boîtes ou sacs étanches doit être porté à 2 h ou 3 h ;
- dans le cas des matériaux argileux, il convient d'abord de les réduire en une mouture D/2 (évaluée de visu). L'exécution manuelle de cette opération est le plus souvent fastidieuse, elle peut être grandement facilitée par l'emploi d'un malaxeur-désagrégateur.

Le matériau réduit est ensuite humidifié à l'aide d'un pulvérisateur, tout en maintenant le malaxage. Celui-ci peut se faire manuellement ou plus avantageusement à l'aide du malaxeur-désagrégateur.

Après introduction de l'eau et constatation visuelle d'une stabilisation du comportement du matériau sous l'action du malaxage, il est introduit dans des boîtes ou sacs hermétiques et conservé entre 24 h et 48 h selon l'argilosité.

7 Mode opératoire

7.1 Choix du type de moule

Il est imposé par la granulométrie du matériau et l'utilisation envisagée des résultats de l'essai comme indiqué sur le diagramme (figure 3).

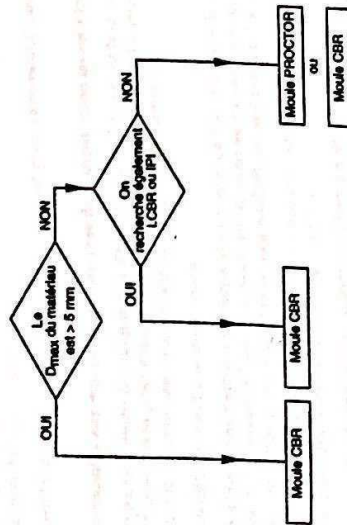






Figure 3 : Choix du type de moule

### 7.2 Exécution de l'essai

Les choix du type de moule et de la nature de l'essai à exécuter étant faits, on procède au compactage des éprouvettes humidifiées comme indiqué en 6.2 en respectant les modalités indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Modalités d'exécution des essais Proctor normal et modifié

Nature de l'essai	Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR	Schéma récapitulatif
Essai Proctor normal	Masse de la dame	2 490 g	2 490 g	3 couches, à raison de : 25 coups par couche  Moule Proctor Dame Proctor normal 56 coups par couche  Moule CBR
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	305 mm	305 mm	
	Nombre de couches	3	3	
Essai Proctor modifié	Nombre de coups par couche	25	56	5 couches, à raison de : 25 coups par couche  Moule Proctor Dame Proctor modifié 56 coups par couche  Moule CBR
	Masse de la dame	4 535 g	4 535 g	
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	457 mm	457 mm	
	Nombre de couches	5	5	
	Nombre de coups par couche	25	56	

Avant introduction du matériau dans le moule il y a lieu de :

- solidariser : moule, embase et rehausse ;
- lubrifier le cas échéant les parois du moule ;
- placer le disque d'espacement au fond du moule CBR lorsqu'il est utilisé ;
- placer éventuellement un papier-filtre ou un film plastique au fond du moule Proctor ou sur le disque d'espacement du moule CBR pour faciliter le démoulage.

Introduire alors la quantité de matériau pour que la hauteur de la première couche après compactage soit légèrement supérieure au tiers ou au cinquième de la hauteur du moule respectivement pour l'essai Proctor normal et pour l'essai Proctor modifié.

Compacter cette couche avec la dame correspondante en appliquant respectivement 25 coups ou 56 coups par couche suivant le schéma suivant, et répéter l'opération autant de fois que l'exige le nombre de couches à réaliser.

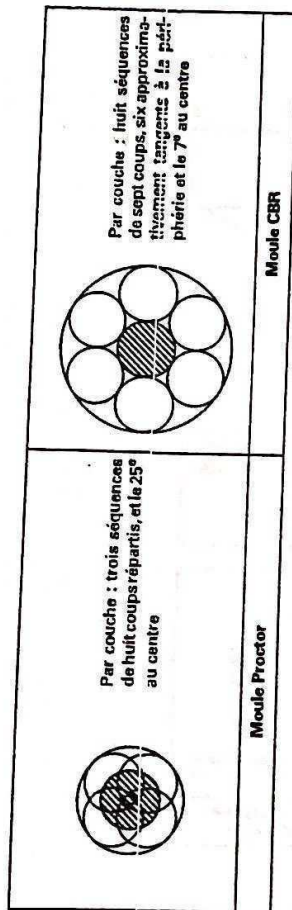


Figure 4 : Schéma de principe de la répartition des coups de dame sur une couche

Après compactage de la dernière couche, retirer la rehausse, le matériau doit alors dépasser du moule d'une hauteur d'un centimètre au maximum. Cet excédent est arasé soigneusement au niveau du moule en opérant radialement du centre vers la périphérie du moule. Si des éléments > 10 mm sont entraînés dans cette opération, en laissant des vides à la surface de l'éprouvette, combler ceux-ci avec des éléments fins qui sont lissés avec la règle à araser.

Peser l'ensemble du moule avec le matériau :

- s'il n'est pas prévu de poursuivre l'essai par la détermination des Indices CBR et/ou de l'Indice Portant Immédiat, on procède au démoulage de l'éprouvette. En extraire, ensuite, un échantillon représentatif pour en déterminer la teneur en eau ;
- si à l'inverse, on prévoit la détermination concomitante de l'Indice Portant Immédiat, on procède immédiatement après le compactage au poinçonnement de l'éprouvette (conformément à la norme NF P 94-078) puis à son démoulage et à sa dessiccation pour mesure de sa teneur en eau ;
- si on prévoit la détermination concomitante de l'Indice Portant Immédiat et de l'Indice CBR après immersion, il convient de compacter deux éprouvettes identiques, la première servant à la détermination de l'IP et de la teneur en eau, la seconde étant mise en immersion 4 jours puis poinçonnée conformément à la norme NF P 94-078 ;
- enfin, si on prévoit seulement la détermination concomitante de l'Indice CBR après immersion, l'éprouvette est mise en immersion immédiatement après son compactage (voir norme NF P 94-078). La teneur en eau de moulage est alors déterminée avec l'excédent de matériau préhumidifié inutilisé dans la confection de l'éprouvette.

Ces opérations sont répétées sur chacune des parts de matériau préhumidifié dans les conditions décrites en 6.2.

#### Particularités applicables aux matériaux traités avec de la chaux et/ou un liant hydraulique

Pour déterminer les références de compactage d'un matériau traité avec de la chaux et/ou un liant hydraulique, préparer à partir de la prise d'essai du matériau non traité, des parts préhumidifiées comme décrit au paragraphe 6.2 et exécuter sur chacune d'elles les opérations suivantes :

- dans le cas du traitement à la chaux seule :

- introduire la quantité de chaux correspondant au dosage visé et malaxer le mélange manuellement, ou plus avantageusement à l'aide d'un malaxeur-désagrégateur (voir annexe B), jusqu'à constatation visuelle de l'obtention d'une mouture dont la granulité est stabilisée et dont le teinte est homogène ;
- conserver le mélange ainsi obtenu dans un conteneur (sac ou boîte) hermétique durant 1 h ± 10 min et à une température comprise entre 5 °C et 30 °C ;
- à l'expiration de ce délai et en fonction de l'énergie de compactage (Proctor normal ou Proctor modifié) considérée, compacter le mélange conformément aux modalités décrites dans le présent paragraphe.

- dans le cas du traitement avec un liant hydraulique seul :

- exécuter les mêmes opérations que pour le traitement à la chaux seule, à l'exception du délai de conservation qui est ramené à 15 min maximum.

— dans le cas d'un traitement mixte chaux plus liant hydraulique :

- procéder tout d'abord à la fabrication et à la conservation du mélange matériau-chaux, comme décrit pour le traitement à la chaux seule, puis reprendre ce mélange pour le traiter avec le liant hydraulique, comme décrit pour le traitement avec un liant hydraulique seul ;
- à l'expiration du délai de conservation avec le liant hydraulique de 15 min maximum et en fonction de l'énergie de compactage (Proctor normal et Proctor modifié) considérées, compacter le mélange conformément aux modalités décrites dans le présent paragraphe.

### 8 Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée il convient de calculer :

- la teneur en eau ;
- la masse de matériau sec contenu dans le moule ;
- la masse volumique du matériau sec en tenant compte du volume réel du moule utilisé, déterminé à partir de mesures géométriques réalisées à 0,1 mm près.

Les valeurs des masses volumiques du matériau sec et des teneurs en eau correspondantes sont portées sur un graphique  $\rho_d = f(w\%)$  tel que celui présenté sur la figure 5. Le rapport des échelles est de 2 % de teneur en eau pour 0,1 t/m<sup>3</sup> de masse volumique.

On trace ensuite la courbe ajustée sur les points expérimentaux. Sauf dans le cas des matériaux très perméables, cette courbe présente un maximum dont les coordonnées sont dénommées respectivement masse volumique sèche optimum et teneur en eau optimum Proctor Normal (ou Proctor Modifié suivant l'essai réalisé). Ce résultat est exprimé à 0,01 t/m<sup>3</sup> près pour la masse volumique et à 0,1 point près pour la teneur en eau (exprimée en pourcentage).

Il convient de faire figurer également sur le graphique  $\rho_d = f(w\%)$  les courbes d'équation :

$$\rho_d = \frac{S_r \rho_s}{S_r + w \frac{\rho_s}{\rho_w}} \text{ avec } \rho_w = 1 \text{ t/m}^3$$

établies pour :

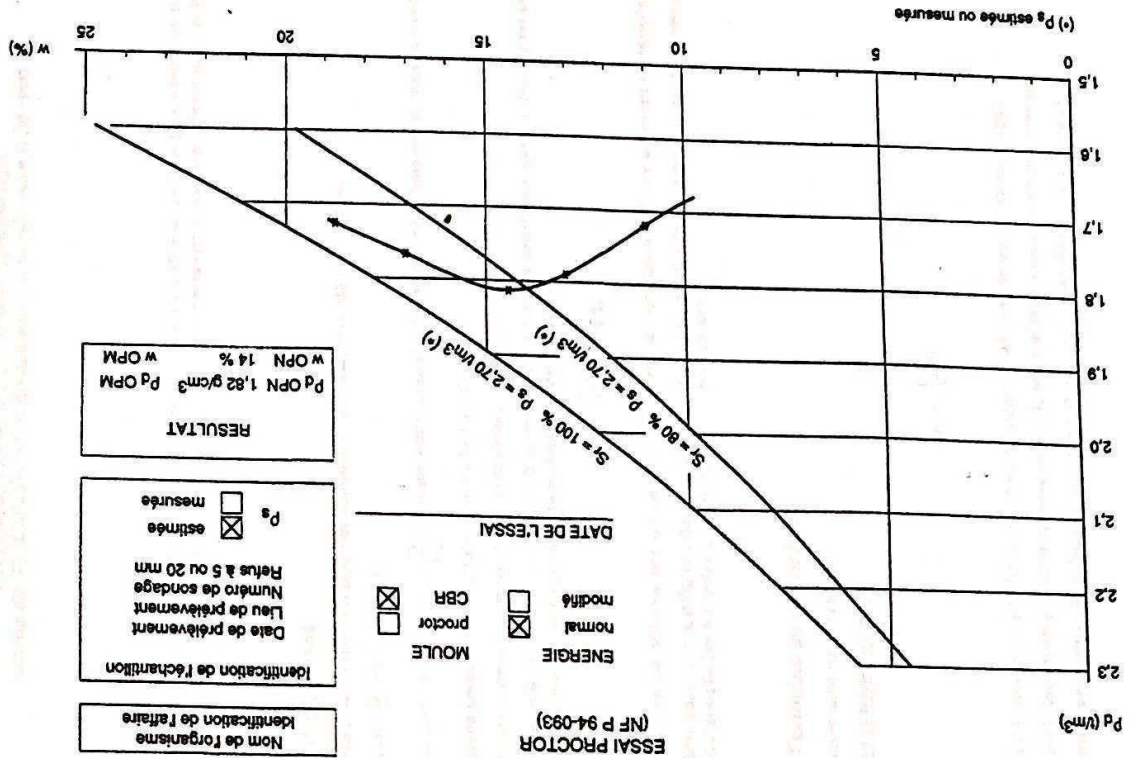
$$S_r = 100 \text{ et } 80 \text{ \% / m}^3$$

et pour :

$$\rho_s = 2,70 \text{ t/m}^3$$

si l'on dispose de la valeur mesurée de  $\rho_s$  du matériau considéré, celle-ci sera utilisée pour l'établissement de ces deux courbes.

Figure 5 : Exemple de procès-verbal d'essai



## 9 Procès-verbal d'essai

Le procès-verbal d'essai doit faire apparaître les informations minimales suivantes :

- le nom de l'organisme qui a réalisé l'essai ;
- la référence au présent document ;
- l'identification de l'affaire (titre, numéro d'affaire ou référence...);
- l'identification de l'échantillon (date et lieu de prélèvement, numéro de sondage(s) et profondeurs(s)...) et du liant éventuellement ajouté (nature, origine, dosage, formule...);
- la date de début de l'essai ;
- le type d'essai réalisé «PROCTOR normal» ou «PROCTOR modifié» ;
- le type de moule utilisé, moule PROCTOR ou moule CBR ;
- la méthode utilisée pour la détermination des teneurs en eau ;
- le graphique de la masse volumique sèche en fonction des teneurs en eau ainsi que les points expérimentaux (hors corrections granulométriques) ;
- les courbes de saturation 80 % et 100 % et la valeur  $p_s$  retenue ;
- le pourcentage de refus éventuel à 20 mm ou à 5 mm ;
- les valeurs :
  - masse volumique sèche  $p_d$ OPN ou  $p_d$ OPM ;
  - teneur en eau optimale correspondante  $w_{OPN}$  ou  $w_{OPM}$ .

## 10 Vérifications — Matériels spécifiques

Les masses des dames de compactage manuelles et les dimensions des moules de compactage doivent être vérifiées au moins tous les deux ans.

Le volume de chaque moule est déterminé en prenant leurs dimensions (diamètre et hauteur). La hauteur est la moyenne des mesures réalisées selon trois génératrices disposées à 120°. Le diamètre est la moyenne de trois mesures également disposées à 120°, en haut et en bas du moule.

En cas d'emploi de machine à compacter, la verticalité du tube-guide et de la dame, la masse de celle-ci, la hauteur de chute, le nombre de coups et le dispositif de comptage de nombre de coups doivent être contrôlés également au moins tous les deux ans.

## Annexe A (normative)

### Corrections pour les matériaux comportant moins de 30 % d'éléments de dimension supérieure à 20 mm

Lorsque le sol comporte une proportion d'éléments de plus de 20 mm de diamètre, inférieure ou égale à 30 % on détermine ses caractéristiques Proctor moyennant une correction des valeurs  $p_d$  et  $w$  % déterminées sur la fraction 0/20 du matériau soumise à l'essai.

#### A.1 Hypothèses

Les formules de correction ci-après supposent que les éléments 20/D écrits :

- ne retiennent pas d'eau ;
- occupent un volume  $V = \frac{M}{\rho_s}$  (M étant leur masse et  $\rho_s$  la masse volumique des particules solides élémentaires considérée généralement égale à  $2,70 \text{ t/m}^3$ ) ;
- «flottent» dans la fraction fine du matériau.

Les deux premières conditions peuvent être considérées comme satisfaites dans la mesure où ces éléments sont constitués de fragments de roches de faible porosité :

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \leq 5 \%$$

et qu'ils ont bien été débarrassés, au moment de l'écrêtage, des éléments fins y adhérant éventuellement. La troisième condition justifie la valeur de 30 % comme valeur maximale de la proportion d'éléments 20/D en deçà de laquelle les formules de correction sont applicables.

#### A.2 Formules de correction

Ces formules sont les suivantes :

- pour la teneur en eau :

$$w' = w - \Delta w$$

$$\Delta w = \frac{m}{100} w$$

où :

$w'$  est la teneur en eau OPN cherchée du matériau 0/D, exprimée en pourcentage ;

$w$  est la teneur en eau OPN déterminée sur la fraction 0/20, exprimée en pourcentage ;

$m$  est la proportion de la fraction 20/D dans le matériau, exprimée en pourcentage ;

— pour la masse volumique sèche :

$$\rho'_d = \frac{\rho_d}{1 + \frac{m}{100} \left( \frac{\rho_d}{\rho_s} - 1 \right)}$$

où :

- $\rho'_d$  est la masse volumique sèche OPN (ou OPM) du matériau O/D, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- $\rho_d$  est la masse volumique sèche OPN (ou OPM) déterminée sur la fraction 0/20, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- $\rho_s$  est la masse volumique des particules élémentaires du sol, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- m est la proportion de la fraction 20/D dans le matériau, exprimée en pourcentage.

**Annexe B**  
(informative)

**Exemple de malaxeur à cisaillement rapide  
utilisé pour la préparation des matériaux argileux**

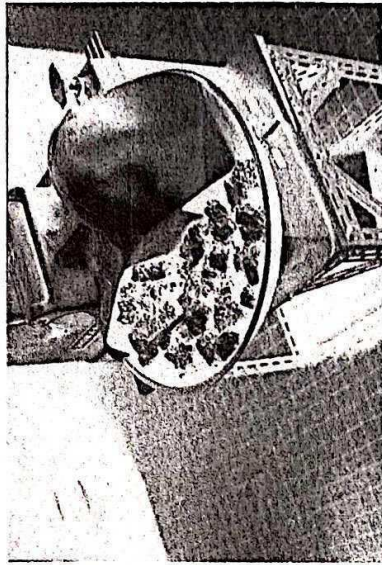


Figure B.1 : Introduction du matériau argileux en mottes dans la cuve

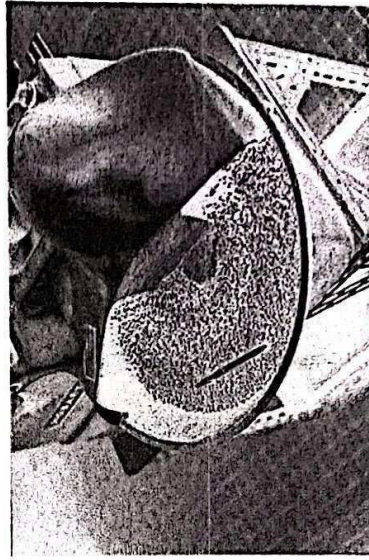


Figure B.2 : État du matériau après quelques secondes d'action du malaxeur