

norme française

NF P 94-093**Octobre 1999**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

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris La Défense 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-SETRA

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

Sommaire

	Page
1	Domaine d'application 4
2	Références normatives 4
3	Définitions et symboles 5
4	Principe de l'essai 5
5	Appareillage 6
5.1	Appareillage spécifique 6
5.2	Appareillage d'usage courant 8
6	Préparation des échantillons soumis à l'essai 8
6.1	Prise d'échantillon 8
6.2	Préparation des éprouvettes 9
7	Mode opératoire 10
7.1	Choix du type de moule 10
7.2	Exécution de l'essai 11
8	Expression des résultats 13
9	Procès-verbal d'essai 15
10	Vérifications — Matériels spécifiques 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 ;
- ρ_s est la masse volumique des particules solides du sol, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- ρ_d est la masse volumique du sol sec, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- ρ_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 ;
- IPI 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 ;

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

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

- la dame dite «dame Proctor modifié» est de conception analogue à la «dame Proctor normal» mais la hauteur de chute est de $457 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ et la masse de l'équipage mobile de $4\,535 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$. 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) les 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.

Dimensions en millimètres

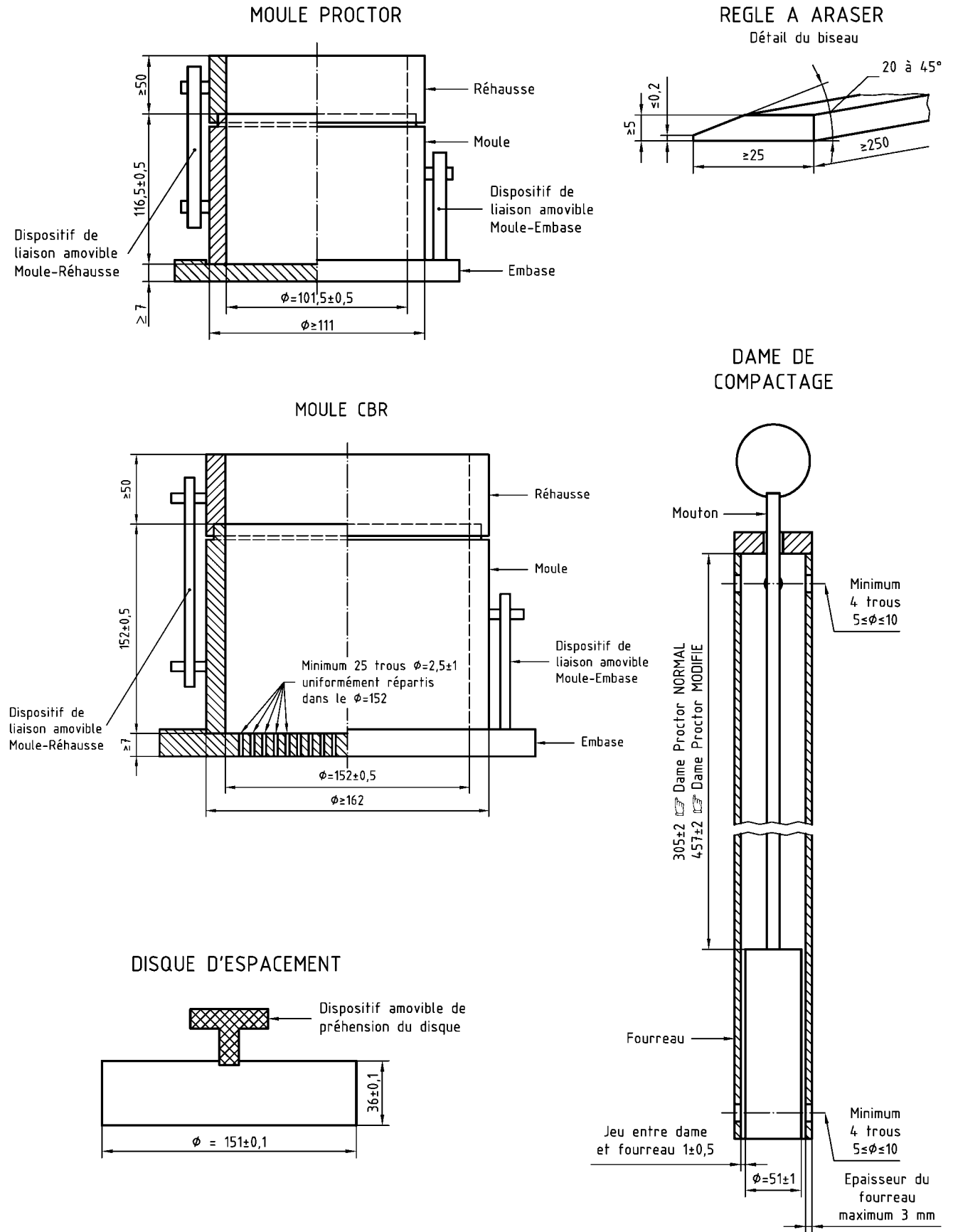


Figure 1 : Appareillage spécifique

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-désagréateur mécanique dont le volume de la cuve est d'au moins 10 dm³ (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.

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.

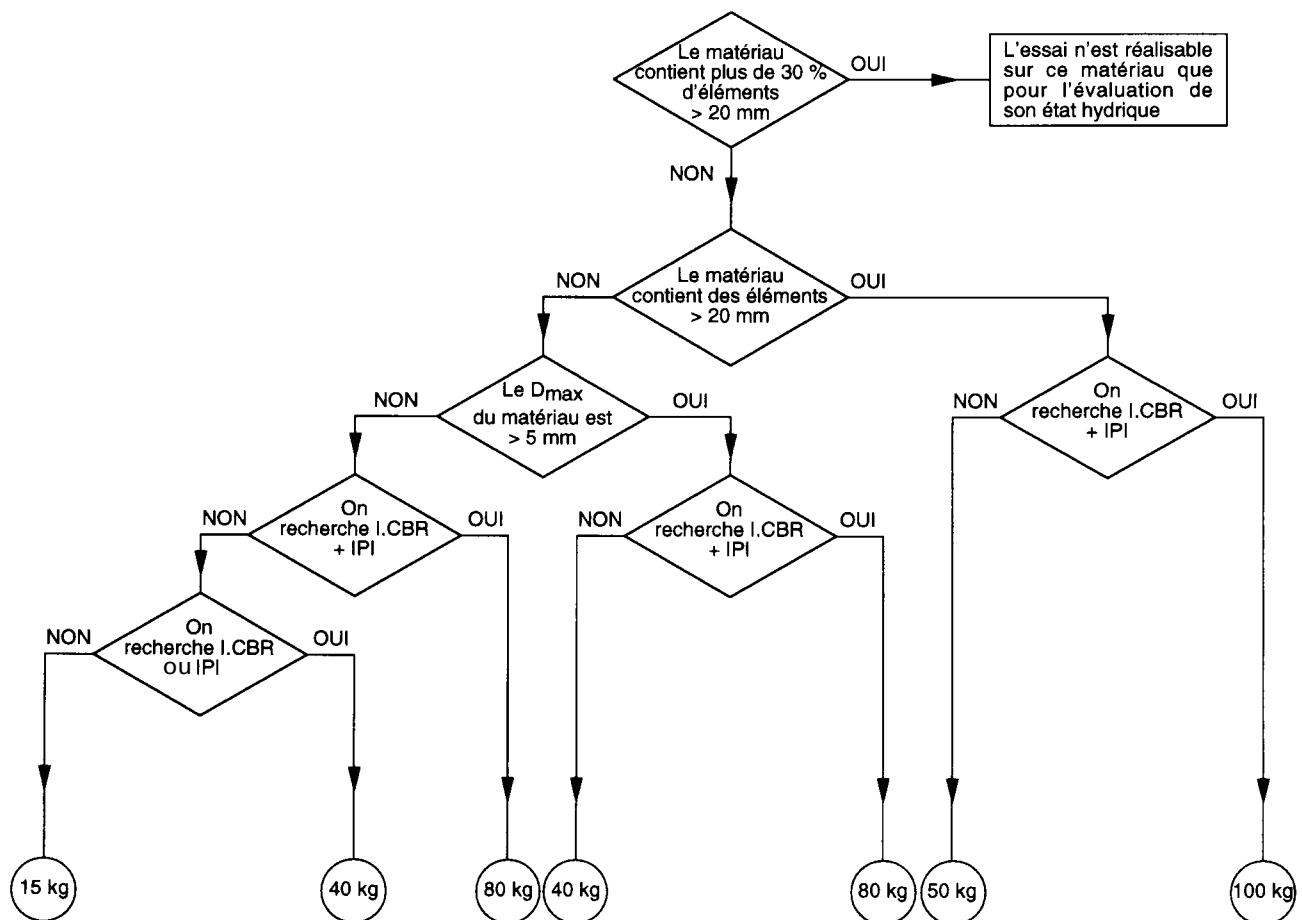


Figure 2 : Diagramme des quantités minimales de matériau sec nécessaires à l'essai

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 parfaire 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.

À 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 0/2 (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-désagréateur.

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-désagréateur.

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 granularité du matériau et l'utilisation envisagée des résultats de l'essai comme indiqué sur le diagramme (figure 3).

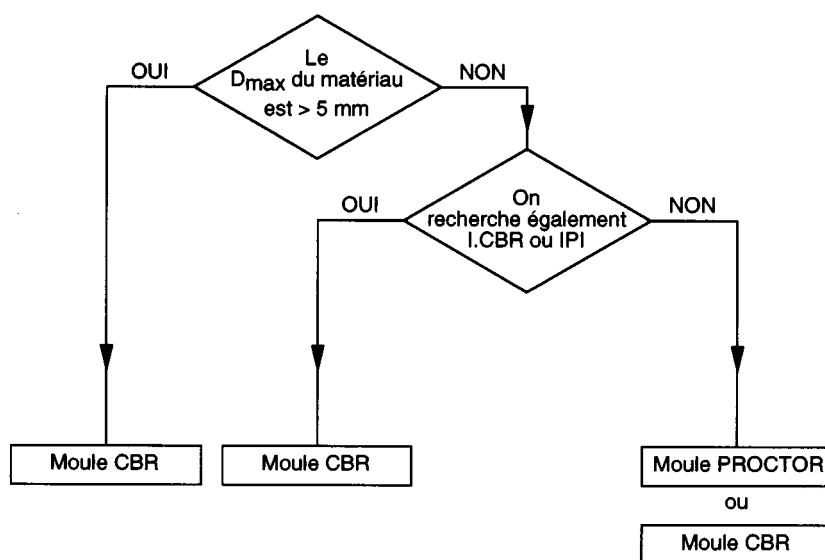
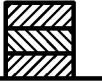


Figure 3 : Choix du type de moule

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	
	Nombre de coups par couche	25	56	
Essai Proctor modifié	Masse de la dame	4 535 g	4 535 g	5 couches, à raison de : 25 coups par couche  Moule Proctor  Dame Proctor modifié 56 coups par couche  Moule CBR
	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.

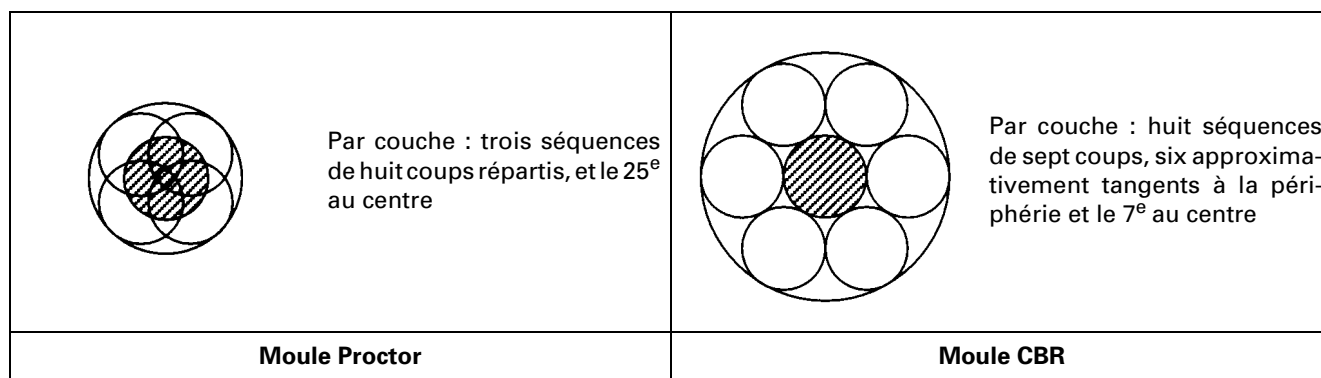


Figure 4 : Schéma de principe de la répartition des coups de dame sur une couche

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'IPI 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-désagréateur (voir annexe B), jusqu'à constatation visuelle de l'obtention d'une mouture dont la granularité est stabilisée et dont la teinte est homogène ;
 - conserver le mélange ainsi obtenu dans un conteneur (sac ou boîte) hermétique durant $1\text{ h} \pm 10\text{ min}$ 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) considérée, 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/m³ 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/m³ 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 ρ_s du matériau considéré, celle-ci sera utilisée pour l'établissement de ces deux courbes.

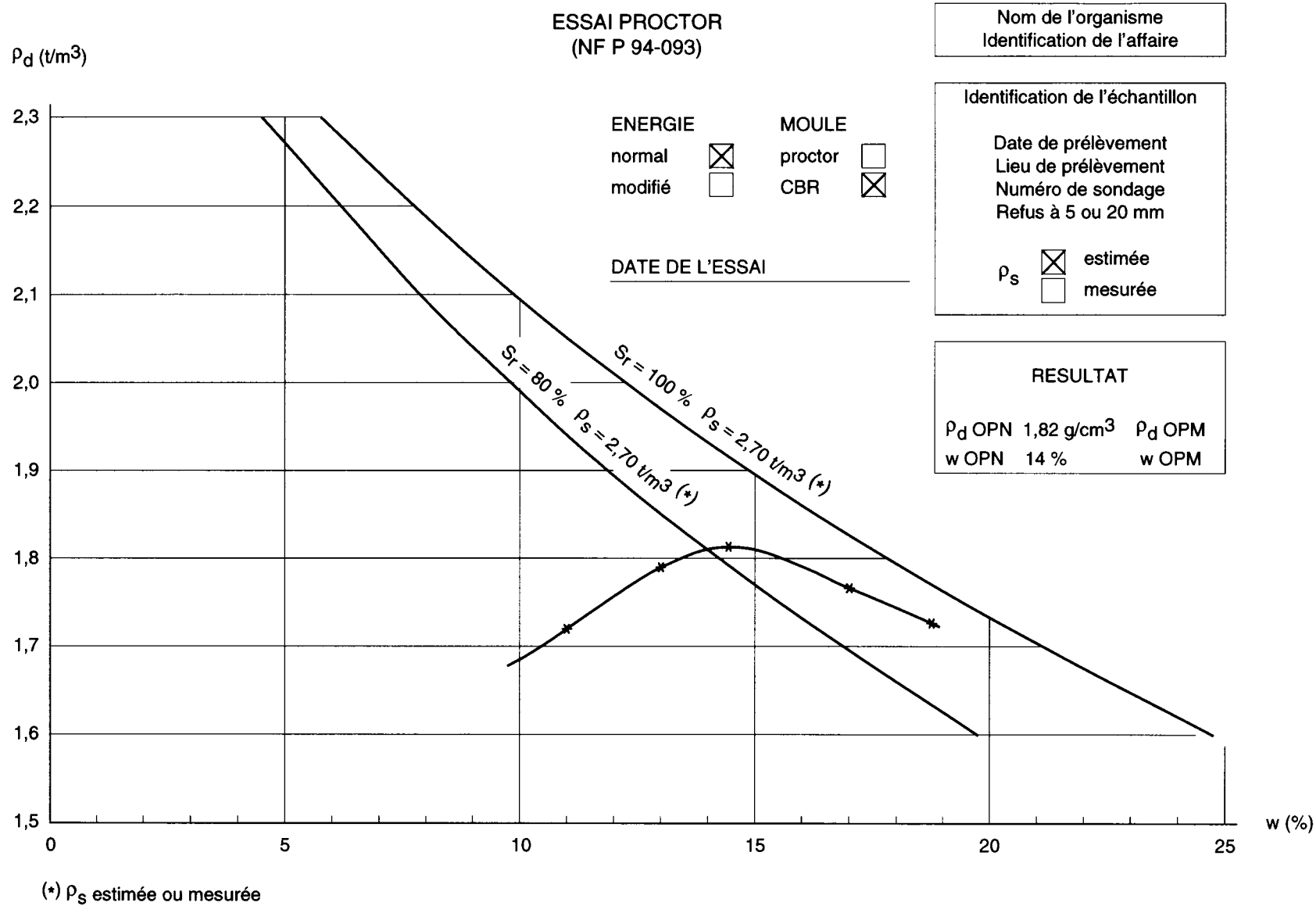


Figure 5 : Exemple de procès-verbal d'essai

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 profondeur(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 ρ_s retenue ;
- le pourcentage de refus éventuel à 20 mm ou à 5 mm ;
- les valeurs :
 - masse volumique sèche ρ_{dOPN} ou ρ_{dOPM} ;
 - 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 ρ_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 écrêtés :

- ne retiennent pas d'eau ;
- occupent un volume $V = \frac{M}{\rho_s}$ (M étant leur masse et ρ_s la masse volumique des particules solides élémentaires considérée généralement égale à 2,70 t/m³) ;
- «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 :

- ρ'_d est la masse volumique sèche OPN (ou OPM) du matériau O/D, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- ρ_d est la masse volumique sèche OPN (ou OPM) déterminée sur la fraction O/20, exprimée en tonnes par mètre cube ;
- ρ_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)

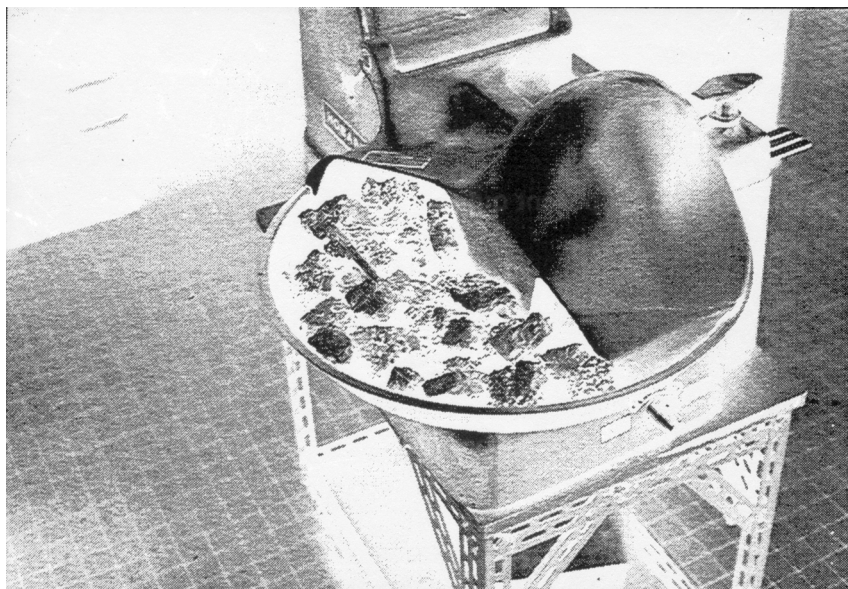
**Exemple de malaxeur à cisaillement rapide
utilisé pour la préparation des matériaux argileux**

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

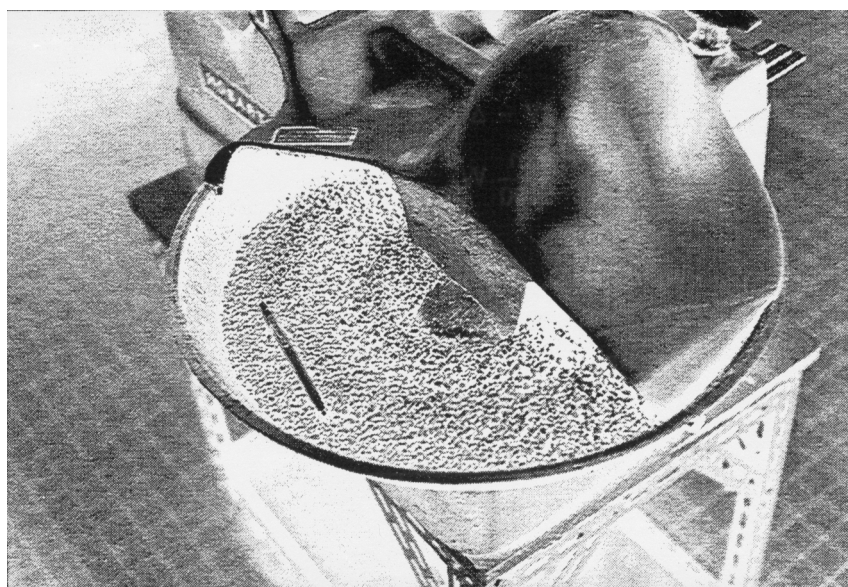


Figure B.2 : État du matériau après quelques secondes d'action du malaxeur