

Guide technique

# Conception et réalisation des terrassements

Fascicule 3 : méthodes d'essais



Guide technique

# Conception et réalisation des terrassements

Fascicule 3 : méthodes d'essais

Le CFTR est une structure fédérative qui réunit les différentes composantes de la communauté routière française afin d'élaborer une expression de l'état de l'art partagée par tous et servant de référence aux professionnels routiers dans les domaines des chaussées, des terrassements et de l'assainissement routier.

Actions principales du CFTR

- établissement de documents exprimant l'état de l'art,
- élaboration d'avis techniques sur l'aptitude à l'emploi de procédés, produits et matériels, ainsi que de documents de qualification pour les matériels,
- délivrance d'agréments pour les laboratoires routiers,
- mise en œuvre de procédures de certification et de conformité aux normes.



Comité français pour les techniques routières  
10 rue Washington 75008 Paris  
téléphone : 33 (0)1 44 13 32 84 - télécopie : 33 (0)1 42 25 89 99  
mél : [cfr@usirf.com](mailto:cfr@usirf.com)  
internet : <http://www.cftr.asso.fr>

Ce guide technique a été rédigé, dans le cadre des activités du comité sectoriel “méthodologie” du Comité français pour les techniques routières (CFTR), par un groupe de travail constitué de représentants du réseau scientifique et technique du ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, des directions techniques des entreprises et des producteurs dans le domaine routier.

Son contenu a fait l'objet d'une enquête de validation auprès des différents adhérents du CFTR.

**Comité de rédaction :**

- Claude Aimé (DTP Terrassement)
- Jean-Claude Auriol (LCPC Nantes)
- Louis Robert Borrel (Entreprise RAZEL)
- Sylvain Brouard (SCETAUROUTE)
- Gérard Chanrion (DDE 34)
- Abel Delfaut (DREIF - LROP)
- Yves Deniel (DDE 28)
- Claude Deschamps (Sétra)
- Catherine Drouaux (Sétra)
- Alain Fèvre (Cete Normandie-Centre - LR de Rouen)
- Pascal Fournier (Conseil général 78)
- Daniel Gandille (Entreprise GUINTOLI)
- Thierry Gosselin (SCETAUROUTE)
- Yves Guerpillon (SCETAUROUTE)
- Hervé Havard (LCPC Nantes)
- Jean-Pierre Joubert (Sétra)
- Michel Kergoët (DREIF - LREP)
- Gilles Lacassy (Cete du Sud-Ouest - LR de Bordeaux)
- Jean-Pierre Lejeune (SCETAUROUTE)
- Vincent Martin (SCETAUROUTE)
- Claude Maury (Entreprise GTM - Construction)
- Thierry Mollier (SCETAUROUTE)
- Marcel Mudet (SNCF)
- Pierre Olivier (Entreprise VALERIAN)
- Michel Peyron (Cete Méditerranée)
- Christophe Poilpré (Entreprise GTS)
- Michel Recourt (Cete Nord-Picardie)
- Pierre Rossi (Entreprise RAZEL)
- Henri-Pierre Robert (DDE 76)

---

**Crédits photos des fiches :**

- Jean-Claude Auriol (LCPC Nantes)
- Michel Kergoët (DREIF - LREP)
- Gilles Lacassy (Cete du Sud-Ouest)



## Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>Fiche N° 1 Analyse granulométrique</b>	<b>7</b>
<b>Fiche N° 2 Teneur en eau</b>	<b>8</b>
<b>Fiche N° 3 Limites d'Atterberg</b>	<b>9</b>
<b>Fiche N° 4 Valeur de bleu d'un sol (VBS)</b>	<b>10</b>
<b>Fiche N° 5 Essai Proctor Normal</b>	<b>11</b>
<b>Fiche N° 6 Indices portants : IPI et I.CBR après immersion</b>	<b>12</b>
<b>Fiche N° 7 Fragmentabilité des matériaux rocheux</b>	<b>13</b>
<b>Fiche N° 8 Dégradabilité des matériaux rocheux</b>	<b>14</b>
<b>Fiche N° 9 Essai Los Angeles</b>	<b>15</b>
<b>Fiche N° 10 Essai d'usure Micro Deval</b>	<b>16</b>
<b>Fiche N° 11 Coefficient de friabilité des sables</b>	<b>17</b>
<b>Fiche N° 12 Masse volumique des particules solides d'un sol</b>	<b>18</b>
<b>Fiche N° 13 Masse volumique sèche d'une roche</b>	<b>19</b>
<b>Fiche N° 14 Essai de réactivité d'une chaux vive</b>	<b>20</b>
<b>Fiche N° 15 Détermination de caractéristiques mécaniques sur carottes</b>	<b>21</b>

<b>Fiche N° 16</b>	<b>Détermination de la qualité de compactage par la méthode e-Q/s</b>	<b>22</b>
<b>Fiche N° 17</b>	<b>Mesure de la masse volumique d'un matériau en place : essai à la bêche</b>	<b>23</b>
<b>Fiche N° 18</b>	<b>Mesure de masse volumique au gammadensimètre</b>	<b>24</b>
<b>Fiche N° 19</b>	<b>Mesure de la masse volumique apparente par diagraphie à la double sonde gamma</b>	<b>25</b>
<b>Fiche N° 20</b>	<b>Essai à la plaque</b>	<b>26</b>
<b>Fiche N° 21</b>	<b>Mesure du module de déformation dynamique à la dynaplaque</b>	<b>27</b>
<b>Fiche N° 22</b>	<b>Mesure du module de déformation dynamique au portancemètre</b>	<b>28</b>
<b>Fiche N° 23</b>	<b>Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante (poutre Benkelman, deflectographe)</b>	<b>29</b>
<b>Fiche N° 24</b>	<b>Mesure de l'épandage des liants à la bêche ou au bac</b>	<b>30</b>
<b>Fiche N° 25</b>	<b>Contrôle de la qualité de compactage au pénétromètre dynamique à énergie constante</b>	<b>31</b>
<b>Fiche N° 26</b>	<b>Evaluation du moment d'excentrique d'un compacteur</b>	<b>32</b>
<b>Fiche N° 27</b>	<b>Évaluation de la pression de contact au sol d'un compacteur à pneumatiques</b>	<b>33</b>
<b>Fiche N° 28</b>	<b>Compacteurs - Vérification de l'étalonnage des contrôlographes</b>	<b>34</b>
<b>Fiche N° 29</b>	<b>Contrôle de l'épandage d'un produit de traitement (méthode par pesée de l'épandeur)</b>	<b>35</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	<b>37</b>
	<b>Normes relatives à la terminologie, aux méthodes, aux essais et aux matériels</b>	<b>39</b>



## Introduction

Le guide « Conception et réalisation des terrassements » a pour but d'aider et de conseiller le maître d'œuvre pendant l'élaboration du projet jusqu'à la réalisation des travaux de terrassements.

Il se compose de 3 fascicules indépendants :

- fascicule 1 : études et exécution des travaux ;
- fascicule 2 : organisation des contrôles ;
- le présent fascicule 3 : méthodes d'essais.



Les fiches techniques présentées dans ce fascicule « méthodes d'essais » synthétisent les connaissances de base relatives aux principaux essais, appareils et méthodes couramment employés dans le contrôle des travaux de terrassements. Pour plus de détail dans leur application, se référer obligatoirement aux normes indiquées sur chacune d'entre elles. Les essais décrits peuvent également être utilisés, dans des cas spécifiques, pour d'autres champs d'application que les contrôles.

Ces fiches sont réparties en trois groupes :

- contrôle d'identification des matériaux ;
- contrôle de mise en œuvre ;
- contrôle de matériels.

Elles comportent les rubriques suivantes :

- objet ;
- domaine d'application ;
- principe de l'essai ;
- expression des résultats ;
- interprétation ;
- particularités et délai de réponse.



### Contrôle d'identification des matériaux :

Fiche N°	Objet	Norme
1	Analyse granulométrique	NF P 94-056
2	Teneur en eau	NF P 94-050
3	Limites d'Atterberg : $W_L$ , $W_p$ , $I_p$ et $I_C$	NF P 94-051
4	Valeur au bleu de méthylène d'un sol (VBS)	NF P 94-068
5	Essai Proctor normal	NF P 94-093
6	Indices IPI et CBR immersion	NF P 94-078
7	Fragmentabilité des matériaux rocheux	NF P 94-066
8	Dégradabilité des matériaux rocheux	NF P 94-067
9	Essai Los Angeles	NF EN 1097 - 2
10	Essai d'usure Micro Deval en présence d'eau	NF EN 1097 - 1
11	Coefficient de friabilité des sables	P 18-576
12	Masse volumique des particules solides d'un sol	NF P 94-054
13	Masse volumique sèche d'une roche	NF P 94-064
14	Essai de réactivité d'une chaux vive	NF P 98-102
15	Détermination de caractéristiques mécaniques sur carottes	NF P 98-232-3 NF EN 13286-41 42 43

### Contrôle de mise en œuvre :

Fiche N°	Objet	Norme
16	Détermination de la qualité de compactage par la méthode du Q/s	-
17	Mesure de la masse volumique d'un matériau grossier en place	NF P 94-061-4
18	Mesure de la masse volumique au gammadensimètre	NF P 94-061-1
19	Mesure de la masse volumique par diagraphie à la double sonde gamma	NF P 94-062
20	Mesure du module sous chargement statique à la plaque	NF P 94-117-1
21	Mesure du module de déformation dynamique à la dynaplaque	NF P 94-117-2
22	Mesure du module de déformation dynamique au portancemètre	-
23	Mesure de la déflexion (poutre Benkelman, déflectographe)	NF P 98-200-1 à 4
24	Mesure de l'épandage des liants à la bêche et au bac	-
25	Contrôle de la qualité de compactage au pénétromètre dynamique	XP P 94-063

### Contrôle de matériels :

Fiche N°	Objet	Norme
26	Evaluation du moment d'excentrique des compacteurs	NF P 98-761
27	Evaluation de la pression de contact au sol des compacteurs à pneumatiques	NF P 98-760
28	Vérification de l'étalonnage des contrôlographes des compacteurs	-
29	Contrôle de l'épandage d'un produit de traitement par pesée de l'épandeur	-

Enfin un référentiel bibliographique précise les principaux documents techniques de base et textes normatifs applicables au contrôle de l'exécution des travaux de terrassements.

## Objet

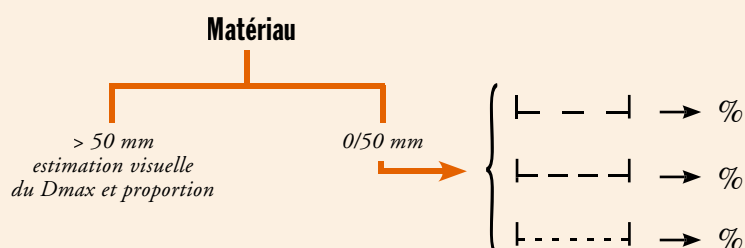
Établir la répartition pondérale des éléments granulaires d'un matériau.

## Domaine d'application

Fraction d'un matériau comprise entre 80  $\mu\text{m}$  et 50 mm. Pour les éléments inférieurs à 80  $\mu\text{m}$ , on se reportera à la norme NF P 94-057 (méthode par sédimentation) et pour les éléments supérieurs à 50 mm, le GTR préconise une estimation visuelle.

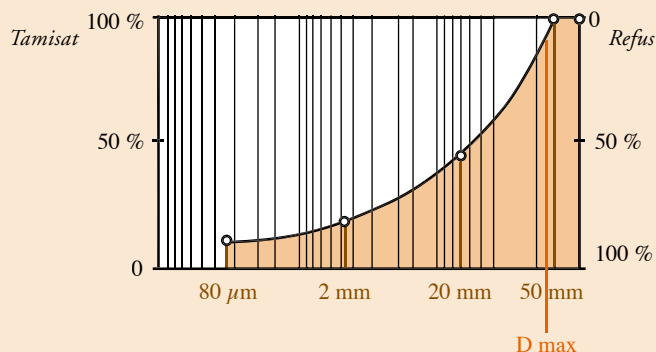
## Principe de l'essai

L'essai consiste à séparer par brassage sous l'eau, les grains agglomérés, puis une fois séchés, à les classer au moyen d'une série de tamis et à peser le refus cumulé sur chaque tamis. La masse cumulée des refus sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche en vue de calculer par différence le pourcentage de passant (tamisat).



## Expression des résultats

La répartition pondérale des éléments est représentée par une courbe granulométrique dans un repère semi logarithmique.



Exemple de courbe d'analyse granulométrique

## Interprétation

- 50 mm : séparation entre les sols grossiers (blocailloux) et sols fins, sableux, graveleux.
- 2 mm : séparation entre les sols graveleux et sableux.
- Passant à 80  $\mu\text{m}$  : ce seuil donne le pourcentage de fines et contribue à évaluer leur sensibilité à l'eau.
- 20 mm : seuil maximal permettant de réaliser un essai Proctor.
- 0/50 mm : fraction de référence des essais d'identification permettant le classement selon le GTR.
- $D_{\text{max}}$  : ce paramètre est déterminant pour évaluer l'épaisseur des couches à compacter, les conditions de réglage et de malaxage, ainsi que la sensibilité à la ségrégation.

## Particularités de l'essai et délai de réponse

La masse de l'échantillon à tester est fonction du  $D_{\text{max}}$  (pour  $D_{\text{max}} = 50$  mm, la masse minimum sera de 20 kg alors qu'elle n'est que de 300 g pour un  $D_{\text{max}}$  de 5 mm).

Plus les matériaux sont argileux, plus la durée de trempage et brassage du sol est longue.

Délai : 6 à 48 heures.



NF P 94 050 : Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Méthode par étuvage

## Objet

Déterminer la teneur en eau d'un matériau.

## Domaine d'application

Tous les matériaux cités par la norme NF P 11-300 et le GTR.

## Principe de l'essai

L'échantillon de matériau humide est pesé, puis placé dans une étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (correspondant alors à la masse du matériau sec).

## Expression des résultats

La teneur en eau (W) est égale à :  $W = \frac{\text{masse d'eau évaporée}}{\text{masse matériau sec}}$  exprimée en %.

## Interprétation

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

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

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

avec  $W_L$  limite de liquidité

$I_p$  indice de plasticité

$W_n$  teneur en eau naturelle de la fraction 0/400  $\mu\text{m}$

Elle permet également :

- de déterminer la masse volumique sèche d'un matériau à partir de sa masse volumique humide ;
- d'estimer les quantités d'eau nécessaires pour l'adaptation de l'état hydrique ;
- de réaliser le dosage en chaux adapté au traitement d'un matériau humide.

## Particularités et délai de réponse

La masse de l'échantillon à tester dépend du  $D_{\text{max}}$  du matériau (exemple : pour un 0/5 mm 500 g et 20 kg pour un 0/50 mm).

Lorsqu'il y a présence de minéraux sensibles à la chaleur, la mesure est faite à 50°C au lieu de 105°C.

Deux autres méthodes existent : NF P 94-049-1 Méthode de la dessiccation au four à micro ondes,

NF P 94-049-2 Méthode à la plaque chauffante ou panneaux rayonnants.

Ces 2 méthodes demandent un étalonnage avec la norme NF P 94-050 pour les matériaux argileux.

Délai : 6 à 24 heures en moyenne et jusqu'à 72 heures lorsque le matériau est sensible à la chaleur.

# Limites d'Atterberg

Fiche N° 3

NF P 94-051 : Détermination des limites d'Atterberg : limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau.

## Objet

Caractériser « l'argilosité » d'un sol.

## Domaine d'application

Cet essai s'applique généralement sur les sols comportant un pourcentage de fines (80  $\mu\text{m}$ ) supérieur à 35 %.

La détermination de l'argilosité d'un sol par les limites d'Atterberg plutôt que par l'essai VBS est à privilégier dès que le sol est argileux à très argileux.

## Principe de l'essai

L'essai s'effectue sur la fraction 0/400  $\mu\text{m}$  en 2 phases :

- détermination de la teneur en eau  $W_L$  pour laquelle une rainure pratiquée dans une coupelle se ferme, suite à des chocs répétés pour un nombre de coups donnés (cette limite de liquidité correspond à une résistance à un cisaillement conventionnel) ;
- détermination de la teneur en eau  $W_p$  pour laquelle un rouleau de sol se fissure (cette limite de plasticité correspond à une résistance à la traction conventionnelle).



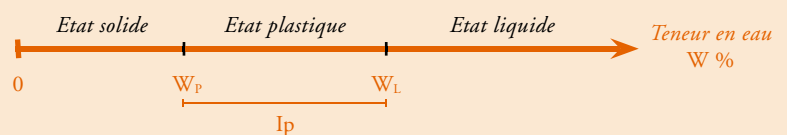
$W_L$  : réalisation de la rainure



$W_p$  : réalisation du rouleau de sol

## Expression des résultats

- limite de liquidité  $W_L$  (%)
- limite de plasticité  $W_p$  (%)
- indice de plasticité  $I_p = W_L - W_p$



## Interprétation

Le GTR retient les seuils suivants :



Les limites d'Atterberg permettent de calculer l'indice de consistance qui caractérise l'état hydrique d'un sol (dans le cas des sols fins moyennement à très argileux comportant au moins 80 à 90 % d'éléments  $\leq 400 \mu\text{m}$ ) :

$$I_c = \frac{W_L - W_n}{I_p} \quad \text{avec } W_n : \text{teneur en eau naturelle de la fraction } 0/400 \mu\text{m}.$$

$$I_c = 0 \quad \text{si } W_n = W_L, \text{ matériau à l'état liquide.}$$

$$I_c = 1 \quad \text{si } W_n = W_p, \text{ matériau à l'état solide.}$$

## Particularités et délai de réponse

Cet essai demande un « coup de main » de l'opérateur, notamment pour la détermination de la limite de plasticité.

Il existe une autre méthode pour déterminer la limite de liquidité : NF P 94-052-1 détermination des limites d'Atterberg - limite de liquidité, méthode du cône de pénétration.

Délai : 3 à 5 jours

# Valeur de bleu d'un sol (VBS)

Fiche N° 4

*NF P 94-068 : 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.*

## Objet

Caractériser « l'argilosité » d'un matériau.

## Domaine d'application

Cet essai concerne les sols et certains matériaux rocheux. Toutefois, pour les matériaux les plus argileux, on privilégiera la réalisation des limites d'Atterberg (Ip).

## Principe de l'essai

L'essai consiste à doser la quantité de bleu de méthylène adsorbée par la fraction 0/5 mm du matériau mise en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée à la fraction 0/50 mm du matériau.



Ensemble du matériel d'essai



Réalisation de taches à dosage croissant



Auréole bleue apparaissant à la périphérie de la tache (fin de l'adsorption du bleu)

## Expression des résultats

La valeur de bleu du sol est donnée par :  $VBS = \frac{B}{ms} \times C \times 100$  (exprimé en g de bleu pour 100 g de matériau sec).

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

ms : masse sèche de la prise d'essai.

C : proportion du 0/5 mm (soumis à l'essai) dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.

## Interprétation

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

Le GTR a retenu 6 seuils :

- 0,1 : seuil d'insensibilité à l'eau (si tamisat à  $80 \mu\text{m} \leq 12 \%$ ).
- 0,2 : seuil au-dessus duquel apparaît à coup sûr la sensibilité à l'eau.
- 1,5 : seuil entre les sols sablo-limoneux et sablo-argileux.
- 2,5 : seuil entre les sols limoneux peu plastiques et les sols limoneux de plasticité moyenne.
- 6 : seuil entre les sols limoneux et argileux.
- 8 : seuil entre les sols argileux et très argileux.

## Particularités et délai de réponse

La préparation et la conservation de la solution de bleu de méthylène doivent faire l'objet de précautions particulières. Les résultats peuvent être aussi influencés par certains constituants chimiques (matières organiques...).

Délai : 4 à 24 heures.

# Essai Proctor Normal

Fiche N° 5

NF P 94-093 : Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor normal et modifié

## Objet

Déterminer la masse volumique optimale sèche d'un matériau ( $\rho_{dOPN}$ ) et sa teneur en eau correspondante.

## Domaine d'application

Cet essai s'applique sur la fraction inférieure à 20 mm de la plupart des matériaux définis dans la norme NF P 11-300.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à humidifier un matériau à au moins cinq teneurs en eau et à le compacter dans un moule selon un procédé et une énergie normalisés. On détermine pour chaque teneur en eau la masse volumique sèche du matériau.

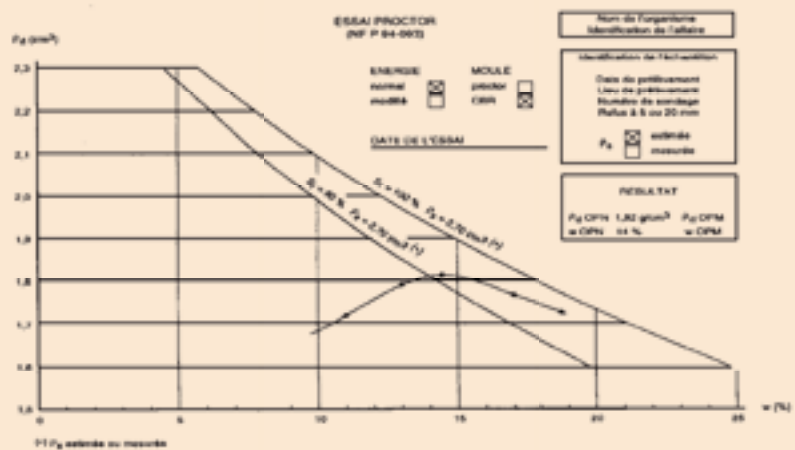


## Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée, il convient de déterminer la teneur en eau, la masse de matériau sec contenu dans le moule et la masse volumique du matériau sec.

Les valeurs des masses volumiques du matériau sec et des teneurs en eau correspondantes sont portées sur un graphique. On trace ensuite la courbe ajustée sur les cinq points expérimentaux.

Le maximum de la courbe donne la masse volumique sèche optimum ( $\rho_{dOPN}$  en  $t/m^3$ ) et la teneur en eau optimum Proctor ( $W_{OPN}$  en %).



Exemple de courbe Proctor

## Interprétation

La courbe  $\rho_d = f(W)$  permet d'apprécier le comportement au compactage du matériau en fonction de la teneur en eau. On peut également caractériser l'état hydrique d'un matériau par l'écart relatif entre sa teneur en eau avec celle de son OPN ( $W/W_{OPN}$ )

L'utilisation des références de compactage du matériau ( $\rho_{dOPN}$  et  $W_{OPN}$ ) n'est possible que lorsque la proportion d'éléments supérieurs à 20 mm est inférieure à 30 %.

## Particularités et délai de réponse

L'humidification constitue la phase la plus délicate de l'essai, notamment l'estimation du temps d'imbibition du matériau selon son argilosité.

La quantité minimale de matériau sec nécessaire à l'essai est comprise entre 15 kg et 50 kg selon le  $D_{max}$  du matériau et la taille du moule utilisé (moules Proctor ou CBR).

Délai : 24 heures à 72 heures selon l'argilosité du matériau.

# Indices Portants : IPI et I.CBR après immersion

Fiche N° 6

NF P 94-078 : Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat -  
Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR

## Objet

Déterminer l'indice portant d'un échantillon de sol compacté dans un moule CBR avec une énergie Proctor Normal.

## Domaines d'application

Cet essai s'applique sur la fraction inférieure à 20 mm de la plupart des matériaux définis dans la norme NF P 11-300.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à poinçonner l'échantillon de matériau compacté par pénétration d'un poinçon cylindrique à vitesse constante (1,27 mm/min). On relève les valeurs des forces correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5 mm. On rapporte ces valeurs à celles obtenues sur un matériau de référence pour en déduire la valeur de l'Indice Portant recherché.

L'Indice Portant Immédiat (IPI) est obtenu lorsque l'on effectue l'essai de poinçonnement, sans surcharge, aussitôt après la confection de l'éprouvette.

L'Indice CBR immersion (I.CBRi) est mesuré après 4 jours d'immersion dans l'eau. Dans ce cas, l'éprouvette est recouverte de surcharges permettant de frotter la surface de l'échantillon et l'on mesure le gonflement linéaire de l'éprouvette.



## Expression des résultats

On calcule 
$$\frac{\text{force de pénétration à 2,5 mm (en kN)} \times 100}{13,35}$$
 
$$\frac{\text{force de pénétration à 5 mm (en kN)} \times 100}{19,93}$$

L'indice recherché est la plus élevée des deux valeurs.

## Interprétation

### IPI

Cet indice est utilisé pour caractériser l'état hydrique « moyennement » à « très humide » d'un sol sensible à l'eau. En outre, il est nécessaire de connaître préalablement la classification de ce sol en nature (les limites d'état variant en fonction de la granularité et de l'argilosité des sols).

Dans le cas des études de traitement de sol pour emploi en remblai ou PST, les IPI obtenus doivent encadrer la valeur seuil recherchée. Cette valeur dépend de la classification du sol et du type d'ouvrage.

L'IPI permet d'apprécier la traficabilité d'un matériau.

### IPI et I.CBRi

La pérennité du traitement d'une PST est assurée quand 
$$\frac{\text{I.CBRi}}{\text{IPI}} \geq 1$$

## Particularités de l'essai et délai de réponse

Les indices portants peuvent être déterminés sur des éprouvettes confectionnées pour l'essai Proctor Normal

Délai : de 1 heure (IPI) à 4 jours (I.CBRi)



# Dégradabilité des matériaux rocheux

Fiche N° 8

NF P 94-067 : Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux

## Objet

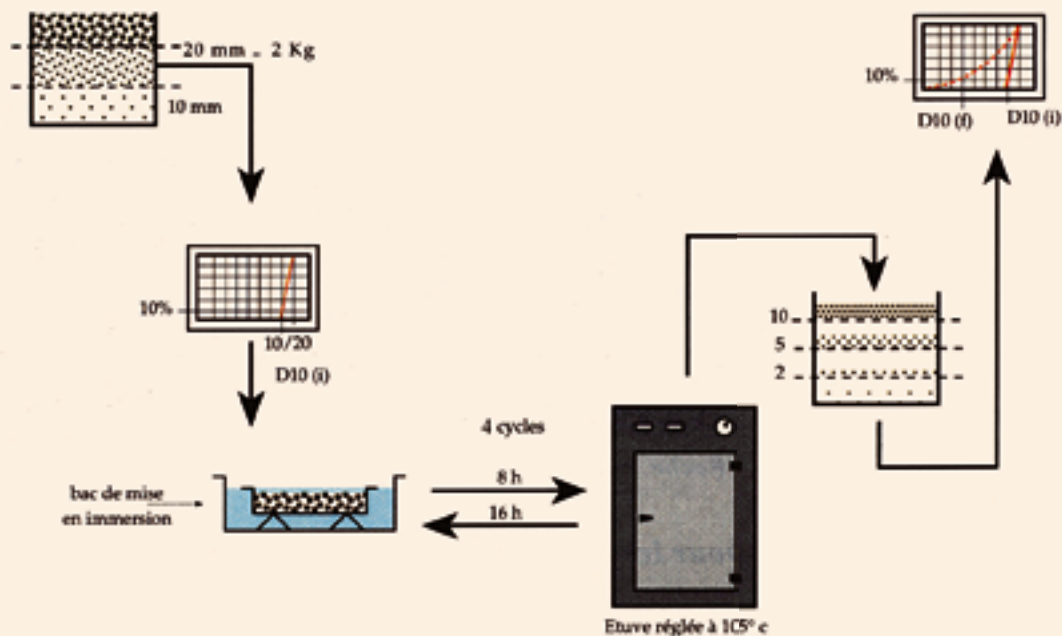
Déterminer l'aptitude d'un matériau rocheux à se dégrader sous l'action combinée des agents climatiques ou hydrogéologiques (gel, cycles imbibition-séchage) et des contraintes mécaniques.

## Domaine d'application

La dégradabilité est un critère d'identification retenu par le GTR pour préciser le classement des roches argileuses (R3).

## Principe de l'essai

L'essai consiste à déterminer la réduction du  $D_{10}$  (dimension des grains en mm en dessous de laquelle se situe 10 % de la masse d'un matériau granulaire) d'un échantillon  $d/D$  donné soumis à quatre cycles imbibition-séchage conventionnels.



## Expression des résultats

Le coefficient de dégradabilité DG est égal à : 
$$DG = \frac{D_{10} \text{ du matériau avant le 1}^{\text{er}} \text{ cycle imbibition - séchage}}{D_{10} \text{ du matériau après le 4}^{\text{e}} \text{ cycle imbibition - séchage}}$$

## Interprétation

Ce paramètre vise essentiellement les possibilités d'emploi en remblai des matériaux issus de roches argileuses.

Le GTR a retenu les 2 seuils de 5 et 20 pour classer les roches argileuses :

- $DG > 20$  matériau rocheux très dégradé
- $5 < DG \leq 20$  matériau moyennement dégradé
- $DG \leq 5$  matériau rocheux peu dégradé.

## Particularités et délai de réponse

L'essai est réalisé sur la fraction 10/20 mm du matériau à l'exception des schistes argileux pour lesquels on retient la fraction 40/80 mm.

Essai long.

Délai : 1 semaine

## Objet

Mesure de la résistance d'une fraction granulaire à la fragmentation par chocs.

## Domaine d'application

Granulats d'origine naturelle ou artificielle.

La résistance à la fragmentation est un critère de classification des sols granulaires et matériaux rocheux.

## Principe de l'essai

Une fraction d/D du matériau est soumise à des chocs provoqués par la chute de boulets dans une machine cylindrique en rotation.



Machine Los Angeles



Matériau avant essai



Matériau après essai

## Expression des résultats

Le coefficient Los Angeles LA est égal à  $100 \times \frac{\text{masse sèche (g) du tamisat à 1,6 mm après essai}}{5000}$

## Interprétation

LA est l'un des indicateurs permettant de juger la résistance au trafic de chantier des matériaux granulaires non traités utilisés en couche de forme.

La limite supérieure préconisée pour cet usage est LA = 45.

## Particularités et délai de réponse

La fraction soumise à essai peut être la fraction 4/6,3 ; 6,3/10 ou 10/14 du matériau.

On retiendra en général la fraction prépondérante du matériau concerné.

Délai : une demie journée (hors préparation de la fraction soumise à essai).



# Essai d'usure Micro Deval

Fiche N° 10

NF EN 1097-1 : Granulats - Essai d'usure Micro Deval

## Objet

Mesure de la résistance à l'usure d'une fraction granulaire.

## Domaine d'application

Granulats d'origine naturelle ou artificielle.  
La résistance à l'usure est un critère de classification des sols granulaires et des matériaux rocheux.

## Principe de l'essai

Une fraction d/D du matériau est soumise à une usure produite par frottements réciproques des grains en présence d'eau et d'une charge de billes dans un cylindre en rotation.



Appareil micro-Deval



Matériau avant essai



Matériau après essai

## Expression des résultats

Le coefficient micro-Deval  $M_{DE}$  est égal à

$$100 \times \frac{\text{masse sèche (g) du tamisat à 1,6 mm après essai}}{500}$$

## Interprétation

$M_{DE}$  est l'un des indicateurs permettant de juger la résistance au trafic de chantier des matériaux granulaires non traités utilisés en couche de forme.

La limite supérieure préconisée pour cet usage est  $M_{DE} = 45$ .

## Particularités et délai de réponse

La fraction soumise à essai peut être la fraction 4/6,3 ; 6,3/10 ou 10/14 du matériau.

On retiendra en général la fraction prépondérante du matériau concerné.

Délai : une demie journée (hors préparation de la fraction soumise à essai).

P 18-576 : Granulats - Mesure du coefficient de friabilité des sables

## Objet

Déterminer la résistance à la fragmentation d'un sable.

## Domaine d'application

La friabilité est un critère d'identification retenu par le GTR pour préciser le classement des sables D1, B1 et B2 pour un emploi en couche de forme.

## Principe de l'essai

Mesurer l'évolution granulométrique d'une fraction du sable (0,2 - 2 mm ou 0,2 - 4 mm) produite par fragmentation dans un cylindre en rotation en présence d'eau et d'une charge broyante (billes métalliques).



Exemple d'appareil utilisable pour la mesure du FS

## Expression des résultats

Le coefficient de friabilité des sables  $F_S$  est égal à :

$$F_S = 100 \times \frac{\text{masse sèche (g) des éléments inférieurs à 0,1 mm produits durant l'essai}}{500}$$

## Interprétation

$F_S$  est l'un des indicateurs permettant de juger la résistance au trafic de chantier des matériaux sableux non traités utilisés en couche de forme.

La limite supérieure préconisée pour cet usage est  $F_S = 60$ .

## Particularités de l'essai et délai de réponse

L'essai est réalisé sur la fraction 0,2 - 2 mm ou 0,2 - 4 mm. On retiendra en général la fraction prépondérante du matériau concerné.

Délai : une demie journée (hors préparation de la fraction soumise à l'essai).

# Masse volumique des particules solides d'un sol

Fiche N° 12

*NF P 94-054 : Détermination de la masse volumique des particules solides d'un sol - Méthode du pycnomètre à eau*

## Objet

Déterminer la masse volumique moyenne des particules solides de sol.

## Domaine d'application

Cet essai s'applique à tout échantillon de sol dont la dimension des plus gros éléments est inférieure à 2 mm.

La masse volumique des particules solides d'un sol est utilisée pour déterminer l'indice des vides, le degré de saturation et la porosité.

## Principe de l'essai

L'essai comporte :

- d'une part la détermination de la masse des particules solides par pesée ;
- d'autre part la mesure du volume de ces particules (obtenu par pesée du pycnomètre avec le matériau immergé et totalement désaéré et en faisant la différence avec la masse du pycnomètre uniquement rempli d'eau).



*Pycnomètre avec le matériau immergé*

## Expression des résultats

La masse volumique sèche  $\rho_s$  est égale à la masse sèche des particules solides divisé par le volume de ces particules. Elle est exprimée en  $t/m^3$ .

## Interprétation

La valeur de  $\rho_s$  est essentiellement utilisée pour :

- situer la courbe Proctor par rapport aux courbes de degré de saturation ;
- pour calculer la porosité ou l'indice des vides d'un matériau.

## Particularités et délai de réponse

Les agglomérats de particules de la prise d'essai doivent être préalablement séparés délicatement au pilon dans un mortier.

Cet essai est peu utilisé pour les terrassements.

Délai : une demi-journée au maximum (hors préparation du matériau).

# Masse volumique sèche d'une roche

Fiche N° 13

NF P 94-064 : Masse volumique sèche d'une roche - Méthode par pesée hydrostatique

## Objet

Déterminer la masse volumique sèche d'un élément de roche.

## Domaine d'application

La masse volumique sèche d'une roche est un critère d'identification retenu par le GTR pour la classification des craies et de certaines roches calcaires (matériaux R1 et R2 de la norme NF P11-300).

## Principe de l'essai

L'essai consiste après avoir préalablement séché l'échantillon de roche à 105°C, à le paraffiner et à déterminer d'une part sa masse par pesée classique et d'autre part son volume par pesée hydrostatique.



*Pesée de l'échantillon puis de l'échantillon paraffiné*



*Pesée hydrostatique (échantillon immergé)*

## Expression des résultats

La masse volumique sèche  $\rho_d$  est égale à la masse sèche de l'échantillon divisée par le volume de l'échantillon. Elle est exprimée en  $t/m^3$ .

## Interprétation

Ce paramètre qui présente l'avantage d'être aisément mesurable, est en corrélation étroite avec la fragmentabilité des matériaux tels que les craies et les calcaires tendres. Son interprétation vise essentiellement les possibilités d'emploi de ces matériaux en remblais.

Les valeurs de  $\rho_d$  permettent de différencier :

- les craies denses ( $\rho_d > 1,7 t/m^3$ )
- les craies de densité moyenne ( $1,5 < \rho_d \leq 1,7 t/m^3$ )
- les craies peu denses ( $\rho_d \leq 1,5 t/m^3$ )
- les calcaires fragmentables ( $\rho_d \leq 1,8 t/m^3$ ) des calcaires de densité moyenne et/ou dur.

## Particularités et délai de réponse

Essai simple.

Délai : inférieur à 24 heures.

# Essai de réactivité d'une chaux vive

Fiche N° 14

NF P 98-102 : Chaux aérienne calcique pour sols et routes - Essai de réactivité de la chaux vive à l'eau

## Objet

Déterminer une caractéristique globale de qualité d'une chaux aérienne calcique fondée sur un essai d'hydratation.

## Domaine d'application

Cet essai s'applique uniquement à la chaux aérienne calcique et vive pour un emploi en traitement des sols.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à mettre en présence une quantité de chaux vive avec un large excès d'eau dans un vase thermostatique et à mesurer l'élévation de température de la solution en fonction du temps.

Cette élévation résulte de la réaction fortement exothermique d'hydratation de l'oxyde de calcium ( $\text{CaO}$ ) en hydroxyde de calcium ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).



Matériel d'essai  
(Vase thermostatique,  
agitateur, thermomètre)

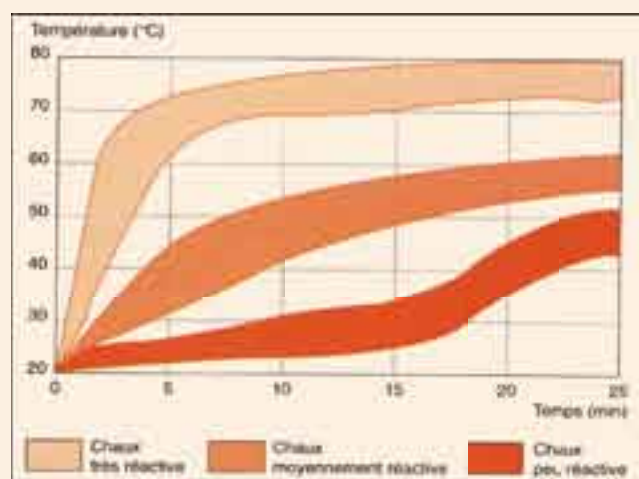
## Expression des résultats

Le résultat se traduit par un graphique donnant l'élévation de la température en fonction du temps et la température maximale atteinte.

## Interprétation

Cet essai représente un test global de la qualité de la chaux car prenant en compte le taux de chaux libre, la qualité de la cuisson et la finesse de broyage.

La valeur seuil retenue est une température minimale de  $60^\circ\text{C}$  atteinte en moins de 25 minutes.



## Particularités et délai de réponse

Essai simple et rapide.

Délai : inférieur à 1 heure.

# Détermination de caractéristiques mécaniques sur carottes

Fiche N° 15

NF EN 13286-41 : Essai de compression simple, 42 - Essai de traction indirecte, 43 - Détermination du module d'élasticité  
NF P 98-232-3 : Essai de compression diamétrale

## Objet

Déterminer la résistance et le module en compression simple ainsi que la résistance en traction indirecte (essai de compression diamétrale ou essai Brésilien) de carottes prélevées sur chantier.

## Domaine d'application

Ces essais s'appliquent aux carottes de matériaux traités aux liants hydrauliques utilisés en particulier en couche de forme.

## Principe de l'essai

L'essai de compression simple consiste à soumettre la carotte de matériau traité à une sollicitation en compression par l'intermédiaire d'une presse jusqu'à rupture de la carotte. Pendant l'essai, on enregistre la contrainte et la déformation en vue de la détermination de la résistance et du module élastique.

L'essai Brésilien consiste à soumettre la carotte de matériau traité à une compression diamétrale par l'intermédiaire d'une presse jusqu'à la rupture.

On note alors la valeur de la force appliquée à la rupture.



Essai de compression simple



Essai Brésilien

## Expression des résultats

La résistance à la compression simple  $R_c$  est égale à la contrainte atteinte au moment de la rupture. Cette contrainte est le rapport entre la force appliquée à la rupture et la surface de la section de la carotte. Elle s'exprime en MPa.

Le module élastique  $E_{30c}$  (exprimé en MPa) se détermine en calculant la pente de la droite reliant l'origine au point d'ordonnée égale à  $0,3 R_c$  de la courbe contrainte - déformation.

La résistance en compression diamétrale  $R_{tb}$  (exprimée en MPa) est égale à  $2 \cdot 10^{-2} F_r / \pi \cdot \varnothing \cdot h$

Avec  $F_r$  = force appliquée à la rupture en Newtons

$\varnothing$  = diamètre de la carotte en cm

$h$  = hauteur de la carotte en cm.

Dans certains cas, on peut également déterminer le module  $E_{tb}$  (exprimé en MPa) dont le mode de calcul est donné dans la norme NF P 98-232-3 ou la NF EN 13286-43.

## Interprétation

Ces caractéristiques mécaniques sont utilisées comme essais d'information pour le contrôle qualité des couches de forme traitées aux liants hydrauliques.

## Particularités et délai de réponse

Pour permettre une bonne exécution du carottage, on réalise en général les prélèvements après un délai de cure d'au moins 28 jours. En effet, les caractéristiques géométriques et l'état de la surface latérale de la carotte sont des paramètres essentiels pour la qualité des essais.

Il est souvent utile de déterminer avant essai le gradient de masse volumique sèche des carottes (banc gamma).

En cas de carottage et/ou de sciage à l'eau, il est souhaitable d'attendre le rééquilibrage hydrique de la carotte avant de procéder aux essais.

Le module  $E_{30c}$  est assimilé au module en traction directe  $E_{30t}$  pris comme référence pour le classement mécanique des matériaux traités (GTR, GTS).

Dans le cas où l'on souhaite utiliser la même carotte pour déterminer  $E_{30c}$  et  $R_{tb}$ , il est impératif de ne pas solliciter la carotte en compression simple au delà d'une estimation de 30 % de la contrainte de rupture (cette estimation doit être déduite d'un essai  $R_c$  sur une carotte de la série).

Délai : 2 heures environ hors carottage.

# Détermination de la Qualité de Compactage par la méthode e-Q/S

Fiche N° 16

## Objet

Déterminer la qualité globale de compactage par contrôle de l'épaisseur des couches et des modalités d'utilisation des engins de compactage.

## Domaine d'application

Compactage des remblais et des couches de forme.

## Principe de l'essai

Soit  $e$  l'épaisseur (en m) de la couche compactée,

soit  $Q/S$  le rapport, exprimé en  $m^3/m^2$ , entre le volume  $Q$  de sol compacté pendant un temps donné et la surface  $S$  balayée par le compacteur.

A l'aide de la classification des sols, en nature et en état hydrique, et de celle des engins de compactage, le GTR fournit les valeurs de référence  $e$  et  $Q/S$  à adopter, en fonction de l'usage des matériaux et de l'intensité de compactage requise.

Sur le chantier, on estime l'épaisseur des couches, les volumes de matériaux et on détermine, à l'aide du (des) disque(s) enregistré(s) par le (les) contrôlographe(s) équipant le(s) compacteur(s), les surfaces couvertes par les engins de compactage. L'unité de temps retenue est en général la journée. On contrôle également les caractéristiques de fonctionnement des compacteurs : vitesse et vibration pour les compacteurs vibrants.

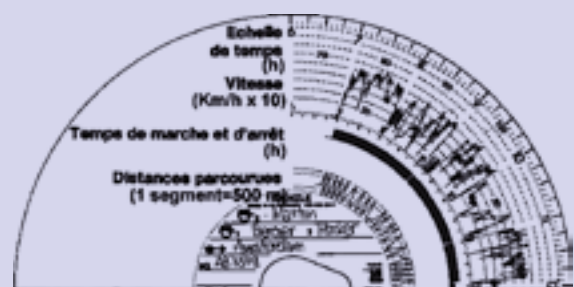
Ces valeurs sont comparées aux valeurs de référence données par le GTR.

## Expression des résultats

Un tableau récapitulatif comportant :

- L'identification des sols en nature et en état ;
- L'estimation de l'épaisseur des couches ;
- L'estimation des volumes compactés par comptage des engins de transport ou levés topographiques ;
- La détermination des surfaces couvertes par les compacteurs par exploitation des disques du contrôlographe (distance parcourue x largeur de compactage) ;
- La détermination de la vitesse de travail par l'exploitation des disques du contrôlographe ;
- Le calcul du rapport  $Q/S$ .

Les différents disques seront joints au tableau récapitulatif.



Disque du contrôlographe

## Interprétation

	Intensité	Epaisseur	$Q/s$	Vitesse
Remblai	Faible	$e_{\text{mesurée}} = e_{\text{GTR}} \pm 15\%$	$Q/S_{\text{mesurée}} = Q/S_{\text{GTR}} \pm 20\%$	Vibrants, pneu : $V_{\text{mesurée}} \leq V_{\text{GTR}}$
	Moyenne Intense	$e_{\text{mesurée}} \leq e_{\text{GTR}}$	$Q/S_{\text{mesurée}} \leq Q/S_{\text{GTR}}$	Pieds dameurs statique et autres compacteurs :
Couche de forme		$e_{\text{mesurée}} = e_{\text{GTR}}$	$Q/S_{\text{mesurée}} \leq Q/S_{\text{GTR}}$	$V_{\text{moyenne}} \cong V_{\text{GTR}}$

## Particularités de l'essai et délai de réponse

C'est une mesure globale, qui doit être accompagnée d'un contrôle de la répartition uniforme du travail des compacteurs sur la totalité de la zone mise en œuvre, d'une vérification de l'étalonnage des contrôlographes et d'une vérification de la classification des compacteurs (voir fiche N° 26 à 28). L'exploitation des résultats doit être réalisée dès la fin de la séquence à contrôler.

# Mesure de la masse volumique d'un matériau en place : essai à la bêche

Fiche N° 17

*NF P 94-061-4 : Détermination de la masse volumique d'un matériau en place - Méthode pour matériaux grossiers (D<sub>max</sub> > 50 mm)*

## Objet

Déterminer ponctuellement la masse volumique d'un matériau grossier en place ( $\rho_h$ ).

## Domaine d'application

Cet essai concerne les sols hors nappe phréatique.

Il s'applique à l'ensemble des matériaux définis dans la norme NF P 11-300 et notamment les matériaux grossiers pour lesquels les autres méthodes de mesure ne sont pas applicables.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à creuser une cavité, sur une surface plane horizontale, à recueillir et peser la totalité du matériau extrait ( $m_h$ ). On mesure ensuite le volume (V) de la cavité en la remplissant d'eau, après avoir mis en place un film souple assurant l'étanchéité des parois.

## Expression des résultats

$$\rho_h = m_h / V$$

Avec :  $\rho_h$  en t/ m<sup>3</sup>,  $m_h$  en t et V en m<sup>3</sup>

Eventuellement, après avoir déterminé, sur un échantillon, la teneur en eau globale du matériau (W exprimé en %) selon la méthode spécifiée dans la norme NF P 94-061-4, on peut calculer la masse volumique du matériau sec ( $\rho_d$ ) :

$$\rho_d = (100 \rho_h) / (100 + W)$$

## Interprétation

Estimation des masses terrassées et transportées.

Contrôle du compactage (les valeurs obtenues sont comparées à la valeur seuil fixée par le marché ou par une planche de référence).

## Particularités et délai de réponse

La masse humide de matériau extrait (exprimée en grammes) doit être supérieure ou égale à 8 fois  $D_{\max}^2$  ( $D_{\max}$  étant exprimé en mm). Par exemple, sur un matériaux de diamètre 0-300 mm, il faudra prélever  $8 \times (300)^2 = 720\ 000$  g soit 720 kg.

Cet essai ne peut s'appliquer que si les parois de la cavité sont stables.

La profondeur de la cavité doit être comprise entre 0,75 et 1,25 fois le diamètre de son ouverture.

Délai : de ½ journée pour la détermination de  $\rho_h$  à 1 journée pour la détermination de  $\rho_d$ .



# Mesure de masse volumique au gammadensimètre

Fiche N° 18

NF P 94-061-1: Mesure ponctuelle de la masse volumique moyenne apparente par gammadensimètre à transmission directe

## Objet

Mesure de la masse volumique moyenne apparente d'un matériau en place sur une épaisseur donnée.

## Domaine d'application

Matériaux traités ou non traités, de nature chimique connue, utilisés en terrassements ; l'épaisseur de matériau ausculté peut varier de 10 à 40 cm selon le type de matériel de mesure utilisé.

## Principe de l'essai

La mesure est fondée sur l'absorption par le matériau de photons gamma d'énergie donnée émis par une source enfoncée préalablement à une profondeur déterminée dans la couche soumise à l'essai.

La mesure de la masse volumique est fonction du flux détecté.



Gammadensimètre type GPV

## Expression des résultats

La masse volumique humide  $\rho$  est de la forme  $\rho = A \ln C + B$ .

A et B étant des constantes de calibration.

C étant le nombre de photons gamma détectés par le compteur dans l'unité de temps considérée.

La masse volumique sèche  $\rho_d$  est calculée à partir de  $\rho$  et de la teneur en eau  $W$ , selon l'expression :  $\rho_d = \frac{\rho}{1 + 1,1 W}$

## Interprétation

Pour déterminer le taux de compactage moyen permettant de qualifier la densification de la couche contrôlée, on calculera le rapport

$$\frac{\text{masse volumétrique sèche mesurée en place}}{\text{masse volumétrique sèche de référence (OPN)}} \times 100$$

en prenant en compte le refus à 20 mm et la limite tolérée pour la correction de la référence OPN :

- pour les remblais, ce taux de compactage moyen doit être  $\geq 95$  % pour au moins 50 % des points contrôlés ( $q_4$ ) ;
- pour les couches de forme, il doit être  $\geq 98,5$  % pour 50 % au moins des points contrôlés ( $q_3$ ).

Il convient de s'assurer également de l'homogénéité de répartition de la masse volumique du matériau compacté.

## Particularités et délai de réponse

D'autres matériels de mesure de masse volumique par gammadensimètre ne répondant pas à la norme sont également utilisés sur chantier pour suivre la régularité du compactage.

Délai :  $\rho$  : 10 à 15 minutes -  $\rho_d$  : 6 à 48 heures

# Mesure de la masse volumique apparente par diagraphie à la double sonde gamma

Fiche N° 19

NF P 94-062 : Mesure de la masse volumique en place - Diagraphie à la double sonde gamma

## Objet

Mesure de la masse volumique en place d'une tranche horizontale d'un matériau de remblai ou de couche de forme.

## Domaine d'application

Matériaux traités ou non traités dont on connaît la nature chimique ; l'épaisseur de la tranche de matériau ausculté est, par définition, celle prenant en compte 95 % du nombre de photons détectés par le compteur.

## Principe de l'essai

La méthode est fondée sur l'absorption par le matériau de photons gamma d'énergie donnée. L'appareil est composé d'une source radioactive et d'un détecteur situés dans un même plan et couissant simultanément dans deux tubes verticaux. La mesure de la masse volumique est fonction du nombre de photons détectés pendant une unité de temps.

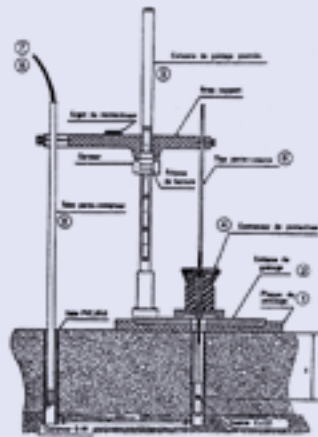


Schéma de principe



Photo d'une mesure

## Expression des résultats

La masse volumique  $\rho$  est de la forme  $\rho = \frac{1}{d} (A \ln C + B)$

A et B étant des constantes de calibration ;

C étant le nombre de photons gamma détectés par le compteur dans l'unité de temps ;

d étant la distance entre les tubes de réservation.

## Interprétation

Le rapport  $\frac{\text{masse volumétrique sèche en place}}{\text{masse volumétrique sèche de référence (OPN)}} \times 100$

définit un taux de compactage permettant de qualifier la densification du matériau dans la tranche auscultée.

Les mesures réalisées successivement à différentes cotes permettent alors d'établir la distribution de la masse volumique en fonction de la profondeur :

- pour les remblais, le taux de compactage en fond de couche doit être supérieur à 92 % pour au moins 50 % des points de contrôle ;
- pour les couches de forme, il doit être  $\geq 96$  % pour au moins 50 % des mesures.

## Particularités et délai de réponse

La difficulté principale réside dans la réalisation du perçage et du tubage de 2 trous parallèles.

Délai : 3 à 5 profils d'essais par jour.

NF P 94 117-1 : Module sous chargement statique à la plaque (EV2)

## Objet

Cet essai permet de déterminer la portance d'une plate-forme par la mesure du module dit « module sous chargement statique à la plaque ».

## Domaine d'application

L'essai s'applique aux plates-formes d'ouvrages de terrassement réalisées avec les matériaux dont le  $D_{\max}$  est inférieur à 200 mm.

La valeur maximale du module EV2 pouvant être mesurée par cet essai est de 250 MPa.

## Principe de l'essai

Mesure de l'enfoncement d'une plaque circulaire rigide (diamètre 600mm) transmettant au sol une pression uniforme.

La valeur de l'enfoncement de la plaque (mesurée à la fin du second cycle) permet de déterminer le module EV2.



Plaque de diamètre 600 mm avec poutre Benkelman.

## Expression des résultats

A partir de la formule de Boussinesq, on détermine :

$$EV2 = \frac{90}{Z_2} \quad \text{avec :}$$

- $Z_2$  : enfoncement de la plaque provoquée par le 2<sup>ème</sup> chargement en mm
- EV2 en MPa

## Interprétation

Par exemple, pour les arases de terrassement, le GTR retient une valeur minimale de 20 MPa ou de 35 MPa dans le cas où l'on réalisera une couche de forme traitée.

Pour les plates-formes support de chaussées, et pour les chantiers courants, un module minimum EV2 de 50 MPa est retenu pour permettre la mise en œuvre des chaussées. Des valeurs plus élevées peuvent être exigées en fonction de la classe de plate-forme si l'on juge qu'elles sont représentatives de la portance à long terme.

**Ce module ne caractérise pas l'état de compacité des sols de la plate-forme auscultée.**

## Particularités et délai de réponse

Il est nécessaire de disposer d'un massif de réaction permettant d'appliquer au moins 8 t sur la plaque, et dont les points d'appuis sont situés à plus de 1,20 m du centre de la plaque de chargement.

Les autres méthodes permettant de déterminer la portance d'une plate-forme sont les dynaplaques et le portancemètre.

Délai : 15 à 30 min selon la vitesse de stabilisation.

# Mesure du module de déformation dynamique à la dynaplaque

Fiche N° 21

NF P 94-117-2 : Module sous chargement à la plaque (essai à la Dynaplaque 1 ou 2)

## Objet

Mesure d'un module de déformation dynamique d'une plate-forme.

## Domaine d'application

L'essai s'applique aux plates-formes d'ouvrages de terrassement dont le  $D_{max}$  est  $\leq 200$  mm.

## Principe de l'essai

La sollicitation dynamique est obtenue par une masse tombant en chute libre sur une plaque de chargement d'une hauteur  $h_i$ . Dans le cas de la dynaplaque 1, des ressorts sont interposés entre la masse tombante et la plaque, et le rebond  $h$  de la masse est enregistré.

Le calcul du module dynamique  $E_{DYN1}$  résulte alors d'un étalonnage spécifique par appareil entre le coefficient de restitution  $R = h / h_i$  et le module  $E$ .

Dans le cas de la dynaplaque 2, le déplacement de la plaque de chargement et la force appliquée sont enregistrés pendant le choc. Le module dynamique  $E_{DYN2}$  est alors calculé en assimilant le comportement du sol sous la plaque à celui d'un ressort amorti.

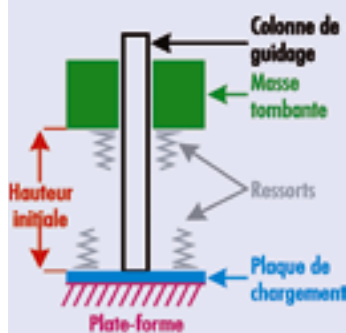
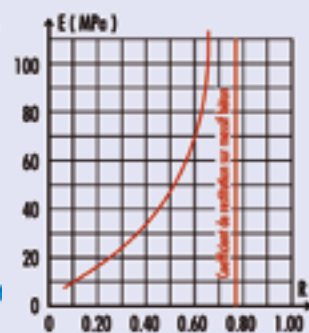


Schéma Dynaplaque 1



Dynaplaque 1  
Exemple d'étalonnage



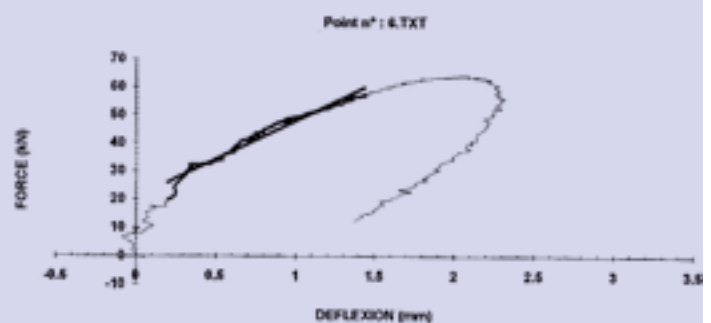
Dynaplaque 2

## Expression des résultats

Le module de déformation dynamique  $E_{DYN}$  est exprimé en MPa.

Le domaine de mesure est :

- pour la dynaplaque 1 20 à 100 MPa
- pour la dynaplaque 2 20 à 250 MPa



Dynaplaque 2 – exemple d'enregistrement de boucle F

## Interprétation, particularités de l'essai et délai de réponse

Pour les arases de terrassement, le GTR retient une valeur minimum de 20 MPa ou de 35 MPa dans le cas où l'on réalisera sur cette arase une couche de forme traitée.

Pour les chantiers courants, un module dynamique minimum de 50 MPa sur la plate-forme est généralement retenu pour permettre la mise en œuvre des couches de chaussées.

Des valeurs plus élevées peuvent être exigées en fonction de la classe de plate-forme si l'on juge qu'elles sont représentatives de la portance à long terme.

Délai : 2 à 3 minutes.

# Mesure du module de déformation dynamique au portancemètre

Fiche N° 22

## Objet

Mesure en continu d'un module de déformation dynamique d'une plate-forme.

## Domaine d'application

L'essai s'applique aux plates-formes d'ouvrages de terrassement constituées de matériaux dont le  $D_{\max}$  est  $\leq 200$  mm et pour lesquelles la résistance au cisaillement de surface est suffisante pour garantir une bonne traficabilité de la roue de mesure (ce qui exclut les matériaux creux ou instables).

Le domaine de mesure est de 30 à 250 MPa.

## Principe de l'essai

La plate-forme auscultée est sollicitée par une roue vibrante étroite tractée à une vitesse voisine de 3,6 km/h. Des capteurs permettent de mesurer :

- les composantes verticales des accélérations des masses vibrantes et suspendues ;
- le déphasage entre l'amplitude verticale de vibration et la force centrifuge appliquée à la roue.

Un algorithme de calcul détermine alors l'effort vertical sollicitant le sol et la déflexion correspondante.

Le traitement de la courbe force-déflexion permet d'obtenir la raideur du sol ausculté et, par calage avec l'essai de plaque statique, une mesure de module dynamique de la plate-forme.

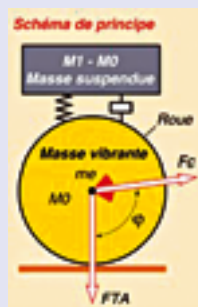
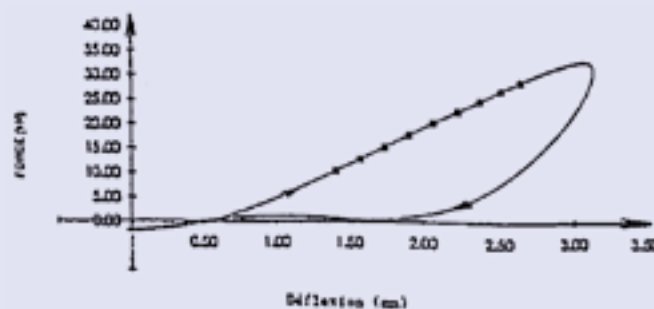


Schéma du principe de fonctionnement



Enregistrement courbe force / déflexion

## Expression des résultats

Le module de déformation dynamique au portancemètre  $E_p$ , exprimé en MPa, représente la valeur moyenne du module pour chaque mètre parcouru.

## Interprétation

Le portancemètre est utilisé actuellement comme outil d'information permettant de détecter des anomalies.



Portancemètre

## Particularités et délai de réponse

Il permet d'ausculter un linéaire de 15 à 20 km/jour et de visualiser les mesures en temps réel.

# Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante (poutre Benkelman, déflectographe)

Fiche N° 23

NF P 98-200-1, 2, 3, 4 et 7 : Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante.

## Objet

Mesure de la déformation de surface d'une plate-forme sous une charge définie de 13 tonnes.

## Domaine d'application

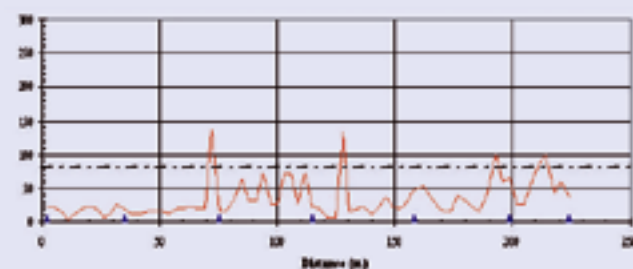
Arases terrassements, plates-formes support de chaussées.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer l'enfoncement provoqué par un essieu unique à roues jumelées de camion chargé à 13 tonnes.

**Poutre Benkelman** : Il s'agit d'une mesure ponctuelle. Le recul du camion doit permettre de positionner le bec de la poutre à l'aplomb de l'axe des deux roues jumelées. Le déplacement vertical est mesuré à l'autre extrémité de la poutre à l'aide d'un comparateur.

**Déflectographe** : La déformation est mesurée entre chaque jumelage de l'essieu arrière du véhicule par des bras palpeurs munis de capteurs de déplacement et articulés sur une poutre de référence. Le camion se déplace à vitesse constante. Le pas de mesure est d'environ 4 m.



Sortie graphique du déflectographe

## Expression des résultats

La déflexion, qui correspond à la déformation maximale, est mesurée au 1/100 mm.

Pour le déflectographe, la mesure est traduite par un graphique donnant la déflexion en fonction de la distance.

## Interprétation des résultats

Les valeurs obtenues sont comparées à la valeur seuil fixée par le marché, à un âge donné (28 jours généralement) pour les matériaux traités. La comparaison s'effectue point par point et permet de détecter les zones non conformes.

## Particularités et délai de réponse

Ces essais nécessitent un bon état de surface de la couche testée, surtout pour le déflectographe 03 à châssis long.

Poutre Benkelman : l'interprétation est instantanée ; avec un maximum de 8 à 10 mesures par heure.

Déflectographe : visualisation en temps réel et interprétation différée ( $\geq 1$  jour). Auscultation de 6 à 10 km/j.

# Mesure de l'épandage des liants à la bêche ou au bac

Fiche N° 24

## Objet

Déterminer ponctuellement la masse par unité de surface de produit de traitement épandue.

## Domaine d'application

Convenance des épandeurs, contrôle du traitement en place des remblais, PST et couches de forme.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à placer sur le sol, avant passage de l'épandeur, des bâches ou des bacs de surface connue (S) et à peser après épandage les quantités de produits de traitement recueillies (M).

## Expression des résultats

La masse surfacique ponctuelle épandue est donnée par :  $m_s = \frac{M}{S}$  en kg/m<sup>2</sup> (précision ± 2 à 4%).

## Interprétation des résultats

En cours de chantier, la valeur de  $m_s$  est à comparer à la valeur visée par le marché  $m_v$ , cette dernière résultant de l'étude de formulation.

En contrôle chantier, la mise en œuvre de séries de 3 à 5 bacs ou bâches (voire plus) permet de vérifier l'exactitude du dosage ainsi que sa dispersion, que ce soit au niveau d'une bande d'épandage ou d'une journée de travail, si les réglages de l'épandeur n'ont pas été modifiés.

Dans le cas d'une convenance, la mise en œuvre d'une vingtaine de bâches, disposées au hasard (estimation visuelle), permet de porter un jugement sur la dispersion globale du dosage alors que l'emploi de bacs, placés entre les jumelages, ne peut quantifier que la dispersion longitudinale.



*Positionnement aléatoire des bâches sur chantier.*

## Particularités et délai de réponse

Les bacs ont une surface de 0,2 à 0,25 m<sup>2</sup>.

Des bâches de 1 m<sup>2</sup> ou 0,5 m<sup>2</sup> sont fréquemment utilisées.

Les bâches de 1 m<sup>2</sup> peuvent être associées à des cadres de 0,5 m<sup>2</sup> limitant les effets de bord (voir annexe du GTS).

La hauteur des bacs devra être compatible avec la garde au sol des jupes des épandeurs.

Les essais doivent couvrir la totalité de l'épandage (camion rempli et camion semi-vide) afin de contrôler la régularité de celui-ci.

**Délai de mesure : immédiat. On peut réaliser 30 à 50 mesures par jour, voire plus.**

# Contrôle de la qualité de compactage au pénétromètre dynamique à énergie constante

Fiche N° 25

XP P 94-063 : Contrôle de la qualité du compactage - Méthode au pénétromètre dynamique à énergie constante

## Objet

- Évaluer les épaisseurs de couche.
- Vérifier que l'objectif de densification visé est atteint.

## Domaine d'application

La méthode s'applique à l'auscultation de remblais sur une épaisseur pouvant atteindre 5 mètres ou plus selon la nature des matériaux.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à enfoncer dans le sol par battage un train de tiges muni à sa partie inférieure d'une pointe conique et à mesurer pendant l'essai l'enfoncement par coup à la profondeur correspondante.

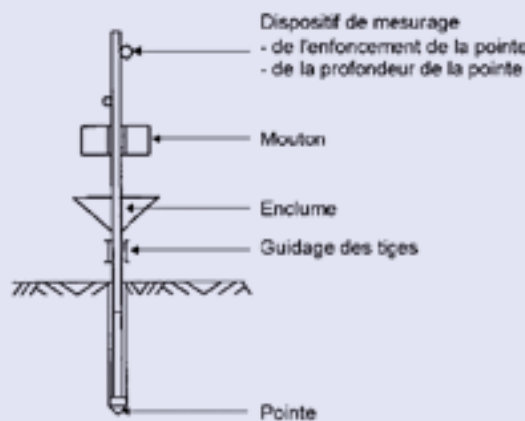
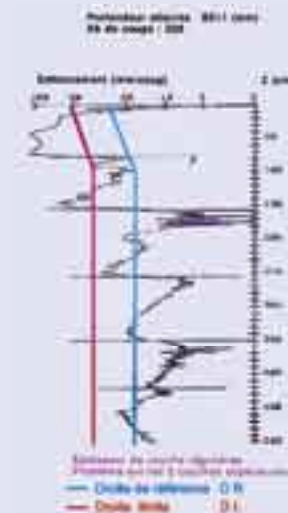


Schéma de l'appareil



Exemple de pénétrogramme interprété

## Expression des résultats

Les résultats sont enregistrés sous forme d'un pénétrogramme donnant l'enfoncement par coup en fonction de la profondeur.

## Interprétation

Les épaisseurs de couche sont évaluées après détermination des interfaces de couche (contraste entre les enfoncements par coup).

Après avoir identifié la nature et l'état hydrique du matériau ausculté, on peut reporter sur le pénétrogramme les droites de référence DR et limite DL correspondant à ce matériau.

La qualité du compactage est alors déterminée en fonction du placement du pénétrogramme par rapport à ces droites.

Un compactage correct est caractérisé par un pénétrogramme voisin de la droite de référence.

## Particularités et délai de réponse

L'emploi du pénétrogramme est limité aux matériaux non traités ou traités à la chaux au jeune âge.

Délai : visualisation des mesures en temps réel et auscultation de 15 à 20 mètres par jour (hors identifications).



# Evaluation du moment d'excentrique d'un compacteur

Fiche N° 26

NF P 98-761 : Matériel de construction et d'entretien des routes - Compacteurs - Evaluation du moment de l'excentrique

## Objet

Evaluer la ou les valeurs du moment d'excentrique d'un vibreur de compacteur à cylindre vibrant.

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à tous les compacteurs à cylindre vibrant définis dans la norme NF P 98-705.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à faire vibrer le cylindre du compacteur sur un coussin de levage à faible pression d'air et à relever l'amplitude verticale  $A_v$  du cylindre vibrant lorsque le vibreur tourne à la fréquence maximale pour l'excentrique considéré (grande et/ou petite amplitude théorique).

La valeur  $A_v$  peut être relevée avec un vibrographe, un accéléromètre ou un capteur de déplacement sans contact.



Mesure de l'amplitude et de la fréquence

## Expression des résultats

Le moment d'excentrique  $m.e$  est alors évalué par  $m \times e = A_v \times M_0$  en mm.kg, avec  $M_0$  = masse vibrante en kg.

## Interprétation

La valeur du moment d'excentrique indiquée par le constructeur est estimée correcte lorsque le  $m \times e$  évalué par l'essai est compris dans l'intervalle.

$$0,9 m.e \leq m.e \text{ (évalué)} \leq 1,2 m.e$$

La valeur mesurée  $A_v$  est alors considérée comme équivalente à l'amplitude théorique à vide  $A_0$ .

Cette valeur associée à  $M_1/L$  (masse totale s'appliquant sur la génératrice du cylindre, rapportée à sa longueur) permet de vérifier le classement du compacteur vibrant, tel que défini dans le GTR.

## Particularités de l'essai et délai de réponse

La mesure nécessite de disposer d'un support horizontal et non déformable.

La mesure doit être réalisée sur les 2 côtés du cylindre vibrant.

Délai : environ 30 minutes.

# Évaluation de la pression de contact au sol d'un compacteur à pneumatiques

Fiche N° 27

*NF P 98-760 : Matériels de construction et d'entretien des routes - Compacteurs à pneumatiques - Évaluation de la pression de contact au sol*

## Objet

Mesurer la surface de contact d'un pneumatique de compacteur pour permettre une évaluation de la valeur moyenne de la pression de contact au sol.

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique à tous les compacteurs à pneumatiques définis dans la norme NF P 98-705.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à positionner les pneumatiques du compacteur sur une feuille de papier à révéler posée sur le sol. Après pulvérisation d'un développeur liquide sur la feuille de papier tout autour de l'empreinte, on mesure au planimètre la surface non révélée correspondant à la surface de contact entre le pneumatique et le sol.

## Expression des résultats

La pression au sol est donnée par l'expression  $PCN = 10 CR/S$  avec :

CR : charge par roue en kN

S : surface de contact en  $cm^2$

PCN : pression au sol en MPa

## Interprétation

La pression de contact au sol est l'un des paramètres les plus importants concernant l'efficacité des compacteurs à pneumatiques.

Ce paramètre intervient en complément de la valeur de la charge par roue (CR) qui est le critère de classification des compacteurs à pneus retenu par la norme NF P 98-736.

## Particularités et délai de réponse

Essai peu utilisé dans le domaine des terrassements.

L'aire d'essai est constituée d'un massif de béton et doit être plane, propre et sèche.

Délai : environ 30 minutes.

# Compacteurs - Vérification de l'étalonnage des contrôlographes

Fiche N° 28

## Objet

Vérifier l'exactitude de l'enregistrement des paramètres distance parcourue, vitesse et fréquence de vibration.

## Domaine d'application

Cette méthode s'applique aux contrôlographes mécaniques équipant les compacteurs vibrants, à pneumatiques ou à pieds dameurs définis dans la norme NF P 98-705.

## Principe de l'essai

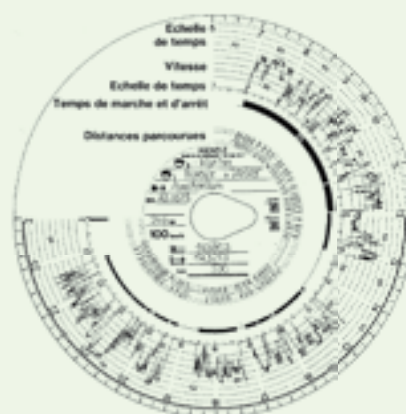
L'essai consiste à faire parcourir à vitesse constante au compacteur une distance préalablement mesurée (chaîne d'arpenteur par exemple) et à chronométrer le temps de parcours.

Les mesures effectuées sont comparées aux enregistrements sur le disque du contrôlographe.

Pour les compacteurs vibrants, une mesure de la fréquence de vibration avec un vibrographe sans contact ou à palpeur peut être effectuée et comparée à l'enregistrement au verso du disque.



Vue du contrôlographe



Disque : face recto

## Expression des résultats

La distance parcourue est comparée à la somme des segments enregistrés, chaque segment valant 500 mètres.

La vitesse de travail est directement lue sur le disque (les valeurs sont à diviser par 10) et comparée à la vitesse calculée.

## Interprétation

Un seuil d'exactitude de 5 % de la valeur mesurée est généralement conseillé pour que l'enregistrement de la distance puisse être valablement exploité.

Un seuil d'exactitude de 10 % de la valeur visée pour la vitesse est généralement conseillé pour que l'enregistrement puisse être valablement exploité.

## Particularités et délai de réponse

La mesure doit être réalisée sur les 2 côtés du cylindre vibrant.

La vérification de la fréquence de vibration peut également être faite.

Délai : inférieur à 1 heure

# Contrôle de l'épandage d'un produit de traitement (méthode par pesée de l'épandeur)

Fiche N° 29

## Objet

Déterminer la masse globale par unité de surface de produit de traitement épandue.

## Domaine d'application

La mesure de la masse surfacique de liant épandue fait partie des opérations de contrôle définies dans le processus d'assurance de la qualité d'exécution des PST et couches de forme.

## Principe de l'essai

L'essai consiste à déterminer la masse ( $M$ ) de produit de traitement épandue sur une surface ( $S$ ).

La détermination de la masse est réalisée par pesée de l'ensemble des essieux de l'épandeur (tracteur compris) avant et après épandage sur la surface considérée.

La surface sur laquelle a été répandu le produit est déterminée par un moyen topographique.



*Opération de pesée de l'épandeur*



## Expression des résultats

La masse surfacique épandue est donnée par  $m_s = M/S$  en  $\text{kg/m}^2$  avec une précision  $\leq 5 \%$ .

## Interprétation des résultats

La valeur  $m_s$  est à comparer à la valeur visée  $m_v$  résultant de l'étude de formulation.

L'exactitude du dosage  $e = 100 \cdot (m_s - m_v) / m_v$  est à comparer à la valeur habituellement prescrite soit  $e \leq 5 \%$ .

## Particularités et délai de réponse

Pour la pesée de l'épandeur, il est nécessaire de disposer d'un support horizontal et non déformable.

Délai : 5 à 10 minutes par pesée.





## Références bibliographiques

### Guides techniques et documents généraux



Organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassements  
Guide technique Sétra/LCPC  
Janvier 2000  
Référence : D9923



Réalisation des remblais et des couches de forme  
Fascicules 1 et 2  
Guide technique Sétra/LCPC  
Juillet 2000  
2<sup>ème</sup> édition  
Référence : D9233



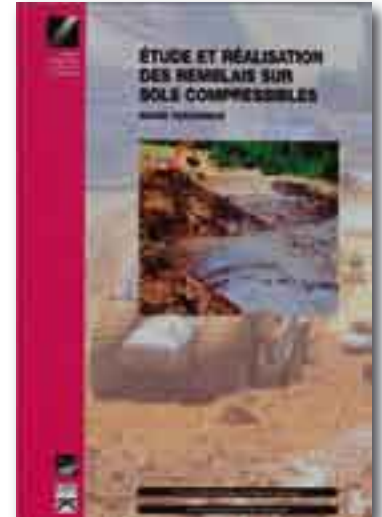
Remblayage des tranchées et réfection des chaussées  
Guide technique Sétra/ LCPC  
Mai 1994  
Référence : D9441



**Terrassements à l'explosif dans les travaux routiers**  
**Guide technique CFTR**  
*Janvier 2002*  
*Référence : D0126*



**Traitement des sols à la chaux et aux liants hydrauliques**  
**Guide technique Sotra/LCPC**  
*Janvier 2000*  
*Référence : D9924*



**Étude et réalisation des remblais sur sols compressibles**  
**Guide technique Sotra/LCPC**  
*Novembre 2000*  
*Référence : D0034*



**Terrassements - Aide à la rédaction des CCTP**  
**Guide méthodologique Sotra**  
*Octobre 2006*  
*Référence : 0646*



**Cahier des clauses techniques générales**  
**Fascicule 2 – Terrassements généraux**  
*Mars 2003*



## **Normes relatives à la terminologie, aux méthodes, aux essais et aux matériels**

NF EN ISO 9003 - Systèmes qualité. Modèle pour l'assurance de la qualité en contrôle et essais finals. (X50-133). Août 1994

NF EN 13286-41 - Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 41 : méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la compression des mélanges traités aux liants hydrauliques. Juillet 2003.

NF EN 13286-42 - Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 42 : méthode d'essai pour la détermination de la résistance à traction indirecte des mélanges traités aux liants hydrauliques. Septembre 2003.

NF EN 13286-43 - Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 43 : méthode d'essai pour la détermination du module d'élasticité des mélanges traités aux liants hydrauliques. Septembre 2003.

NF G38-050 - Textiles. Articles à usages industriels : géotextiles. Identification. Mai 1983

G38-060 - Textiles - Articles à usages industriels. Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés. Mise en œuvre - Spécifications - Contrôle des géotextiles et produits apparentés. Juin 1994

G38-063 - Articles à usages industriels. Recommandations pour l'emploi des géotextiles et produits apparentés. Utilisation des géotextiles et produits apparentés sous remblais sur sols compressibles. Février 1993

NF EN ISO 10320 - Géotextiles et produits apparentés. Identification sur site. Mars 2000

NF EN 963 - Géotextiles et produits apparentés. Échantillonnage et préparation des éprouvettes. Octobre 1995



NF P 11-300 - Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Septembre 1992

NF P 11-301 - Exécution des terrassements. Terminologie. Décembre 1994

NF EN 1097-1 - Granulats - Essai d'usure micro Deval. Décembre 1990

NF EN 1097-2 - Granulats - Essai de Los Angeles. Décembre 1990

P 18-576 - Granulats - Mesure du coefficient de friabilité des sables. Décembre 1990

NF EN 933-8, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : Évaluation des fines - Équivalent de sable.

NF P 94-040 - Sols : Reconnaissance et essais. Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu. Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu. Octobre 1993

XP P 94-041 - Sols : Reconnaissance et essais. Identification granulométrique. Méthode de tamisage par voie humide. Décembre 1995

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. Février 1996

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. Février 1996

NF P 94-050 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Méthode par étuvage. Septembre 1995

NF P 94-051 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau. Mars 1993

NF P 94-052-1 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Partie 1 : limite de liquidité - Méthode du cône de pénétration. Novembre 1995

NF P 94-053 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire. Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau. Octobre 1991

NF P 94-054 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique des particules solides des sols. Méthode du pycnomètre à eau. Octobre 1991

NF P 94-056 - Sols : Reconnaissance et essais. Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à sec après lavage. Mars 1996

NF P 94-057 - Sols : Reconnaissance et essais. Analyse granulométrique des sols. Méthode par sédimentation. Mai 1992

NF P 94-061-1 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique d'un matériau en place. Partie 1 : méthode au gammadensimètre à pointe (à transmission directe). Octobre 1996

NF P 94-061-2 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique d'un matériau en place. Partie 2 : méthode au densitomètre à membrane. Avril 1996

NF P 94-061-3 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique d'un matériau en place. Partie 3 : méthode au sable. Avril 1996

NF P 94-061-4 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination de la masse volumique d'un matériau en place. Partie 4 : méthode pour matériaux grossiers de Dmax supérieur à 50 mm. Décembre 1996

NF P 94-062 - Sols : Reconnaissance et essais. Mesure de la masse volumique en place. Diagraphie a double sonde gamma. Août 1997

XP P 94-063 - Sols : Reconnaissance et essais. Contrôle de la qualité du compactage. Méthode au pénétromètre dynamique à énergie constante. Principe et méthode d'étalonnage des pénétrodensitographes. Exploitation des résultats. Interprétation. Août 1997

NF P 94-064 - Sols : Reconnaissance et essais. Masse volumique sèche d'un élément de roche. Méthode par pesée hydrostatique. Novembre 1993

NF P 94-066 - Sols : Reconnaissance et essais. Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux. Décembre 1992

NF P 94-067 - Sols : Reconnaissance et essais. Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux. Décembre 1992

NF P 94-068 - 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. Octobre 1998

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. Mai 1997

NF P 94-093 - Sols : Reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal. Essai Proctor modifié. Octobre 1999

NF P 94-100 - Sols : Reconnaissance et essais. Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydraulique. Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement. Août 1999

XP P 94-105 - Sols : Reconnaissance et essais. Contrôle de la qualité du compactage. Méthode au pénétromètre dynamique à énergie variable - Principe et méthode d'étalonnage du pénétromètre - Exploitation des résultats - Interprétation. Mai 2000

NF P 94-117-1 - Sols : Reconnaissance et essais. Portance des plates-formes. Partie 1 : module sous chargement statique à la plaque (EV2). Avril 2000

NF P 94-117-2 - Sols : Reconnaissance et essais. Portance des plates-formes. Partie 2 : module sous chargement dynamique à la plaque (essais à la Dynaplaque 1 ou à la la Dynaplaque 2 ). Février 2002

NF P 94-119 - Sols : Reconnaissance et essais. Essai au piézocone. Décembre 1995

NF P 98-102 - Assises de chaussées. Chaux aérienne calcique pour sols et routes. Essai de réactivité de la chaux vive à l'eau. Juillet 1991

NF P 98-200-1 - Essais relatifs aux chaussées. Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante. Partie 1 : définitions, moyens de mesure, valeurs caractéristiques. Juillet 1991

NF P 98-200-2 - Essais relatifs aux chaussées. Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante. Partie 2 : détermination de la déflexion et du rayon de courbure avec le deflectomètre Benkelman modifié. Novembre 1992

NF P 98-200-3 - Essais relatifs aux chaussées. Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante. Partie 3 : détermination de la déflexion avec le déflectographe 02. Septembre 1993

NF P 98-200-4 - Essais relatifs aux chaussées. Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante. Partie 4 : détermination de la déflexion avec le déflectographe 03. Septembre 1993

NF P 98-232-3 - Essais relatifs aux chaussées. Détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques. Partie 3: essai de compression diamétrale sur sables et sols fins. Octobre 1993

NF P 98-234-2 - Essais relatifs aux chaussées. Comportement au gel. Partie 2 : essai de gonflement au gel des sols et matériaux granulaires traités ou non de D inférieur ou égal 20 mm. Février 1996

NF P 98-275-1 - Essais relatifs aux chaussées. Détermination du dosage en liant répandu. Partie 1 : essai in situ de dosage moyen et de régularité transversale. Septembre 1992

NF P 98-276-1 - Essais relatifs aux chaussées. Mesure du dosage en granulats d'un enduit superficiel. Partie 1 : essai à la boîte doseuse. Janvier 1992

NF P 98-701 - Matériels pour la construction et l'entretien des routes. Centrales de traitement de matériaux. Terminologie et performances. Mai 1993

NF P 98-705 - Matériels de construction et d'entretien des routes. Compacteurs. Terminologie et spécifications commerciales. Juillet 1992

NF P 98-711 - Matériels pour la construction et l'entretien des routes. Traitement en place ou retraitement : matériels de préparation des sols et de stockage des liants pulvérulents. Terminologie. Août 1993

NF P 98-712 - Matériels pour la construction et l'entretien des routes. Traitement en place ou retraitement : épandeurs de liants pulvérulents et malaxeurs de sols en place. Terminologie. Août 1993

NF P 98-736 - Matériel de construction et d'entretien des routes. Compacteurs. Classification. Septembre 1992

NF P 98-760 - Matériel de construction et d'entretien des routes. Compacteurs à pneumatiques. Évaluation de la pression de contact au sol. Décembre 1991

NF P 98-761 - Matériels de construction et d'entretien des routes. Compacteurs. Évaluation du moment d'excentrique. Décembre 1991

NF P 98-771 - Matériels de construction et d'entretien des routes. Matériels d'aide à la conduite et de contrôle embarqués sur les compacteurs. Terminologie - Classification. Décembre 1994





46 avenue  
Aristide Briand  
BP 100  
92225 Bagneux Cedex  
France  
téléphone :  
33 (0)1 46 11 31 31  
télécopie :  
33 (0)1 46 11 31 69  
internet : [www.setra.equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr)

Le guide « Conception et réalisation des terrassements » a pour but d'aider et de conseiller le maître d'œuvre pendant l'élaboration du projet jusqu'à la réalisation des travaux de terrassements.

Il se compose de 3 fascicules indépendants :

- fascicule 1 : études et exécution des travaux ;
- fascicule 2 : organisation des contrôles ;
- fascicule 3 : méthodes d'essais.

Le présent fascicule 3 « Méthodes d'essais » se compose de fiches synthétisant les principaux essais, matériels et méthodes de contrôle employés sur les chantiers de terrassements. Ces fiches présentent l'objet et le principe du matériel ou de l'essai concerné ainsi que son interprétation, son domaine d'application, ses particularités et son délai de réponse.

Document disponible au bureau de vente du Sétra  
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France  
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55  
Référence : **0702-3** - Prix de vente : **14 €**

*Couverture - crédit photos : A. Delfaut (DREIF - LRPC), Y. Aubert (Entreprise GTM Terrassements), Y. Deniel (DDE 28), C. Drouaux (Sétra), G. Lacassy (CETE du Sud-Ouest - LRPC), E. Mazière (Entreprise GTM Terrassements), P. Pettier (Sétrauroute), P. Rossi (Entreprise Razel), N. Travers (DDE 50).  
Conception graphique et mise en page : Domigraphic, 16 rue Diderot, ZAC Les Radars - 91353 Grigny  
Impression : Caractère - 2, rue Monge - BP 224 - 15002 Aurillac Cedex  
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document.  
© 2007 Sétra - Dépôt légal : 1<sup>er</sup> trimestre 2007 - ISBN : 978-2-11-094659-1*



Ce document participe à la protection de l'environnement.  
Il est imprimé avec des encres à base végétale sur du papier écolabellisé PEFC.  
CTBA/06-00743

