

Remblayage des tranchées et réfection des chaussées

Compléments au guide Sétra-LCPC de mai 1994

Chaussées
Dépendances

117

Le guide "Remblayage des tranchées et réfection des chaussées" de 1994 [1] définit des règles techniques et propose une démarche permettant à l'ensemble des intervenants de maîtriser la réalisation du remblayage de tranchées, du compactage des matériaux et de la réfection de la chaussée. Un autre guide, "Etude et réalisation des tranchées" [2], édité en 2001, complète le premier en abordant la phase étude et les différentes phases d'exécution de la tranchée.

Depuis, un certain nombre de textes normatifs et techniques sur le remblayage et le compactage ont vu le jour.

Cette note d'information a pour objet de mettre à jour les connaissances sur les nouveaux matériaux de remblayage, sur le nouvel objectif de densification q5 pour les tranchées, et de publier le tableau des modalités de compactage correspondant à cet objectif. Cette note précise également la démarche pour les contrôles du compactage des sols.

Sommaire

| | |
|---|---|
| Présentation générale des évolutions..... | 2 |
| Matériaux nouveaux utilisables pour le remblayage des tranchées | 2 |
| Nouvel objectif de densification q5..... | 4 |
| Contrôle de compactage pénétrométrique..... | 7 |
| Bibliographie..... | 9 |

Présentation générale des évolutions

Les principales actualisations ou compléments sont issus de :

- la norme révisée NF P 98-331 [4] sur les tranchées ;
- la parution en avril 1998 d'un dossier sur l'utilisation en tranchées des matériaux autocompactants [3] ;
- l'édition en 1997 de la norme XP P 94-063 [5] puis en mai 2000 de la norme XP P 94-105 [6] sur le contrôle de compactage par les pénétromètres dynamiques respectivement à énergie constante et à énergie variable ;
- la parution en novembre 2001 du guide technique Setra « Étude et réalisation des tranchées » [2].

Matériaux nouveaux utilisables pour le remblayage des tranchées

L'actualisation des connaissances porte sur les dimensions granulométriques des matériaux, l'utilisation de matériaux élaborés de granulométrie d/D et de matériaux autocompactants.

Dimensions granulométriques des matériaux

La dimension maximale D des matériaux utilisables en tranchées est définie dans la norme NF P 98-331 [4]. Le Dmax doit être tel que :

- dans la zone de remblai proprement dit, comprenant la Partie Inférieure de Remblai (PIR) et la Partie Supérieure de Remblai (PSR) :
 - $D < 1/10$ de la largeur de tranchée,
 - $D < 1/5$ de l'épaisseur de couche compactée ;
- dans la zone d'enrobage :
 - $D \leq 22$ mm pour une canalisation $\varnothing \leq 200$ mm,
 - $D \leq 40$ mm pour une canalisation $\varnothing \geq 200$ mm.

Matériaux élaborés de granulométrie d/D

Ce sont des matériaux à granulométrie discontinue élaborés principalement en carrière par criblage. Le terme d/D désigne les dimensions minimales et maximales en mm des granulats qui composent le matériau (par exemple : 5/15). Ces matériaux, ne comportant pas de fines, sont **utilisés en cas de présence de nappe phréatique (permanente ou temporaire), uniquement en zone d'enrobage**. Ils s'écoulent facilement autour de la conduite. Les granulats de matériaux évolutifs (friables, dégradables à l'eau) sont proscrits.

Ces matériaux sont très difficilement compactables. Leur mise en place est obtenue simplement par un serrage mécanique des grains, à l'aide par exemple de 2 passes de plaque vibrante légère.

Le contrôle de compactage par pénétromètre dynamique à énergie constante (cf. norme XP P 94-063 [5]) ou variable (cf. norme XP P 94-105 [6]) n'a pas lieu, de ce fait, d'être réalisé.

Matériaux autocompactants

Ce produit à base de liant hydraulique, faiblement dosé en ciment, ne nécessite pas de compactage ni de vibration lors de sa mise en œuvre et il doit être réexcavable à long terme. La réexcavation indique que le matériau doit pouvoir être excavé manuellement sans utiliser de moyen mécanique lourd.

On distingue deux types de produits :

- les matériaux essorables qui utilisent le principe des remblais hydrauliques : la fluidité nécessaire à la mise en œuvre est due à leur teneur en eau élevée. Leur capacité portante est obtenue essentiellement par l'évacuation d'une forte partie de cette eau (40 à 50%) dans les matériaux encaissants et par la prise et le durcissement du liant. Il convient de s'assurer que le sol encaissant a une perméabilité suffisante pour permettre l'évacuation de cette eau ;
- les matériaux non essorables dont la fluidité est obtenue par l'utilisation d'adjuvants – parfois spécifiques – et la capacité portante par la prise et le durcissement du liant.

Ces matériaux sont *utilisables tant en zone d'enrobage, qu'en remblai* en prenant en compte les contraintes inhérentes à chaque chantier. Leur utilisation en partie supérieure de remblai et en matériaux de rétablissement de chaussée est r serv e en l'état des connaissances à des chaussées supportant un trafic inférieur à T3 soit 150 PL/jour/voie de circulation.

Critères de r excavabilit 

La résistance à la compression (Rc)   28 jours pour un matériau essorable ou non devra être inférieure à 2 Mpa, afin de rester r excavable à long terme.

| Rc28j | < 0,7 MPa | 0,7   2 MPa | > 2 MPa |
|----------------|-----------|---------------------------------|--------------|
| R excavabilit  | Facile | Moyennement facile | Difficile |
| | Manuelle | Manuelle ou mécanisation légère | Mécanisation |

Tableau 1: estimation de la r excavabilit  du matériau

Critères de restitution à la circulation

| | Essais | Caractéristiques requises |
|---|---|--|
| Restitution piétons | Boulet de Kelly | Enfoncement \leq 2,5cm |
| Restitution trafic < T4 (une condition au choix) | PDG 1000 sur 50 cm supérieurs..... Ou PANDA sur 50 cm supérieurs..... Ou Essai de plaque..... |Enfoncement \leq 60 mm/coupRp > 2 MPaModule EV2 > 35 MPa |
| Restitution trafic = T3 (une condition au choix) | PDG 1000 sur 50 cm supérieurs..... Ou PANDA sur 50 cm supérieurs.... Ou Essai de plaque.... |Enfoncement \leq 15 mm /coupRp \geq 8 MPaModule EV2 > 50MPa |

Tableau 2 : critères de restitution à la circulation

Rp : résistance de pointe

PDG 1000 : pénétromètre dynamique à énergie constante

PANDA : pénétromètre dynamique à énergie variable

Dans le cas de matériaux autocompactants, il n'est pas exigé d'objectif de densification. On notera que l'utilisation de pénétromètres dans le tableau n  2 concerne uniquement l'appréciation du durcissement du matériau en vue de la restitution de la tranch e au trafic, et en aucun cas un contrôle de compactage.

Nouvel objectif de densification q5

Un objectif de densification q5 inférieur à l'objectif q4 a été introduit pour la zone d'enrobage des réseaux dans la norme révisée NF P 98-331 [4] sur les tranchées.

L'application systématique de l'objectif q4 était jugée trop contraignante dans certains cas de tranchées, notamment dans les zones à forte densité de réseaux.

Définition

L'objectif q5 est défini par la double condition : une valeur minimale de masse volumique moyenne (ρ_{dm}) et une valeur minimale de masse volumique en fond de couche (ρ_{dfc}).

$$\rho_{dm} = 90\% \rho_{d\text{OPN}}$$

$$\rho_{dfc} = 87\% \rho_{d\text{OPN}}$$

Les masses volumiques sont 5% inférieures à celles de l'objectif q4.

Règles d'utilisation

Le domaine d'emploi de l'objectif q5 est limit e aux zones d'enrobage des tranchées dont la hauteur de recouvrement est supérieure ou égale à 1,30 m, en cas d'encombrement des réseaux ou de difficultés d'exécution particulières et ce, lorsque l'objectif q4 n'est pas demand e.

Les autres zones de remblai de tranchée (Partie Inférieure de Remblai PIR et Partie Supérieure de Remblai PSR) conservent les objectifs de densification q4 et q3 habituels.

La zone d'enrobage des tranchées peu profondes doit répondre à l'objectif de densification q4.

Conditions de compactage en objectif q5

Comme pour les modalités de compactage en objectif de densification q4 (cf. tableau néo 6.1 du guide "Remblayage des tranchées"[1]) le tableau 3, ci-après, donne pour l'objectif de densification q5 toutes les possibilités permises par les petits matériels de compactage dont les classes sont définies dans la norme NF P 98-736 [8]. Le tableau regroupe par ligne les sols assimilables en terme de compactage. Pour une classe de compacteur et un groupe de sols (compl et e de l'état d'humidité h, m, s pour les sols sensibles à l'eau), la cellule du tableau donne les conditions de compactage :

e :  paisseur maximale compactée (en cm),

n : nombre de passes du compacteur (1 aller et retour = 2 passes).

Le tableau tient compte des distances minimales à respecter entre la partie active du compacteur et la conduite (cf. tableau néo 2.1 du guide "Remblayage des tranchées" [1]). Une case grisée du tableau 3 signifie donc qu'il n'y a pas de possibilité en respectant ce critère (25 cm ou 40 cm suivant le compacteur) d'obtenir l'objectif de densification q5 dans ce cas.

| Nature (*) | Etat (1) | Para. | PV1 | PV2 | PV3 | PV4 | PQ1 | PQ2 | PQ3 | PQ4 | PN0 | PN1 | PN2 | PN3 | PP1 | Commentaires |
|---|----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| B1-B3-R43 C1B1-C1B3 D1-D2-D3 F31-F32 [DC1-DC2] | - | e n | 25 3 | 30 2 | 35 2 | 55 2 | 25 3 | 30 2 | 50 2 | 65 2 | 30 2 | 50 2 | 65 2 | 80 2 | 35 2 | Non argileux non très anguleux, et assimilés (**) |
| C2B1-C2B3 R21-R41 R61 [DC3] | - | e n | | 25 4 | 30 2 | 40 3 | | 25 4 | 40 3 | 50 2 | | 30 2 | 45 2 | 60 2 | | Non argileux très anguleux et assimilés (**) |
| B2-B4-C1B2 C1B4-F61 F62 | h | e n | 30 2 | 45 2 | 60 2 | 70 2 | 35 2 | 50 2 | 55 1 | 70 1 | 55 2 | 55 1 | 65 1 | 80 1 | 35 1 | Faiblement argileux non très anguleux et assimilés (**) sauf C1Bi à l'état s |
| | m | e n | | 25 2 | 35 2 | 45 2 | | 25 2 | 40 2 | 65 2 | 35 2 | 45 2 | 60 2 | 70 2 | 35 2 | |
| | s | e n | | | 30 3 | 40 3 | | | 25 4 | 50 3 | | 25 3 | 40 3 | 50 3 | | |
| A1-B5 C1A1-C1B5 C2A1-C2B2 C2B4-C2B5 F2-F41 F71-R22 R23-R42 R62-R63 | h | e n | | | 35 2 | 50 2 | | | 25 3 | 45 2 | | 35 2 | 45 2 | 60 2 | | Silteux ou argileux peu palstiques, et assimilés (**) sauf sols C1 ou C2 en s |
| | m | e n | | | | | | | 40 3 | | | 25 3 | 40 4 | 40 3 | | |
| | s | e n | | | | | | | | | | | | | | |
| A2-B6 C1A2-C1B6 C2A2-C2B6 | h | e n | | | | 40 2 | | | | 40 3 | | | 40 3 | 45 3 | | Matériaux Argileux |
| | m | e n | | | | | | | | 40 4 | | | | 40 2 | | |
| | s | e n | | | | | | | | | | | | | | |
| R11-R12 R13 | h, m | e n | | | | | | | | | | | | 40 4 | | Craies |

(*) Nature ou Difficulté de Compactage [DCi] pour les matériaux élaborés utilisés en technique routière.

(**) L'assimilation ne concerne que le compactage.

(1) Etat hydrique : h (humide), m (moyen), s (sec).

Remarque : La classe de compacteurs PP2 n'apparaît pas en raison des risques de dommages des conduites.

Tableau 3 : tableau de compactage en objectif q5.

Contrôles de l'objectif de densification q5

Le contrôle de l'objectif de densification q5 peut être effectué de la même façon que pour les objectifs de densification q3 et q4 à l'aide d'un pénétromètre dynamique étalonné pour q5. Un rappel des fonctions de contrôle est fait dans le paragraphe suivant.

La figure 1 montre un exemple de résultat (fonction de contrôle B) aux sens des normes XP P 94-063 [5] et XP P94-105 [6], avec introduction des droites limite et de référence.

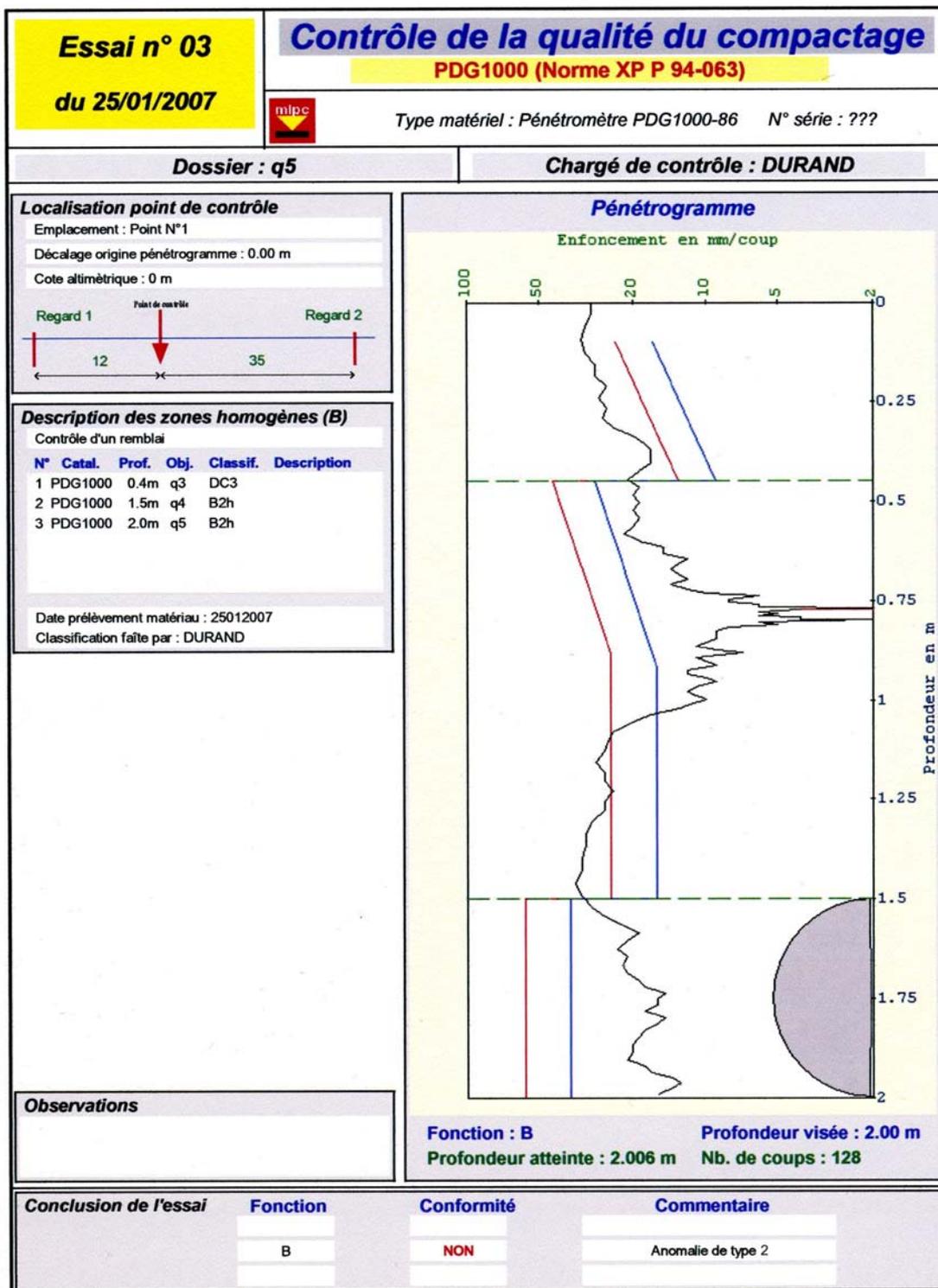


Figure 1: exemple d'un pénétrogramme intégrant un objectif q5 en enrobage

Contrôle de compactage pénétrométrique

Les normes d'essai XP P 94–063 [5] et XP P 94–105 [6] sur le contrôle du compactage introduisent 3 fonctions de contrôle et donnent les critères d'acceptation.

Différentes fonctions de contrôle

La méthode d'essai permet d'utiliser les pénétromètres dynamiques dans l'une ou plusieurs des fonctions suivantes :

-  valuer les épaisseurs de couches (**fonction A**) ;
- vérifier que l'objectif de densification visé est atteint (**fonction B**) par rapport à un catalogue de cas.

Le catalogue de cas est l'ensemble des valeurs des droites limites et de référence résultant de l'étalonnage d'un appareil par rapport aux différentes classes de sols de la norme NF P 11-300 [7].

Dans cette fonction, l'identification, selon la norme NF P 11-300 [7], des matériaux effectivement mis en œuvre est obligatoire, et notamment l'état hydrique des matériaux ( tats th, h, m, s ou ts). **L' tat hydrique est celui au moment du contrôle**, pour les sols ayant une sous classe d'état (c'est à dire les sols sensibles à l'eau). Ce paramètre est fondamental car un sol peut avoir été compacté à l'état hydrique moyen et être à l'état hydrique humide le jour du contrôle de compactage. Il convient donc à l'organisme de contrôle de mesurer, au moment des essais, l'état hydrique des matériaux contrôlés.

Quant à l'objectif de densification q5, un état hydrique supplémentaire « i » a été ajouté même pour les sols non sensibles à l'eau. Il correspond à un état de saturation par immersion dans la nappe au moment du contrôle.

- vérifier que le compactage est conforme à celui d'une planche de référence (**fonction C**).

La fonction C est utilisable en particulier si le catalogue de cas de la fonction B ne contient pas le cas de chantier contrôlé, ou ne traduit pas le caractère marginal d'un matériau.

Les p n trogrammes de la partie contr ol e sont comparés à la population des p n trogrammes obtenues avec le même appareil sur une planche de référence.

Les conditions de réalisation des planches de référence sont d taill es dans les normes.

Critères d'acceptation de l'ouvrage

Pour la fonction B, l'exploitation des résultats est faite à partir des p n trogrammes et des valeurs D_L et D_R successivement concern es, dans le but de vérifier que le résultat du compactage est conforme à celui attendu et, dans le cas contraire, de situer le niveau de gravité de l'anomalie rencontr e.

Les anomalies de type 1 à 4 introduites dans les normes relatives au contrôle du compactage servent à définir les critères d'acceptation de l'ouvrage au vu des résultats d'essais.

Anomalie de type 1

Le p n trogramme ne se trouve jamais en dépassement de D_L .

Les épaisseurs de couche sont systématiquement supérieures de plus de 20% aux valeurs prescrites.

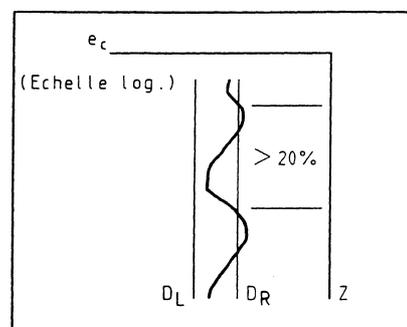


Figure 2 : anomalie de type 1

Anomalie de type 2

Le p n trogramme dépasse D_L d'un écart a inférieur à la distance b entre D_L et D_R , et au total sur une hauteur de moins de 30% de la profondeur contr l e h .

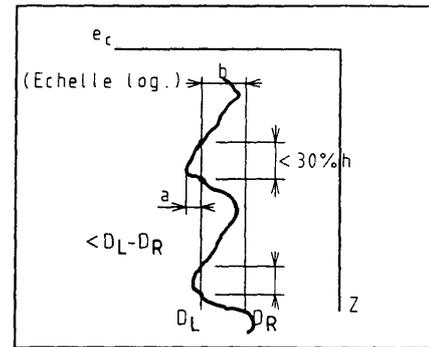


Figure 3 : anomalie de type 2

Anomalie de type 3

Le p n trogramme dépasse D_L d'un écart a supérieur à la distance b entre D_L et D_R , ou au total sur une hauteur de plus de 30% à 50% de la profondeur contr l e h , quelle que soit l'importance du dépassement.

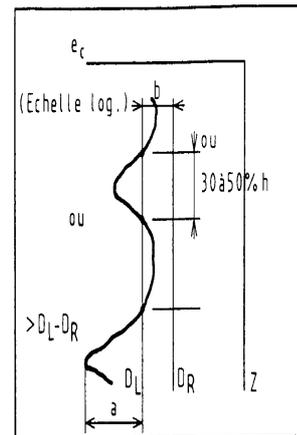


Figure 4 : anomalie de type 3

Anomalie de type 4

Le p n trogramme dépasse D_L sur plus de 50% de la profondeur contr l e h .

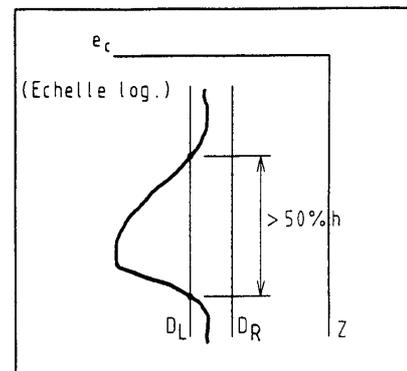


Figure 5 : anomalie de type 4

Aide à la décision du maître d'ouvrage sur les essais de contrôles préalables à la réception de l'ouvrage

L'aide à la décision du maître d'ouvrage telle que défini au chapitre VII.3.6 du guide "Remblayage des tranchées" [1] est complété comme suit :

- Zone de remblai proprement dit : pour l'interprétation, la hauteur à prendre en compte est la hauteur totale de remblai.
 - Anomalie de type 1 : réception acceptable
 - Anomalie de type 2 : réception acceptable
 - Anomalie de type 3 : réception non acceptable
 - Anomalie de type 4 : réception non acceptable.
- Zone d'enrobage : pour l'interprétation, la hauteur à considérer correspond à la hauteur uniquement de l'enrobage.
 - Anomalie de type 1 : réception acceptable
 - Anomalie de type 2 : réception non acceptable
 - Anomalie de type 3 : réception non acceptable
 - Anomalie de type 4 : réception non acceptable.

En cas d'essai non conforme, il est procédé à un contre-essai sur le même tronçon ; si le résultat du premier est confirmé, **le tronçon est déclaré non conforme et devant être remis en état** ; si le résultat est infirmé, un troisième essai est réalisé dont le résultat déterminera la conformité du tronçon.

Evaluation des difficultés de compactage (DC1 à DC3) des matériaux élaborés à granulométrie continue

Les graves comportant des éléments concassés, notamment les graves non traitées élaborées en carrière, ne peuvent être classées comme des graves naturelles au sens de la norme NF P 11-300 [7].

Le contrôle de compactage de ces matériaux se fait en les classant selon les difficultés de compactage DC1 à DC3.

En effet, l'angularité des grains induit une difficulté de compactage supplémentaire que l'on doit prendre en compte tant au niveau de la mise en œuvre que du contrôle.

Pour déterminer la difficulté de compactage d'un matériau comportant des éléments concassés, on peut soit :

- se référer au tableau n° 4.1 du guide "Remblayage des tranchées" [1] à condition de connaître l'Indice de Concassage du matériau (% d'éléments concassés) ;
- réaliser un essai de vibrocompression à paramètres contrôlés VCPC (cf. NF EN 13 286-3 [9]).

Bibliographie

- [1] Remblayage des tranchées et réfection des chaussées - Guide technique. Setra/LCPC, mai 1994, Réf. D9441.
- [2] Etude et réalisation des tranchées - Guide technique. Setra, 2001, Réf. D0124.
- [3] Remblayage des tranchées - Utilisation de matériaux autocompactants - Dossier Certu n° 78 – avril 1998.
- [4] NF P 98-331 : Tranchées : ouverture, remblayage, réfection. Afnor, février 2005.
- [5] XP P 94-063 : Contrôle de la qualité du compactage-méthode au pénétromètre dynamique à énergie constante. Afnor, août 1997.
- [6] XP P 94-105 : Contrôle de la qualité du compactage-méthode au pénétromètre dynamique à énergie variable. Afnor, mai 2000.
- [7] NF P 11-300 : Exécution des terrassements-classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Afnor, septembre 1992.
- [8] NF P 98-736 : Matériels de construction et d'entretien des routes - compacteurs - classification. Afnor, septembre 1992.
- [9] NF EN 13 286-3 : Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 3 : méthodes d'essai de détermination en laboratoire de la masse volumique de référence et la teneur en eau - Vibrocompression à paramètres contrôlés - Afnor - janvier 2004.

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

Rédacteur

Eric Evain - CETE Normandie-Centre
téléphone : 33 (0)2 35 68 82 81 - télécopie 33 (0) 2 35 68 81 88
Mél : eric.evain@equipement.gouv.fr

Renseignements techniques

Marie Odile Cavailles – Sétra
téléphone : 33 (0)1 46 11 35 70 - télécopie : 33 (0) 45 36 86 70
Mél : marie-odile.cavaillès@equipement.gouv.fr

AVERTISSEMENT

La collection des notes d'information du Sétra est destinée à fournir une information rapide. La contre-partie de cette rapidité est

le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son rédacteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en oratique.

Document imprimé par téléchargement à partir des sites web du Sétra :
- Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>
- I2 (réseau intranet du ministère de l'Équipement) : <http://intra.setra.i2>

Directeur de la publication : Jean-Claude Pauc – Directeur du Sétra
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction même partielle de ce document.
Référence : 0729w – ISSN : 1250-8675

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de l'Équipement

