

Cftr - info

TERRASSEMENTS : REMBLAIS ET COUCHES DE FORME

Résumé : *L'objet de la présente note d'information est de présenter la démarche française dans le domaine des terrassements. Elle s'appuie sur des années d'expérience qui ont abouti à la réalisation de plusieurs guides dont le principal est : «Réalisation des remblais et des couches de formes» paru en 1992.*

Cette note décrit les règles à suivre pour réaliser des travaux de terrassements en commençant par le classement des matériaux extraits jusqu'à leur réutilisation en remblai ou couche de forme.

INTRODUCTION

Les terrassements ont pour objectif essentiel de donner à une route les caractéristiques géométriques (profil en long, profil en travers, tracé) qui lui permettront d'être compatible avec sa destination fonctionnelle.

Cela se traduira essentiellement par un aplanissement des reliefs rencontrés.

Leur importance dépendra principalement du type d'ouvrage réalisé et des sites géographiques traversés.

Les terrassements sont un des enjeux fondamentaux dans la réalisation d'une infrastructure qu'elle soit routière, autoroutière, ferroviaire ou aéroportuaire. En effet, c'est à travers eux que se mesurera l'impact sur le paysage et l'intégration harmonieuse de l'ouvrage dans son environnement.

Ils constituent probablement la phase la plus délicate dans la réalisation d'un chantier car ils nécessitent tout au long de leur exécution, une adaptation aux sols rencontrés et aux conditions climatiques qui sont un des facteurs essentiels dans la réussite ou l'échec du chantier.

La démarche introduite par la RTR en 1976 fut le résultat des analyses menées par les laboratoires des ponts et chaussées. Elle s'articulait autour des volets suivants :

- l'établissement d'une classification des sols originale, fondée sur les seuls paramètres d'identification géotechniques ;
- l'énoncé de règles de mise en œuvre pour garantir la qualité des ouvrages en fonction des classes de sol et des conditions météorologiques ;
- les conditions de compactage à mettre en œuvre.

En 1992 deux documents de référence sont publiés : une norme AFNOR de classification des matériaux NF P 11-300 et un guide technique LCPC - SETRA pour la réalisation des remblais et des couches de forme.

- Le premier document s'inscrit dans la procédure de normalisation des textes de base du domaine chaussées terrassements,
- le deuxième prend en compte les recherches et les enseignements recueillis par la mise en application de la RTR. Il est intitulé Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) qui remplace les fascicules

2 et 3 de la RTR. Le fascicule 1 n'est pas remplacé, son contenu étant pour l'essentiel repris dans d'autres documents publiés depuis : CCTG, CCTP type, recommandation météorologie. Quant au fascicule 4 (1981) sa révision est actuellement en cours.

RÈGLES TECHNIQUES DE CONCEPTION ET DE RÉALISATION DES TERRASSEMENTS EN FRANCE

Elles s'appuient sur le Guide technique «Réalisation des remblais et des couches de forme» publié en 1992 par le SETRA et le LCPC.

Il est constitué par 2 fascicules : le premier : Principes généraux, le deuxième : Annexes techniques.



Ces deux fascicules présentent :

- la classification des matériaux,
- les conditions d'utilisation des matériaux en remblai,
- les conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme,
- les modalités de compactage des remblais et des couches de forme.

Les préoccupations du GTR sont :

- du point de vue technique, tirer parti au mieux des matériaux et assurer un certain niveau de qualité ;
- au niveau des projets et des marchés, aboutir à des spécifications qui prennent en compte les différentes éventualités possibles et qui soient contrôlables ;
- sur le plan général fournir un cadre permettant de traiter les problèmes de terrassements de façon relativement homogène.

CAS DES SOLS COMPRESSIBLES

La construction de remblais peut poser des problèmes sur des types de sols tels que les tourbes, les vases, les argiles molles ou les limons argileux . Ces sols associent en général, une forte déformabilité et une résistance faible. On les appelle habituellement «sols compressibles» ou «sols mous».

La construction de remblai sur de tels sols pose quatre types de problèmes : de stabilité, de déformations, d'efforts «parasites» sur les ouvrages voisins et de perturbation de l'écoulement des eaux.

Ces difficultés doivent être traitées quelle que soit l'épaisseur du remblai. Ils sont abordés dans le guide «étude et réalisation des remblais sur sols compressibles».

CLASSIFICATION DES SOLS EN VUE DE LEUR UTILISATION EN REMBLAI OU EN COUCHE DE FORME

Classification des sols (classes A, B, C et D)

Les paramètres pour la classification des sols sont divisés en 3 catégories :

- les paramètres de nature,
- les paramètres de comportement mécanique,
- les paramètres d'état.

Paramètres de nature

Ils se rapportent à des caractéristiques intrinsèques et concernent la granularité et l'argilosité :

- La dimension D_{max} des plus gros éléments,
- le pourcentage d'éléments $> 80 \mu m$, l'indice de plasticité I_p et la valeur au bleu de méthylène qui définissent l'argilosité du sol ; le degré de sensibilité à l'eau,
- le pourcentage d'éléments $> 2 mm$ qui permet d'établir une distinction entre les matériaux sableux et graveleux.

Paramètres de comportement mécanique

Ces paramètres ne sont pris en considération que pour juger de l'utilisation possible des sols en couche de forme.

Ils distinguent les matériaux dont la fraction granulaire est susceptible de résister au trafic et qui de ce fait peuvent être utilisés tels quels dans la construction des couches de forme, de ceux qui risquent de se fragmenter pour se transformer en un sol constitué en majorité d'éléments fins, inutilisable dans son état naturel sans dispositions particulières (traitement).

Ces paramètres concernent :

- le coefficient Los Angeles (LA),
- le coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE),
- la friabilité des sables (FS),
- le coefficient de fragmentabilité (FR),
- le coefficient de dégradabilité (DG).

Paramètres d'état

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve.

Pour les sols meubles sensibles à l'eau, le seul paramètre d'état considéré est l'état hydrique : son importance est capitale vis à vis de tous les problèmes de remblai et de couche de forme.

Il existe cinq états hydriques caractérisés par les paramètres suivants :

- La position de la teneur en eau naturelle (W_n) de la fraction 0/20 mm du matériau par rapport à l'optimum Proctor normal (W_{opn}),
- la position de la teneur en eau naturelle (W_n) par rapport aux limites d'Atterberg (W_L et W_p) qui s'exprime par l'indice de plasticité I_p ,
- l'indice portant immédiat (IPI) qui exprime la valeur de l'indice CBR immédiat. Il traduit concrètement les difficultés de circulation des engins.

Classification des matériaux rocheux (classe R)

La première étape consiste à identifier la nature pétrographique de la roche (craies, calcaires, roches argileuses, roches siliceuses, roches salines),

La deuxième étape vise à préciser comment le matériau va se comporter tout au long des phases successives d'extraction, chargement, réglage, compactage sous la circulation des engins lourds et sous la pluie, et s'il risque encore d'évoluer

une fois l'ouvrage en service, sous l'action des contraintes mécaniques, de l'eau ou du gel.

Les paramètres d'état et de comportement mécanique retenus dans la classification des matériaux rocheux sont :

- le coefficient Los Angeles (LA),
- le coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE),
- la valeur de la masse volumique de la roche déshydratée (ρ_d),
- le coefficient de fragmentabilité (FR),
- le coefficient de dégradabilité (DG),
- la teneur en eau naturelle (W_n),
- la teneur en éléments solubles (% NaCl, gypse).

Dans certains cas, les matériaux rocheux ne peuvent pas être extraits de façon traditionnelle. L'entrepreneur doit alors avoir recours à l'emploi d'explosifs.

Le guide technique sur «les terrassements à l'explosif» apporte toutes les informations nécessaires pour préparer le marché et faire le chantier.

Classification des sols organiques et sous produits industriels (Classe F)

Cette dernière catégorie concerne des matériaux particuliers dont l'emploi en remblai et en couche de forme peut, dans certains cas, se révéler intéressant du point de vue technique et économique, à condition de ne pas nuire à l'environnement.

LES CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX EN REMBLAI

La classification des sols précédemment définie, associée à la situation météorologique prévisible au moment des travaux a permis de proposer des conditions générales d'utilisation des matériaux.

Ces conditions sont regroupées en 7 rubriques :

- E : extraction,
- G : action sur la granularité,
- W : action sur la teneur en eau,
- T : traitement
- R : régalinge
- C : compactage
- H : hauteur des remblais



LA COUCHE DE FORME

La couche de forme est définie comme la structure réalisant l'interface entre la Partie Supérieure des Terrassements (PST) (dernier mètre des terrassements en déblai ou remblai) et le corps de chaussée.

La couche de forme remplit plusieurs fonctions à court terme et à long terme.

Les fonctions «à court terme» pour assurer la mise en œuvre des couches de chaussées selon les exigences de qualité requise (nivellement et traficabilité «quasi tout temps» de la

plate-forme, qualité de compactage de la couche de fondation, protection hydrique et thermique de la PST, etc) et les fonctions à «long terme» visant le comportement de la chaussée en service (homogénéisation et maintien dans le temps d'une portance minimale de la plate-forme, protection le cas échéant des sols gélifs du sol support, etc...).

Ensuite il faut examiner si les matériaux envisagés par le projet sont utilisables pour réaliser la couche de forme.

Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme

Les techniques d'amélioration de la couche de forme sont regroupées en 4 rubriques :

- G : action sur la granularité,
- W : action sur la teneur en eau,
- T : traitement,
- S : protection superficielle.

Démarche pour le dimensionnement de la couche de forme

L'épaisseur préconisée pour la couche de forme est déterminée au terme de la démarche suivante :

La classification géotechnique des sols et les conditions hydriques intéressant la PST permettent de distinguer 7 cas :

A chaque PST est associée une ou deux classes de portance de l'arase de terrassement, notée ARi (portance à long terme au niveau de la surface de la PST). Pour chacune de ces situations et pour les différents matériaux de couche de forme, il est alors préconisé une épaisseur de couche de forme. Cette épaisseur est fixée de sorte qu'elle :

- satisfasse aux divers critères de résistance permettant une mise en œuvre correcte des couches de chaussée,
- assure la pérennité d'une valeur minimale de portance à long terme de la plate-forme support de chaussée.

A partir du couple «PST - couche de forme», on détermine la portance à long terme de la plate-forme support de chaussée. Quatre classes de portance notées PFi sont fixées avec comme limites basses 20, 50, 120 et 200 MPa. La classe PF4 supérieure ou égale à 200 MPa est introduite du fait des caractéristiques qu'il est maintenant possible d'atteindre avec certains matériaux traités aux liants hydrauliques.

Enfin des règles de surclassement de portance des plates-formes sont fournies dans le GTR lorsqu'on augmente l'épaisseur de la couche de forme au-delà des minima préconisés.

Cette démarche et ces propositions sont en cohérence avec les dispositions de dimensionnement des structures de chaussée.

LE COMPACTAGE DES REMBLAIS ET DE COUCHES DE FORME

En remblai le compactage est destiné à limiter les tassements et assurer la stabilité.

En couche de forme, il permet d'obtenir des caractéristiques suffisantes de raideur et de résistance pour ne pas provoquer des déformations et des désordres dans les chaussées.

Pour un compactage efficace il faut maîtriser quatre éléments :

- la classification des matériaux (nature, état, comportement),
- le matériel de compactage utilisé (type d'engin - paramètres de construction et de fonctionnement),
- la mise en œuvre (épaisseur compactée),
- l'objectif de compactage,

La classification des matériaux

Elle est telle que définie précédemment en classes et sous-classes.

Le matériel de compactage

Les engins de compactage font l'objet d'un classement que l'on trouve dans la norme NF P 98-736. Ils peuvent être divisés en cinq familles classées selon leur efficacité :

- Pi : les compacteurs à pneus,
 - Vi : les compacteurs vibrants à cylindres lisses,
 - VPi : Les compacteurs vibrants à pieds dameurs,
 - SPi : les compacteurs statiques à pieds dameurs,
 - PQi : les plaques vibrantes.
- i est le numéro de la classe.*

Les compacteurs à pneus Pi

Ils sont classés selon la charge par roue CR.

Les compacteurs vibrants à cylindre lisse Vi et les compacteurs vibrants à pieds dameurs VPi

Ils sont classés à partir du paramètre $(M1/L \sqrt{A0})$:

- M1 est la masse totale s'appliquant sur la génératrice du cylindre (vibrant ou statique),
- L est la longueur de la génératrice du cylindre (vibrant ou statique),
- A0 est l'amplitude théorique à vide.

Les compacteurs statiques à pieds dameurs SPi

Le classement est fait selon la charge statique moyenne par unité de largeur des cylindres à pieds (M1/L).

Les plaques vibrantes PQi

Elles sont classées à partir de la pression statique sous la semelle Mg/S exprimée en kPa (Mg représente le poids de la plaque).

La mise en œuvre

Les niveaux d'énergie de compactage exigés sont adaptés selon l'état hydrique des matériaux et leur classe. Ils peuvent être augmentés dans certains cas (matériaux sensibles à l'eau ou traité aux liants hydrauliques).

La vitesse de déplacement des compacteurs vibrants à cylindre lisse peut varier pour optimiser les débits.

Les objectifs de compactage

Deux critères permettent de qualifier la qualité des remblais et des couches de forme :

- la masse volumique sèche moyenne sur l'épaisseur compactée,
- la masse volumique sèche en fond de couche.

Deux objectifs de compactage ont été déduits :

- objectif «q4» pour les remblais :

- la masse volumique sèche moyenne sur toute l'épaisseur de la couche compactée doit être supérieure ou égale à 95 % de la masse volumique sèche maximale de l'essai Proctor normal,

- la masse volumique sèche sur 8 cm au dessus du fond de la couche compactée doit être supérieure ou égale à 92 % de la masse volumique sèche maximale de l'essai Proctor normal.

- objectif «q3» pour les couches de forme :

Les valeurs précédemment définies sont respectivement supérieures ou égales à 98,5 % et 96 %.

Ces valeurs relatives de masse volumique ne sont pas à considérer comme des prescriptions, elles constituent seulement des repères.

Les modalités pratiques de compactage ont été déterminées à partir des résultats obtenus sur un grand nombre de planches d'essai, ainsi que la connaissance des sollicitations induites dans le sol (contrainte normale verticale).

Ces modalités pratiques sont traduites dans les tableaux de compactage pour les différents couples «matériaux-matériel» par les paramètres e, Q/S et la vitesse de translation.

Le tableau ci-dessus fournit en fonction du type de compacteur, l'épaisseur maximale (il s'agit de l'épaisseur après compactage et non foisonnée) des couches à mettre en œuvre ainsi qu'un rapport Q/S exprimé en m^3/m^2 qui exprime le rapport entre le volume Q de sol compacté et mis en œuvre pendant un temps donné (par exemple la journée) et S la surface balayée pendant le même temps par le compacteur sur le sol mis en œuvre. Le volume Q est déduit du nombre de rotations des engins de transport de contenance connue ou au départ par évaluation du volume géométrique de l'ouvrage réalisé pour étalonner les engins de transport. La surface S se déduit de la largeur utile du compacteur multiplié par la distance parcourue par celui-ci et qui est généralement enregistrée par un compteur kilométrique ou mieux par un contrôlographe monté sur le compacteur.

Le contrôle du compactage

Le contrôle du compactage, qui constitue la phase essentielle de la surveillance des chantiers de terrassements peut s'effectuer de deux façons différentes :

- en mesurant les densités obtenues,
- par la méthode du contrôle en continu (e, Q/S)

Si pour les sols fins l'une ou l'autre des deux méthodes peut être choisie, pour beaucoup de sols (ceux dont au moins 25 % des éléments sont supérieurs à 20 mm) seule la méthode du contrôle en continu doit être envisagée, les mesures de densité n'étant alors plus fiables.

Cette note a été rédigée par Catherine DROUAUX, SETRA et Michel PEYRON, CETE d'AIX.

Document réalisé et édité par le Comité Français pour les Techniques Routières

CFTR 46, Avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 BAGNEUX CEDEX - France

Téléphone : 01.46.11.34.12 ou 01.46.11.33.21 - Télécopie : 01.46.11.36.92 - E-mail : cftr@i-carre.net - Internet : www.cftr.asso.fr

Disponible au bureau de vente du SETRA

46, Avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 BAGNEUX CEDEX - France

Téléphone : 01.46.11.31.53 - Télécopie : 01.46.11.33.55

Référence du document : **RI 0201**

Avertissement : Les notes "CFTR INFO" sont destinées à donner une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et de non-exhaustivité. Ces documents ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité ni des auteurs, ni du Comité Français pour les Techniques Routières.

Le présent document ne pourra être utilisé ou reproduit - même partiellement - sans l'autorisation du CFTR.