

Cftr - info

LE TRAITEMENT DES SOLS

Résumé : La présente note d'information expose les grandes lignes de la technique française de traitement des sols à la chaux ou aux liants hydrauliques préconisée par le Guide de Traitement des sols édité par le LCPC et le SETRA en janvier 2000.

Cette technique a permis dans un premier temps de pouvoir utiliser en remblais les sols sensibles à l'eau et dans un second temps d'améliorer la portance des couches de forme afin d'optimiser le dimensionnement.

INTRODUCTION

La technique du traitement des sols a été utilisée en France à partir de la fin des années soixante et appliquée essentiellement à la réutilisation en remblai des sols sensibles à l'eau et dans les zones climatiques humides. Elle a ainsi permis de réaliser, dans de très bonnes conditions techniques et économiques, les grands travaux de terrassement générés par la construction des grandes infrastructures autoroutières, ferroviaires et aéroportuaires.

En raison du succès rencontré, cette technique s'est étendue à la réalisation des couches de forme de chaussées, afin d'améliorer la portance et d'optimiser le dimensionnement du couple chaussées/couches de forme.

Ce domaine a été abordé à partir des sols fins, en développant en particulier la technique du traitement mixte chaux - ciment des limons, puis progressivement s'est étendue à une palette de plus en plus large de matériaux, allant des sols fins

aux graves argileuses ou propres, voire aux mélanges de sols fins et d'éléments blocailleux.

Parallèlement, les techniques d'exécution, les matériels, les produits de traitement se multipliaient et se diversifiaient pour s'adapter aux particularités de cette variété de matériaux. De nombreuses publications, ont rendu compte des progrès qui étaient obtenus au fur et à mesure des chantiers.

Dans un contexte aussi évolutif, il était difficile, de produire un document méthodologique qui risquerait de figer prématurément la technique.

Toutefois, dès la fin des années quatre-vingt, devant la place grandissante occupée par les couches de forme en sols traités dans les grands projets et la prise en compte toujours plus forte de ces couches dans la structure des chaussées, un tel document devenait indispensable.

Un premier pas a été fait en 1992, avec la parution du GTR (guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme), qui précise les classes de matériaux devant

subir un traitement pour être utilisés dans des couches de forme et propose une démarche empirique pour la prise en compte de ces couches de forme en sols traités dans le dimensionnement des structures de chaussées.

Il restait cependant à préciser tous les aspects d'étude, de réalisation et d'assurance de la qualité de telles couches de forme.

Le guide technique sur le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques est donc paru en janvier 2000. Il présente les différents aspects du traitement des sols avec de la chaux et/ou des liants hydrauliques et entre autres, les principes généraux des études de laboratoire, les techniques et les matériels d'exécution et l'assurance de la qualité.

Ce document synthétise l'expérience française de plus de trente années au cours desquelles cette technique a connu un constant développement.

Il concerne spécifiquement les remblais routiers, les couches de forme et certaines couches de forme intégrées dans le calcul de dimensionnement de la structure.

Il est en cohérence avec le guide technique "réalisation des remblais et des couches de forme" (GTR) le guide technique "conception et dimensionnement des structures de chaussées" et le "Catalogue des structures types de chaussées neuves", parus en 1998.

NOTIONS GÉNÉRALES À CONNAÎTRE POUR POUVOIR FAIRE DU TRAITEMENT DES SOLS

Les paramètres indispensables à connaître pour la réalisation d'un traitement de sol sont :

- l'identification des sols (granularité, l'argilosité, état hydrique, les constituants chimiques indésirables, etc)
- la chaux (présentation, teneur en chaux libre, réactivité à l'eau)
- les liants hydrauliques routiers (proportion et nature des constituants) la proportion et la nature des constituants des liants hydrauliques.

Les mécanismes régissant les interactions entre les sols et la chaux ou les liants hydrauliques diffèrent sensiblement suivant la nature des matériaux en présence. La connaissance de ces principes permet de réaliser une bonne adéquation entre sols et produits de traitement pour un chantier donné.

L'action des liants hydrauliques est principalement due à la prise hydraulique qui produit la cimentation des éléments granulaires présents dans le sol.

L'action de la chaux et des liants hydrauliques routiers riches en chaux comportent plusieurs aspects.

Il se produit sur les sols argileux une réduction instantanée de l'argilosité avec floculation ainsi qu'une modification de son état hydrique.

Dans le cas des remblais courants, si le contexte géologique laisse apparaître une probabilité significative de présence dans le sol d'éléments perturbateurs, une vérification de l'aptitude du sol à être traité avec le produit envisagé doit être au préalable réalisée.

Les études géotechniques doivent donc permettre de qualifier le sol afin de déterminer les quantités de produit à introduire dans le sol.

Les études économiques consistent à comparer l'estimation du coût de la solution traitement avec celle de solutions alternatives traditionnelles.

LE TRAITEMENT EN REMBLAI

Le traitement des sols appliqué à la réalisation des remblais a principalement pour objet de permettre la réutilisation de sols sensibles à l'eau mais également l'objectif d'optimiser la ressource exploitable dans l'emprise du site afin de limiter les emprunts et les mises en dépôt des chantiers.

Le recours au traitement peut aussi être envisagé pour réaliser certaines parties de remblai, nécessitant des matériaux ayant des caractéristiques mécaniques supérieures à celles des corps de remblais courants. Ce peut être le cas, notamment, pour la "partie supérieure des terrassements" (PST), les zones de remblai d'accès difficile, la partie inférieure des hauts remblais construits avec des matériaux sensibles à l'eau ou évolutifs ou en zone inondable, les talus de remblais à forte pente, etc ...

La décision de procéder à un traitement des sols a le plus souvent une incidence importante sur l'économie du chantier, étant donné les quantités de matériaux entrant en jeu, les coûts des produits et des opérations de traitement. Cet aspect impose des études géotechniques et économiques détaillées pour reconnaître la nature, l'état, la localisation et les quantités des différentes formations nécessitant un traitement, et pour comparer les coûts des solutions alternatives. Le traitement des sols en remblai nécessite l'utilisation de matériels spécifiques comme des silos de stockage, des épandeurs à doseur volumétrique asservis à la vitesse d'avancement, des engins de malaxage constitués principalement par des charrues à disques ou à socs.

La technique d'exécution habituelle est celle du traitement "en place". Elle consiste à épandre le produit de traitement, dans le déblai ou sur le remblai, puis à le malaxer avec le sol. Des modalités de mélange différentes peuvent, cependant, se révéler plus pertinentes avec des matériaux particuliers tels que les craies ou les matériaux blocailleux.

Pour cette tâche, l'assurance de la qualité vise principalement à optimiser la consommation de produits de traitement. Cet aspect doit être pris en compte, tout d'abord, dans la formulation des stipulations, de manière à établir une répartition équitable des conséquences financières résultant des aléas portant sur les quantités de matériaux à traiter et de produit de traitement à utiliser. Ensuite, durant la phase d'exécution, différentes actions d'assurance de la qualité sont à réaliser afin de vérifier, d'une part, la conformité des ateliers de traitement avec les engagements pris et, d'autre part, le respect des modalités assurant l'optimisation de la consommation du produit de traitement recherchée. Enfin, il convient d'être vigilant vis-à-vis du respect des règles pratiques en matière de protection des personnes et de l'environnement.

LE TRAITEMENT DES COUCHES DE FORMES

Le GTR considère que des sols, des matériaux rocheux ou des sous-produits industriels sont aptes à constituer une couche de forme lorsqu'ils remplissent les quatre conditions suivantes :

- Insensibilité à l'eau,
- Granularité compatible avec les exigences de nivellement de la plate-forme,
- Résistance vis-à-vis de la circulation de chantier,
- Absence de gonflement sous l'effet du gel, le cas échéant.

Dans la réalité, on constate que seule une faible proportion des matériaux provenant des déblais ou des emprunts remplissent naturellement ces conditions. Pour les autres, il est nécessaire d'améliorer leur comportement par une technique appropriée, et en particulier, par un traitement avec de la chaux et/ou des liants hydrauliques.

Cette technique permet, en effet, de conférer à des matériaux qui, pour certains, ne seraient même pas utilisables en remblai, des performances largement supérieures à celles des matériaux granulaires naturels traditionnellement réservés à la réalisation des couches de forme. Elle peut également être appliquée à ces dernières pour en élever les performances et optimiser le dimensionnement d'un projet particulier.

La technique du traitement pour la réalisation des couches de forme intéresse donc la majorité des sols et des matériaux rocheux.

Il s'agit, cependant, d'une technique beaucoup plus délicate à maîtriser que celle traditionnelle utilisant des matériaux granulaires non traités. Elle s'exécute, en effet, selon des modalités plus nombreuses, plus complexes et plus contraignantes, aussi bien dans la phase "études" que dans la phase "travaux". Enfin, si des défauts apparaissent, les actions correctives nécessaires sont presque toujours lourdes, ce qui justifie la mise en place d'un système d'assurance de la qualité également plus exigeant.

Les études

Pour envisager l'utilisation d'un sol traité en couche de forme, il faut connaître, avec une précision suffisante, les principales caractéristiques géotechniques du gisement qu'on prévoit d'utiliser.

Pour ce faire, une reconnaissance géotechnique s'appuyant sur un nombre minimal de mesures, fonction du volume de matériau et du niveau de connaissance que l'on peut éventuellement en avoir a priori, est indispensable.

Si les plages de variation ainsi révélées dépassent certains seuils, il convient d'examiner si une technique de tri et/ou d'homogénéisation serait en mesure de les réduire pour satisfaire les seuils proposés.

Une fois ce problème résolu, l'étude de formulation, permettant de choisir le produit de traitement le mieux adapté et de déterminer le dosage nécessaire pour atteindre les objectifs performanciers visés, peut être engagée.

Toutefois, pour les chantiers de faible importance, il peut s'avérer préférable de fixer a priori, d'après l'expérience, les dosages à appliquer plutôt que d'engager une étude de formulation, compte tenu de son coût et de ses délais d'exécution. Dans cette situation, les dosages à retenir doivent cependant prendre en compte une certaine sécurité pour compenser l'absence d'étude.

Pour les autres chantiers, une étude de formulation s'impose. Son ampleur dépend de la plus ou moins grande participation de la couche de forme dans la structure de chaussée et de l'expérience déjà disponible sur le comportement du mélange considéré.

Trois niveaux d'études de formulation, d'ampleur croissante, sont ainsi proposés :

- ❶ - L'étude de formulation de niveau 1 correspond à une simple vérification que la formule, choisie a priori d'après l'expérience, permet d'atteindre le niveau de performances recherché à court et long terme.
- ❷ - Une étude de formulation de niveau 2 est à engager lorsque l'une au moins des conditions suivantes se présente :
 - L'étude de niveau 1 n'a pas confirmé le niveau de performances escompté a priori,
 - Les interactions du matériau avec le produit de traitement ainsi que l'incidence des dispersions courantes d'exécution sur le comportement du mélange sont mal connues,
 - Une optimisation économique du dosage ainsi que du couple "classe mécanique du sol traité – épaisseur de la couche de forme" est recherchée.

L'étude de formulation de niveau 2 est constituée d'une étude de niveau 1 à laquelle s'ajoute l'étude de l'incidence des facteurs d'influence que sont le dosage, la teneur en eau et la compacité, sur les performances du mélange.

- ❸ - Enfin, une étude de niveau 3 est à réaliser lorsqu'un dimensionnement de l'ensemble "couche de forme – structure de chaussée" utilisant une méthode de calcul est envisagé. L'objectif est alors de déterminer, pour différentes formules, les caractéristiques mécaniques pouvant être introduites dans le modèle de calcul afin de retenir celle qui conduit à une optimisation technique et économique de la chaussée. Cette démarche est cependant réservée aux projets importants pour lesquels peuvent être satisfaites certaines conditions spécifiques et en particulier la possibilité de disposer d'études de reconnaissance détaillées, de délais suffisants pour les études de formulation et de moyens d'exécution performants. Il faut également que les actions d'assurance de la qualité permettent une validation claire des résultats de l'étude de formulation à partir, notamment, de mesures sur carottes et avoir prévu la possibilité éventuelle de correction du projet au vu des résultats obtenus.

Les techniques et matériel d'exécution

La réalisation des couches de forme en sols traités à la chaux et/ou liants hydrauliques requiert l'exécution de différentes opérations élémentaires qui doivent être exécutées selon un ordonnancement précis et, pour certaines d'entre-elles, en un temps n'excédant pas le délai de maniabilité du mélange.

Une certaine partie seulement de ces opérations élémentaires est à exécuter dans tous les cas de chantier, ce sont :

- La fabrication du mélange (en place ou en centrale)
- Le pré réglage
- Le compactage partiel
- Le réglage final
- Le compactage final
- L'application d'une protection superficielle

D'autres en revanche, comme :

- La préparation initiale du sol,
- L'ajustement de l'état hydrique du mélange,
- Le cloutage, etc...

ne sont à réaliser que si le contexte du chantier les exige.

Les opérations élémentaires importantes vis-à-vis de la qualité de l'ouvrage sont les suivantes :

■ La préparation initiale du sol.

Elle a pour objet l'homogénéisation des caractéristiques de nature et d'état hydrique du sol pour les mettre en concordance avec les valeurs considérées dans l'étude du matériau traité. Les techniques et le coût de cette opération sont souvent difficiles à définir avec précision au stade de l'étude du projet.

■ La fabrication du mélange.

Dans le cas de la fabrication en place, cette opération comprend :

- L'épandage du produit de traitement ;
- Le malaxage de ce produit avec le sol ;
- L'ajustement de l'état hydrique du mélange, le cas échéant.

Le mélange ne peut être fabriqué dans une centrale que pour des sols dont l'écoulement dans les organes de dosage se fait correctement. Ce qui n'est possible qu'avec des sols non argileux ou des sols moyennement argileux prétraités à la chaux.

En centrale, la formulation, le malaxage et l'épaisseur sont beaucoup mieux maîtrisés. Mais le transport des matériaux engendre une augmentation du trafic poids lourds sur la voirie locale. Elle est donc plutôt réservée aux grands chantiers où la mise en place d'une centrale mobile peut se faire sur le site même.

Le traitement en place peut poser des problèmes environnementaux mais reste d'un coût souvent inférieur au traitement en centrale. Il est aussi plus souple d'utilisation.

■ Le réglage.

Pour garantir la conformité de l'épaisseur de la couche traitée à la valeur prise en compte dans le dimensionnement de la structure, il est impératif que le réglage soit obtenu par raboutage, sur toute la surface de la couche, d'une certaine épaisseur de sol traité. Ceci nécessite d'effectuer le réglage en deux séquences avec un pré réglage à une cote qui permet après compactage d'assurer une surépaisseur pour permettre le réglage final.

■ Le compactage.

Il a pour objet l'obtention de valeurs de compacité, notamment en fond de couche, conformes à celles prises en compte dans l'étude du dimensionnement de la structure. Il doit se faire également en deux séquences séparées par l'opération de réglage fin.

■ La protection superficielle

Elle a pour objet de maîtriser l'évaporation du sol traité et /ou de le protéger de l'imbibition durant la prise hydraulique. Elle a également souvent un rôle de protection vis-à-vis des émissions de poussières et des agressions du trafic de chantier. Pour les sols fins un cloutage est recommandé.

Démarche qualité

Les stipulations traduisant la "qualité requise" d'une couche de forme en sol traité sont constituées par :

- des spécifications portant sur des valeurs à obtenir (notamment des performances mécaniques) ;
- des prescriptions portant sur les méthodes et les moyens à mettre en œuvre.

Les moyens et méthodes que l'entreprise prévoit d'utiliser pour réaliser certains aspects de l'exécution des travaux sont présentés dans le Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance de la Qualité (SOPAQ). Il est remis dans l'offre.

Le SOPAQ est le seul document contractualisable de la démarche.

Le Plan d'Assurance Qualité (PAQ) est ensuite rédigé par l'entrepreneur pendant la préparation du chantier à partir du SOPAQ, en concertation avec le maître d'œuvre.

Le Schéma Directeur de la Qualité est ensuite établi par le maître d'œuvre. Il est le document de référence pour la démarche qualité du chantier.

Le plan de contrôle est enfin établi par le maître d'œuvre.

Le PAQ est ensuite adapté en fonction du déroulement du chantier.

A l'achèvement du chantier, les documents de synthèse et de bilan doivent être établis systématiquement

Cette note a été rédigée par Catherine DROUAUX, SETRA et Marc SCHAEFFNER, LCPC.

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 0202**

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.