

## Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais et des couches de forme

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au ciment ou au liant hydraulique routier (LHR) est une technique éprouvée et parfaitement au point, qui a connu un très fort développement depuis une vingtaine d'années.



Ce développement est dû essentiellement à deux phénomènes :

- le premier phénomène est lié à des impératifs économiques associés à un souci écologique croissant. En effet, alors que les profils géométriques des projets routiers deviennent de plus en plus contraignants et demandent des mouvements de terre importants dans des sols parfois difficilement réutilisables, les gisements naturels de matériaux nobles, inégalement répartis, s'épuisent. Il convient donc d'épargner les ressources existantes, d'autant plus que le coût du transport est élevé. Ajouté à ces impératifs économiques, son succès actuel est dû également à l'apparition d'un nouveau

contexte prenant en compte l'amélioration du cadre de vie et la protection de l'environnement, notamment dans la limitation de la constitution de décharges de matériaux impropres à la réutilisation et la préservation des ressources naturelles utilisées par les techniques dites traditionnelles dans l'exécution des remblais et des couches de forme,

- le second phénomène repose sur les progrès technologiques réalisés ces dernières années par les matériels de traitement. Nous sommes loin actuellement des conditions matérielles de la première expérience réalisée en France en 1962 : les perfectionnements énormes apportés aux matériels d'épandage et de malaxage et l'augmentation du parc de matériel de

traitement ainsi que sa diversification (plus de 150 machines et plusieurs ateliers compacts de traitement des sols existent actuellement en France) ont permis d'améliorer sensiblement les rendements et la qualité du travail réalisé.

Aujourd'hui, la technique du traitement aux liants hydrauliques s'étend à un nombre de plus en plus élevé de sols : limons, argiles, marnes, matériaux sableux, sableux-graveleux et graveleux, craies, calcaires tendres...

Ainsi, c'est une technique alternative propre, économe en granulats d'apports et en énergie, permettant de valoriser les matériaux présents in situ, qui auraient été mis en décharge par une technique traditionnelle et qui présente les atouts nécessaires sur le plan technique, économique, écologique et environnemental. La technique du traitement des sols est considérée aujourd'hui comme une technique classique dans l'exécution des remblais et des couches de forme.

L'objet de cette documentation technique est de présenter une synthèse des connaissances et des règles de l'art, relatives à la technique du traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais ou des couches de forme.

## LE TRAITEMENT DES SOLS

### ■ Définition et objet

Le traitement des sols avec un liant est une technique qui consiste à incorporer, au sein du sol, cet élément d'apport avec éventuellement de l'eau et de les mélanger plus ou moins intimement in situ, jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène pour lui conférer des propriétés nouvelles. Il s'agit d'un traitement qui utilise les affinités chimiques du sol et du liant, par opposition au traitement mécanique, comme le compactage, qui peut se superposer au premier.

Le traitement des sols pour l'exécution des remblais et des couches de forme, a pour objet de rendre utilisable un sol qui ne présente pas les caractéristiques requises pour servir sans préparation, à supporter une assise de chaussée, de parking ou de plate-forme.

Il a deux raisons d'être :

- soit pour améliorer des sols trop humides, qu'il s'agisse du sol en place pour permettre la progression du chantier ou de sols à réutiliser en remblai ;
- soit pour réaliser des plates-formes rigides et stables aux intempéries pour la circulation de chantier et la mise en œuvre de la fondation.

L'optique du traitement est différente selon le cas :

- dans le premier cas, on cherche un effet rapide et de niveau suffisant pour rendre la circulation des engins et la mise en œuvre possibles, mais sans chercher à obtenir des performances mécaniques élevées par la suite ;
- dans le second cas, on recherche une résistance mécanique pour la plate-forme. Le choix des opérations est alors étudié pour obtenir un matériau relativement noble par rapport au matériau naturel.

### ■ Avantages de la technique

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au ciment ou au liant hydraulique routier (LHR) est une technique qui offre trois types d'avantages : techniques, économiques, écologiques et environnementaux.

#### ● Avantages techniques

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au liant hydraulique permet la réalisation en remblais et en couches de forme, d'une couche traitée homogène, durable et stable, présentant des caractéristiques mécaniques comparables à celles d'une grave-ciment ou grave hydraulique. En outre, cette technique assure une bonne répartition des charges sur le support, grâce à la rigidité de la nouvelle structure. Cette technique assure un bon comportement par temps chaud sans déformation, ni orniérage et un bon comportement vis-à-vis des cycles de gel-dégel, grâce à la rigidité du matériau et à l'effet de dalle induit. Enfin, le traitement des sols en place est une technique possédant une facilité d'adaptation aux contraintes d'exploitation.

#### ● Avantages économiques

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au liant hydraulique est une technique de traitement à froid, donc utilisant peu d'énergie. La réutilisation des matériaux en place est un facteur d'économie important puisqu'il réduit au minimum les déblais issus du décaissement, la mise en décharge, l'apport de granulats et le coût de leur transport. L'absence de transport de granulats ou des déblais en décharge contribue à la préservation du réseau routier situé au voisinage du chantier.

Enfin, le traitement des sols en place est une technique très économique, notamment du fait de la durée plus courte des travaux par rapport à une solution avec décaissement.

#### ● Avantages écologiques et environnementaux

Le travail à froid réduit sensiblement la pollution et le rejet de vapeurs nocives dans l'atmosphère. En outre, cette technique permet une importante économie d'énergie globale, par la réduction des matériaux à transporter, des matériaux à mettre en décharge et donc une diminution des impacts indirects, des gênes à l'usager et aux riverains et une réduction de la fatigue du réseau routier adjacent au chantier.

La réutilisation des matériaux en place limite l'exploitation des gisements de granulats (carrières, ballastières), ressources naturelles non renouvelables. Ce qui contribue à préserver l'environnement.

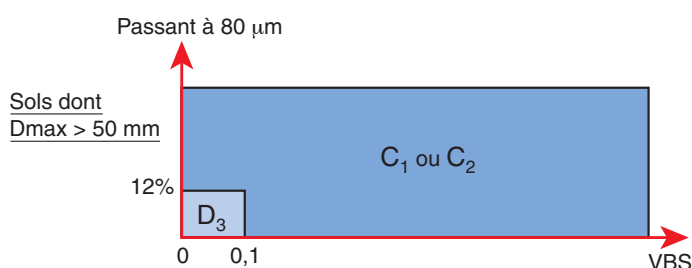
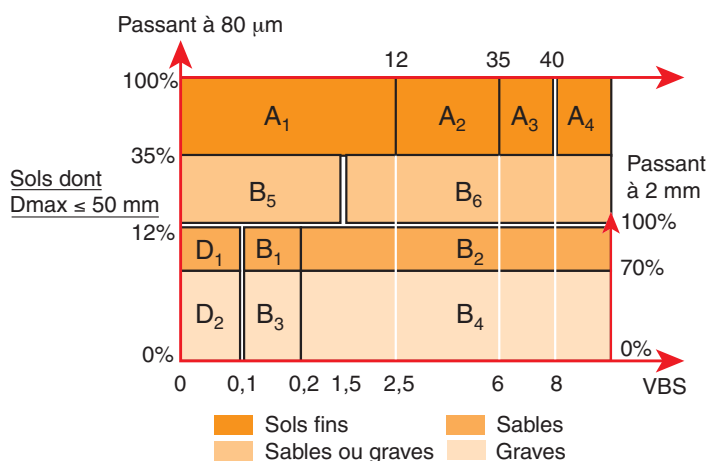
### ■ Les sols

Le couple sol-liant doit être en adéquation avec l'application (remblai ou couche de forme) et le niveau de performance recherchées. Ainsi une caractérisation du sol utilisé doit être effectuée (voir "Les études préalables"). La norme NF P 11-300 "Classification de matériaux utilisables dans la construction

des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières" permet de classer les sols (voir Tableau 1) en fonction d'un certain nombre de paramètres :

- Classe A - Sols fins
- Classe B - Sols sableux et graveleux avec fines
- Classe C - Sols comportant des fines et des gros éléments
- Classe D - Sols insensibles à l'eau.

Tableau 1 : Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature, suivant la norme NF P 11-300 :



## Les liants et les différents types de traitements

Selon l'utilisation prévue (en couches de forme ou en remblais) ou en fonction du type de sol à stabiliser, il existe plusieurs types de traitements des sols qui ne diffèrent que par la nature du liant utilisé. En France, on utilise presque exclusivement les traitements suivants :

- le traitement à la chaux (selon les normes NF EN 459-1 et NF P 98-101) dans le cas de sols fins destinés à une utilisation en remblais ou en couches de forme ;
- le traitement au ciment (selon la norme NF EN 197-1) ou au liant hydraulique routier (LHR) (selon les normes NF P 15-108 et ENV 13 282 ou avis technique du Comité Français pour les Techniques Routières - CFTR) dans le cas de sols peu plastiques ou peu argileux destinés à une utilisation en remblais ou en couches de forme ;
- le traitement mixte à la chaux puis au ciment ou au liant hydraulique routier destiné à une utilisation en couches de forme.

## Action des liants sur les sols

### Action de la chaux sur les sols

Les sols fins, c'est-à-dire les sols qui contiennent des proportions notables d'argiles et de limons, ont des propriétés routières déplorables. Ils gonflent et deviennent plastiques en présence d'eau, se rétractent avec la sécheresse, foisonnent sous l'effet du gel. Ils n'ont donc aucune stabilité face aux variations climatiques. Ils peuvent ainsi se trouver, soit dès l'extraction, soit à la suite d'intempéries, à un degré de consistance tel que la circulation des engins devienne difficile, voire impossible, ce qui par voie de conséquence rend leur utilisation délicate.

Compte tenu de ses propriétés, la chaux modifie de façon sensible le comportement des sols fins argileux ou limoneux, grâce à trois actions distinctes :

#### • Une diminution de la teneur en eau

La teneur en eau d'un mélange sol-chaux se trouve abaissée en raison de :

- L'apport de matériaux secs ;
- La consommation de l'eau nécessaire à l'hydratation de la chaux (chaux vive) ;
- L'évaporation d'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation et par l'aération provoquée par le malaxage.

En moyenne, la diminution de la teneur en eau d'un sol traité est de l'ordre de 1 à 2 % pour 1 % de chaux.

#### • Des modifications immédiates des propriétés géotechniques du sol

L'incorporation de chaux dans un sol argileux, développe une agglomération des fines particules argileuses en éléments plus grossiers et friables : c'est la floculation. L'incidence de ces réactions sur le mélange sol-chaux sont :

- Une diminution de l'indice de plasticité Ip ;
- Une augmentation de l'indice portant immédiat IPI ;
- Un aplatissement de la courbe Proctor avec diminution de la densité de l'optimum Proctor et augmentation de la teneur en eau optimale (voir figure 1).

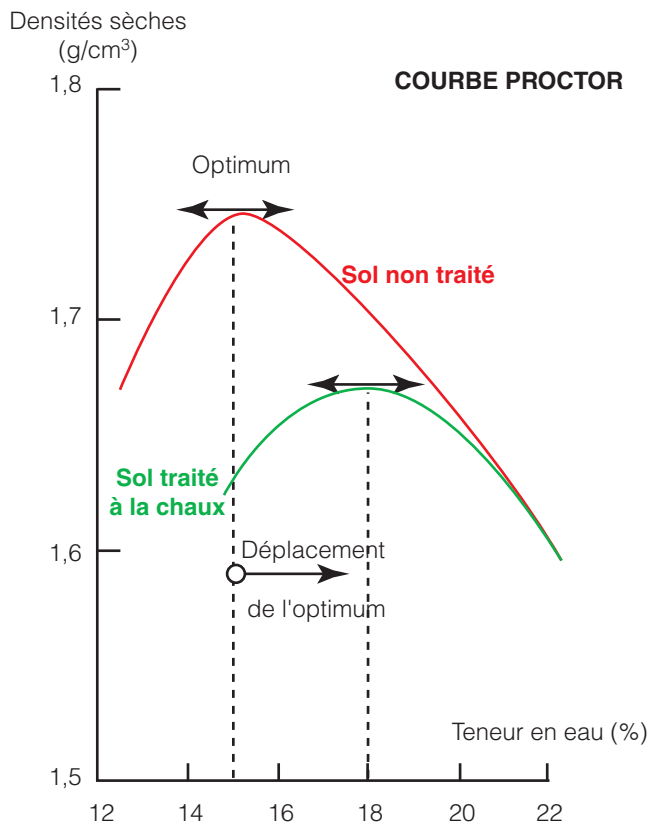
Un sol argileux humide passe ainsi de manière quasi-instantanée d'un état plastique à un état solide, friable, non collant et perd partiellement sa sensibilité à l'eau. Sa manipulation sur chantier devient aisée, son comportement à la mise en œuvre et sa portance sont améliorés. L'homogénéité qu'il acquiert le place dans des conditions idéales pour subir le traitement au ciment ou au liant hydraulique routier.

#### • Des modifications à long terme

La chaux, en tant que base forte, élève le pH du sol et provoque l'attaque des constituants du sol (silice et alumine). Il se forme alors des aluminates et des silicates de calcium hydratés (réaction pouzzolanique) qui, en cristallisant, agissent comme un liant entre les grains. Il est à noter que l'intensité et la vitesse de ces réactions à long terme dépendent d'un certain nombre de caractéristiques du sol : pH, teneur en matières organiques, quantité et la nature de la fraction argileuse, teneur en eau, dosage en chaux maximal (fonction de la quantité maximale de chaux "consommable" par l'argile présente dans le sol) et surtout température.



Figure 1 : Influence du traitement à la chaux sur les caractéristiques d'un sol



Action des liants sur les sols après malaxage.

## ● Action du ciment et des liants hydrauliques routiers (LHR) sur les sols

Le traitement des sols au ciment ou aux LHR permet d'améliorer les caractéristiques initiales des matériaux et s'appliquent à des sols fins prétraités à la chaux ou des sols peu ou pas plastiques, dont les teneurs naturelles en eau trop élevées ne permettent pas de réaliser des remblais ou des couches de forme dans de bonnes conditions et avec des garanties suffisantes de qualité. Il est surtout utilisé dans le but d'obtenir un développement rapide et durable des résistances mécaniques et des stabilités à l'eau et au gel.

Compte tenu de leurs propriétés, le ciment et les LHR modifient de façon sensible le comportement des sols peu ou pas plastiques, grâce à deux actions distinctes :

- Des modifications immédiates et à long terme des propriétés géotechniques et mécaniques du sol

Les réactions du ciment et du LHR avec un sol consistent essentiellement en une hydratation des silicates et aluminates de calcium anhydres, avec passage par la phase soluté suivie de la cristallisation des produits hydratés : c'est la prise hydraulique.

La croissance des microcristaux formés, leur enchevêtrement, leur feutrage progressif, enrobent et relient les grains du matériau entre eux, formant des ponts de plus en plus nombreux et solides. Ce qui conduit rapidement au durcissement du mélange, à l'obtention de caractéristiques mécaniques élevées et sa stabilité à l'eau et au gel.

- Une diminution de la teneur en eau

La teneur en eau d'un mélange sol-ciment ou sol-LHR se trouve abaissée en raison de :

- L'apport de matériaux secs ;
- La consommation de l'eau nécessaire à la prise hydraulique du ciment ou du LHR ;
- L'évaporation d'eau par l'aération du sol lors du malaxage.

En revanche, on ne note pas de modifications importantes de la courbe Proctor.



Aspect visuel d'un sol après traitement.

## ■ Domaines d'emploi selon le couple sol-liant

Dans le cas des sols fins, comme les limons et argiles, des graves et sables fortement argileux, humides, le traitement à la chaux est adapté pour l'utilisation en remblai ou pour l'amélioration de la portance de la partie supérieure des terrassements (PST), grâce essentiellement à ses effets immédiats (assèchement et floculation des éléments fins).

Pour l'utilisation en couche de forme, où les propriétés mécaniques élevées de la plate forme sont rapidement requises et recherchées, le traitement à la chaux de ces mêmes sols plastiques peut constituer un traitement en soi (dans certaines applications), mais est surtout utilisé comme traitement préliminaire à un traitement au ciment ou aux LHR de ces mêmes matériaux : on parle alors de traitement mixte.

Dans le cas de matériaux peu argileux, il n'est pas conseillé d'utiliser le traitement à la chaux pour réduire la teneur en eau, car l'amélioration obtenue n'est alors que temporaire et ne modifie en rien la nature du matériau.

Ainsi, pour l'utilisation en remblai ou en couche de forme, le traitement au ciment ou au LHR convient plus particulièrement aux sols peu plastiques ou peu argileux, comme les sables, certains matériaux graveleux ou sablo-graveleux, les limons calcaires peu plastiques, certains calcaires et certaines craies... Le traitement des sols au ciment ou au LHR convient pour une réutilisation en remblai plus importante de certains matériaux humides, comme les craies.

A titre indicatif, d'après le guide technique Sétro / LCPC sur la "réalisation des remblais et des couches de forme" (plus communément nommé GTR) et la norme NF P 11-300, les sols non argileux sont les sols de classes B<sub>1</sub> ; B<sub>2</sub> ; D<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>2</sub> ; B<sub>3</sub> ; B<sub>4</sub> ; D<sub>2</sub> ; D<sub>3</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>3</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>4</sub> ; C<sub>2</sub>B<sub>3</sub> ; C<sub>2</sub>B<sub>4</sub> et éventuellement les sols de classes B<sub>5</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>5</sub> et C<sub>2</sub>B<sub>5</sub> si ces derniers sont très peu argileux (VBS < 0,5), et les sols argileux sont les sols de classes A<sub>2</sub> ; B<sub>6</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>2</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>6</sub> ; C<sub>2</sub>A<sub>2</sub> ; C<sub>2</sub>B<sub>6</sub> ; C<sub>2</sub>A<sub>1</sub> ; A<sub>3</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>3</sub> ; C<sub>2</sub>A<sub>3</sub> ; A<sub>1</sub> ; B<sub>5</sub> ; C<sub>1</sub>A<sub>1</sub> ; C<sub>1</sub>B<sub>5</sub> et C<sub>2</sub>B<sub>5</sub>.

## LES ÉTUDES PRÉALABLES

La diversité des sols susceptibles de subir un traitement, tant en ce qui concerne leur nature que leur état hydrique, ne permet pas de proposer une formulation générale.

La recherche de la meilleure adéquation (technique et économique) entre produits de traitements et matériaux à traiter pour une application donnée (remblai, PST, couche de forme) implique de procéder à des études préalables, qui comportent deux phases :

- une étude de reconnaissances géologiques et géotechniques, afin de reconnaître ces matériaux à partir des paramètres significatifs vis-à-vis des phénomènes intervenant dans la technique du traitement des sols, conformément au GTR et à la norme NF P 11-300 (voir "Les sols") ;
- une étude de formulation du couple sol-liants en laboratoire, fonction des performances recherchées pour la couche considérée.

## ■ Étude de reconnaissances géologiques et géotechniques

Cette étude a pour but de fournir, à partir de sondages de reconnaissance et d'essais en laboratoire, une description des terrains rencontrés avec principalement :

- leur regroupement en familles homogènes et représentatives, conformément à la norme NF P 11-300 "Classification de matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières" ;
- la localisation dans l'espace (profils en long et en travers), ainsi que les volumes disponibles.

La caractérisation des sols est déterminée selon :

- Des paramètres d'identification caractérisant la nature des sols :
  - la granularité (normes NF P 94-056 et NF P 94-057) selon la valeur de la dimension des plus gros éléments présents dans le sol (D<sub>max</sub>), selon le tamisat à 80 µm (ou teneur en fines) et selon le tamisat à 2 mm ;
  - l'argilosité qui s'exprime soit par l'indice de plasticité (Ip) (norme NF P 94-051), soit par la valeur au bleu de méthylène du sol (VBS) (norme NF P 94-068) ;
  - les teneurs en constituants chimiques particuliers, comme les matières organiques, les phosphates et les nitrates, les chlorures, les sulfates et les sulfures. L'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques", défini par la norme NF P 94-100, permet de déterminer le comportement d'un couple sol-liant ;
- Des paramètres d'identification caractérisant le comportement mécanique des sols, notamment la fragmentabilité des éléments grossiers (> 50 mm) et l'abrasivité de la fraction grenue (> 80 µm) ;
- Des paramètres d'identification caractérisant l'état des sols, notamment l'état de compacité en place l'état hydrique (très humide, humide, moyen, sec et très sec) déterminé suivant le sol et son état, soit par le rapport  $W_n/W_{OPN}$  selon les normes NF P 94-050 et NF P 94-093, soit par l'indice portant immédiat (IPI) selon la norme NF P 94-078 ou soit par l'indice de consistance (Ic) selon les normes NF P 94-050 et NF P 94-051 ( $W_n$  étant la teneur en eau naturelle du sol et  $W_{OPN}$  étant la teneur en eau à l'Optimum Protor Normal).

Cette caractéristique est déterminante car elle conditionne à la fois :

- le choix du type de chaux à utiliser dans le cas d'un traitement mixte (vive, éteinte ou lait de chaux) ;
- le dosage éventuel en eau qui assure, d'une part, le bon déroulement des réactions de prise et de durcissement du matériau traité et, d'autre part, l'obtention du niveau de compactage requis pour ce type de matériau.

Ainsi, l'étude de reconnaissances géologiques et géotechniques permet de regrouper les sols en famille afin d'optimiser les études de formulation et à identifier les ou les produits de traitement adaptés pouvant être utilisés.

## ■ Étude de formulation

Dans le cas d'un traitement des sols appliqué à la réutilisation des sols trop humides en remblais, l'objectif de l'étude de formulation est de déterminer le liant et le dosage minimal en liant permettant de conférer une portance immédiate suffisante pour rendre possible la mise en œuvre, l'aptitude au compactage et à supporter la circulation des engins de chantier en fonction de l'état hydrique des sols prévisible à l'exécution. D'après le guide technique Séttra / LCPC sur le "traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et des couches de forme" (plus communément nommé GTS), la vérification de l'aptitude du sol au traitement doit se faire à partir de "l'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques" défini par la norme NF P 94-100, en se limitant à la seule observation des gonflements (traitement adapté si le gonflement volumique  $G_V$  reste inférieur ou égal à 10 %).

Dans le cas d'un traitement des sols appliqué à la réalisation de couches de forme, l'objectif de l'étude de formulation est de déterminer les dosages en chaux éventuellement nécessaire et en ciment ou en liant hydraulique routier à incorporer successivement dans le sol pour satisfaire aux trois critères suivants :

- Le premier critère est relatif à la vérification de l'aptitude du sol au traitement. Elle se fait à partir de "l'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques" défini par la norme NF P 94-100 (voir *Tableau 2*)
- Le deuxième critère est relatif à l'exécution. On recherche le dosage en chaux éventuellement nécessaire pour conférer au sol considéré une portance immédiate suffisante, afin d'assurer sa mise en œuvre correcte : aptitude au compactage et à supporter la circulation des engins de chantier.
- Le troisième critère est relatif à la tenue de la structure sol-liant. On recherche le dosage optimal en ciment ou liant hydraulique routier au sol afin d'atteindre les performances mécaniques exigées pour une couche de forme.

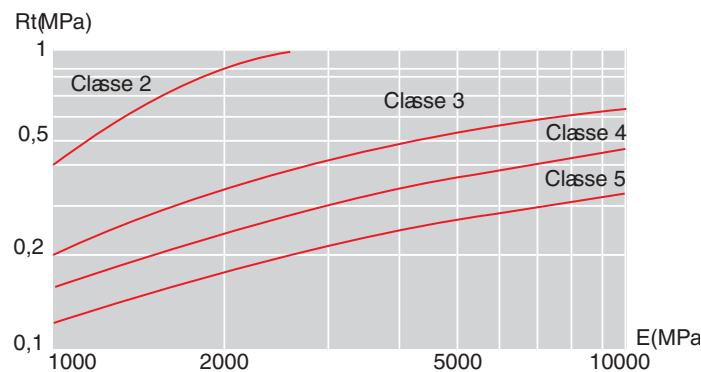
Tableau 2 : Critères retenus pour l'interprétation de l'essai d'aptitude d'un sol au traitement, selon le guide technique Séttra / LCPC sur le "traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et des couches de forme".

Type de traitement	Aptitude du sol	Paramètres considérés	
		Gonflement volumique $G_V$ (%)	Résistance en compression diamétrale $R_{tb}$ (MPa)
Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux	Adapté	$\leq 5$	$\geq 0,2$
	Douteux *	$5 < G_V \leq 10$	$0,1 \leq R_{tb} < 0,2$
	Inadapté **	$> 10$	$< 0,1$

\* douteux : la décision de persévérer dans la solution du traitement dépend du contexte particulier du chantier.

\*\* Inadapté : la technique du traitement est, en principe, à abandonner.

Figure 2 : Zones de classement du matériau sol-liant en fonction du couple (Rt, E)



Le module E est déterminé soit à partir d'un essai de traction directe (norme NF P 98-232-2), soit à partir d'un essai de compression diamétrale (norme NF P 98-232-3). On prendra  $R_t = 0,8 R_{tb}$  selon le guide technique "Conception et dimensionnement des structures de chaussées", Séttra / LCPC de 1994.

Le comportement du sol est ainsi à évaluer vis-à-vis de l'âge autorisant la circulation sur la couche traitée (résistance à la compression  $R_c$  à 7 jours ou à 28 jours généralement  $\geq 1$  MPa), la résistance à l'immersion au jeune âge, la résistance au gel et surtout les performances escomptables à long terme. Celles-ci sont appréciées par le couple résistance à la traction directe  $R_t$  et module de déformation du matériau traité E, paramètres indispensables au dimensionnement des chaussées.

La méthodologie de l'étude consiste à étudier la variation des paramètres  $R_t$  et E, mesurés à l'âge de 90 jours, en fonction des dosages en ciment ou en liant hydraulique routier, des plages de variation des teneurs en eau et des compacités prévisibles sur le chantier, et de l'éventualité d'apparition de gel ou d'immersion.

Le couple ( $R_t$ , E) choisi permet de définir la classe de résistance du matériau traité selon la classification définie à la figure 2.

## EXÉCUTION DES TRAVAUX

### ■ Traitement type et conditions de mise en œuvre

Les conditions de mise en œuvre doivent être conformes aux recommandations du Guide Technique "Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et des couches de forme" (Séttra / LCPC - 2000) (plus communément nommé GTS).

L'exécution type des travaux de traitement des sols suit, en règle générale, le processus suivant :

#### ● Préparation du sol à traiter

Cette opération, visant à faciliter le malaxage ultérieur, consiste à procéder à l'ouverture du sol au scarificateur ou au ripper.





Vue générale d'un chantier de traitement de sol.

### ● Ajustement de l'état hydrique du sol

Une teneur en eau optimale est indispensable pour obtenir, après compactage du mélange sol-liant, une densité maximale. Ainsi, il est possible soit d'assécher le sol par brassage mécanique, soit de l'humidifier avec une arroseuse avec rampes à eau, gicleurs ou systèmes enfouisseurs.

### ● Épandage du liant

Pour réduire et maîtriser la dispersion du liant, il est préférable de retenir – dans le cas de chantiers moyens ou importants – un épandeur à dosage pondéral, asservi à la vitesse d'avancement. Le contrôle de la régularité de l'épandage et de la quantité des liants est réalisé par la méthode dite "à la bêche".



Épandage du liant.

### ● Malaxage

Pour assurer une bonne homogénéité du matériau et une profondeur importante du malaxage, il est judicieux de retenir un malaxeur ou un pulvimixer à rotor horizontal. D'autre part, le malaxage foisonnant énormément les matériaux, il faut veiller – lorsqu'on traite par bandes jointives – à mordre suffisamment (20 cm) dans la partie déjà foisonnée, pour ne pas laisser de matériau non malaxé en bordures de bandes.



Malaxage.

### ● Compactage partiel

La qualité du compactage est, en général, déterminée par un objectif de densification. Ainsi, pour le compactage des remblais, l'objectif de densification est une énergie de compactage q4, qui correspond succinctement à 95 % de la densité optimale de l'essai Proctor Normal et pour le compactage des couches de forme, il est une énergie de compactage q3 qui correspond succinctement à 98,5 % de la densité optimale de l'essai Proctor Normal. Le guide technique Sétra / LCPC sur la "Réalisation des remblais et des couches de forme" (GTR) de septembre 1992 donne une détermination pratique des conditions de compactage, sur la base du paramètre Q/S, "épaisseur unitaire de compactage" [Q étant le volume de sol compacté pendant un temps donné et S la surface balayée par le compacteur pendant le même temps].

L'atelier de compactage, ainsi que le nombre de passes nécessaires, seront définis sur une planche d'essais de compactage,



Compactage partiel.

en respectant les épaisseurs de couches à compacter et en appliquant un plan de balayage répartissant l'énergie de compactage sur toute la surface de la couche.

Le compactage partiel doit suivre sans tarder la fin du malaxage pour ne pas laisser un matériau foisonné exposé aux intempéries et doit apporter 70 à 80 % de l'énergie exigée pour obtenir la qualité de compactage recherchée suivant la couche considérée.

## ● Réglage

Le réglage définitif doit se faire par rabotage sur toute la largeur à régler et en aucun cas par comblement des points bas par les matériaux provenant de l'écrêtage des bosses. Il se fait le plus souvent à la niveleuse. Les matériaux provenant du rabotage doivent être évacués.

L'épaisseur à raboter doit être prise en compte au stade du traitement, en prévoyant une surépaisseur suffisante du matériau traité (environ 3 cm).

## ● Compactage final

Il doit être réalisé immédiatement après le réglage final et, dans tous les cas, avant expiration du "délai de maniabilité" du mélange sol-liant, pour apporter le complément de l'énergie exigée pour obtenir la qualité de compactage recherchée suivant la couche considérée.



Compactage final.

## ● Protection de surface

Cette protection superficielle (en général, un enduit gravillonné à l'émulsion de bitume) est destinée à imperméabiliser et à protéger la couche traitée des intempéries, de l'évaporation de l'eau et du trafic. Elle doit être réalisée dans les plus brefs délais après la fin du compactage final.



Protection de surface de la couche traitée.

## CONCLUSION

Les travaux de construction des remblais et des couches de formes représentent une part importante du coût global de réalisation des projets routiers. Cette importance justifie une recherche d'optimisation globale, visant à minimiser les coûts. L'optimisation des solutions techniques consiste, d'abord, en un choix judicieux de tracé en plan et de profil en long des terrassements pour limiter au maximum les mouvements de terre en fonction de la qualité des matériaux exigés. Optimiser, c'est aussi déterminer le couple couche de forme/chaussée le mieux adapté. Sachant que la couche de forme peut jouer un rôle structurel, on a donc intérêt à privilégier ses performances par la technique de traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. D'autant plus qu'elle est une technique éprouvée et parfaitement au point, grâce notamment aux progrès réalisés dans la connaissance des sols et à l'innovation des constructeurs de matériels de Travaux Publics et leurs nouveaux matériels encore plus puissants et performants.

Elle présente de nombreux avantages, notamment :

- le traitement à froid (économie d'énergie et technique propre) ;
- le travail in situ et la valorisation de matériaux qui auraient été mis à la décharge (économie de transport de matériaux) ;
- la préservation de l'environnement, car elle limite l'exploitation des gisements de granulats (technique économe en granulats d'apports) ;
- une économie sur le coût global des projets.

La technique du traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques est donc considérée aujourd'hui comme une technique classique dans l'exécution des remblais et des couches de forme. Elle se développe considérablement dans les couches d'assises de chaussées (couche de fondation et couche de base), ce qui prouve l'excellence de la technique. ●

**CIM** Béton

CENTRE D'INFORMATION SUR  
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, Place de la Défense 92974 Paris-la-Défense cedex - Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10

Email : [centrinfo@cimbeton.net](mailto:centrinfo@cimbeton.net) - Site Internet : [www.infociments.fr](http://www.infociments.fr)