




NOTE D'INFORMATION

CHAUSSEES
DEPENDANCES

59

Auteur : DTCES-CETE Sud-Ouest

Editeur : 

TRAITEMENT DES SOLS A LA CHAUX ET (OU) AUX CIMENTS

PRÉSENTATION SYNTHÉTIQUE DES ASPECTS

- TECHNIQUE
- ÉCONOMIQUE

JUILLET 1990

La recherche des zones de dépôts et d'emprunts à des distances économiquement rentables et préservant l'harmonie naturelle des paysages, devient de plus en plus problématique pour les chantiers de terrassements ; ces difficultés, associées à l'optimisation du mouvement des terres et au respect des délais d'exécution (aléas climatiques) ont privilégié au cours des deux dernières décennies la technique de traitement des sols.

C'est une technique ancienne et éprouvée qui s'est développée depuis les années 1960. En France, par exemple, il a été utilisé plus de 300 000 tonnes de chaux pour la construction routière en 1988.

LIANTS

On distingue "les chaux aériennes" des "liants hydrauliques". Pour ces derniers, nous nous bornerons ici, au seul cas des "ciments", bien qu'il existe d'autres liants issus des produits secondaires de l'industrie (laitiers, cendres, etc.).

- **LES "CHAUX"** proviennent de la cuisson du calcaire aux environs de 1 000 °C.

On obtient une **chaux vive** calcique qualifiée de grasse lorsque le calcaire est pur et de maigre lorsqu'il est impur.

La **chaux éteinte** (ou hydratée) est obtenue par extinction à l'eau de la chaux vive.

La chaux magnésienne provient de calcaires contenant une proportion notable de carbonate de magnésium.

Ces chaux sont dites aériennes parce qu'elles offrent la possibilité de durcir à l'air par recarbonatation. Il ne faut pas les confondre avec les chaux hydrauliques obtenues par cuisson de calcaires argileux, dont les propriétés se rapprochent de celles des ciments.

- **LES "CIMENTS"** font l'objet d'une norme qui fixe leur nature, leur composition, leurs performances, etc. (NF.P. 15 301). Ils sont constitués de "clinker" broyé associé à des ajouts actifs (laitiers, cendres volantes

par exemple) ou inactifs (calcaires) ainsi qu'à du gypse. En général, tous les ciments normalisés peuvent être envisagés pour le traitement des sols. Ceux le plus souvent utilisés sont de la classe 45 : CLK, CPJ, CHF et CPA.

ACTION DES LIANTS SUR LES SOLS

- **LES CHAUX** : l'incorporation de la chaux dans un sol argileux a des effets immédiats et à long terme, sur le comportement de ce sol.

Les effets immédiats se traduisent par un abaissement de la teneur en eau avec simultanément, une modification des propriétés géotechniques du sol liée à la floculation des éléments argileux (formation de grumeaux) qui améliore le comportement du sol par augmentation de la portance. L'abaissement de teneur en eau est de 1 % environ par point de chaux incorporé ; il peut dépasser 3 à 4 % lorsque les conditions atmosphériques sont favorables.

A plus long terme, on observe un accroissement des performances mécaniques par cimentation des grains entre eux : effet pouzzolanique.

Les dosages habituellement pratiqués varient de 1 à 3 % en fonction de l'utilisation des sols en remblais ou couches de forme et des teneurs en eau.

- **LES CIMENTS** : l'utilisation des ciments permet d'obtenir un développement rapide et durable des résistances mécaniques par liaison des grains du

sol ; le traitement au ciment est le plus souvent employé pour la réalisation des couches de forme performantes. Les dosages habituels sont de l'ordre de 4 à 7 %.

- **LE TRAITEMENT MIXTE (chaux + ciment) :** il s'applique aux sols peu à moyennement plastiques utilisés en couches de forme et le cas échéant, en couche de chaussées. L'action de la chaux permet d'amener le sol à un état optimal pour le traitement au ciment.

APTITUDE DES SOLS AU TRAITEMENT

L'opportunité d'un traitement et le choix d'un type de traitement dépendent essentiellement de la nature du sol (sol cohérent ou non, argileux ou sableux...) et de l'utilisation prévue.

Des matériaux argileux, très cohérents ou blocailleux, peuvent poser des problèmes au malaxage lors du traitement (mottage, abrasivité) ; de plus, la présence de matières organiques ou de certains éléments (nitrates, sulfates, sulfures...) peut avoir un effet inhibiteur dans le déroulement des phénomènes de prise des liants.

Le choix des modalités de traitement doit intervenir suffisamment en amont (2 à 3 mois) et s'appuyer sur des essais de laboratoire, avec identification géotechnique des sols, sélection du liant le mieux adapté et des dosages à mettre en œuvre. Ce dernier paramètre se détermine en étudiant l'évolution de l'indice portant CBR à différentes teneurs en eau ou les résistances mécaniques à différents âges selon que l'on envisage une réutilisation en remblai ou en couche de forme. A noter que des recherches sont en cours pour réduire le délai des études (test de LE ROUX - TOUBEAU).

Sur le plan technique, on retiendra de façon générale, que pour bénéficier de tous les avantages d'un traitement à la chaux, le sol doit être cohérent et argileux. Les sols peu ou non plastiques ou non cohérents bénéficient plutôt d'un traitement au ciment. Enfin, le traitement mixte s'applique plus particulièrement aux sols peu à moyennement plastiques.

Les tableaux ci-après récapitulent à titre indicatif les sols passibles de traitement (éléments tirés de l'article du Bulletin de Liaison des LPC n° 124 - Cf. bibliographie) :

a) Cas des remblais

OBJECTIF DU TRAITEMENT	SOLS CONCERNES		TYPE DE TRAITEMENT
	Nature	Classement RTR	
Augmentation rapide de la consistance pour permettre le terrassement.	Sols argileux trop humides	A ₂ h ; A ₂ h ; B ₆ h (C ₁ h ; E ₃ ; A ₄ h ; A ₁ h ; C ₂ h ; B ₅ h)	Chaux vive
	Sols fins non argileux trop humides	B ₂ h ; B ₄ h ; (A ₁ h ; B ₃ h ; C ₂ h)	Ciment
Idem ci-dessus + blocage du processus d'évolution par cimentation	Roches évolutives avec peu ou pas d'argile à structure fine fragile	Craie peu dense à forte teneur en eau γ _d < 1,50 ; W > 23 %	Ciment (1)

(...) Sols éventuellement adaptés

(1) Des expériences et des réalisations récentes ont montré que certaines craies s'amélioreraient avantageusement avec de la chaux pour une réutilisation en remblai.

b) Cas des couches de forme

OBJECTIF DU TRAITEMENT	SOLS CONCERNES		TYPE DE TRAITEMENT
	Nature	Classement RTR	
a) Ajuster l'état du sol pour la mise en œuvre	Sols moyennement à fortement argileux	A ₃ h ; (A ₄ h ; A ₂ h ; B ₆ h ; C ₁ h ; E ₃)	Chaux vive
b) Augmentation des caractéristiques mécaniques à moyen et long terme		A ₃ m ; (A ₄ m ; A ₂ m ; B ₆ m ; C ₁ m ; E ₃)	Chaux éteinte
		A ₃ s ; (A ₄ s ; A ₂ s ; B ₆ s ; C ₁ s ; E ₃)	Lait de chaux
Augmentation rapide et permanente des caractéristiques mécaniques	Sols peu ou pas argileux	D ₁ ; D ₂ ; B ₁ ; B ₃ ; B ₂ m ; B ₄ m ; E ₁ ; (A ₁ m ; A ₁ s ; B ₂ s ; B ₄ s ; B ₃ m ; B ₅ s ; E ₂ ; C ₂ m ; C ₂ s)	Ciment
Idem (a) et (b) + augmentation rapide et permanente des caractéristiques mécaniques	Sol moyennement ou peu argileux	A ₂ h ; B ₆ h ; A ₁ h ; B ₃ h ; B ₂ h ; B ₄ h ; (C ₁ h ; C ₂ h ; A ₂ m ; A ₂ s ; B ₆ m ; B ₆ s ; B ₅ m ; B ₅ s ; A ₁ m ; A ₁ s)	Chaux vive + Ciment

(...) Sols éventuellement adaptés

MATÉRIELS

Les opérations de traitement des sols en place nécessitent un matériel spécifique dont le type et les performances sont fonction de l'importance du chantier (cadence), de la nature des sols à traiter et de leur utilisation. Il va de soi que l'entretien du matériel joue un rôle important dans l'obtention des meilleures performances.

Stockage du liant :

Il peut s'effectuer verticalement, en silos fixes d'une capacité de 100 à 300 T, ou horizontalement en silos mobiles (ou "bananes") de 50 à 100 T de capacité.

Préparation :

Cette opération consiste à préparer le sol pour faciliter le malaxage (défonçage, épierrage) ou modifier sa teneur en eau (aération, arrosage).

Épandage :

Il est réalisé en surface par des épandeurs tractés ou automoteurs avec doseur volumétrique asservi à la vitesse de l'engin tracteur ; des modèles plus récents, de type pondéral, permettent d'obtenir une meilleure précision.

Malaxage :

Les scarificateurs et charrues à disques n'atteignent que des profondeurs de 15 à 20 cm alors que les malaxeurs rotatifs à axe horizontal (pulvimixers) dont la puissance dépasse 300 ch peuvent malaxer jusqu'à 40 cm en place pour un rendement de 2 000 m³ par jour. Ces derniers sont particulièrement recommandés pour les couches de forme et, le cas échéant, les assises de chaussées.

Le réglage et le compactage s'effectuent avec des matériels traditionnels de terrassements.

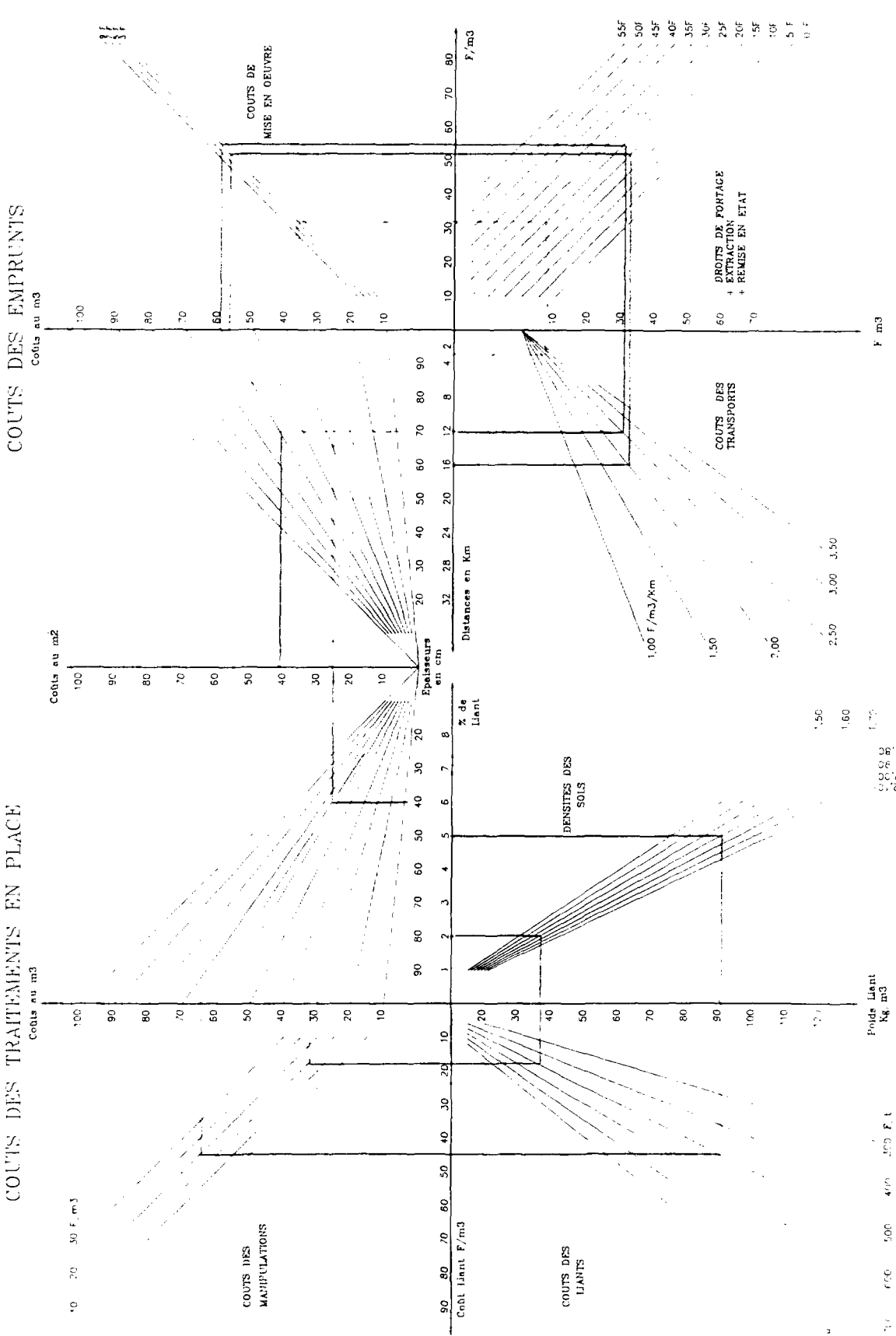
ÉLÉMENTS ÉCONOMIQUES

Sur le plan économique, les abaques joints permettent de se rendre compte que le traitement est très rapidement compétitif par rapport à la solution

emprunt. On s'aperçoit que l'intérêt de la technique réside essentiellement dans les économies possibles sur le poste "transport" de matériaux et les conséquences éventuelles sur le réseau existant (agressivité des charges). Toutefois, le prix de revient des sols traités est tributaire du coût des manipulations (épannage et surtout malaxage) ; il peut varier dans une

fourchette de 1 à 5 suivant la nature du sol considéré (blocs, abrasivité), la nature de l'ouvrage (remblai, couche de forme) et l'organisation de chantier mise en place.

D'autre part, outre l'économie de matériaux nobles qu'elle permet de réaliser, cette technique va dans le sens de la préservation de notre environnement.



L'abaque permet de calculer dans la moitié gauche, le coût des traitements en place et dans la moitié droite, le coût d'une solution de substitution à partir d'un emprunt non traité. Les prix unitaires qui y figurent sont des coûts hors taxe (H.T.).

EXEMPLE
En "rouge" : cas des remblais. L'exemple de l'abaque montre qu'un traitement à 2% de liant (chaux par exemple) dans un sol de densité 1,8 avec une chaux à 500 F/T et un coût des manipulations de 15 F/m³ (répandage, malaxage, compactage) coûte au total 33 F/m³. Dans le cas d'un emprunt situé à 16 km, avec des coûts de transport à 2 F/m³·km, un coût de l'emprunt à 20 F/m³ et une mise en œuvre à 5 F/m³, on constate que le prix de l'emprunt reviendrait à 57 F/m³. En "vert" : cas des couches de forme. Pour un traitement à 5% de ciment à 500 F/T, on répète la même opération pour aboutir à un coût de traitement de 65 F/m³. La droite joignant en point d'ordonnée 65 à celui d'épaisseur nulle, permet de trouver que ce traitement appliqué à 40 cm d'épaisseur coûte 26 F/m³. (Pour un traitement mixte, on répète l'opération avec le % de chaux retenu et on cumule les résultats). De la même façon, (page droite de l'abaque), un emprunt situé à 12 km avec des coûts de transport à 2,5 F/m³·km, un coût de l'emprunt à 25 F/m³ et une mise en œuvre à 5 F/m³ coûtent 60 F/m³, pour une plate-forme de niveau équivalent. On peut également trouver les limites de compétitivité de l'emprunt, en parcourant l'abaque. L'emprunt dans le sens inverse (pointillé vert). Ainsi, pour un coût de 26 F/m³, il faudrait limiter l'épaisseur de la couche de forme venant de l'emprunt à 40 cm ou alors, la distance de ce dernier, par rapport au chantier, ne devrait pas excéder 2,8 km.

Les progrès technologiques réalisés ces dernières années et la fiabilité de la technique du traitement permettent de l'étendre maintenant aux couches de forme à hautes performances et à certaines assises de chaussées.

Le traitement en centrale peut dans certains cas se substituer au traitement en place, et l'emploi d'autres types de liants (cendres, laitiers, liants spéciaux...) que ceux évoqués dans cette note d'information, doit permettre à cette technique déjà bien installée de poursuivre son développement.

BIBLIOGRAPHIE

Recommandation pour le traitement en place des sols fins à la chaux. SETRA - LCPC - Août 1972.

Recommandation pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA - LCPC - Janvier 1976.

Recommandation sur le traitement des sols à la chaux et aux liants hydrauliques. Document en préparation. SETRA - LCPC.

Méthode de terrassements routiers utilisée en France. SETRA - LCPC - Novembre 1987.

Traitement des sols à la chaux aérienne et aux ciments. Méthodologie des études de laboratoire. D. PUIATTI - J. PUIG - M. SCHAEFFNER. Bulletin de Liaison LPC n° 124 - Mars/Avril 1983.

Traitement des sols et des couches de forme. Guide pratique de construction routière - D. PUIATTI. Revue Générale des Routes et Aéroports (RGRA) - Avril 1980.

Etude en laboratoire du traitement à la chaux et au ciment des sols fins - G. MOREL. Bulletin de Liaison LPC n° 133 - Septembre/Octobre 1984.

Fabrication et mise en œuvre d'un limon traité à la chaux et au ciment - Essais sur chantier expérimental - A. RIGOT. Bulletin de Liaison LPC n° 134 - Novembre/Décembre 1984.

Comportement de structures de chaussées en limon traité à la chaux et au ciment - M. du MESNIL ADELEE. Bulletin de Liaison LPC n° 134 - Novembre/Décembre 1984.

Mise en évidence de l'aptitude au traitement à la chaux des sols argileux - A. LE ROUX - P. TOUBEAU - Bulletin de Liaison LPC n° 154 - Avril/Mai 1988.

La chaux dans les techniques routières et le traitement des sols. Syndicat National des Fabricants de Ciments et de Chaux - Janvier 1990.

Cette note a été rédigée par :

J. BERETERBIDE, DTCEs - CETE du Sud-Ouest, rue Pierre-Ramond, B.P. 91, 33165 SAINT-MEDARD-EN-JALLES Cedex. Tél. (16) 56.70.66.33

Avec la collaboration de :

D. PUIATTI, Société LHOIST, 122, rue de Rivoli, 75001 PARIS. - Tél. (1) 40.26.36.36

S.E.T.R.A., 46, Avenue Aristide-Briand, 92223 BAGNEUX - France
Tél. (1) 42.31.31.31 - Télex : 260763 SETRA BAGNX

Renseignements techniques : J.-P. JOUBERT - S.E.T.R.A. - C.S.T.R. - Tél. (1) 42.31.34.12

Bureau de vente : Tél. (1) 42.31.31.55 - (1) 42.31.31.53 - Référence du document : **D 9042**

Classification thématique au catalogue des publications du SETRA : **D01**

AVERTISSEMENT :

Cette série de documents est destinée à fournir une information rapide. La contrepartie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son auteur 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 pratique.