

APPORTS DE LA TECHNIQUE DE TRAITEMENT DE SOLS ARGILEUX ET LIMONEUX A LA CHAUX

J. DUPRAZ

Directeur Technique – Entreprise MEDINGER & FILS, France
j.dupraz@medinger.fr

M.ZOHRY

Ingénieur Technico-Commercial - LAFARGE CHAUX, MAROC
marouane.zohry@lafarge-maroc.lafarge.com

RESUME

Le traitement des sols est une technique très ancienne, dont l'application tant au niveau des travaux de terrassement qu'au niveau de la réfection des routes ainsi que les pistes d'accès aux terrains agricoles connaît actuellement un essor très important au niveau international et en particulier en Amérique du Nord et en Europe.

Le recours massif à cette technique qui valorise les matériaux en place ce qui entraîne une diminution notable des coûts, est dû principalement à :

- La raréfaction des gisements naturels de matériaux nobles;
- Le souci écologique croissant imposant de préserver d'une part les ressources naturelles existantes en optimisant leur utilisation et de limiter d'autre part la mise en dépôt des matériaux impropres à la réutilisation en remblais ou en couches de forme;
- Le renchérissement des matériaux de substitution et des transports;
- Le développement notable des performances et de la fiabilité des matériels de traitement des sols en place ou en centrale.

Cet exposé a pour objet de vous apporter un rappel sur les avantages de la technique de traitement des sols argileux et limoneux à la chaux, au moment où Lafarge Maroc démarre la 1ère unité industrielle de fabrication de chaux au Maroc avec une capacité de 80.000 Tonnes/an et qui devrait passer dans un futur proche à une capacité de 140.000 Tonnes/an

MOTS-CLÉS

Traitement de sols/chaux/sols argileux et limoneux

INTRODUCTION

Certains sols, en raison de leurs propriétés géotechniques intrinsèques et/ou de leur teneur en eau sont considérés comme mauvais ou médiocres et ne présentent pas par conséquent

les performances nécessaires pour supporter le trafic de chantier, la chaussée et le trafic futur ou même pour être utilisés en remblai.

Le traitement de ces sols à la chaux est une solution appropriée qui leur conférera des propriétés nouvelles répondant aux qualités requises.

Dans les travaux de terrassements routiers, le recours à la technique de traitement du sol peut se faire selon deux objectifs :

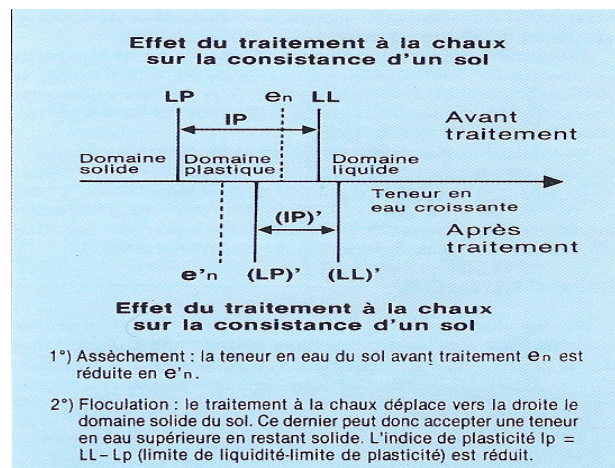
- La réalisation des plates-formes rigides et stables, sous forme de couches de forme traitées, en visant des caractéristiques mécaniques élevées qui doivent répondre à la fois à des objectifs de court terme (vis-à-vis de la phase de réalisation de la chaussée) et de long terme (lorsque la route est en service) ;
- L'amélioration immédiate des sols trop humides en augmentant leur stabilité et en assurant leur mise en oeuvre en corps de remblai dans des conditions pratiques satisfaisantes du chantier sans viser pour autant des performances mécaniques élevées.

LE TRAITEMENT DES SOLS ARGILEUX ET LIMONEUX A LA CHAUX :

Buts et actions de la chaux

Le traitement à la chaux a pour but essentiel de diminuer à court terme la teneur en eau des sols plastiques, de neutraliser et flocculer les argiles. Il s'ensuit une diminution de l'indice de plasticité (I_p), une augmentation de l'Indice Portant Immédiat (cas des sols trop humide) et un aplatissement de la courbe Proctor Normal.

Figure 1 : Modification immédiate du comportement d'un sol argileux humide provoquée par l'introduction de la chaux vive



La chaux vive par exemple provoque un abaissement de la teneur en eau du sol d'environ 1% (en valeur absolue) par pour-cent de chaux ajoutée, sous l'action de trois phénomènes :

- consommation de l'eau par l'hydratation de la chaux vive ;
- apport de produit sec qui réduit le rapport :

$$\frac{\text{Poids d'eau}}{\text{Poids de chaux}}$$

Poids du solide

- évaporation favorisée par la réaction d'hydratation fortement exothermique (élévation de la température du mélange de 10°C pour 2% de chaux).

De plus, après traitement, l'aération réalisée lors du malaxage des produits peut conduire, en cas de conditions météorologiques favorables, à une perte d'eau complémentaire allant jusqu'à 4 % (en valeur absolue).

Le traitement à la chaux entraîne également une réaction pouzzolanique par combinaison de la chaux et les minéraux argileux du sol dont l'Ip est mesurable ou la VBS>0,5. Cette réaction a pour effet d'augmenter à long terme les performances mécaniques du sol traité.

Tableau 1 : Caractéristiques des chaux aériennes calciques utilisées pour le traitement des sols selon la NF P 98-101

	Chaux vives	Chaux éteintes
Teneur en CaO libre global	≥ 80%	≥ 50%
Teneur en MgO	≤ 8 %	≤ 6%
Passant à 0,08 mm	≥ 50 %	≥ 90%
Passant à 0,2 mm	≥ 80%	-
Passant à 2 mm	100%	-
Teneur en eau libre	-	≤ 2%
Test de réactivité à l'eau défini par la norme NF P 98-102	Une température finale de plus de 60° doit être obtenue en moins de 25 min	-

Différents sols susceptibles d'être traités à la chaux

Le traitement à la chaux constitue en général la meilleure solution pour réutiliser en remblai les sols sensibles à l'eau trop humide. Les sols susceptibles d'être traitée à la chaux peuvent être les limons, les argiles, les sables et graves fortement argileux. Les types de sols susceptibles de recevoir ce type de traitement peuvent être de la catégorie de sols suivants :

Les sols A1, A2, A3, B2, B6, B4, B5 , CA1, CA2, CA3, CB2, CB4, CB5 et CB6

Domaines d'emplois

L'application du traitement à la chaux seule est envisagée dans le cas des travaux de terrassements pour constitution de remblais par des sols fins moyennement ou très argileux à l'état trop humide. Elle occupe une place privilégiée en offrant une solution économique fort intéressante consistant à mettre en oeuvre ce type de sols.

Le recours au traitement à la chaux puis au ciment quant à lui est dans la plus part des cas envisagé pour traiter un matériau pour son utilisation en couches de forme. Il s'agit essentiellement des matériaux des sols plastiques dont l'action de la chaux uniquement ne

lui permet pas d'atteindre des caractéristiques mécaniques élevées à court et long terme le conduisant à une bonne stabilité à l'eau.

Les types de sols susceptibles de recevoir ce type de traitement peuvent être de catégorie : A1, A2, A3, B2, B4, B5, B6 et les TcA et TcB.

ETUDE DE FORMULATION

L'étude de formulation effectuée au laboratoire a pour objet de préciser la nature du produit de traitement le mieux adapté et le dosage à introduire dans le sol pour obtenir les performances recherchées pour une application visée.

Cette étude comporte en générale :

- **cas de traitement à la chaux seule**
 - des mesures de portance immédiate (IPI)
 - des mesures de sensibilité à l'eau, par essai CBR, après 4 jours d'immersion.
- **Cas de traitement mixte chaux et ciment :**
 - des mesures de résistance en compression à 7 et 28 jours
 - des mesures de sensibilité à l'immersion, estimée par la chute de résistance en compression à 28 jours (14j à l'air puis 14j en immersion)
 - des mesures du couple résistance en traction par fendage (Rtb) (dit résistance par essai brésilien)/module de déformation (E).

Tableau 2 : Dosage moyen en chaux selon la nature du sol traité

Nature du sol	Dosage moyen en				
	Chaux		Traitement mixte		
			Chaux	Ciment	
<i>Sols fins moyennement à fortement argileux</i>	Chaux vive : 2 à 4 %	Utilisés en remblai	-	-	
	Chaux éteinte : 3 à 5 %				
<i>Sols plastiques</i>	-		1 à 2 %	4 à 6 %	Utilisés en couches

TECHNIQUES DE REALISATION DES TRAVAUX DE TRAITEMENT

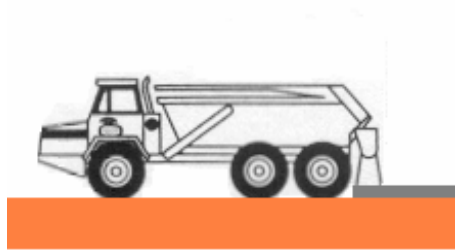
La réalisation des travaux de traitement des sols fait appel suivant les cas de chantier à un certain nombre d'opérations élémentaires exigeant un ordonnancement précis, un savoir faire et des matériels spécifiques.

Principales opérations de traitement

La réalisation des travaux de traitement d'un sol en place suit en générale les opérations élémentaires suivantes :

- la préparation du sol à traiter (élimination des éléments blocailleux, homogénéisation, humidification éventuelle);
- l'épandage du liant de traitement;
- le malaxage du liant avec le sol;
- l'ajustement de l'état hydrique (soit humidifier le sol par arrosage, soit l'assécher par aération);
- Le réglage du mélange;
- Le compactage;
- L'application de la protection superficielle du sol traité (cas d'une couche de forme).

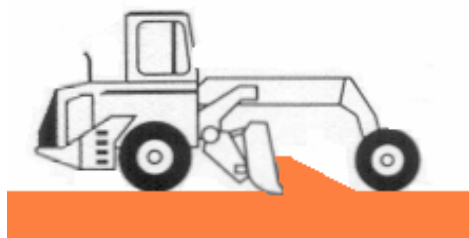
Figure 2 : Procédé de traitement des sols



Phase 1 : Epandage du liant



Phase 2 : Malaxage et arrosage (sol + liant)



Phase 3 : Réglage de la plateforme



Phase 4 : Compactage de la plateforme

Matériels d'exécution

Plusieurs matériels interviennent dans les opérations de traitement à la chaux:

- Pour le traitement in situ :

- **L'arroseuse** pour l'humidification du sol à traiter
- **L'épandeur à doseur volumétrique** pour l'épandage du liant pulvérulent. La technique d'épandage "au sac" est quasiment inappliquée et n'est envisagée que pour des

chantiers de géométrie complexe ne permettant pas une évolution correcte des épandeurs.

- **Le pulvimixeur à arbre horizontal, la rotobêche, ou la centrale de fabrication** pour mélanger le matériau et le liant
- **La niveleuse** pour le réglage du matériau
- **Le compacteur** pour la densification du matériau
- **La répandeuse de liant fluide et le gravillonneur** pour la protection de surface en cas de couches de forme.



Photo 1 : Epandeur à doseur volumétrique



Photo 2 : Pulvimixeur malaxant jusqu'à 40 cm

- Pour le traitement en centrale :

- **Les camions bennes** pour l'acheminement des matériaux traités en centrale vers l'endroit où ils seront mis en place
- **L'arroseuse, La niveleuse, Le compacteur**, et éventuellement **La répandeuse de liant fluide et le gravillonneur**.

Dispositions particulières de mise en œuvre

1. Epandage

- L'opération d'épandage du liant pour qu'elle soit réussie doit se faire par des épandeurs précis de préférence à doseurs volumétriques dont le débit est asservi à la vitesse de déplacement du porteur.
- La procédure pratique de contrôle de régularité de l'épandage de liant consiste à déposer au hasard une série de bâches sur la surface de la plate-forme à traiter et les peser juste après le passage de l'épandeur une fois recouverte par le liant de traitement.

2. Malaxage

- A l'exception des chantiers de très faible importance, le malaxage en place du sol avec un liant doit se faire par un matériel performant tel que le pulvimixeur à arbre horizontal permettant d'assurer une bonne homogénéisation du mélange (sol+liant) sur des épaisseurs assez importantes variant entre 30 et 40 cm ;
- Le malaxage avec des pulvimixeurs doit être effectué par bandes parallèles avec un recouvrement d'au moins 10 cm.

3. Compactage

- Le compactage doit suivre juste après l'opération de malaxage et doit se faire en deux phases : phase 1 : compactage partiel après préréglage et phase 2 : compactage final après réglage.

4. Réglage

- Le réglage est une opération délicate qui se réalise généralement à la niveleuse en deux séquences : préréglage et réglage final séparé par l'opération de compactage partiel.
- Le réglage final "rabotage" doit se faire par enlèvement et évacuation de la surépaisseur laissée, sur toute la surface de la couche traitée, à l'issue du compactage partiel. Il permet également l'évacuation de la partie superficielle feuilletée éventuellement produite lors du compactage au cylindre vibrant.
- Le rabotage doit se faire dans la plage des 2/3 du délai de maniabilité.
- Une surépaisseur d'environ 3cm du mélange doit être prévue lors de la phase de malaxage pour tenir compte de l'épaisseur rabotée.

5. Protection du matériau traité

Toutes les couches de forme traitées doivent recevoir une protection superficielle pour la protéger contre une dessiccation ou une humidification excessive sous l'action des agents atmosphériques. Elle permet également de maintenir l'état hydrique du matériau traité et de favoriser l'accrochage entre la couche de forme et la couche de fondation.

- En général la protection superficielle se fait sous forme d'un enduit de cure par application d'une couche d'émulsion (500 à 800g d'émulsion) suivie éventuellement d'un sablage.

CONCLUSION

Le traitement des sols à la chaux est une technique qui s'est développée très rapidement en Europe et en Amérique, et qui est encore amenée à connaître une importante croissance.

Aisée à mettre en oeuvre, économique et efficace, elle permet d'éviter de lourds travaux de terrassement destinés à rejeter les sols inadéquats et à faire appel à des matériaux d'emprunt de qualité issus de carrières qui sont utilisés parfois dans le même but, et aussi d'éviter de détériorer le réseau routier existant par le transport de ces matériaux d'emprunt.

Au Maroc l'utilisation de cette technique reste peu répandue, et cela était du principalement à l'absence de chaux répondant aux normes.

Avec le démarrage de la 1^{ère} unité industrielle de fabrication de chaux, Lafarge Maroc s'est fixé comme objectif de développer avec l'aide des différents organismes prescripteurs marocains ainsi que tous les opérateurs routiers marocains l'utilisation de cette technique au royaume, à cet effet Lafarge Chaux, filiale de Lafarge Maroc, a conclu dans une première au Maroc un contrat pour la fourniture d'environ 6.000 tonnes de chaux vive routière sur le lot 2 du chantier d'autoroute Tanger – Port de Oued R'mel long de 14 Km, cette chaux est destinée au traitement de la partie supérieure des terrassements (PST) d'un volume d'environ 200.000 m³.

RÉFÉRENCES

1. **Le Traitement des sols à la chaux et/ou au ciment** (Documentation technique de la DRCR Edition 2001).
2. **Guide Technique : Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques** (application à la réalisation des remblais et des couches de forme) (LCPC / Setra Janvie 2000).
3. **La chaux et ses utilisations** (Publication de la chambre syndicale nationale des fabricants de chaux grasses et magnésiennes 1995).