

# Traitement des sols à la chaux ou au ciment

## Définition

Il s'agit de traitements qui utilisent les **affinités physiques du sol et d'un liant**, contrairement au seul traitement mécanique qu'est le compactage (lequel doit naturellement se superposer au premier).

## Historique

L'utilisation de la chaux comme liant est très ancienne : Grande Muraille de Chine localement en argile traitée à la chaux; voies romaines, habitations (chaux + sable + terre argileuse).

L'utilisation du ciment date du début du siècle : en Allemagne, un grand nombre de sols d'aérodromes ont été stabilisés au ciment durant la guerre.

Mais surtout depuis vingt ans, l'emploi de ces liants s'est développé en technique routière. Elle concerne essentiellement les sols fins (argileux, limoneux...).

## Intérêt du traitement

Le traitement des sols en place évite le transport et valorise les matériaux locaux, ce qui permet de stabiliser des sols à des coûts très intéressants, avant la mise en place des couches superficielles.

Les pistes hippiques d'entraînement au galop ou au saut d'obstacles et certaines pistes d'hippodromes (piste pour voiture suiveuse...) sont particulièrement concernées : elles ont une faible largeur qui peut permettre un traitement en un seul passage, ce qui limite le coût; elles sont souvent situées sur des terrains argileux ou limoneux, particulièrement bien adaptés à ce type de traitement.

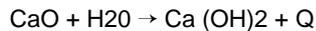
## Effets des liants

Le liant développe des liaisons dans le matériau qui, sans cela, serait trop déformable, la "portance" est largement améliorée.

## Chaux

### Le principe

L'hydratation de la chaux vive au contact de l'eau du sol provoque une consommation d'eau et une évaporation importante. Cette propriété est mise à profit pour l'assèchement des sols fins argileux et humides.



Chaux vive + eau = Chaux éteinte + Chaleur

Cette réaction exothermique entraîne une évaporation.

Par ailleurs, l'adjonction de chaux au sol provoque une modification de la qualité des argiles par échange des cations alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ...) par des cations  $\text{Ca}^{++}$  apportés par la chaux; ceci développe des forces électriques conduisant à une agglomération des fines particules argileuses en particules grossières et friables.

Un sol argileux et humide passe d'un état plastique à un état solide, friable, facilement travaillable et perd une partie de sa sensibilité à l'eau.

On utilise la chaux aérienne sous forme de chaux éteinte ou de chaux vive, qui produit un abaissement plus important de la teneur en eau mais qui est plus délicate à manipuler (3% de chaux vive ont les mêmes effets que 4% de chaux éteinte) :

- **chaux vive** si problème de teneur en eau.
- **chaux éteinte** si problème de portance et teneur en eau convenable.

L'addition de chaux a des effets à long terme (plus d'un an) par combinaison avec les constituants des argiles.

On observe :

- l'augmentation de la cohésion, de la résistance au poinçonnement (l'indice CBR peut être multiplié par 4 ou 10 au bout de deux heures) CBR = Californian Bearing Ratio, estimation de la portance d'un sol en mesurant sa résistance au poinçonnement
- l'augmentation des résistances mécaniques
- une meilleure perméabilité de l'argile
- dans le cas d'argiles gonflantes : diminution des variations volumiques

### L'action de la chaux

Elle dépend :

- de la finesse qui augmente la surface de contact
- de la teneur en chaux libre (élément actif)
- de la durée du traitement
- du compactage qui doit suivre rapidement le malaxage (dans la journée)
- de la teneur en eau

## Ciment

Le traitement au ciment convient plus particulièrement aux sols peu plastiques, qui sont a priori inadaptés au traitement à la chaux du fait de leur faible teneur en argiles, auxquels il apporte cohésion, résistance mécanique, stabilité à l'eau et au gel.

**Liant fort**, le ciment rigidifie rapidement le sol de manière irréversible mais s'il y a rupture de l'horizon traité (action mécanique) il n'y a pas de nouvelle prise.

La prise au ciment est plus rapide que celle de la chaux (qui évolue encore au bout d'un an), mais elle est stoppée par le gel.

Les constituants hydratés du ciment relient les grains de sable entre eux en formant des sortes de ponts nombreux et solides, d'où l'augmentation de la portance, des résistances mécaniques et de la résistance au gel.

On utilise des ciments de classe 45 qui sont les meilleurs marchés. Les doses varient de 3,5 à 5 % du poids de sol sec à traiter.

## Traitement mixte

Dans le cas où le sol est humide (on préconise la chaux) et peu argileux (on préconise le ciment), on utilise d'abord la chaux à faible dose (0,5 à 2 %) et ensuite le ciment, ces liants ayant une action complémentaire.

Le traitement préalable à la chaux par son action immédiate amène le sol à un état optimal pour le traitement au ciment.

**Nota :** Important : surveiller de près la teneur en eau et le compactage.

### Limites d'utilisations

D'une part, il convient que le sol :

- ne soit pas trop plastique (les sols à indice de plasticité supérieur à 30 peuvent poser des problèmes) car le malaxage est difficile
- ne contienne pas de "cailloux" trop gros (maximum 40 à 50 mm) qui gênent le malaxage avec pulvi-mixer ou petits girobroyeurs

D'autre part, il convient que :

- la teneur en eau ne soit ni excessivement élevée, ni trop basse pour que le traitement soit efficace, d'où l'importance des conditions climatiques durant le chantier

- le sol ait une bonne réactivité : certains micaschistes ne réagissent ni à la chaux ni au ciment; les sols organiques ne sont pas traitables au ciment sauf s'il y a destruction préalable à la chaux vive de la matière organique; les sulfures de fer inhibent le traitement à la chaux (cas des marnes pyriteuses)

- le liant soit adapté au sol : la chaux est en général utilisée pour les sols " argileux " ou pour les sols limoneux à faible indice de plasticité. Le ciment est utilisé pour des sols non plastiques ou pour des sols préalablement traités à la chaux à faible dosage (traitement mixte)

- le liant soit adapté au ciment : "la résistance au gel est nettement meilleure avec le ciment qu'avec la chaux, aussi, pour les sols argileux, un traitement mixte chaux-ciment est préférable dans des régions soumises aux phénomènes de gel-dégel".

### Méthodes de traitement et précautions d'emploi

Les sols hippiques relèvent essentiellement du traitement "en place". On incorpore le liant avec des engins agricoles ou mieux avec du matériel de travaux publics :

- rotovator (profondeur de travail 12 à 15 cm)
- en cas de présence d'éléments grossiers : charrue à disques (profondeur 20 à 25 cm)
- pulvimixer (30 à 35 cm)

et on procède à un **compactage**, fondamental pour diminuer les vides et augmenter la durée de vie du matériau. Le traitement peut se faire en plusieurs couches si nécessaire.

Le traitement doit être précédé d'une étude en laboratoire pour définir si le sol a une bonne réactivité et les dosages de liant (après mesure de l'indice CBR immédiat et au bout de quatre jours qui donne des informations sur l'amélioration de la "portance").

### Les principaux essais à réaliser

sont :

- **la teneur en matière organique.** Si elle est supérieure à 2 %, on ne traite pas le sol, dans le cas contraire, on poursuit les essais par :

- ✓ l'analyse granulométrique pouvant s'effectuer sur trois tamis (80 microns 0,5 mm et 2 mm)
- ✓ la teneur en eau
- ✓ la densité apparente sèche (calculée à partir de la mesure de la densité humide et de la teneur en eau).

- **les limites d'ATTERBERG**, ou, lorsqu'elles ne sont pas mesurables (sols très peu ou non plastiques), on procède aux mesures d'équivalent de sable (E.S.) qui donnent une indication sur la qualité des éléments fins.

Un sable pur a un E.S. = 100 et une argile pure a un E.S. = 0.

Limites d'ATTERBERG : mesure de la plasticité d'un sol.

- **les essais PROCTOR** qui permettent le tracé de la courbe densité sèche/teneur en eau à la mise en œuvre et la détermination de la teneur en eau correspondant à la densité maximale, appelée coordonnée de l'optimum PROCTOR. En cas de traitement au ciment, cet essai inadapté est remplacé par des mesures d'écrasement simple sur éprouvettes cylindriques à sept jours.

- **l'essai CBR** caractérisant la portance du sol (avant et après traitement).

Le chantier doit être surveillé pour s'assurer, en fonction du matériel utilisé, de la profondeur effective du malaxage, qui doit concerner au moins 20 cm d'épaisseur, et des conditions météorologiques : absence de vent, de gel et surtout de pluie. Des essais en cours de chantier sont également souhaitables, notamment, sur la teneur en eau et l'homogénéité du répandage et du mélange.

La protection de la voie contre l'eau d'infiltration, sera assurée par un drainage latéral, à l'amont ou dans l'axe de la piste si elle a une largeur inférieure à trois mètres.

La protection du sol traité à la chaux contre l'infiltration est nécessaire si la couche de surface n'est pas mise en œuvre immédiatement. De même, lorsqu'il y a une forte évaporation, le sol traité au ciment doit être protégé soit par la mise en œuvre rapide de la couche de travail, soit par un produit de cure (émulsion de bitume en mono ou bi-couche ou géotextile humidifié) pour les voies de circulation recevant une simple couche d'usure.

### Épandage de la chaux

Indiqué par le laboratoire en poids au m<sup>2</sup>, le pourcentage de chaux à épandre se situe entre 2 et 4% du poids du sol sec.

Le débit de l'épandeur doit être correctement réglé. La vérification du dosage est possible avec une méthode simple : faire passer l'épandeur sur une toile de 1 m<sup>2</sup> posée sur le sol et peser la quantité de chaux étendue sur celle-ci. Le résultat doit correspondre, à plus ou moins 10 %, aux normes du laboratoire.

Lorsque le sol est trop sec, il peut être nécessaire de répandre de l'eau afin de permettre à la chaux de réagir convenablement (ou arrosage au lait de chaux).

### Malaxage de la chaux

Le nombre de passages du malaxeur à déterminer sur chantier, dépend à la fois de la nature du sol et de la puissance de l'engin.

Trois catégories de malaxeurs sont utilisées :

- pour les sols caillouteux ou graveleux, les **malaxeurs à axes verticaux**. Ils sont équipés de rotors comprenant trois lames d'inclinaisons différentes (parfois à angles réglables pour mieux s'adapter à la nature du sol). Certains modèles récents peuvent recevoir, à l'avant, des socs qui effectuent un défonçage préalable. Leur rendement est de l'ordre de 1 000 à 3 000 m<sup>2</sup>/jour.
- pour les sols fins, les **malaxeurs à axe horizontal**. Les dents des rotors tendent maintenant à être verrouillées par des goupilles, afin de permettre un remplacement plus rapide lorsqu'elles sont endommagées. Leur rendement est de l'ordre de 4 000 à 10 000 m<sup>2</sup>/jour.
- pour les sols présentant des éléments grossiers, les **charrues à disques**.

Lorsque l'on utilise les deux types de malaxeurs, le passage du malaxeur à axes verticaux se fait toujours en premier.

### En conclusion

**Dans les terrains "lourds" , on aura intérêt à penser, notamment, à la stabilisation par la chaux qui peut être faite avec du matériel agricole. Elle permet de limiter, voire supprimer l'apport de matériau de fondation**