

Stabilisation des sols

1. Introduction

Le processus de stabilisation d'un sol consiste à modifier sa composition par addition d'un autre type de sol, d'un géo-matériau et/ou des produits chimiques. L'objectif principal de la stabilisation consiste à améliorer les propriétés géotechniques des sols (résistance, capacité portante, perméabilité, déformation, etc.).

La stabilisation des sols est un processus très courant pour les projets routiers. Les types de stabilisation des sols peuvent être classés en deux groupes, la stabilisation mécanique (modification de la granulométrie) et la stabilisation chimique (ajout de substances chimiquement actives).

1.1. Stabilisation mécanique

L'objectif de la stabilisation mécanique est de modifier la granulométrie du sol afin d'obtenir un matériau dense, en ajoutant un ou plusieurs sols de granulométrie contrôlée.

L'ajout d'une faible quantité d'un sol pulvérulent à un autre cohérent donne une bonne liaison sols-agrégats, ce qui améliore la résistance du matériau. Les particules angulaires des sables et des graviers, augmentent le frottement inter-granulaire et réduit la déformabilité de l'argile. Il y a lieu d'ajouter des doses appropriées de liants afin d'améliorer la performance de l'ensemble. La stabilité mécanique d'un sol mixte dépend de plusieurs facteurs tel que ;

- La résistance mécanique et la pureté des matériaux constitutifs,
- Le pourcentage du matériau et sa gradation,
- Le degré de fixation du sol qui se produit,
- Les procédures de malaxage et compactage adoptées en chantier
- Les conditions environnementales et climatiques.

L'utilisation des matériaux géosynthétiques dans la stabilisation mécanique est une méthode particulière de renforcement pour un sol mixte où la résistance du sol est encore améliorée par l'incorporation des renforts. Plusieurs facteurs interviennent dans ce mécanisme (l'enchevêtrement des particules, le confinement, le frottement mobilisé, la résistance à la traction revient au renforcement).

1.2. Stabilisation chimique

Les sols peuvent être stabilisés par addition du ciment et/ou de la chaux. Le processus de stabilisation consiste à améliorer les propriétés techniques du sol telles que ; l'augmentation de la résistance et de la rigidité, la réduction de la plasticité et du potentiel de gonflement/retrait du sol stabilisé.

Le concept de stabilisation a 5000 ans, des routes en terre stabilisée ont été utilisées dans l'Égypte ancienne et en Mésopotamie et que les Grecs et les Romains utilisaient la chaux comme stabilisant.

Les premiers tests de stabilisation des sols ont été effectués aux États-Unis en 1904. Le ciment a été introduit comme stabilisateur pour construire une rue à Sarasota, en Floride, en 1915, et à la chaux a d'abord été utilisée dans de courts tronçons d'autoroute en 1924. Les stabilisants traditionnels dépendent généralement de réactions pouzzolaniques et échanges de cations pour modifier et stabiliser le sol.

1.2.1. Stabilisation par la chaux

La chaux se trouve sous plusieurs formes, oxyde de calcium CaO , hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 , chaux dolomitique (magnésienne) CaO.MgO , chaux dolomite monohydrate $\text{Ca(OH)}_2.\text{MgO}$. Le dosage en chaux varie en fonction des sols et des résultats recherchés généralement compris entre 5 et 10%.

L'incorporation de la chaux offre plusieurs avantages sur les plans technique, économique et environnemental (Tableau)

Tableau 1. Avantages du traitement

Techniques	✓ Permettre de réaliser les remblais et les couches de forme ✓ Obtenir couche traitée homogène, durable et stable. ✓ Assurer une bonne répartition des charges, grâce à la rigidité du nouveau matériau (sol traité). ✓ Permettre de réaliser les remblais et les couches de forme ✓ Obtenir couche traitée homogène, durable et stable. ✓ Assurer une bonne répartition des charges, grâce à la rigidité du nouveau matériau (sol traité). ✓ Réduire la déformabilité vis à vis des sollicitations d'ordre climatique (temps chaud, cycles de gel-dégel) ✓ Augmenter la capacité de résistance vis à vis charges d'exploitation
Economiques	✓ Peu d'énergie (technique de traitement à froid) ✓ Réutilisation des matériaux en place (facteur d'économie important) ✓ Absence de transport de granulats ou des déblais en décharge contribue à la préservation du réseau routier situé au voisinage du chantier.
Environnementaux	✓ Réduction de la pollution (traitement à froid) ✓ Économie d'énergie globale (réduction des matériaux à transporter, des matériaux à mettre en décharge) ✓ Réutilisation des matériaux en place (limite l'exploitation des gisements de granulats), ce qui contribue à préserver l'environnement.

Les sols fins à teneur élevées en argiles ou limons présentent une faible résistance vis-à-vis des sollicitations d'ordre climatique : ils gonflent en présence d'eau, se rétractent par sécheresse. Le traitement à la chaux est recommandé pour les sols dont la teneur en argile est supérieure à 40%.

Une fois la chaux est ajoutée aux sols fins, elle modifie sensiblement son comportement. En effet la chaux ;

- Réduit la teneur en eau dans le sol par l'action combinée de trois phénomènes ; l'apport de matières sèches, la consommation d'eau durant l'hydratation et par évaporation
- Change l'aspect physique du sol d'un état plastique à un état solide et réduit sa sensibilité à l'eau.
- Agglomère les particules fines donnant des particules plus grossières et friables
- Modifie les caractéristiques de compactage ; par diminution de la densité sèche maximale et augmentation de la teneur en eau optimale (Figure)
- Améliore la portance du sol ; par augmentation de l'indice de portance immédiat

A long terme des réactions pouzzolaniques se produites en milieu fortement basique.

La chaux réagit avec les composants du sol (la silice et alumine) pour donner des silicates et des aluminates cristallisés. A titre d'exemple :



Où :



CSH : Silicates d'argile ou silicates de calcium hydratés. Il est à noter que plusieurs facteurs peuvent affecter l'intensité et la vitesse de réactions pouzzoloaniques, tels que PH, teneur en matières organiques, quantité et nature de la fraction argileuse, teneur en eau, dosage en chaux et température

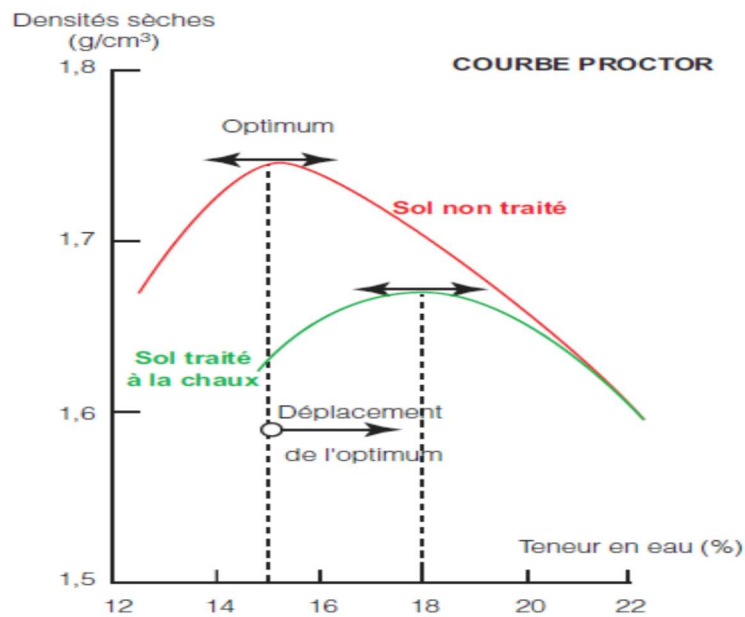


Figure 1 Effet du traitement sur les caractéristiques de compactage

1.2.2. Stabilisation par ciment

Une des méthodes courantes de stabilisation chimique consiste à mélanger le sol avec du ciment pour former un produit nommé sol stabilisé ou sol-ciment. Le sol stabilisé peut être défini comme un mélange de sol, ciment et de l'eau. Puis ce mélange est compacté à la valeur de densité désirée. Le sol-ciment a été utilisé comme matériau de base dans de nombreux projets, tels que la protection des talus de barrages, les autoroutes, les blocs de construction, terminaux pour trains et camions, installations de compostage, les terrains de stationnement, stabilisation des fondations, etc.

La technique sol-ciment a été pratiquée presque depuis 100 ans. Il sert à modifier les propriétés mécaniques et techniques du sol.

La nouvelle performance dépend de la capacité des additifs à réagir avec le sol. Il y a quatre propriétés principales du sol ; capacité portante, perméabilité, stabilité volumique (déformabilité), et la durabilité qui peut être améliorée avec des additifs.

Le choix d'un additif spécifique dépend du type de sol, du service requis et aspects liés à l'environnement.

Lorsque l'eau est mélangée avec du ciment, l'hydratation se produit, ce qui signifie la cimentation composée de calcium–silicate– hydrate (C-S-H) et de calcium–aluminate–hydrate (C-A-H) se forment et un excès d'hydroxyde de calcium (CaOH) est libéré (environ 31% en poids).

La formation de C-S-H et C-A-H se produit lorsque les cristaux commencent à se former quelques heures après le mélange de l'eau et du ciment ; les cristaux continueront à se former tant que des particules de ciment n'ayant pas réagi et de l'eau libre reste dans le mélange.

Le processus de cimentation et les résultats de la stabilisation sol-ciment et de la chaux sont similaires, ils sont utilisés en quantités trop petites pour permettre une action de cimentation à haute résistance. Ils réduisent la plasticité des sols argileux. L'expérience montre que le traitement au ciment change plusieurs propriétés géotechniques :

- Augmente légèrement la densité sèche maximale des sables et des argiles très plastiques, mais diminue la densité sèche maximale du limon. Cependant, le ciment augmente la teneur en eau optimale et diminue la densité sèche maximale des sols sableux ;
- Augmente la limite plastique et réduit la limite liquide, ce qui réduit principalement l'indice de plasticité.
- Réduction du retrait gonflement, augmentation de la résistance, du module d'élasticité et de la résistance à l'effet de l'humidité, du gel et du dégel.
- Les sols traités au ciment ont un comportement fragile des sols non traités.

Le ciment peut être appliqué pour stabiliser tout type de sol, sauf les sols dont la teneur en matières organiques est supérieure à 2% ou dont le pH est inférieur à 5,3 (ACI 230.1R-90, 1990). L'utilisation du ciment dans les sols granulaires s'est avérée économique et efficace car de petites quantités de ciment sont nécessaires.

Contrairement à la chaux, l'hydratation dans le ciment se produit à un rythme plus rapide, ce qui permet un gain de résistance immédiat.