

CHOIX DE LA METHODE DE TRAITEMENT

INTRODUCTION

Les techniques d'amélioration des sols consistent à modifier les caractéristiques d'un sol par une action physique (vibrations) ou par l'inclusion dans le sol ou le mélange au sol d'un matériau plus résistant, dans le but d'amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains, entres autres :

- augmenter la capacité portante et/ou la résistance au cisaillement,
- diminuer les tassements, tant absolus que différentiels, et le cas échéant les accélérer,
- diminuer ou éliminer le risque de liquéfaction en cas de tremblement de terre ou de vibrations importantes.

L'application d'une de ces méthodes nécessite une bonne connaissance du sol à traité (granulométrie, composition, teneur en eau). Il est souvent identifié par sa couche granulométrique qui demeure un facteur primordial en vue de choisir une technique d'amélioration. En effet, compte tenu des deux principaux types de sols, sols pulvérulent et sols fins, on comprend du point de vue de leurs propriétés et leurs comportements que les techniques d'améliorations considérées seront différentes. Pour un problème donné, L'objectif primordial est de trouver la solution ou la technique la mieux adaptée qui sera la plus efficace et la plus économique.

Tout choix de solution devra tenir compte des facteurs suivants :

- le type d'ouvrage réalisé (ou les types d'efforts à reprendre) ;
- le type de sol concerné :
 - Sols fins : argiles, limons, tourbes ;
 - Sols grenus : sable, graviers ;
- la profondeur de sol concerné ;
- les impacts sur l'environnement et les constructions avoisinantes.
 - Certains procédés de traitement des sols (compactage dynamique), n'est évidemment pas applicable en site urbain ou à proximité d'un ouvrage sensible, en raison des nuisances sonores et des vibrations importantes qu'il provoque.

Les traitements de sols peuvent concerner une épaisseur de sol plus ou moins importante.

Il peut alors s'agir d'un traitement :

- en profondeur : si l'épaisseur de sol est supérieure à quelques mètres
- en surface : si l'épaisseur est inférieure à quelques mètres.

I. Les traitements de sol en profondeur

Deux techniques majeures peuvent être utilisées pour accroître les caractéristiques mécaniques des sols :

- par **la modification de la structure interne du sol** en place (amélioration de sol en masse). les procédés d'amélioration du sol en masse (densification des sols grenus, compactage dynamique, explosifs, vibroflottation, compactage statique en profondeur, consolidation et pré-chargement des sols fins et des sols organiques, drains verticaux, pré-chargement par le vide, électro-consolidation), injection des sols grenus et des sols fins et congélation des sols aquifères (sans écoulement) ;
- **le renforcement du sol** par ajout d'inclusions (d'amélioration des sols par inclusions verticales). les procédés d'amélioration des sols par inclusions verticales (colonnes ballastées et procédés connexes, inclusions rigides, colonnes de mortier sol-ciment réalisées par jet (technique souvent appelée « Jet Grouting »), colonnes de sol traité à la chaux et/ou au ciment).

Plus spécifiquement, les techniques d'amélioration des sols en profondeur permettent d'accroître la compacité du sol en place, soit en réduisant le volume des vides, par exemple en appliquant une surcharge sur un sol saturé et en le laissant tasser par expulsion de l'eau en surpression, on parle dans ce cas de *consolidation* des sols, soit en imposant des vibrations dans le sol pour qu'il se densifie par réarrangement des grains (*compactage dynamique*). Les techniques de renforcement des sols proprement dites font intervenir des éléments de renfort verticaux ou horizontaux dans le sol.

L'objectif de toutes ces techniques est de permettre la construction d'un ouvrage sans qu'il n'y ait de déformations excessives en surface (réduction des tassements du sol en place) ou des défauts de stabilité.

I-1.Principes de choix d'une solution

I-1-1.Pour les sols pulvérulents

Les méthodes utilisées pour la densification profonde des sols granulaires comprennent : l'explosion, la vibrocompaction et le compactage dynamique.

Le choix de chaque technique est fonction des facteurs suivants :

- 1) Type de sol, notamment sa granulométrie et son pourcentage de fraction fine ;
- 2) Degré de saturation et la profondeur de la nappe phréatique ;

- 3) Densité relative initiale ;
- 4) Contraintes initiales in-situ ;
- 5) Structure initiale du sol, y compris l'effet de vieillissement, la cimentation et la fissuration etc. ;
- 6) Profondeur d'amélioration souhaitée.

I-1-2. Pour les sols cohérents

Les méthodes dynamiques d'amélioration n'auront qu'une utilité négligeable, par contre, les techniques d'amélioration par chargement et densification auront une efficacité variable en fonction de leur durée de mise en œuvre. On utilise souvent :

* des injections d'étanchéité ou de consolidation avec des coulis plus pénétrants ou au contraire plus épais pour serrer le sol par des « injections solides »,

* des colonnes in situ par malaxage à haute pression avec les coulis de ciment (*jet grouting*), par malaxage à la chaux du sol en place (*sol mixing*),

* les pieux en sable, les colonnes ballastées, la vibroflottation et le compactage par mouton très lourd, appelé compactage dynamique,

Toutes ces techniques permettent d'améliorer suffisamment les mauvais sols de façon à les rendre aptes à supporter les efforts des structures qu'on doit y construire.

En fait, le choix d'une technique de traitement des sols en profondeur relève de trois critères principaux :

- La granulométrie du sol ;
- La profondeur du traitement ;
- Le type d'ouvrage réalisé sur la zone traitée.

Les étapes d'application de chaque technique d'amélioration des sols sont [Dhouib et al., 2004c] :

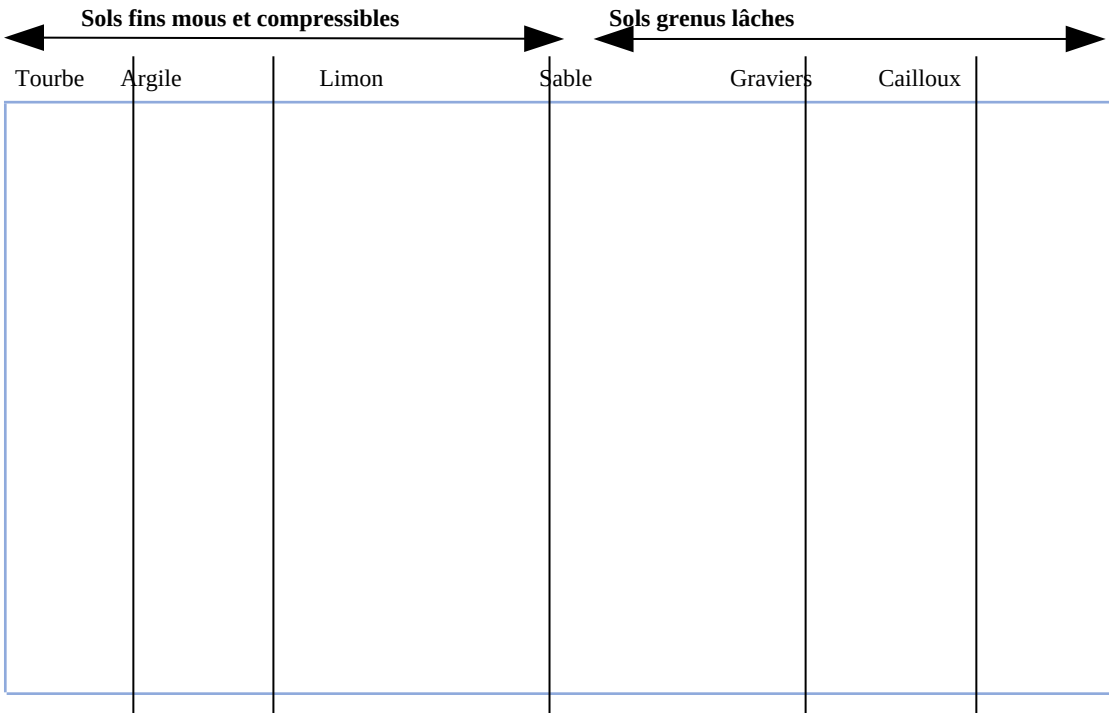
- Définition des critères du projet : emprise, sollicitations, tassements tolérés,
- Identification des sols : nature, granulométrie, présence d'eau,
- Choix de la solution d'amélioration des sols
- Optimisation de la solution d'amélioration des sols la mieux adaptée.

Les figures 1 et 2 présentent les étapes à suivre pour le choix de la technique d'amélioration (Dhouib et al., 2004), en fonction de la granulométrie du sol initial (Gambin, 1999-2000) respectivement.

Définition des critères du projet
(emprise, sollicitations, tolérances de tassements)



Identification des sols et choix de la technique d'amélioration la mieux adaptée



0.001 0.002 0.06 2 60
Dimensions des particules en (mm)



Choix, étude et optimisation de la solution

Figure 1 : Schéma général de l'application des techniques d'amélioration des sols : limites et domaines de validité (Dhouib et al. 2004). (Les chiffres indiqués dans la figure sont des résistances de cône q_c)

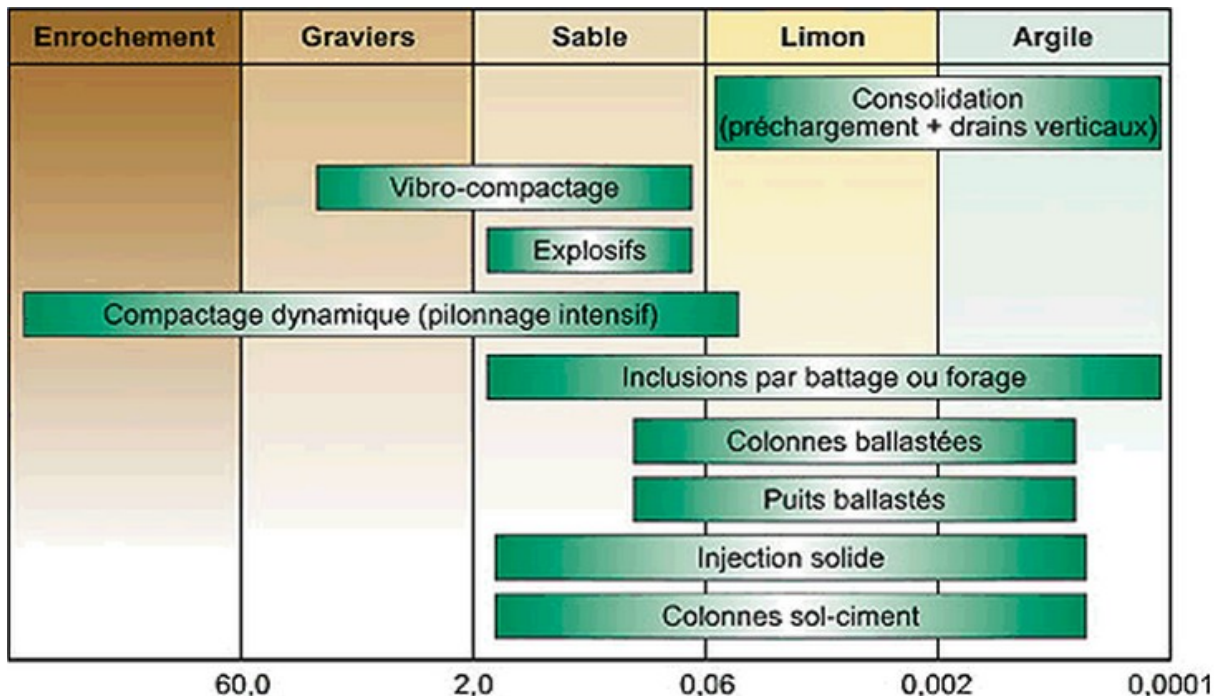


Figure 2 : Techniques d'amélioration des sols en fonction de la granularité des sols (Gambin, 1999-2000)

II-Les traitements de sols en surface

On peut identifier trois principales techniques de traitement des sols en surface et le choix entre ces différentes techniques dépend de la nécessité de modifier à court ou long terme les caractéristiques du sol.

- Les techniques de renforcement horizontal des sols. Bien que pouvant être faites sur une épaisseur de plusieurs mètres, elles peuvent être assimilées à des techniques de surface lorsqu'elles sont utilisées pour des remblais de faible hauteur. Ce sont souvent des massifs de soutènement constitués de sols remaniés et renforcés par des armatures horizontales (bandes, nappes, structures alvéolaires, etc.) ou par des fibres courtes ou continues.
- Les techniques d'amélioration des sols : il s'agit de modifier les caractéristiques à **court terme** des sols afin d'assurer la traficabilité sur un chantier (en général routier) des engins ;

Particulièrement pour les travaux de terrassement : à court terme où il s'agit souvent de rendre possible la reprise du trafic des engins du chantier sur les sols plastiques détremés (absence de portance) et de diminuer les risques de gonflement lors des épisodes de gel. Les solutions consistent principalement en des modifications de l'état hydrique des sols et d'amélioration de la portance à court terme.

- Les techniques de stabilisation des sols à l'aide de liants hydrauliques : il s'agit de modifier les caractéristiques **à court et long terme** des sols afin d'assurer leur utilisation en phase chantier et en phase de service. A long terme, il s'agit de garantir au sol de surface l'homogénéisation et l'amélioration de la portance ainsi que la diminution de la sensibilité à l'eau et/ou au gel. Les solutions consistent à modifier la structure et les caractéristiques des sols par l'action des liants hydrauliques. En effet, La stabilisation des sols avec un liant (chaux, ciment, liant hydraulique routier) a pour but d'améliorer ses propriétés afin de lui conférer des caractéristiques à court terme (modification des teneurs en eau) et à long terme (amélioration des caractéristiques géotechniques) qu'un simple traitement mécanique (compactage) n'atteindrait pas. Le ciment et le bitume sont les mieux adaptés pour les matériaux granulaires et les sols non plastiques, tandis que la chaux est plus performante dans les sols cohésifs.

CONCLUSION

Les différentes techniques développées nous permettent aujourd'hui d'étudier et de traiter tous les types de projets, même les plus complexes, dans tous les types de terrain. En effet, les terrains stratégiques disponibles ne sont donc plus toujours les meilleurs et nous sommes aujourd'hui fréquemment sollicités pour intervenir sur des sols de mauvaise qualité. Ces procédés de renforcement permettent donc de répondre à toutes les conditions de sol et aux contraintes géotechniques.