cfms
COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Traitements et améliorations des sols

Journée présentée par

Martin CAHN (Setec-Terrasol), Luis CARPINTEIRO (groupe Ginger)
& Sabrina PERLO (Cerema)

A Setec Terrasol (Amphi Central Seine)

GINGER CEBTP

Journée parrainée par KELLER

KELLER

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Traitements et améliorations des sols

Présentation générale des techniques d'améliorations des sols et de leurs limites d'applications

JST DU 05/04/2023

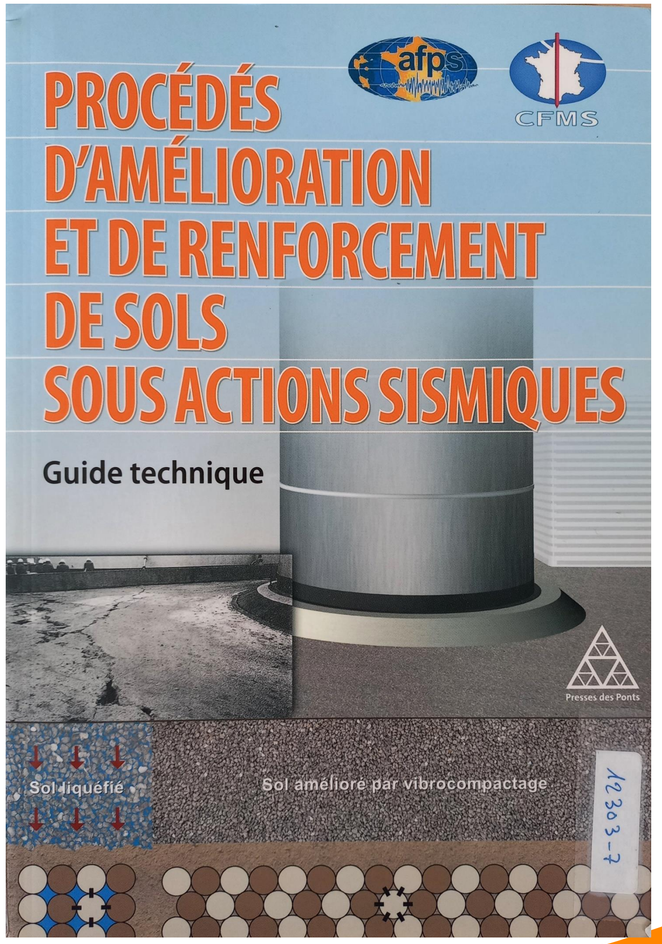
GINGER CEBTP

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

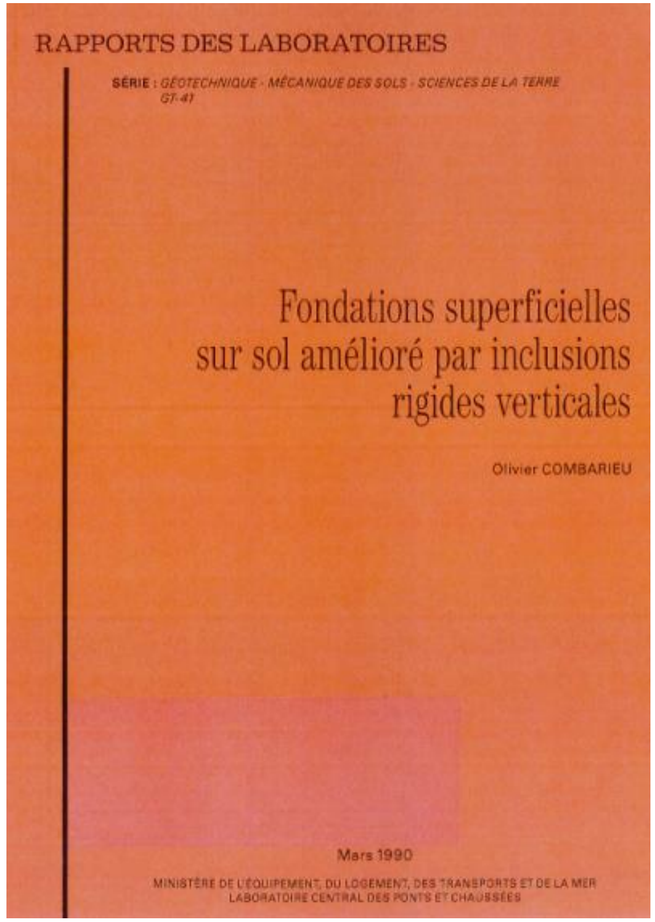
Sommaire

Les documents de référence
Les objectifs recherchés d'une amélioration des sols
Comment obtenir les objectifs ?
Les données essentielles – les données d'entrée
Quelques exemples
Les éléments à considérer dans le choix d'une amélioration des sols

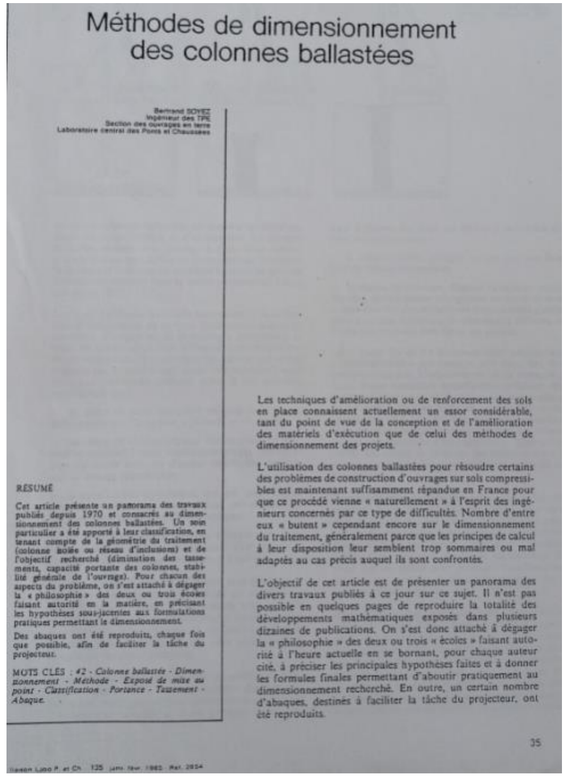
Les documents de référence



Les documents de référence



Les documents de référence



Méthodes de dimensionnement des colonnes ballastées

Bertrand SOYEZ
Ingénieur des TPE
Section des ouvrages en terre
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

RESUME

Cet article présente un panorama des travaux publiés depuis 1970 et consacrés au dimensionnement des colonnes ballastées. Un soin particulier a été apporté à leur classification, en tenant compte de la géométrie du traitement (colonne isolée ou réseau d'inclusions) et de l'objectif recherché (diminution des tassements, capacité portante des colonnes, stabilité générale de l'ouvrage). Pour chacun des aspects du problème, on s'est attaché à dégager la « philosophie » des deux ou trois écoles faisant autorité en la matière, en précisant les hypothèses sous-jacentes aux formulations pratiques permettant le dimensionnement.

Des abaques ont été reproduits, chaque fois que possible, afin de faciliter la tâche du projecteur.

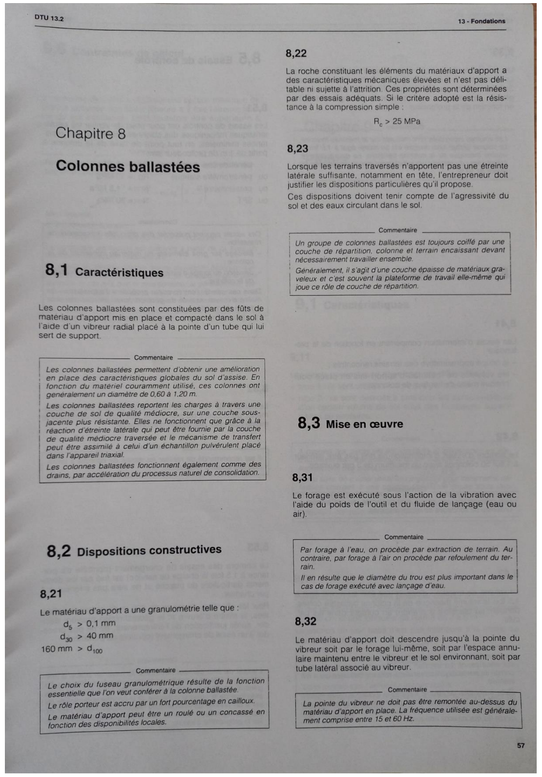
MOTS CLÉS : 42 - Colonne ballastée - Dimensionnement - Méthode - Exposé de mise au point - Classification - Portance - Tassement - Abaque.

Les techniques d'amélioration ou de renforcement des sols en place connaissent actuellement un essor considérable, tant du point de vue de la conception et de l'amélioration des matériels d'exécution que de celui des méthodes de dimensionnement des projets.

L'utilisation des colonnes ballastées pour résoudre certains des problèmes de construction d'ouvrages sur sols compressibles est maintenant suffisamment répandue en France pour que ce procédé vienne « naturellement » à l'esprit des ingénieurs concernés par ce type de difficultés. Nombre d'entre eux « butent » cependant encore sur le dimensionnement du traitement, généralement parce que les principes de calcul à leur disposition leur semblent trop sommaires ou mal adaptés au cas précis auquel ils sont confrontés.

L'objectif de cet article est de présenter un panorama des divers travaux publiés à ce jour sur ce sujet. Il n'est pas possible en quelques pages de reproduire la totalité des développements mathématiques exposés dans plusieurs dizaines de publications. On s'est donc attaché à dégager la « philosophie » des deux ou trois « écoles » faisant autorité à l'heure actuelle en se bornant, pour chaque auteur cité, à préciser les principales hypothèses faites et à donner les formules finales permettant d'aboutir pratiquement au dimensionnement recherché. En outre, un certain nombre d'abaques, destinés à faciliter la tâche du projecteur, ont été reproduits.

Bulletin Liaison Lab. P. et Ch. 125 Janv.-Fév. 1983 Réf. 2854



Chapitre 8

Colonnes ballastées

8,1 Caractéristiques

Les colonnes ballastées sont constituées par des fûts de matériau d'apport mis en place et compacté dans le sol à l'aide d'un vibreur radial placé à la pointe d'un tube qui lui sert de support.

Commentaire

Les colonnes ballastées permettent d'obtenir une amélioration en place des caractéristiques globales du sol d'assise. En fonction du matériel couramment utilisé, ces colonnes ont généralement un diamètre de 0,60 à 1,20 m.

Les colonnes ballastées reportent les charges à travers une couche de sol de qualité médiocre, sur une couche sous-jacente plus résistante. Elles ne fonctionnent que grâce à la réaction d'étreinte latérale qui peut être fournie par la couche de qualité médiocre traversée et le mécanisme de transfert peut être assimilé à celui d'un échantillon pulvérulent placé dans l'appareil triaxial.

Les colonnes ballastées fonctionnent également comme des drains, par accélération du processus naturel de consolidation.

8,2 Dispositions constructives

8,21

Le matériau d'apport a une granulométrie telle que :

$d_0 > 0,1$ mm

$d_{30} > 40$ mm

160 mm $> d_{100}$

Commentaire

Le choix du fuseau granulométrique résulte de la fonction essentielle que l'on veut conférer à la colonne ballastée.

Le rôle porteur est accru par un fort pourcentage en cailloux.

Le matériau d'apport peut être un roulé ou un concassé en fonction des disponibilités locales.

8,22

La roche constituant les éléments du matériaux d'apport a des caractéristiques mécaniques élevées et n'est pas délitable ni sujette à l'attrition. Ces propriétés sont déterminées par des essais adéquats. Si le critère adopté est la résistance à la compression simple :

$R_c > 25$ MPa

8,23

Lorsque les terrains traversés n'apportent pas une étreinte latérale suffisante, notamment en tête, l'entrepreneur doit justifier les dispositions particulières qu'il propose.

Ces dispositions doivent tenir compte de l'agressivité du sol et des eaux circulant dans le sol.

Commentaire

Un groupe de colonnes ballastées est toujours coiffé par une couche de répartition, colonne et terrain encaissant devant nécessairement travailler ensemble.

Généralement, il s'agit d'une couche épaisse de matériaux graveleux et c'est souvent la plateforme de travail elle-même qui joue ce rôle de couche de répartition.

8,3 Mise en œuvre

8,31

Le forage est exécuté sous l'action de la vibration avec l'aide du poids de l'outil et du fluide de lançage (eau ou air).

Commentaire

Par forage à l'eau, on procède par extraction de terrain. Au contraire, par forage à l'air on procède par refoulement du terrain.

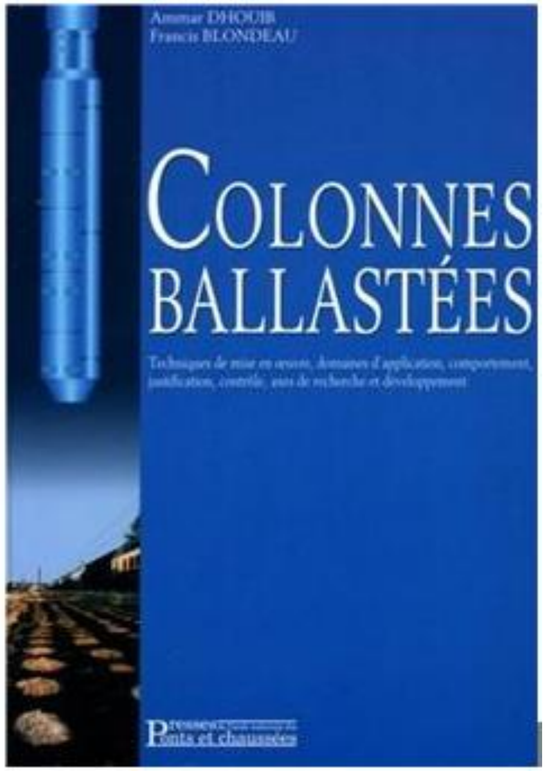
Il en résulte que le diamètre du trou est plus important dans le cas de forage exécuté avec lançage d'eau.

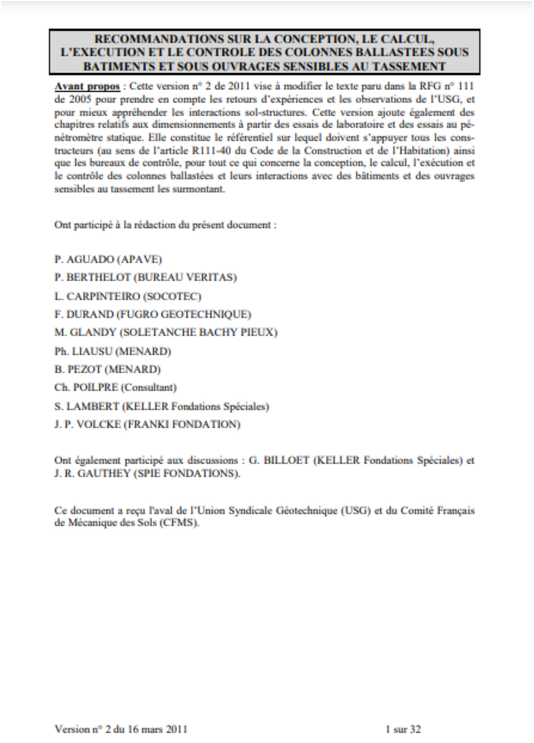
8,32

Le matériau d'apport doit descendre jusqu'à la pointe du vibreur soit par le forage lui-même, soit par l'espace annulaire maintenu entre le vibreur et le sol environnant, soit par tube latéral associé au vibreur.

Commentaire

La pointe du vibreur ne doit pas être remontée au-dessus du matériau d'apport en place. La fréquence utilisée est généralement comprise entre 15 et 60 Hz.





RECOMMANDATIONS SUR LA CONCEPTION, LE CALCUL, L'EXECUTION ET LE CONTROLE DES COLONNES BALLASTEES SOUS BATIMENTS ET SOUS OUVRAGES SENSIBLES AU TASSEMENT

Avant propos : Cette version n° 2 de 2011 vise à modifier le texte paru dans la RFG n° 111 de 2005 pour prendre en compte les retours d'expériences et les observations de l'USG, et pour mieux appréhender les interactions sol-structures. Cette version ajoute également des chapitres relatifs aux dimensionnements à partir des essais de laboratoire et des essais au pénétromètre statique. Elle constitue le référentiel sur lequel doivent s'appuyer tous les constructeurs (au sens de l'article R111-40 du Code de la Construction et de l'Habitation) ainsi que les bureaux de contrôle, pour tout ce qui concerne la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des colonnes ballastées et leurs interactions avec des bâtiments et des ouvrages sensibles au tassement les surmontant.

Ont participé à la rédaction du présent document :

P. AGUADO (APAVE)
P. BERTHELOT (BUREAU VERITAS)
L. CARPINTEIRO (SOCOTEC)
F. DURAND (FUGRO GEOTECHNIQUE)
M. GLANDY (SOLETANCHE BACHY PIEUX)
Ph. LIAUSU (MENARD)
B. PEZOT (MENARD)
Ch. POILPRE (Consultant)
S. LAMBERT (KELLER Fondations Spéciales)
J. P. VOLCKE (FRANKI FONDATION)

Ont également participé aux discussions : G. BILLOET (KELLER Fondations Spéciales) et J. R. GAUTHEY (SPIE FONDATIONS).

Ce document a reçu l'aval de l'Union Syndicale Géotechnique (USG) et du Comité Français de Mécanique des Sols (CFMS).

Version n° 2 du 16 mars 2011 1 sur 32

Les documents de référence

Normes d’exécution

- NF EN 1536+A1 Pieux forés
- NF EN 12699 Pieux à refoulement de sol
- NF EN 12716 Jet-grouting (colonnes de sol ciment)
- NF EN 14679 Colonnes de sol traité
- NF EN 14731 Amélioration des massifs de sol par vibration

Les objectifs recherchés d’une amélioration des sols

- Recherche d’un gain de portance des sols supports des ouvrages ;
- Diminution du tassement des sols supports des ouvrages ;
- Augmenter la vitesse de consolidation des terrains en vue de réaliser les ouvrages dans des délais compatibles avec la mise en service de l’ouvrage ;
- Accroissement des caractéristiques de cisaillement des terrains ;

Deux notions à distinguer :

Amélioration des sols dans la masse ;

Amélioration des sols par incorporation d’éléments souples ou rigides.

Comment obtenir les objectifs ?

Tout dépend de la nature des terrains en jeu : terrains sans cohésion/terrains avec cohésion

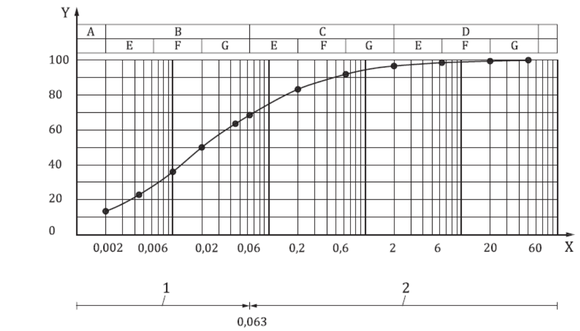
- En réorganisant un arrangement des grains du sol pour augmenter sa compacité (c'est typiquement le cas des sols granulaires sans cohésion) ;
- En expulsant l'eau contenue dans les sols pour diminuer le volume des vides (c'est typiquement le cas des sols fins avec cohésion. Le tassement démarre quand l'expulsion de l'eau commence) ;
- Les deux à la fois pour des sols intermédiaires.

Les données essentielles – les données d’entrée

Les investigations géotechniques pour classer les sols

- Les investigations *in-situ* (CPTu par exemple) ;
- Les essais en laboratoire ;

Par exemple, la distribution granulométrique des particules fournit une description du sol fondée sur une subdivision en classes discrètes en fonction des dimensions des particules. La dimension de chacune de ces classes peut être déterminée par tamisage et/ou sédimentation (NF EN ISO 17892-4).



Légende

1	Sédimentation	E	Fin
2	Tamisage	F	Moyen
A	Argile	G	Grossier
B	Limon	X	Granulométrie (mm)
C	Sable	Y	Pourcentage passant (%)
D	Gravier		

Les critères liés au comportement de l’ouvrage

- Sensibilité au tassement (aménagements paysager, remblais supports de chaussée ou de voie ferrée, ponts, ouvrages de Génie Civil, bâtiments) ;
- Comportement de la structure de l’ouvrage (béton, métal, bois).

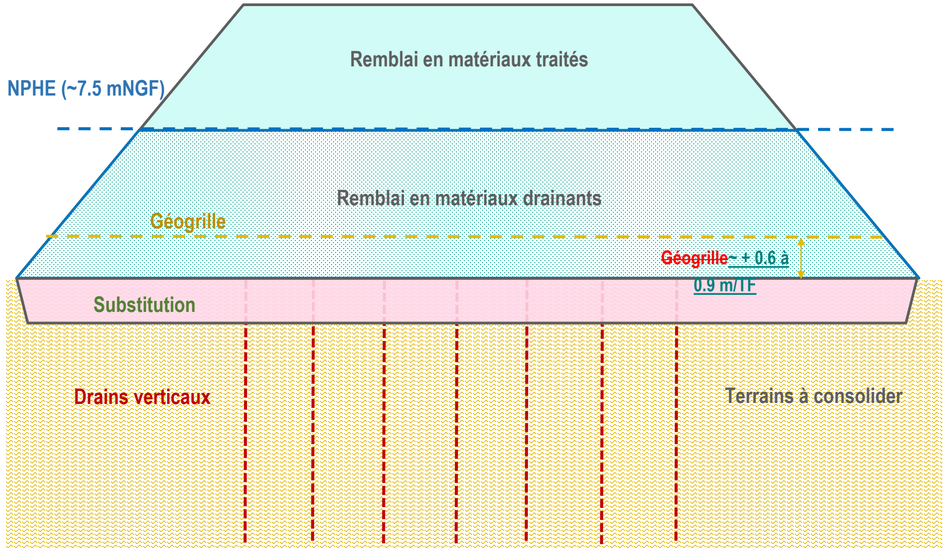
Les données essentielles – les données d’entrée

Les études d’ingénierie

- Justification de la portance du sol « vierge » ;
- Estimation du tassement du sol « vierge » ;
- **Choix de la méthode d’amélioration** qui tient compte aussi des ouvrages présents dans la zone d’influence géotechnique ;
- Estimation du temps de consolidation, le cas échéant ;
- Planche d’essai au démarrage des travaux pour s’assurer des performances obtenues ;
- Réalisation des travaux, suivi en continu, adaptation si nécessaire ;
- Contrôle des objectifs attendus (critères de réception).

Quelques exemples

Le renforcement de sol par préchargement (amélioration dans la masse)



- Justification de la portance du terrain à consolider vis-à-vis des charges apportées ;
- Drainage vertical, drainage horizontal (dissipation des pressions interstitielles et évacuation des eaux) ;
- Estimation des tassements.

Une alternative : La consolidation par le vide, consolidation atmosphérique (amélioration dans la masse)

Quelques exemples

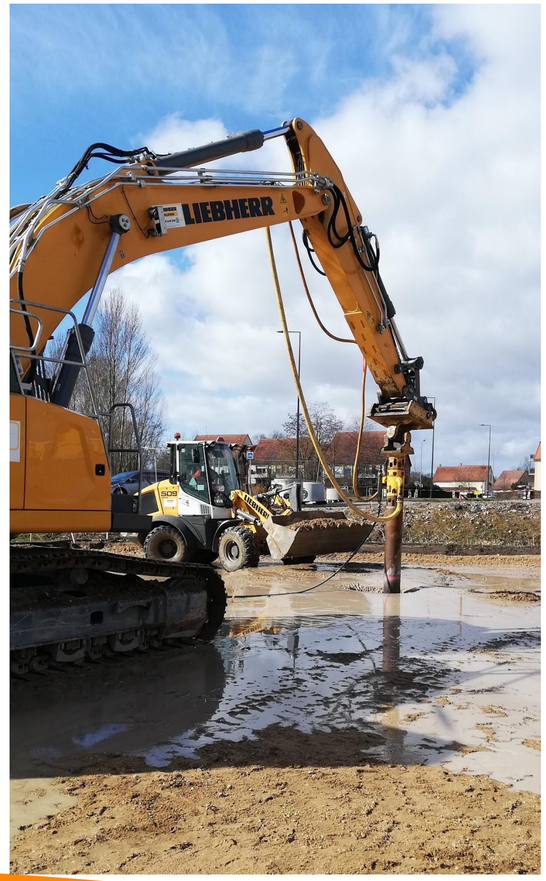
Le renforcement de sol par colonnes ballastées (inclusions souples)

Quelques exemples

Le renforcement de sol par substitution dynamique – Plots ballastés (inclusions souples)

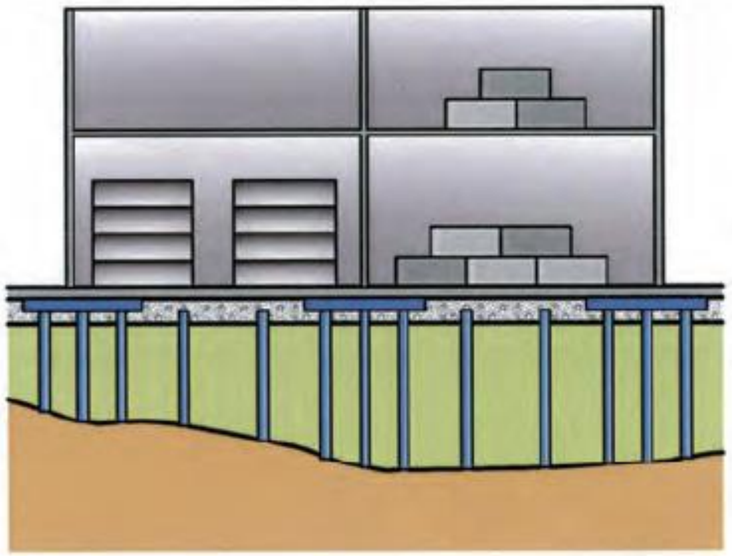
Quelques exemples

Le renforcement de sol par densification par vibroflottation (amélioration dans la masse)

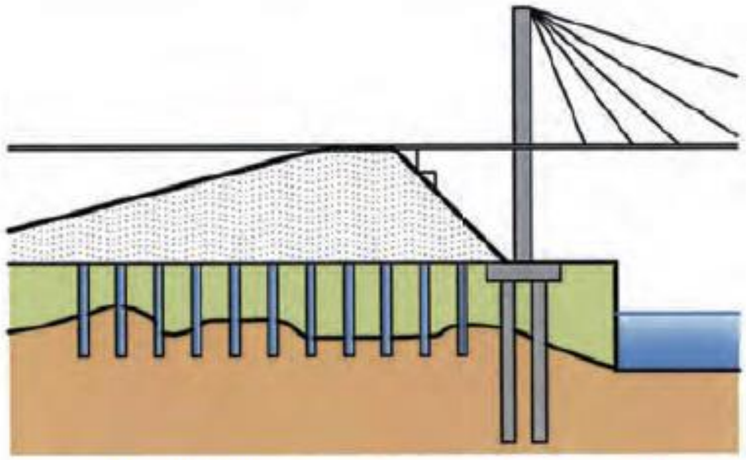


Quelques exemples

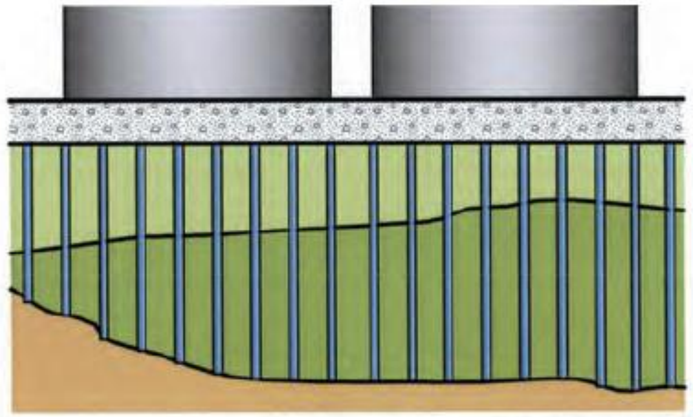
Le renforcement de sol par inclusions rigides *(source ASIRI)*



a) Dallages et fondations de bâtiments industriels



b) Remblai d'accès à un ouvrage d'art



c) Réservoirs et bassins

Quelques exemples

Le renforcement de sol par colonnes de sol traité (inclusions rigides)

Les éléments à considérer dans le choix d'une amélioration des sols

On peut citer les limites suivantes, qui sont à examiner au cas par cas:

- Vérification du potentiel de retrait gonflement des sols argileux pour les ouvrages fondés en surface au sein de ces terrains ;
- Absence de réaction physico-chimique des remblais (formation d'ettringite) ;
- Teneur importante de matière organique présente dans les sols (parfois incompatibilité pour les ouvrages sensibles au tassement) ;
- Présence d'ouvrages existants sensibles aux déformations situés dans la zone d'influence géotechnique des travaux (soulèvement ou tassement) .

Les éléments à considérer dans le choix d'une amélioration des sols

Une des conséquences des surpressions interstitielles

Quelques exemples

Merci pour votre attention