



Thème: C

Barrages et effets de site lithologique : influence de l'amélioration de sol grande profondeur

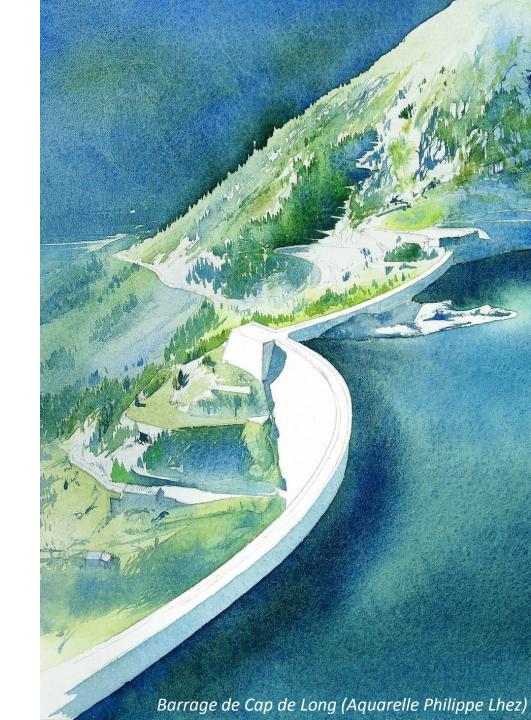
Philippe Liausu et Stéphane Brûlé - Ménard

Colloque CFBR – Fondations des Barrages 8 et 9 avril 2015 – Chambéry











SOMMAIRE

- 1.INTERACTION SOL-STRUCTURE
- 2.AMELIORATION ET RENFORCEMENT DE SOL GRANDE PROFONDEUR
- **3.CAS D'ETUDE**

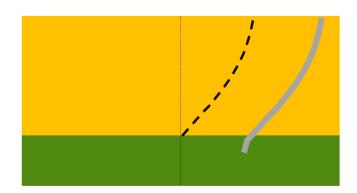




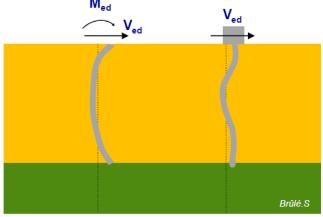




Pour un ouvrage (bâtiment, barrage, Ouvrage d'Art) bâti en surface, l'interaction sol-structure consiste à examiner les actions entre eux des effets inertiels (efforts s'exerçant sur les fondations et provenant des forces d'inertie développées dans la structure soumise à un mouvement de son support) et les effets cinématiques (mouvement du sol support au passage des ondes sismiques).



Effet cinématique : déplacement en champ libre avec déformée en quart de sinusoïde. Encastrement du pieu représenté.



Effet inertiel : à gauche, pieu libre en tête, à droite, pieu encastré en tête.





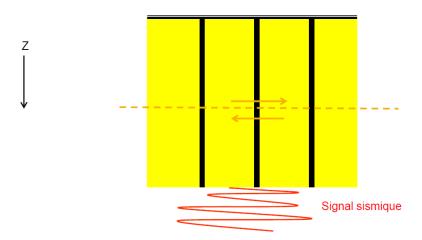




 La dynamique des sols a déjà introduit la notion de loi d'homogénéisation pour des déformations sismiques de sols demeurant dans le domaine élastique.



Ainsi, pour une onde sismique polarisée selon un plan horizontal, un module de cisaillement équivalent peut-être estimé pour un sol renforcé avec des inclusions cylindriques verticales en béton, en acier ou en bois¹.



¹ Guide AFPS/CFMS intitulé « Procédés d'amélioration et de renforcement des sols sous actions sismiques »

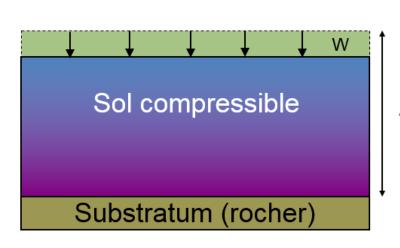


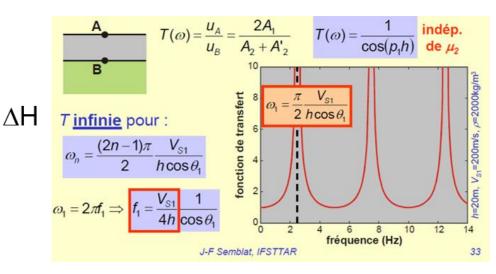






- Cette homogénéisation agit sur la réduction de la déformabilité des sols, ce qui mène à réduire les effets d'amplification de signaux sismiques dans les couches superficielles et limiter les effets de liquéfaction des sols.
- Quant à la densification des sols sur des épaisseurs de plusieurs dizaines de mètres, elle conduit à l'augmentation des modules de déformation et peut conduire à agir sur les mêmes effets







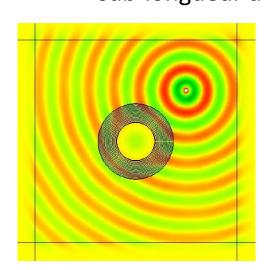


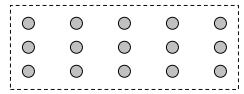


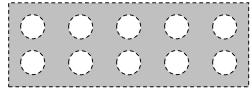


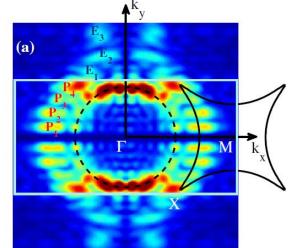
Le renforcement par inclusions verticales commence à être abordés sous l'angle des sols structurés ou métamatériaux interagissant avec les ondes de cisaillement et de surface se propageant dans les sols de faibles vitesses de propagation des ondes.

Comportement d'une structure périodique 1D ou 2D voire 3D mais « sub-longueur d'onde »^{2,3}.









³ Dubois et al. Phys. Rev. Lett., 114, 013902, 2015.







² Brûlé et al. Phys. *Rev. Lett.*, 112, 133901, 2014.





AFPS'15

9^{ème} Colloque National de Génie Parasismique

Anticiper, limiter et gérer les effets des séismes dans les territoires

IFSTTAR, Marne-la-Vallée 30 nov., 1er et 2 déc. 2015

1^{er} appel à communication

http://www.afps-seisme.org/

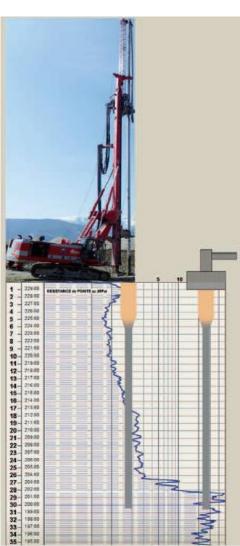
→ Session spéciale sur les « métamatériaux sismiques »

2. AMELIORATION ET RENFORCEMENT DE MENARD



SOL GRANDE PROFONDEUR





Progression des renforcements de sol pour les grandes profondeurs: 30 à 50 m.

Montbonnot (38) en 2012: inclusions rigides en béton (33 m)⁴.

⁴ Revue Travaux n°889 – Juin 2012



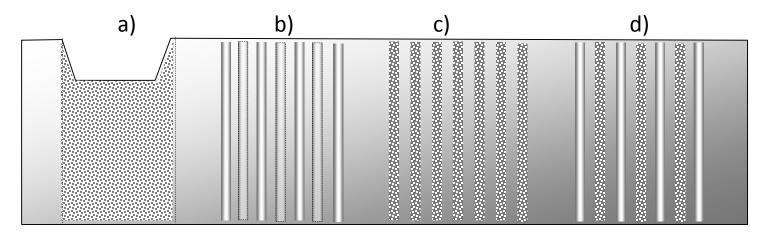




2. AMELIORATION ET RENFORCEMENT DE







Principe de traitement des sols contre la liquéfaction

- a) Densification des sols dans la masse par compactage dynamique ou vibrocompactage.
- b) Réalisation d'inclusions rigides verticales.
- c) Drainage vertical + homogénéisation par colonnes ballastées.
- d) Solution mixte de renforcement par éléments verticaux rigides et drainage vertical par colonnes ballastées.

⁵ Brûlé et Javelaud (2014) – Le traitement contre la liquéfaction des sols en France



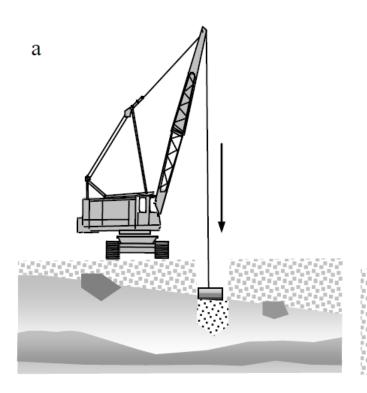




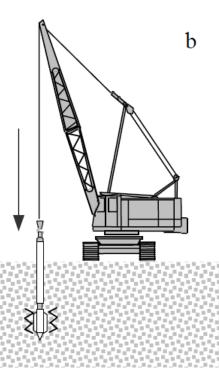
2. AMELIORATION ET RENFORCEMENT DE



SOL GRANDE PROFONDEUR

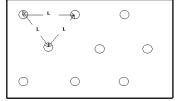






(b) Vibrocompactage





30, 50, 60 Hz

Maille de 5 à 25 m²

⁶ Brûlé et Javelaud (2012) – Soil dynamic response after ground improvement by heavy dynamic compaction or vibrocompaction (ISSMGE)











	Soil types				
Size range	Sands	Gravels to cobbles			
	> 0.074 mm	> 4.75 mm			
ASTM	< 4.75 mm	< 350 mm			
	> 0.06 mm	> 2.0 mm			
British/European Standard	< 2.0 mm	< 200 mm			
Ground improvement without admixtures in non-cohesive soils or	Dynamic compaction				
fill materials	Vibrocompaction				

⁶ Brûlé et Javelaud (2012) – Soil dynamic response after ground improvement by heavy dynamic compaction or vibrocompaction (ISSMGE)



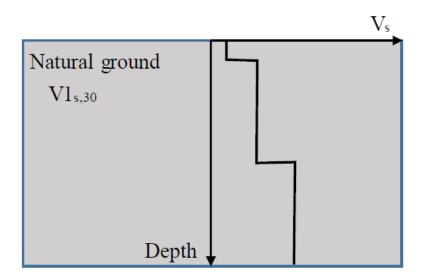


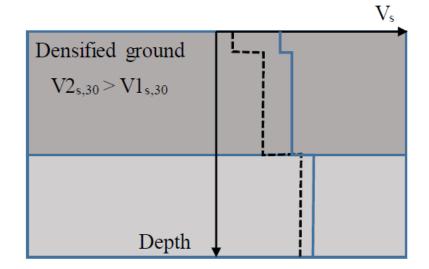


2. AMELIORATION ET RENFORCEMENT DE



SOL GRANDE PROFONDEUR





$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

Liausu et Brûlé (2015) – Barrages et effets de site lithologique - CFBR









		Parameters			Order of height		
	Ground type and stratigraphic profile	V _{s,30} (m/s)	Nspt	Cu (kPa)	1	E _M MPa	pı MPa
В	Deposits of very dense sand, gravel or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterized by a gradual increase of mechanical properties with depth.		> 50	> 250	> 3,5 (clay) > 20 (sand)	25-100	> 1,2 (clay) 2,0 à 5,0 (sand)
С	Deep deposits of dense or medium- dense sand, gravel or stiff clay with thichness from several tens to many hundreds of metres.	180 - 360	15 - 50	70 - 250	De 1 à 3,5 (clay) De 6 à 20 (sand)	5-25	0,5 à 1,2 (clay) 0,8 à 2 (sand)
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers) or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70	< 1 (clay) < 6 (sand)	<5	< 0,5 (clay) < 0,8 (sand)

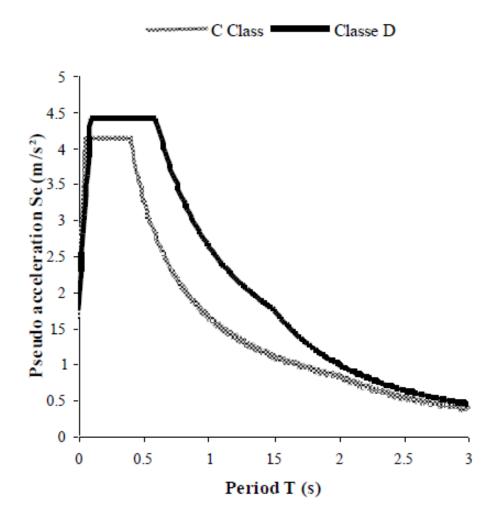
Table 4: Table of soil characteristic correlations. Extract of "Procédés d'amélioration et de renforcement de sols









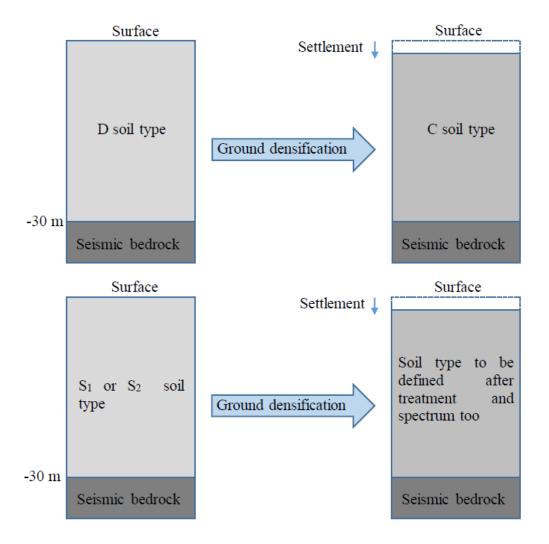




















3. CAS D'ETUDE

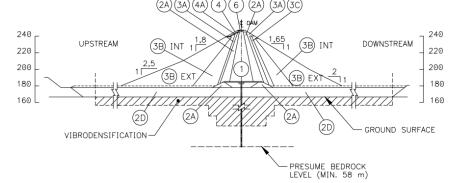
a – Brulé and al. (2010a), b – Liausu (2010), c – Lauzon and al. (2006) and Karray and al. (2008).

	City Country	Surface (m²)	Maximum depth of densification (m)	Size range	Technique	
a	Givors France	65 000	15	Well graded gravels backfill	Dynamic compaction	
b	Dakar Senegal	70 000	13	Sand	Vibrocompaction	
c	Peribonka Dam Canada	> 100 000	52	Sands and gravels	Vibrocompaction	

Barrage de la Péribonka : Province de Québec, région du Saguenay – Saint-Laurent

Barrage en terre et enrochement de 80 m de hauteur et 630 m de longueur.

Mise en service en 2008.











3. CAS D'ETUDE ET CONCLUSIONS

Project	Site investigation				V _{s,30} (m/s)		
	CPT	SPT	MASW	PMT	Before	After	
Givors	X		X	X	244	252	
Dakar	X	X			-	-	
Peribonka Dam	X		X		Non calculated		

Dusingt	N_{SPT}		СРТ	\mathbf{q}_{c}	PMT p _{l*}	
Project			(MPa)		(MPa)	
	Before	After	Before	After	Before	After
Givors	-	-	3.7	7.3	0.5	2.4
Dakar	< 15	> 50	< 8	> 15	-	-
Peribonka Dam	-	-	< 10	> 10	-	-

⁶ Brûlé et Javelaud (2012) – Soil dynamic response after ground improvement by heavy dynamic compaction or vibrocompaction (ISSMGE)







MERCI





