



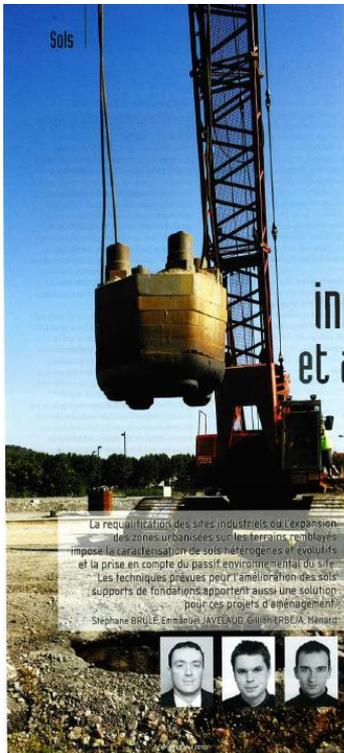
# Auscultation sur les chantiers de densification des sols

*Paris  
Le 5 avril 2016*

# Références

## Articles sur les friches industrielles et techniques de renforcement de sol

- S. Brûlé, E. Javelaud, G. Erbeja (2010) *Friches industrielles et amélioration des sols. Environnement et Techniques*, 296, 44-48.
- Brûlé S. et al. (2012) *Auscultation d'une cheminée de grande hauteur située à proximité d'un chantier de compactage dynamique haute énergie, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2012, 4-6 juillet 2012, Bordeaux, France, Tome II, 919-926.*
- A. Bitri et al. (2013) *Assessment of ground compaction using multi-channel analysis of surface wave data and cone penetration tests, Near Surface Geophysics .*
- M. Lauzon, (2010) , *RIC et vibrations.*
- P. Liausu, (2016), (2016) - *Heavy Tamping - dynamic compaction and dynamic replacement*
- DTI, 2003, *Specifying dynamic compaction*



## Friches industrielles et amélioration des sols

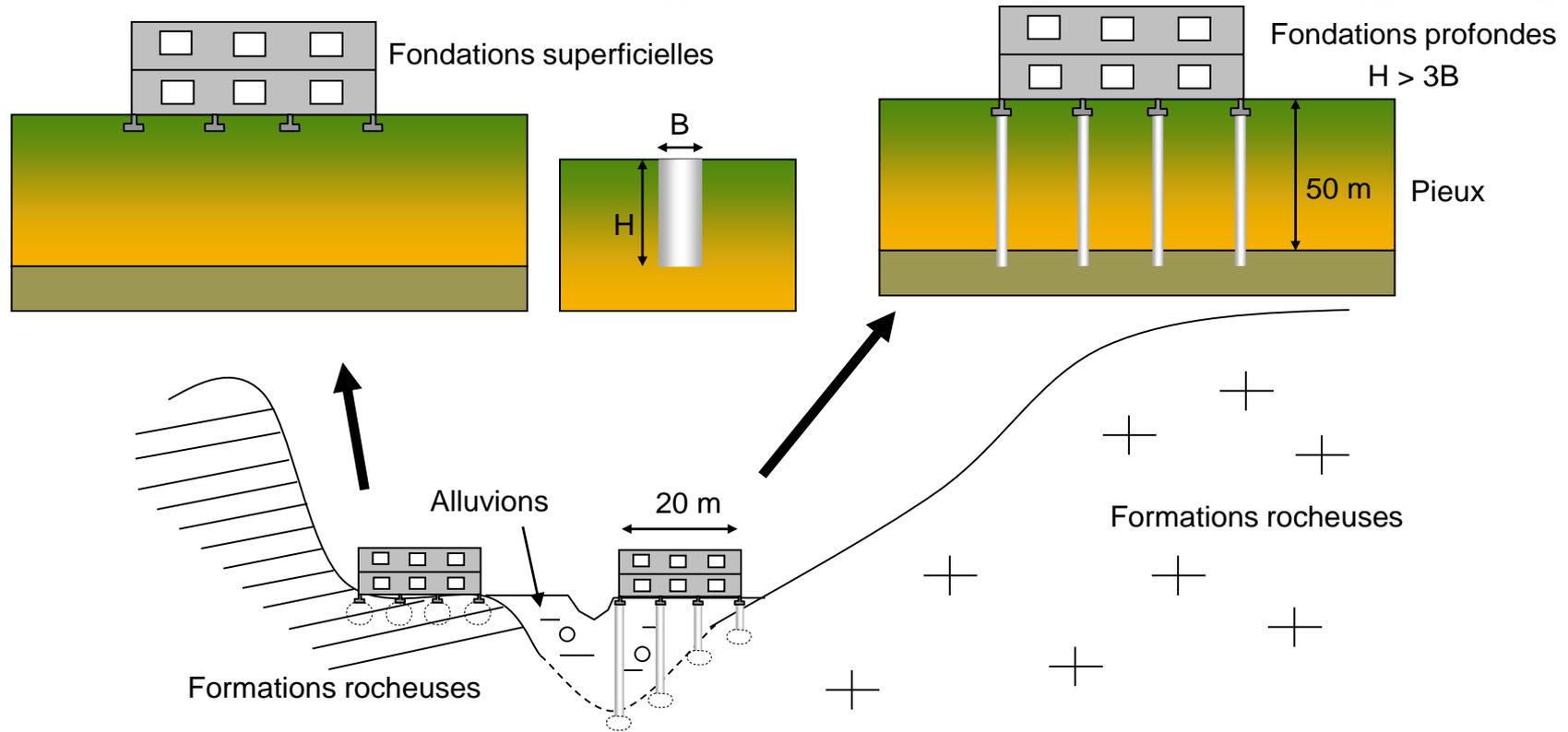
La requalification des sites industriels ou l'expansion des zones urbanisées sur les terrains remblayés impose la caractérisation de sols hétérogènes et évolutifs et la prise en compte du passé environnemental du site. Les techniques brèves pour l'amélioration des supports de fondations apportent aussi une solution pour ces projets d'aménagement.

Stéphane BRÛLÉ, Emmanuel JAVELAUD, Gilles ERBEJA, Manar

Dans un contexte de lutte contre l'étalement urbain et de promotion des villes durables, la réhabilitation des friches industrielles a été identifiée comme un élément essentiel lors du Grenelle de l'environnement (loi du 3 août 2009). Maîtres d'ouvrage et organismes mettant en œuvre des politiques foncières publiques pour l'acquisition de terrains en vue de faciliter la production d'habitat et le développement économique des territoires, peuvent être confrontés à un héritage foncier difficile à traduire en termes d'aménagement. La requalification d'anciens sites industriels ou l'expansion des zones urba-



# Amélioration des sols: dans quel cas?

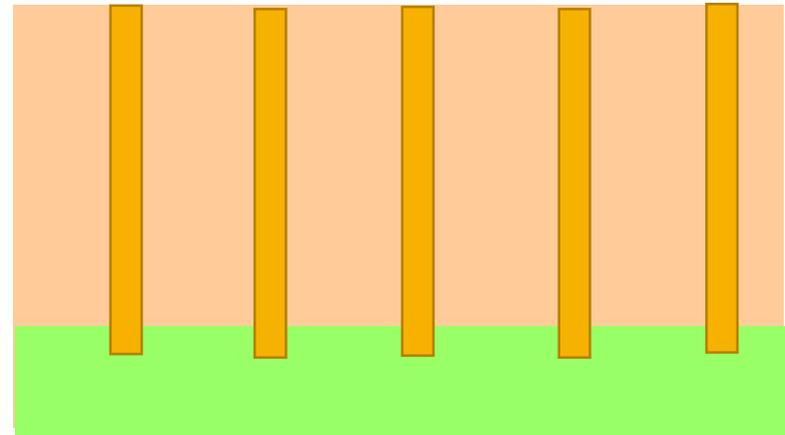
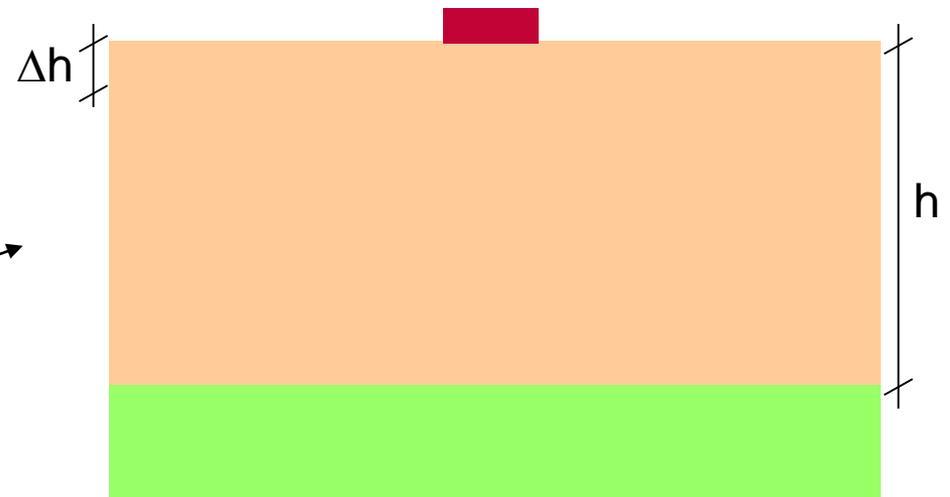
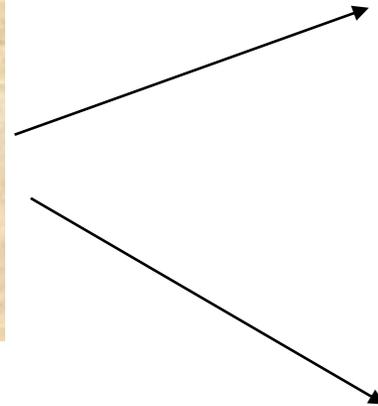
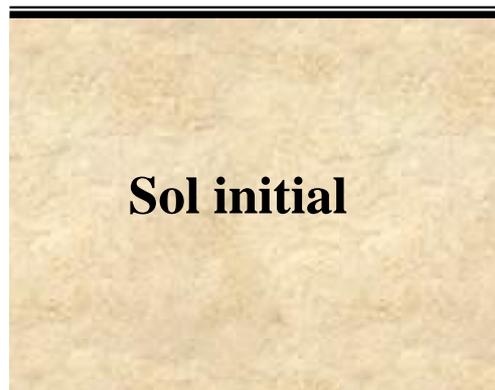


Les **fondations** d'un ouvrage assurent la transmission et la répartition des charges de cet ouvrage sur le **sol**. Le mode de fondation sera établi suivant la **capacité portante** du sol et sa déformabilité (**tassement**) sous l'application de ladite charge. Soit le sol en place a des qualités suffisantes pour fonder l'ouvrage (**fondations superficielles**), soit ses qualités sont médiocres et il faut alors rechercher un ancrage meilleur en profondeur (**fondations profondes**).

# Renforcement des sols et densification

Densification sans apport de matériaux :

- compactage dynamique
- vibro-compactage

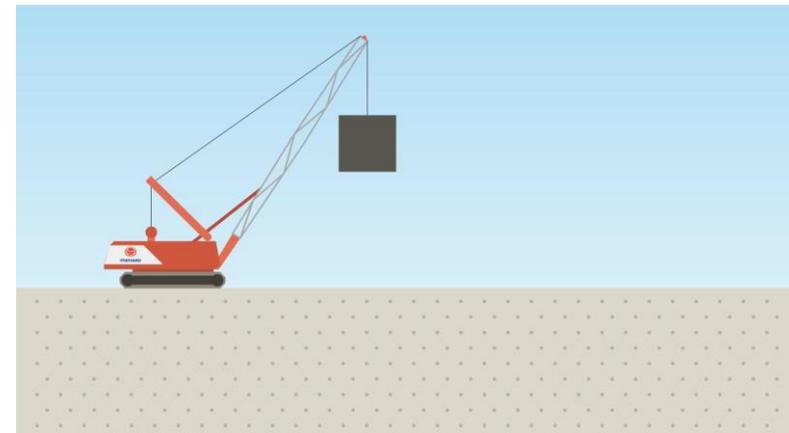
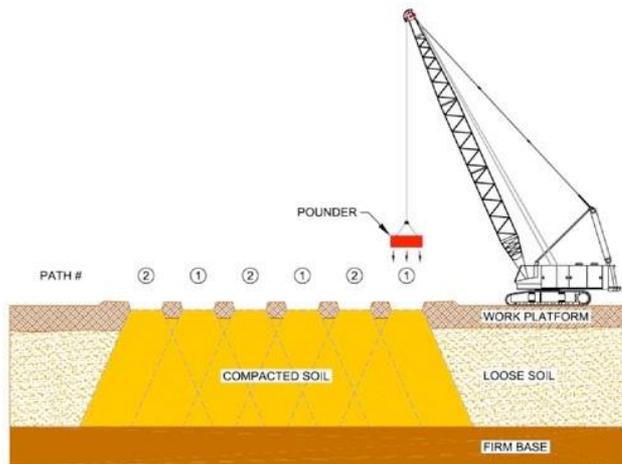
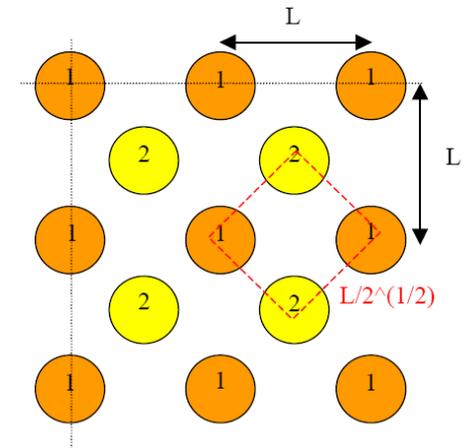


# Compactage dynamique : concept

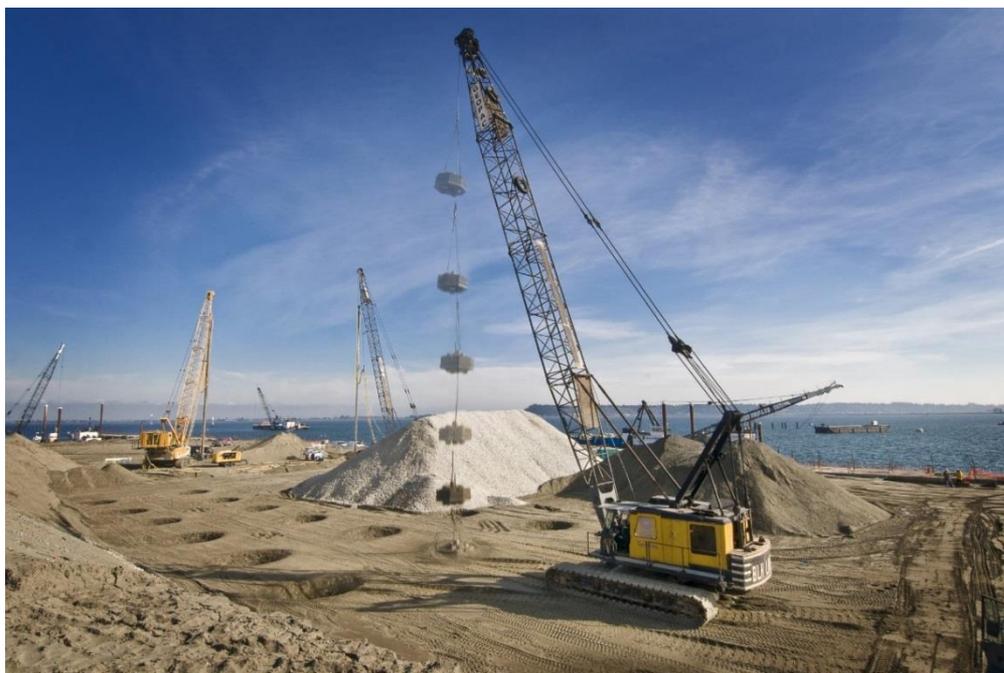


- Réduction indice des vides
- Réarrangement des grains par vibrations

$$D = c \cdot \alpha \cdot \sqrt{M \cdot H} \quad \text{où :}$$



# Compactage dynamique : illustration

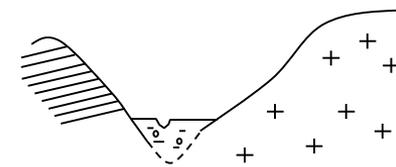
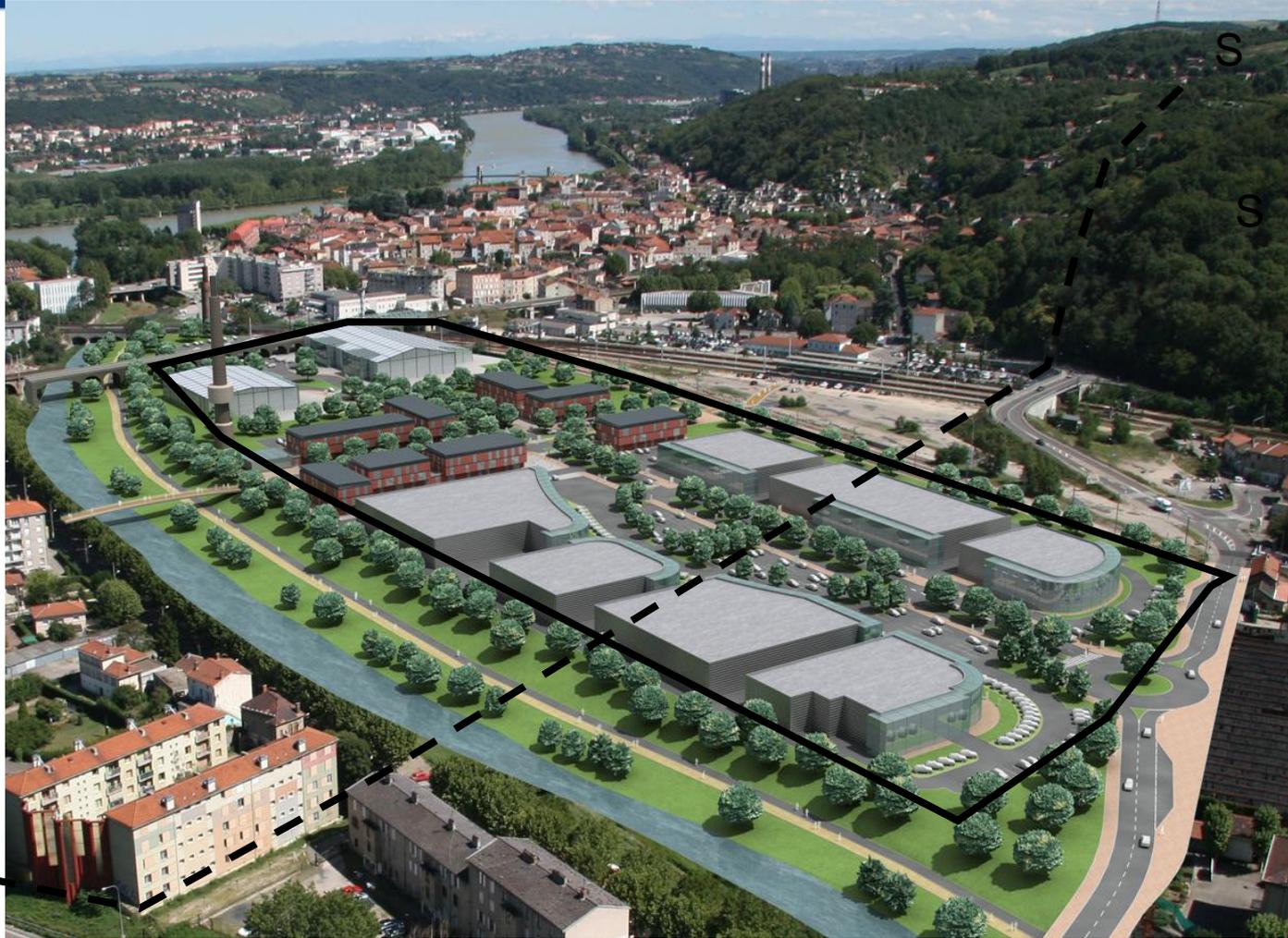


# Pourquoi instrumenter / ausculter?



# Friches industriels urbaines : double intérêt

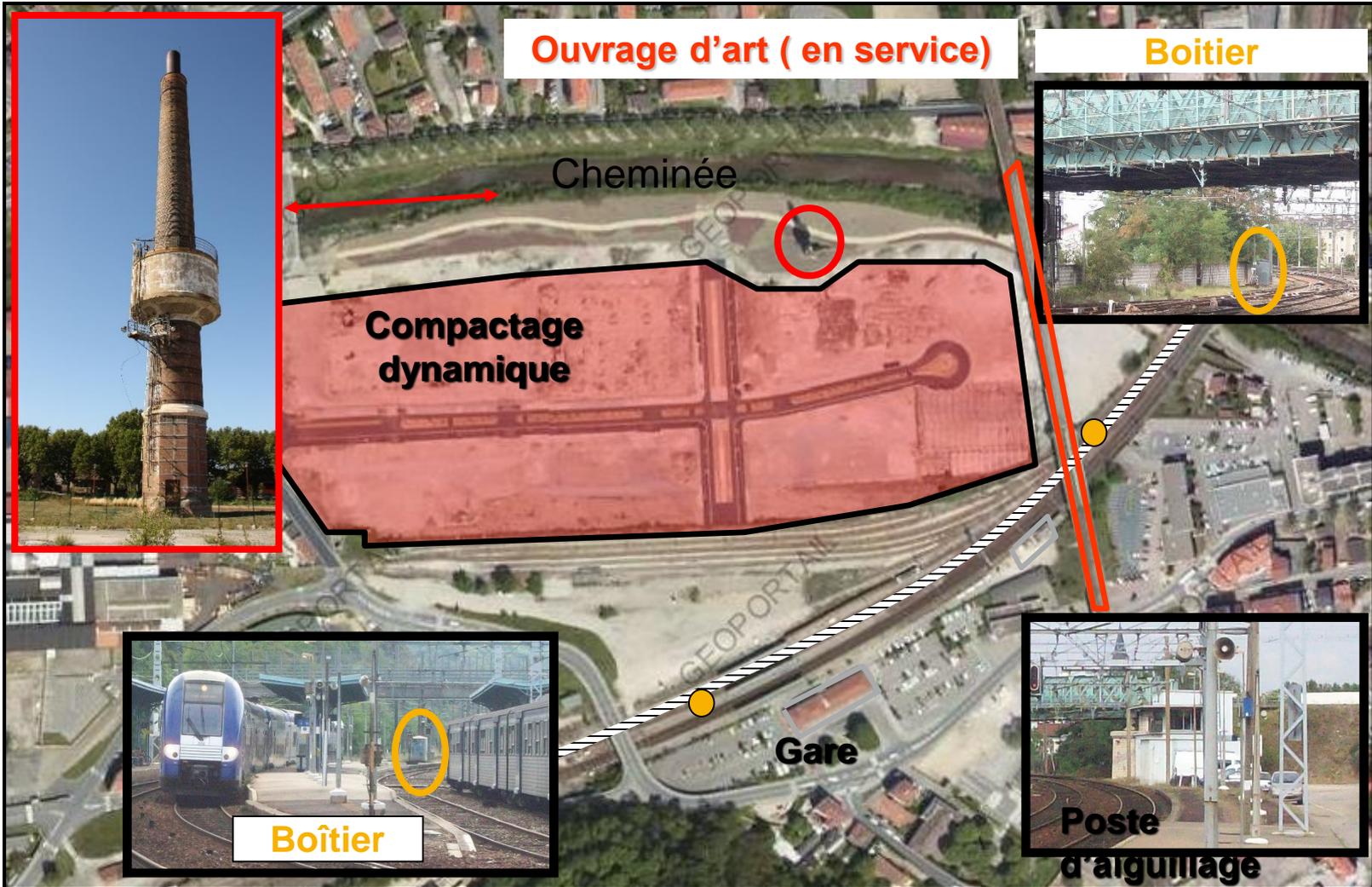
## Contexte urbain : Givors (69)



Profil géologique

- Amélioration des caractéristiques mécaniques des sols en place
- Réduction des volumes de terre potentiellement à évacuer en cas de déblais / facilitation d'un confinement

# Identifier les problématiques potentielles



# Se baser sur l'expérience

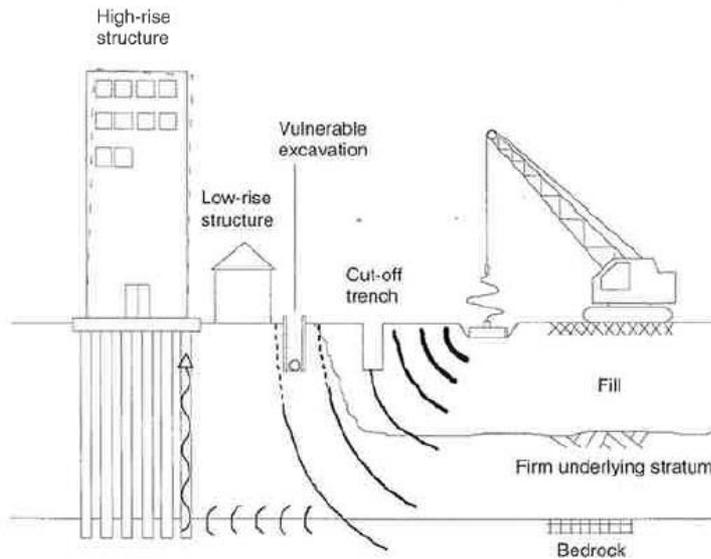
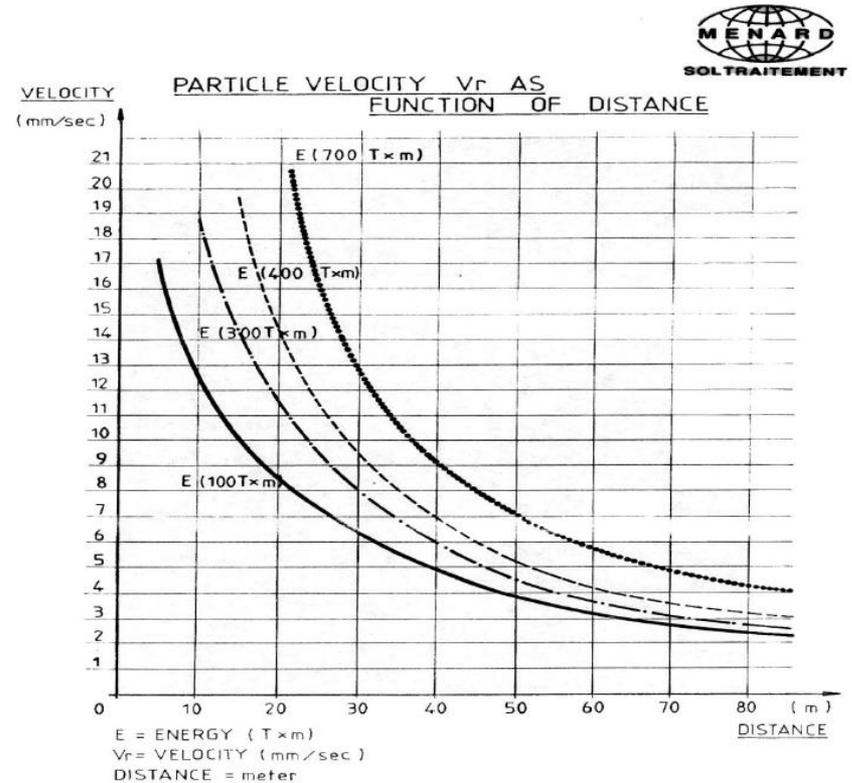


Figure 10. Possible transmission routes of ground-borne vibration

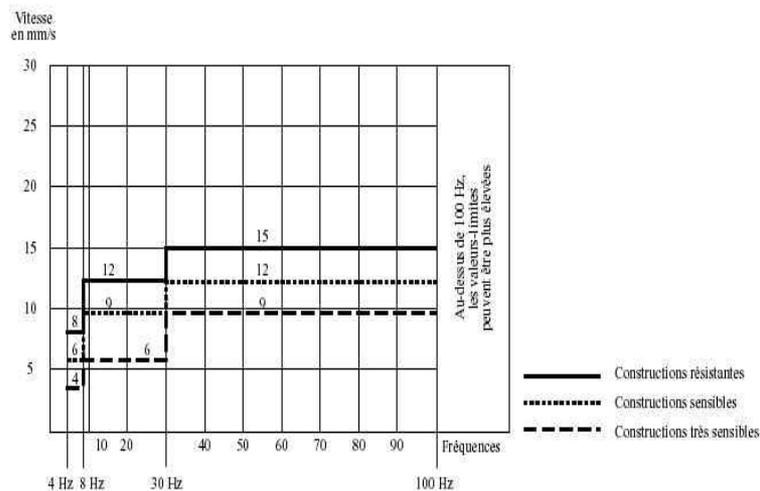


Vitesse particulaire fonction de la distance du point d'impact

# Référentiel(s)

TABLEAU 2  
**VIBRATIONS IMPULSIONNELLES À IMPULSIONS RÉPÉTÉES**  
 Valeurs limites de la vitesse particulière en fonction de la fréquence observée  
 Méthode de mesure de classe « Contrôle »

Ces valeurs limites sont valables pour chacune des trois composantes du mouvement.



Seuils\* de vitesse particulière en mm/s à respecter sur les installations ferroviaires au cours des essais de convenance des engins mécaniques puissants à moins de 30 m des installations

Ouvrages et installations	Vibrations entretenues (a)				
	Fréquences comprises dans la largeur de spectre réduite à 25 % de la fréquence dominante				
	F < 5 Hz	5 ≤ F < 10 Hz	10 ≤ F < 30 Hz	30 ≤ F < 100 Hz	F > 100 Hz
état jugé résistant (1)	interdit (****)	5	6	8	10
état jugé sensible (2) **	interdit (****)	3	5	6	8
état jugé très sensible (3) ***	interdit (****)	2	3	4	6
plate-forme et poteaux caténaire	interdit (****)	5	10	15	20

Ouvrages et installations	Vibrations non entretenues (b)				
	Fréquences comprises dans la largeur de spectre réduite à 25 % de la fréquence dominante				
	F < 5 Hz	5 ≤ F < 10 Hz	10 ≤ F < 30 Hz	30 ≤ F < 100 Hz	F > 100 Hz
état jugé résistant (1)	interdit (****)	8	12	15	20
état jugé sensible (2) **	interdit (****)	6	9	12	15
état jugé très sensible (3) ***	interdit (****)	4	6	9	12
plate-forme et poteaux caténaire	interdit (****)	8	15	20	30

(a) vibration continue, non transitoire  
 (b) vibration transitoire à impulsion répétée

- 1) structure ne présentant pas d'avarie particulière
- 2) structure à pathologie déclarée (y compris les équipements électriques \*\*)
- 3) structure sous surveillance particulière (talus instable, ouvrage fortement fissuré, appareillages électroniques \*\*\*, ...)

### Précisions concernant les seuils :

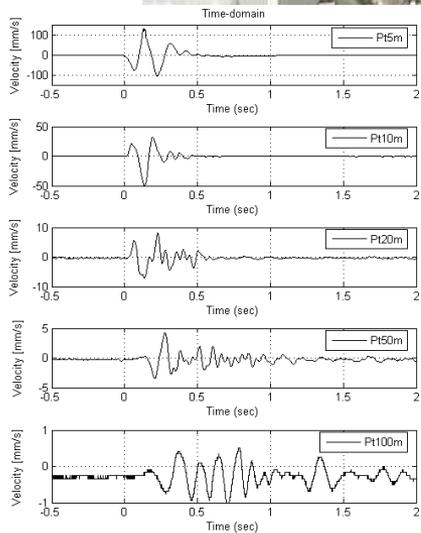
- \* Les seuils sont donnés à titre indicatifs pour permettre au bureau d'étude spécialisé de réaliser les essais de convenance des engins. Ils sont déterminés à partir des plages de fréquence caractéristiques (issues des spectres de fréquence FFT) qui correspondent en général à une largeur de spectre réduite à 25 % de la fréquence dominante (amplitude maximale du spectre). Ils sont fixés de manière définitive à partir du rapport de l'étude vibratoire, après analyse complète de l'ensemble des enregistrements.
- \*\* En présence d'appareillage électro-mécanique (armoire avec relais, ...), le seuil sera celui correspondant à l'état sensible (2) dans les tableaux. Ces préconisations sont données sous réserve de recherches actuellement en cours.
- \*\*\* En cas d'appareillage électronique et informatique, ils seront décidés au cas par cas selon les indications des constructeurs
- \*\*\*\* Sauf étude spécifique

Extrait de l'annexe 12 de l'IN 1226 – seuils admissibles en deçà de la limite de 30 m.

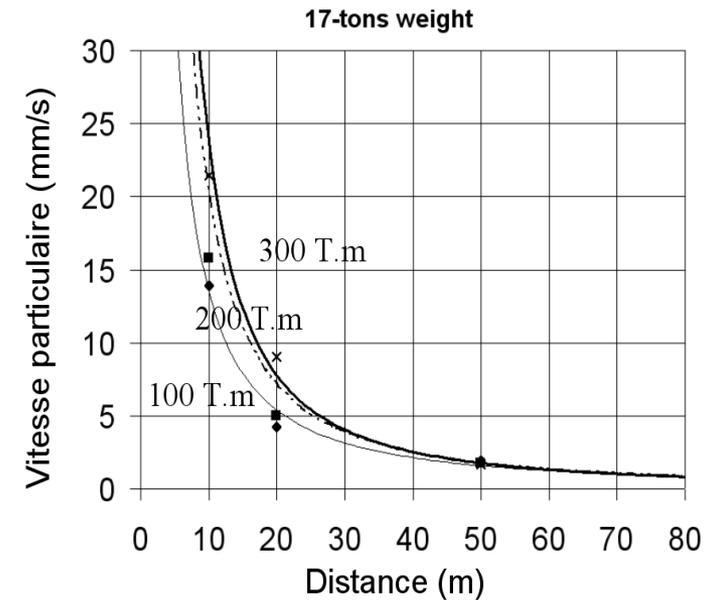
# Ouvrages SNCF situés à proximité du chantier



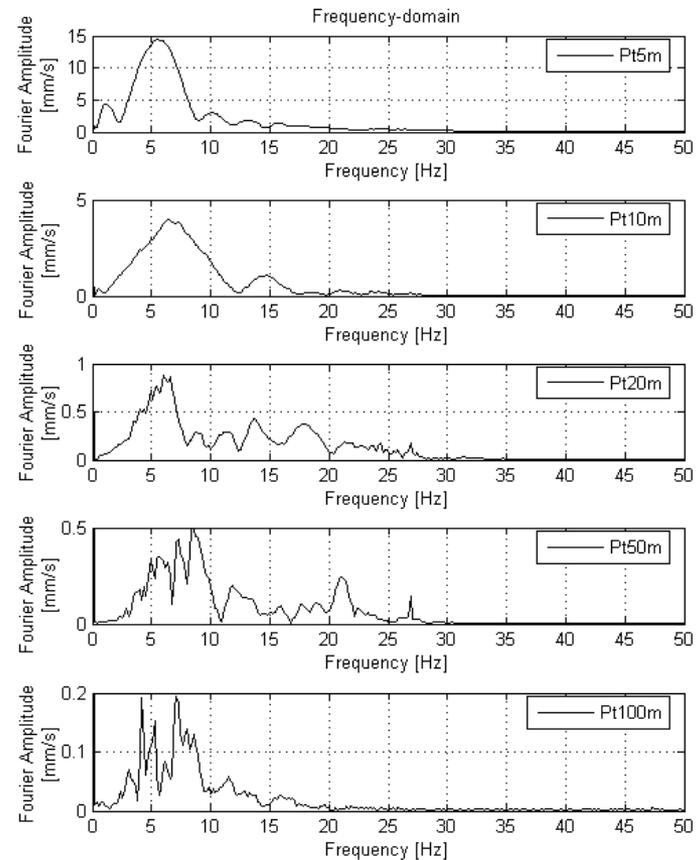
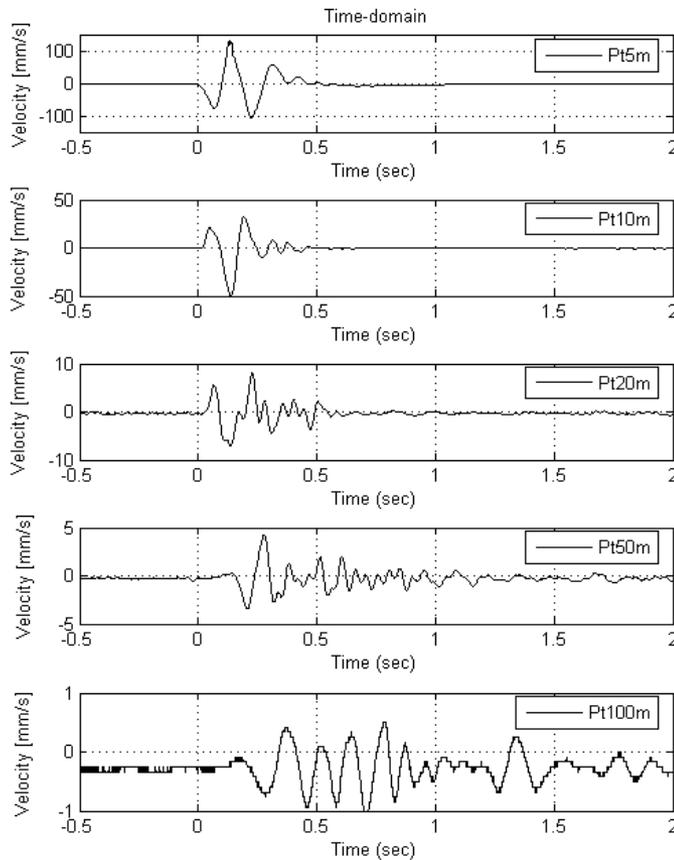
# Ouvrages SNCF – zone des 200 m



## Loi d'atténuation spécifique au site

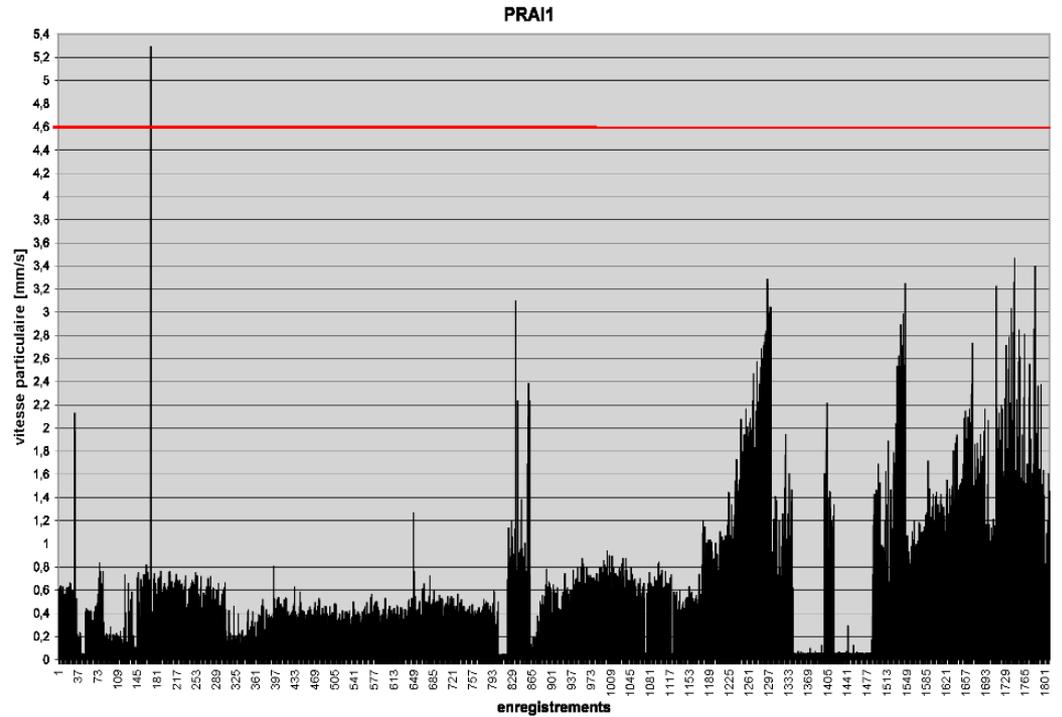
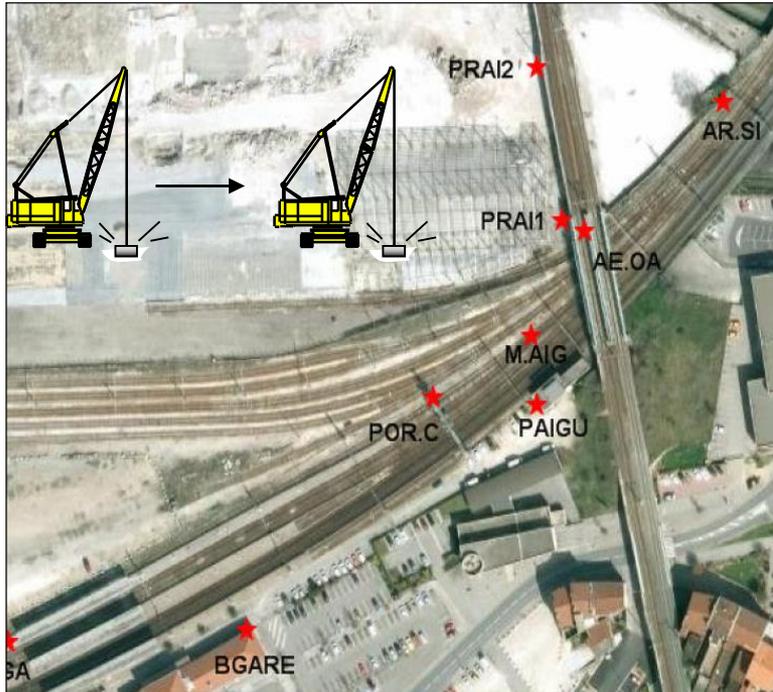


# Ouvrages SNCF – zone des 200 m



- Le compactage génère un signal source non entretenu < 10 Hz
- Dans ce cas : peu de filtrage des fréquences car signal source déjà en basse fréquence.
- Atténuation rapide avec la distance.
- Il est important de mener l'analyse en amplitude et en fréquence.

# Ouvrages SNCF - Essais de convenance - vibration



# Cheminée centenaire de 50 m de hauteur - Suivi permanent

La cheminée centenaire de  
Givors



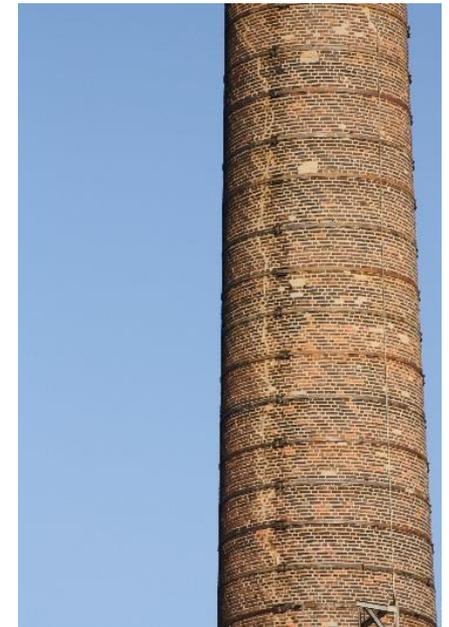
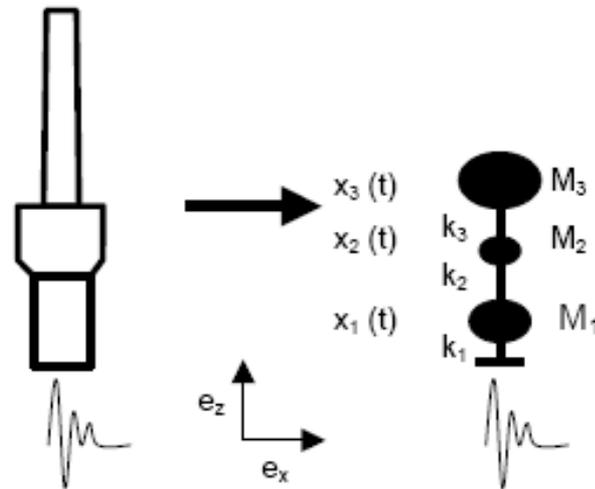
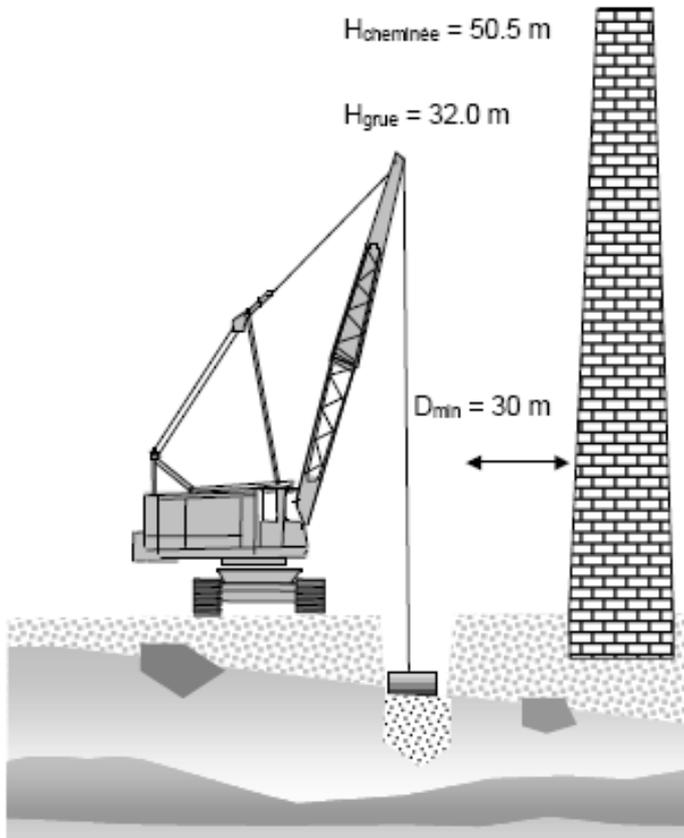
Capteurs de vitesse



Suivi permanent



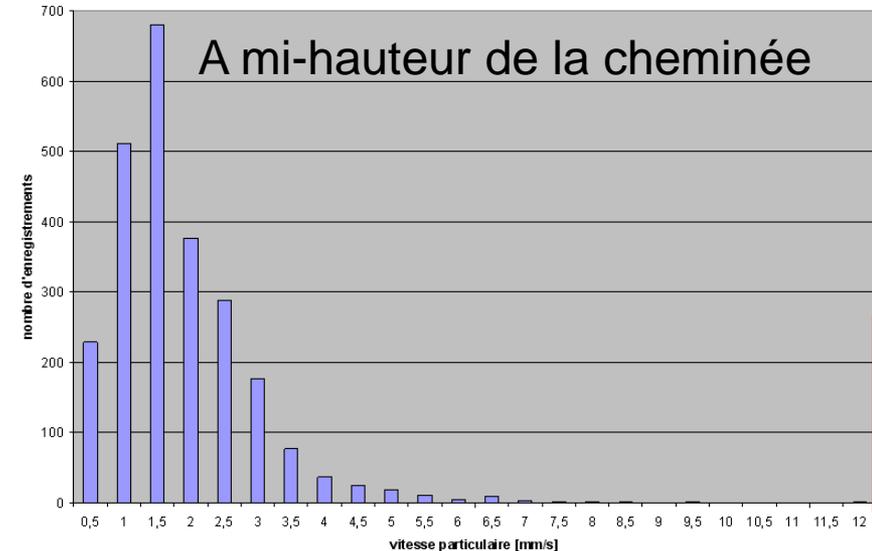
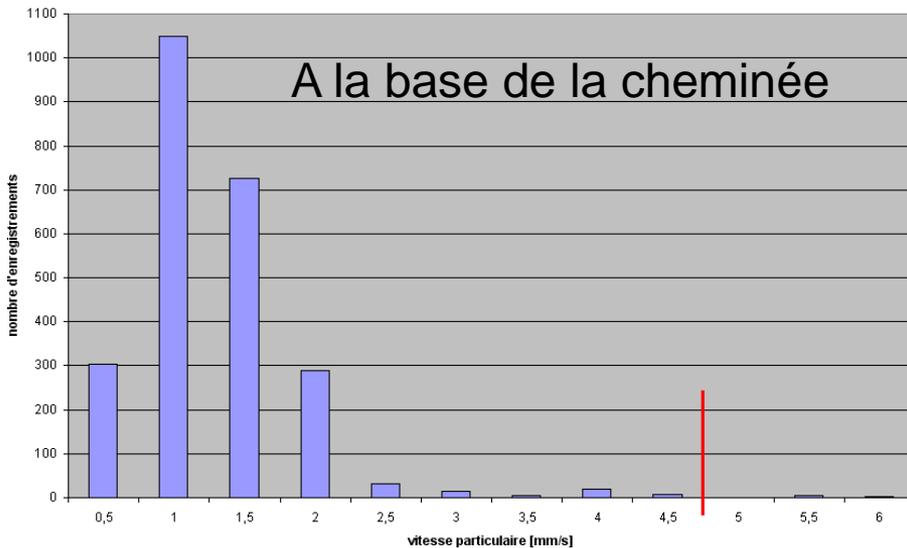
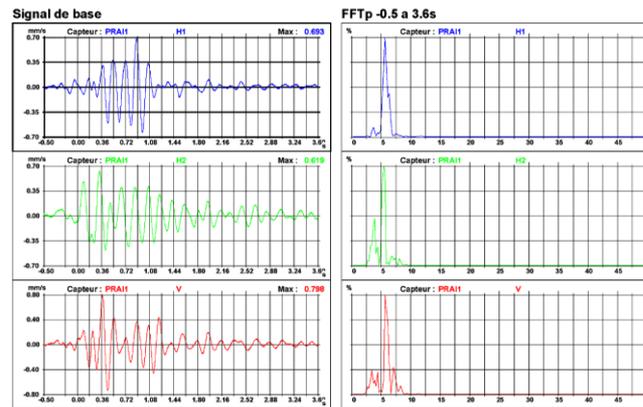
# Fréquence propre et fréquence induite



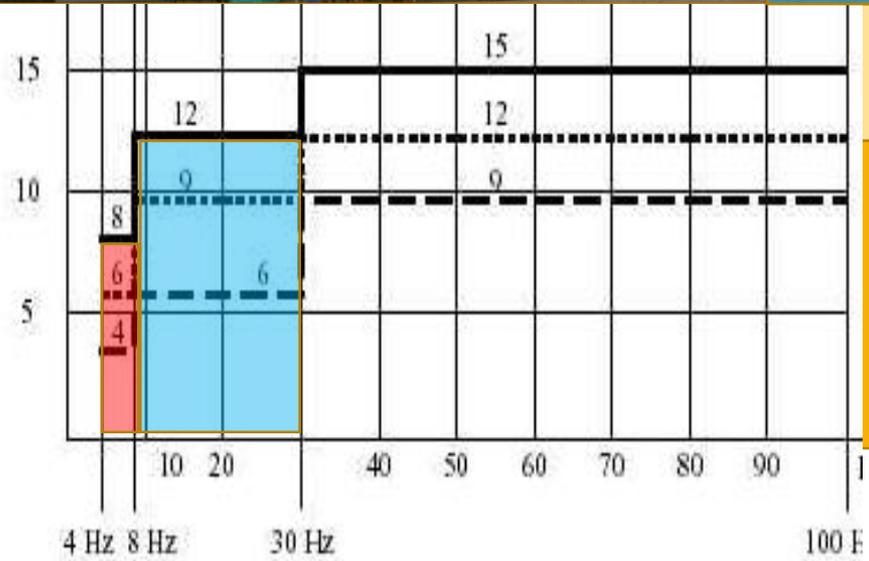
Fréquence calculée : 1.9 Hz  
Fréquence mesurée : 0.65 Hz

# Analyse en vitesse particulaire et fréquence

Information immédiate (lumière) donnée à l'opérateur de la grue de compactage lorsque les vibrations atteignent un niveau proche du niveau réglementaire. Le cas échéant, le programme de compactage dynamique est adapté en conséquence



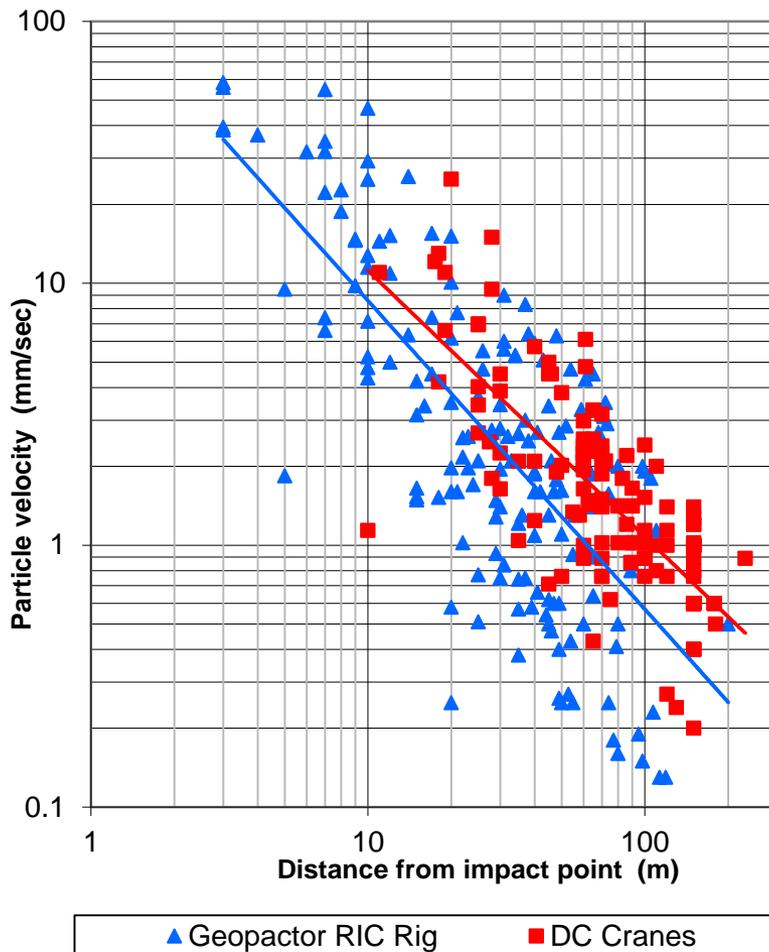
# Trois-Rivières (Canada)



# Compactage à Impacts rapides (CIR)



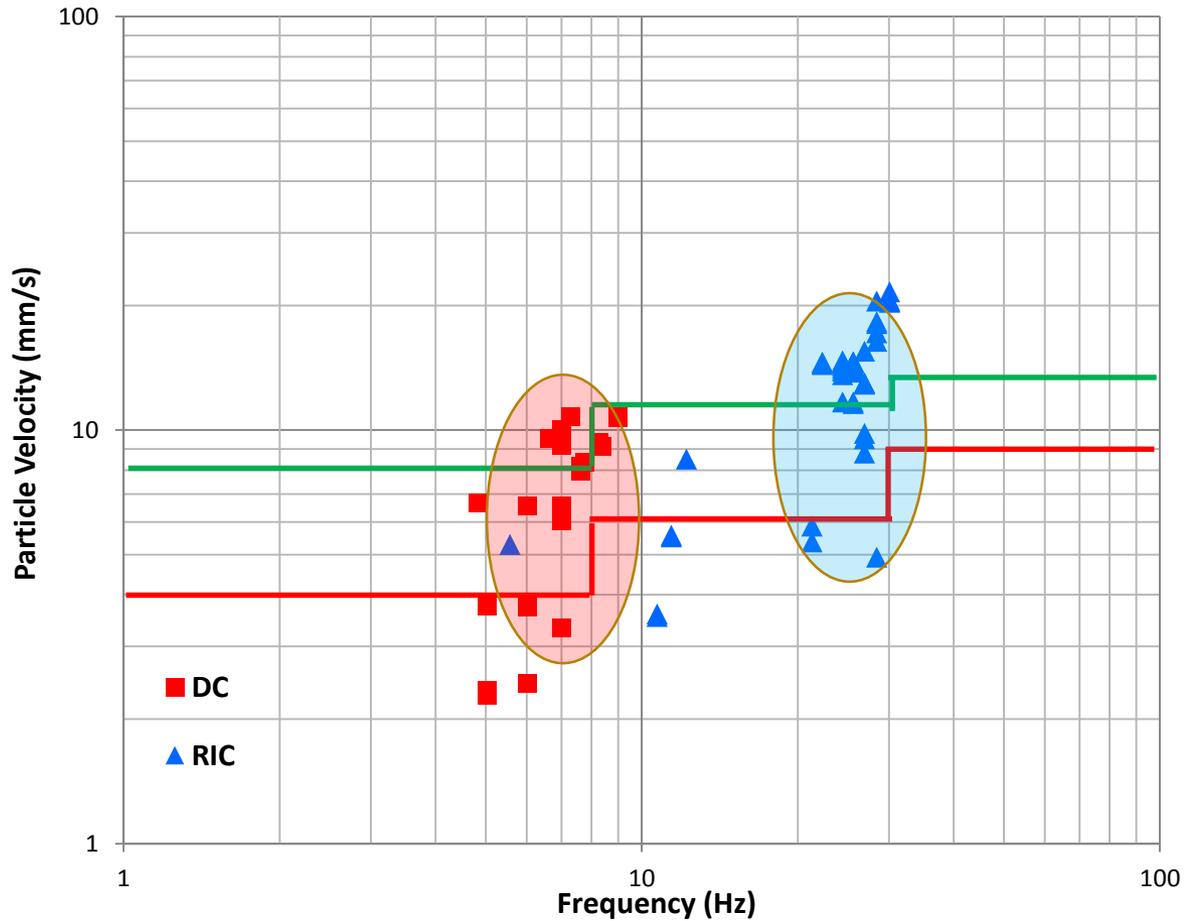
# Niveaux de vibrations et distances à la source



All types of soil  
For DC : energy :100 to 400 t\*m  
For RIC : 7 t\*m

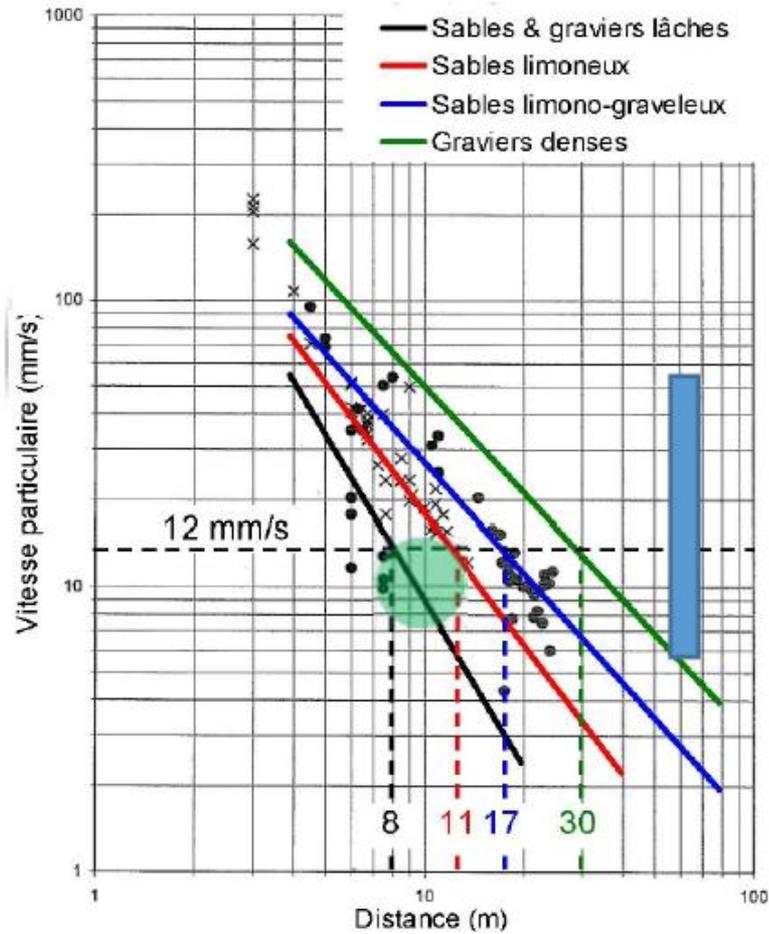
Example  
For DC at 30 m : PPV = 1.5 to 15 mm/s  
For RIC at 30 m: PPV = 0.5 to 10 mm/s

# Contenu fréquentiel



DC : 5 to 9 Hz  
RIC: mostly 20 to 30 Hz

# Applications: étendre le domaine de faisabilité du compactage



**Merci pour votre attention !**



# **Auscultation sur les chantiers de densification des sols**

*Paris*

*Le 5 avril 2016 Paris*

*Le 5 avril 2016*