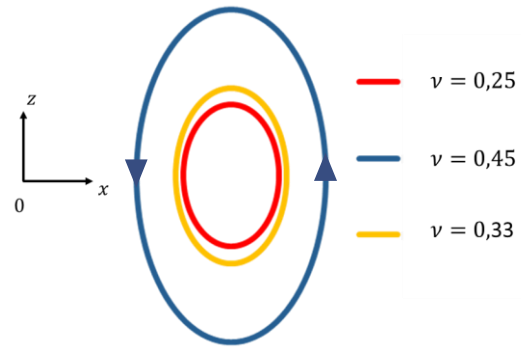




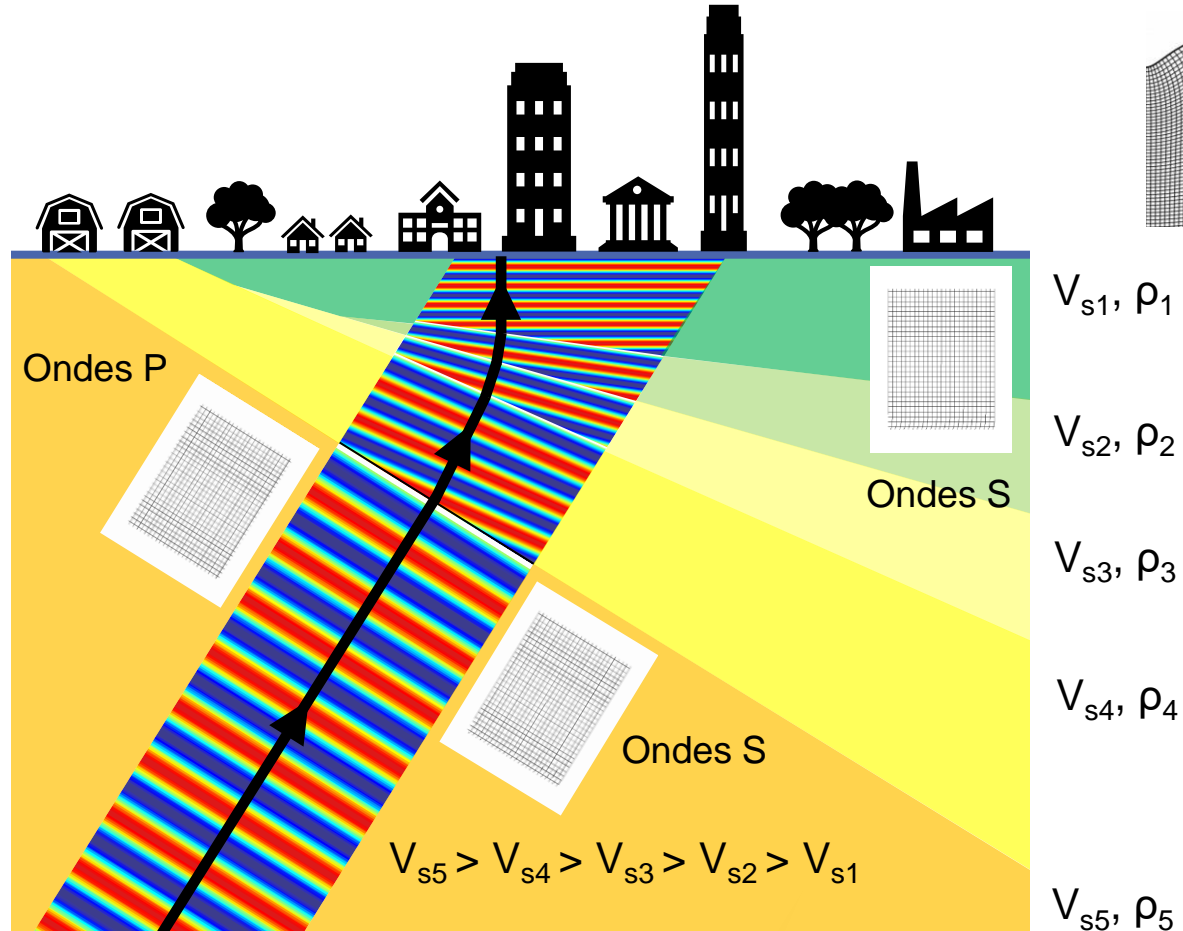
# Séisme et interaction sol structure

**Stéphane BRÛLÉ (MENARD)**

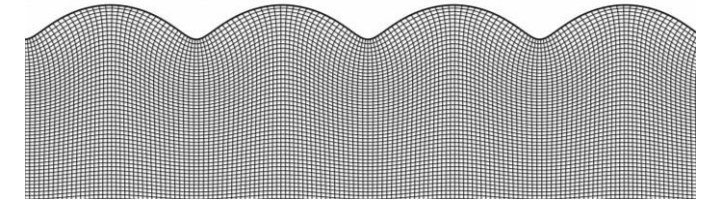
# Ondes sismiques et ouvrages



Mouvement elliptique des ondes de Rayleigh en surface

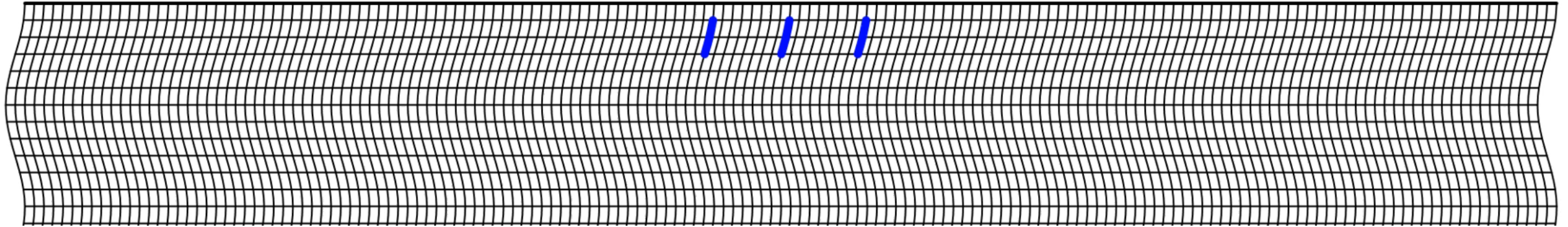


Analogie avec le rai optique (hypothèse HF)

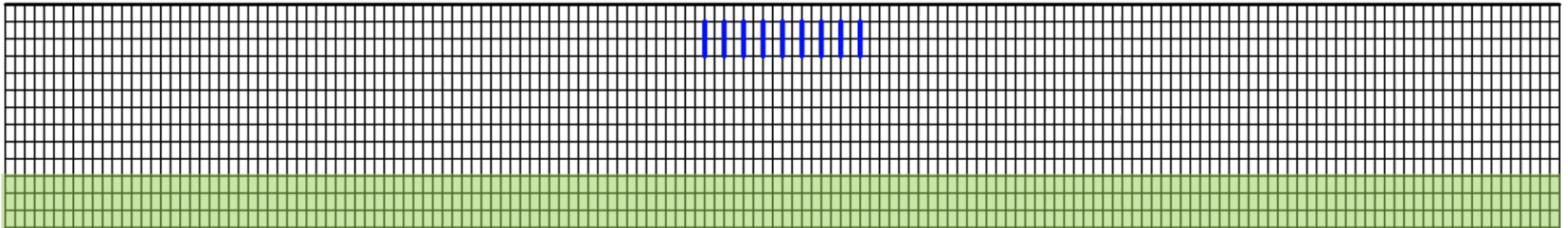


Ondes de Rayleigh

# Un exemple d'ISS en dynamique de sol



Onde cisaillement – Ascension verticale dans un demi-espace homogène.

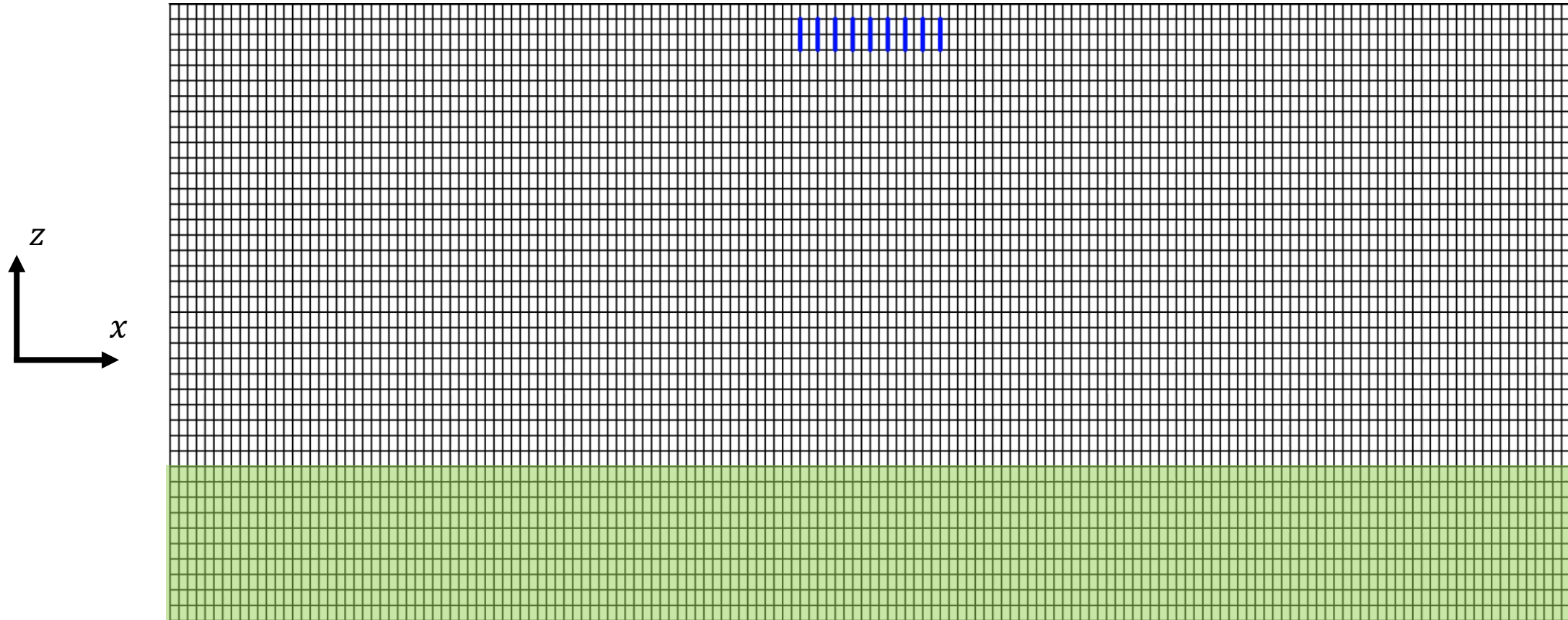


Onde cisaillement – Ascension verticale dans un bicouche.

S.Brûlé, 2023



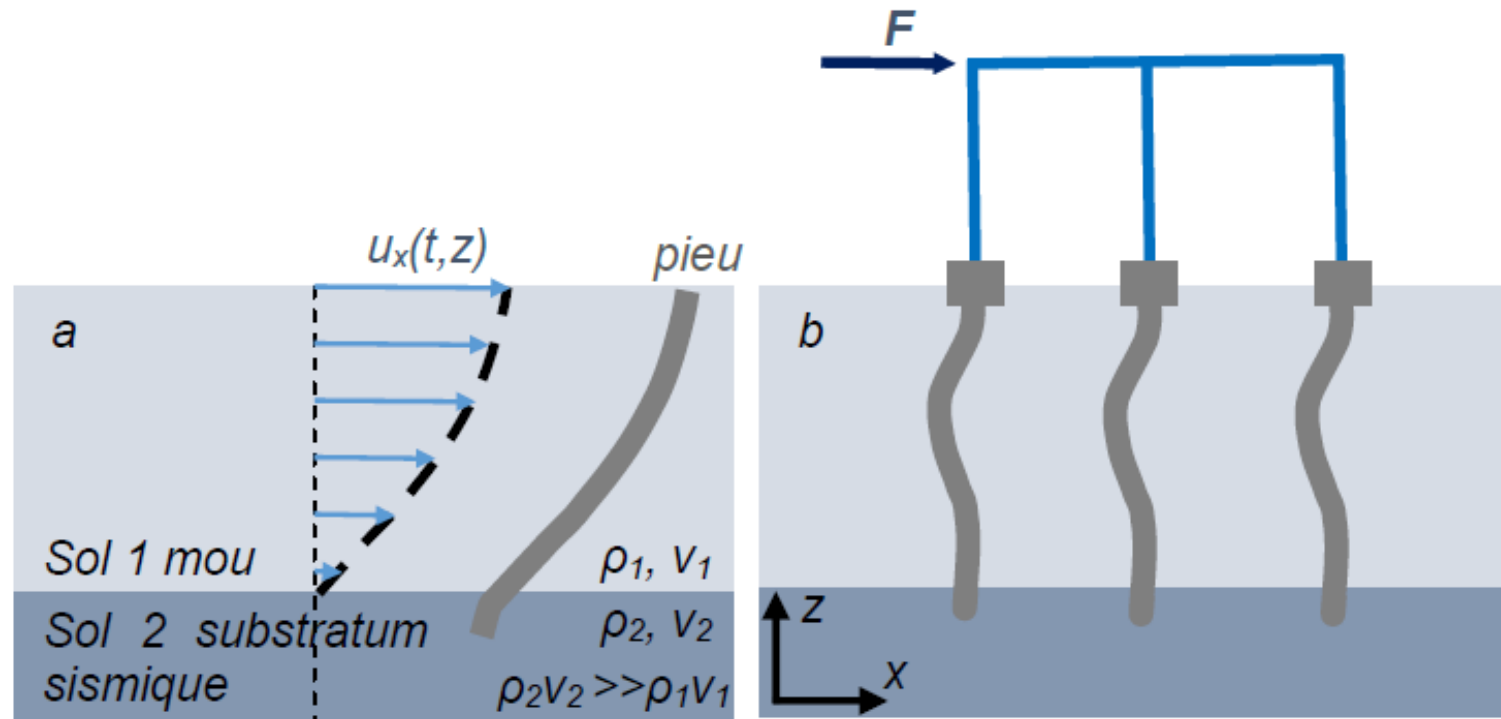
# Un exemple d'ISS en dynamique de sol



Onde cisaillement – Ascension verticale dans un bicouche.

S.Brûlé, 2023

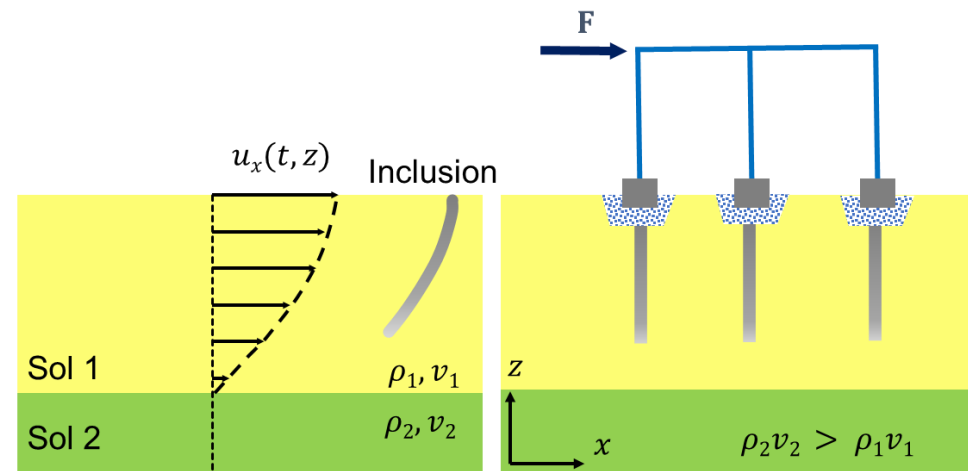
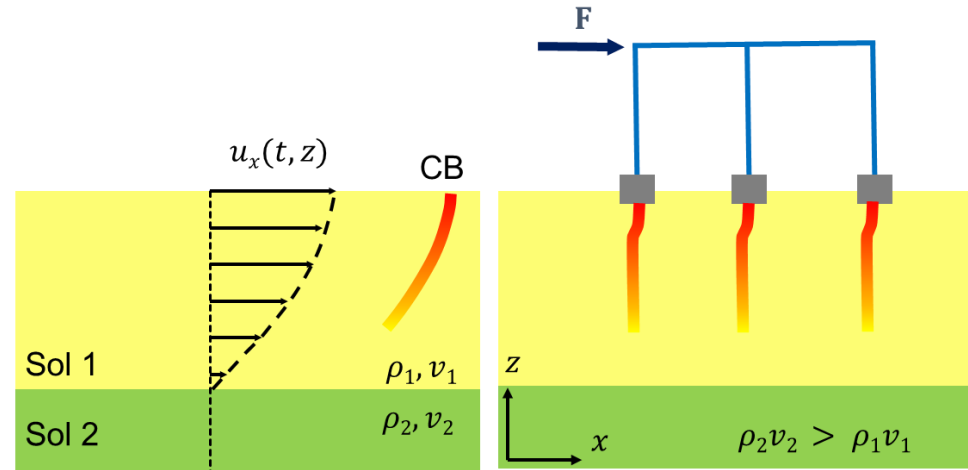
# Le principe de l'interaction sol-structure



Brûlé S. et Cuirra F. (2018)

# ISS et amélioration et renforcement de sol

## Renforcement de sol

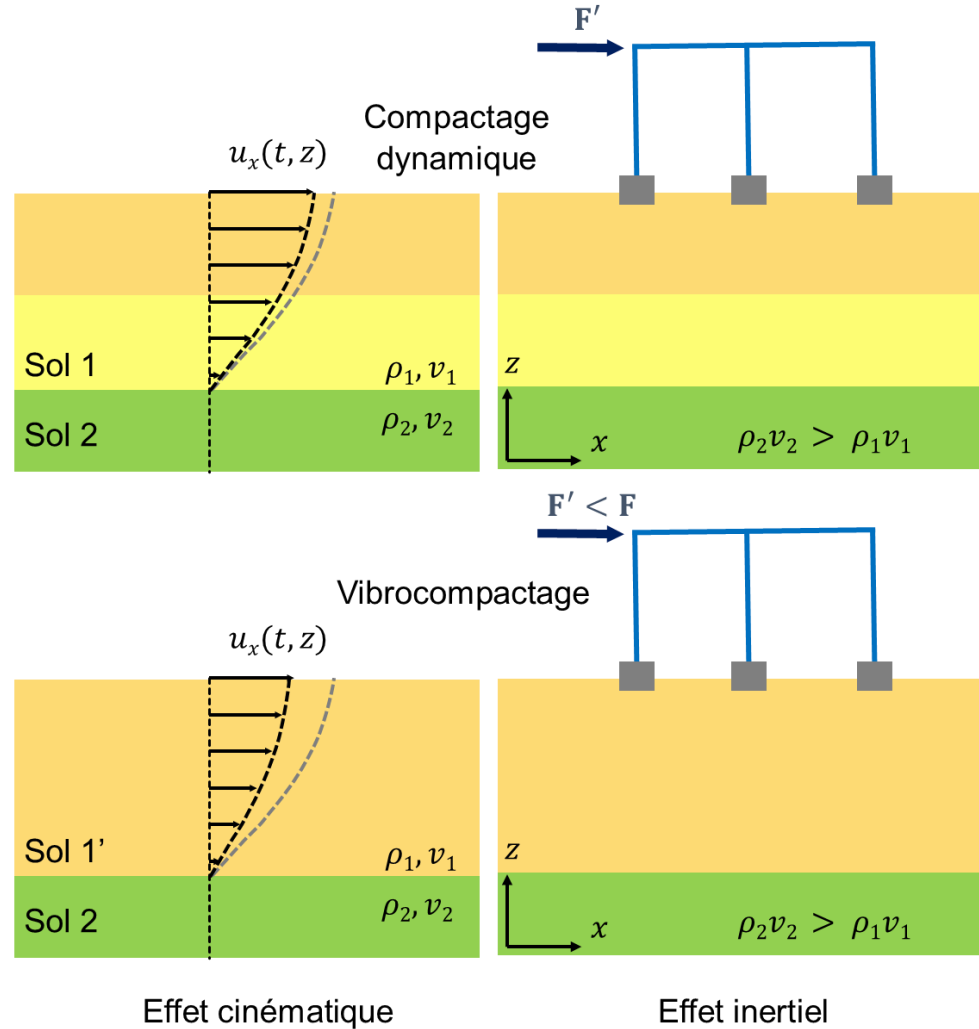


Effet cinématique

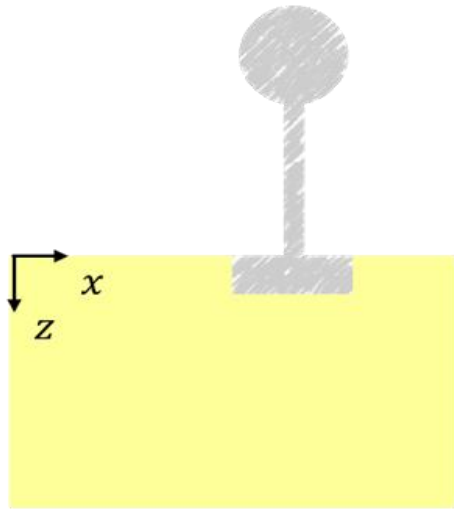
Effet inertiel

# ISS et amélioration et renforcement de sol

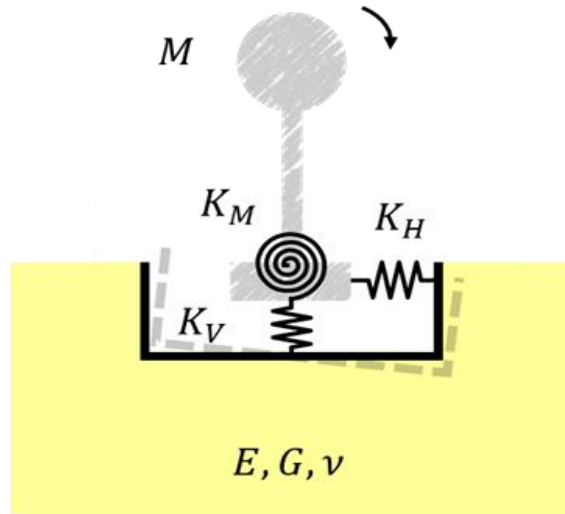
## Densification de sol



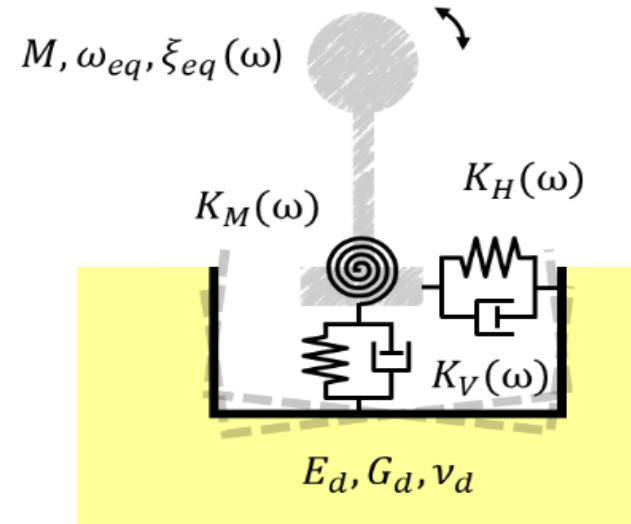
# Les niveaux de complexité de l'ISS



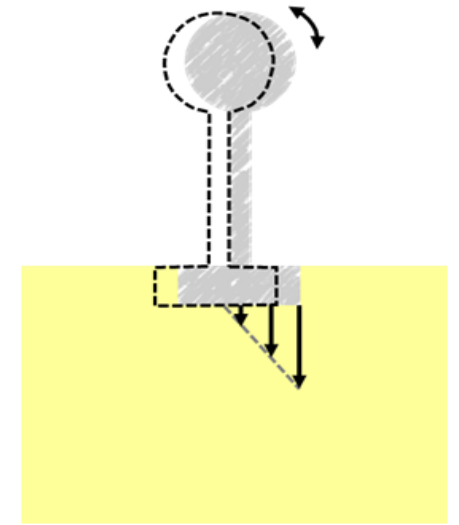
1. Approche sans ISS  
Structure sur base fixe



2. Approche ISS linéaire  
pseudo-statique



3. Approche ISS linéaire  
dynamique



4. Approche ISS  
glissement-  
décollement

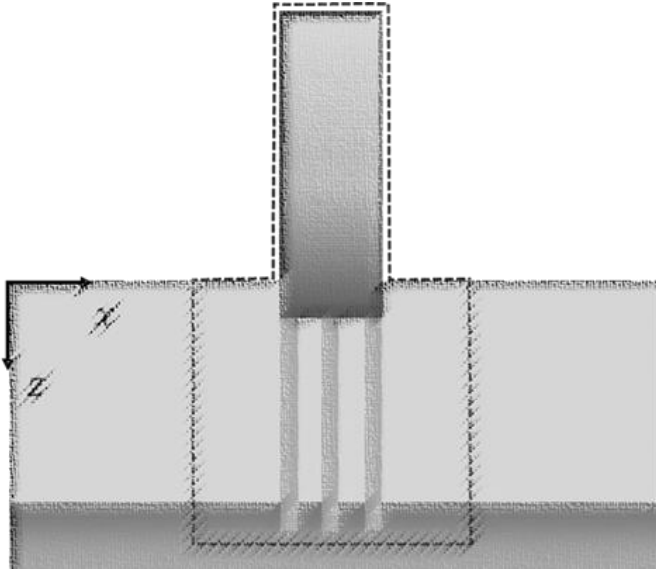
Approche non-linéaire à  
l'interface sol-ouvrage

Brûlé S. et Cuirra F. (2023). Ecole des Ponts Formation Continue – Savoir Pratiquer l'Interaction Sol-Structure

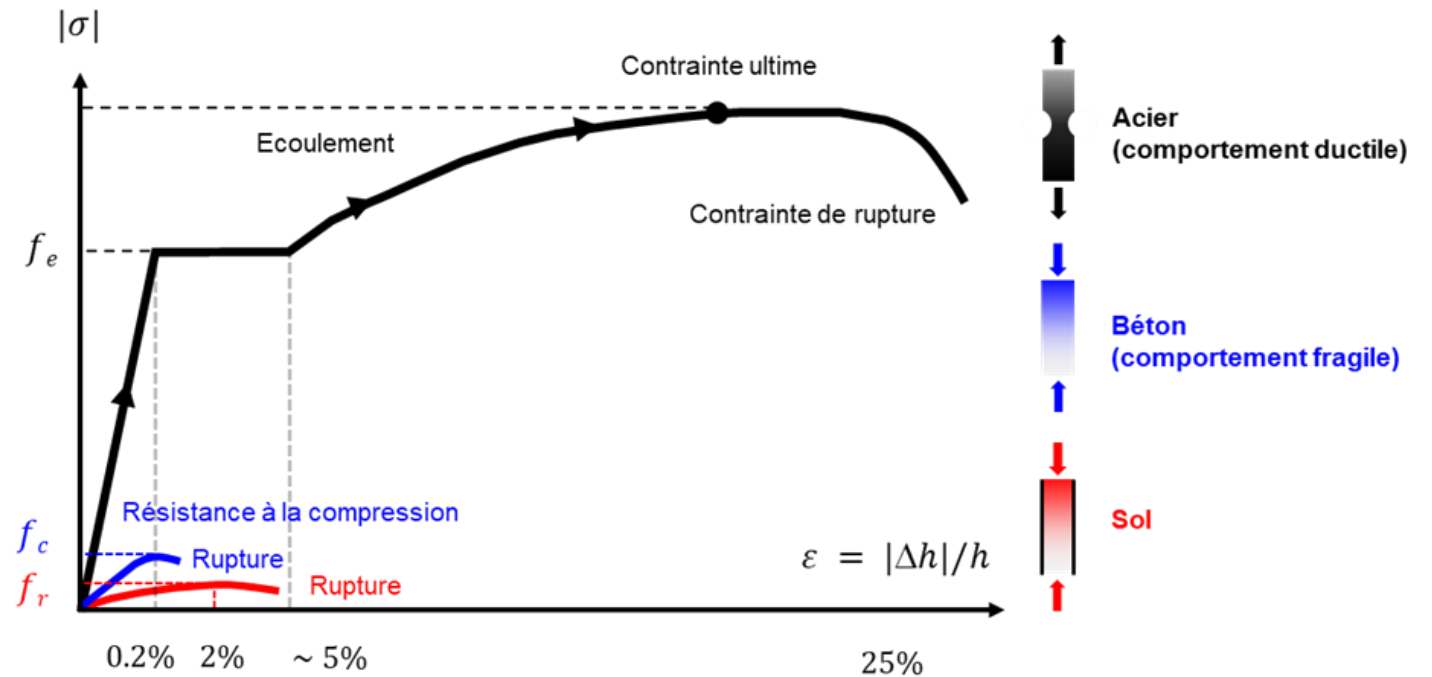


# Un système mécanique composite

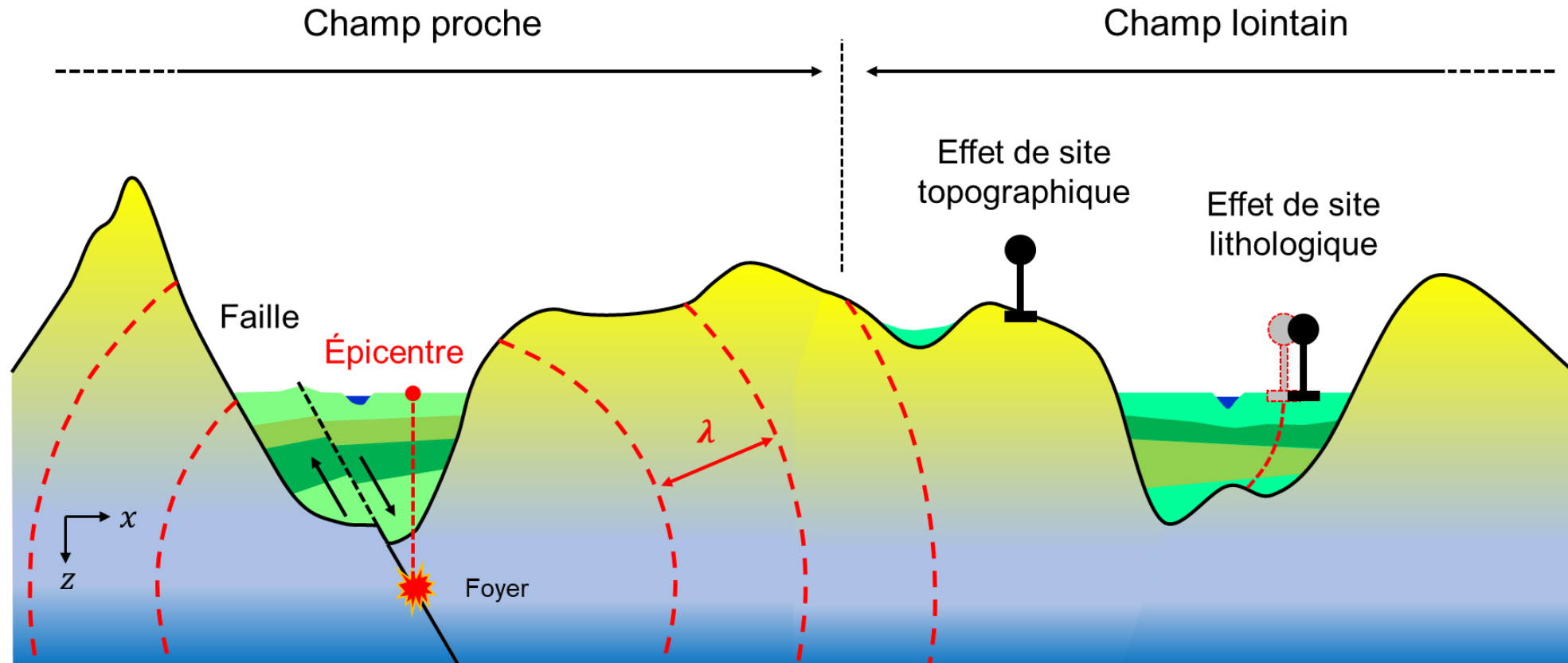
Le système mécanique étudié : {sol, fondations, structure}



Ovalisation autour des pieux

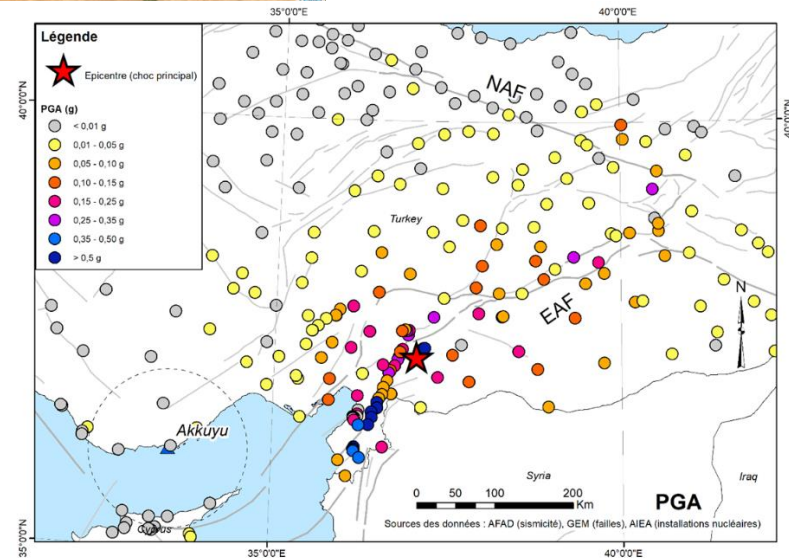
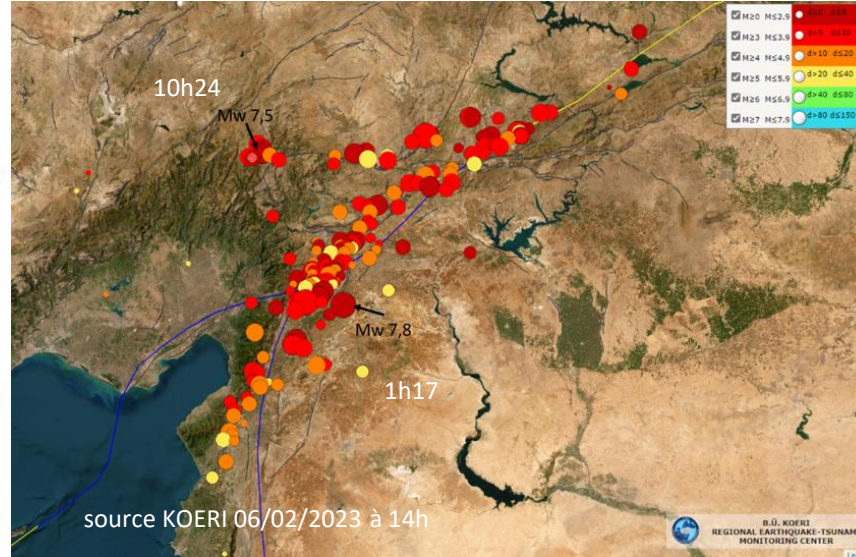
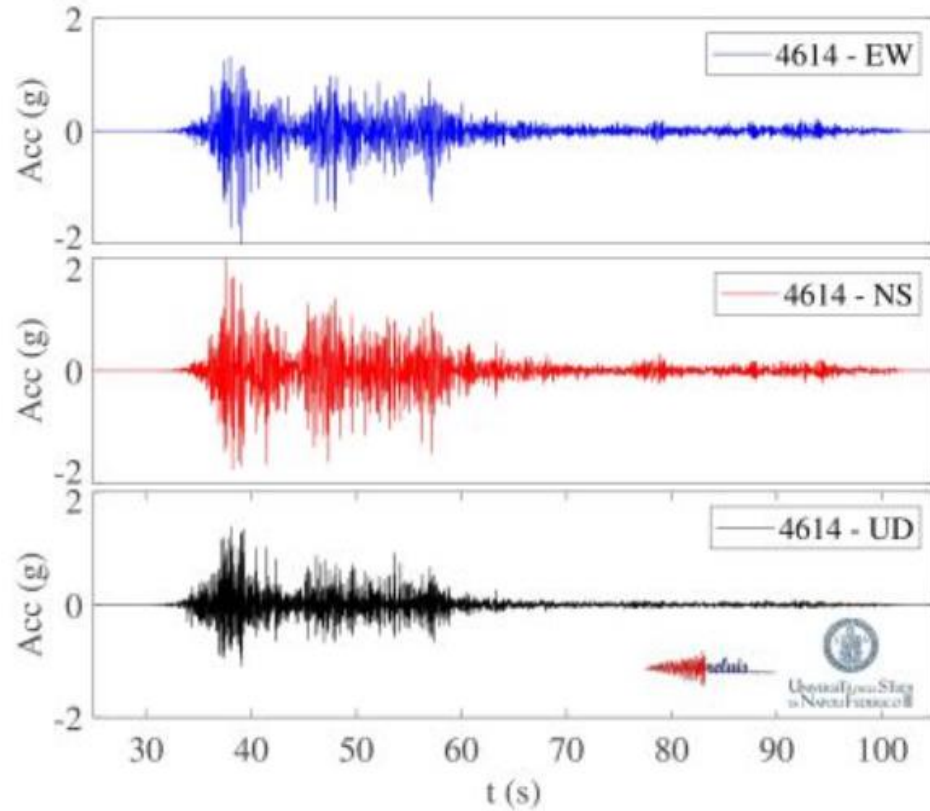


# Prise en compte dans les codes de construction parasismique



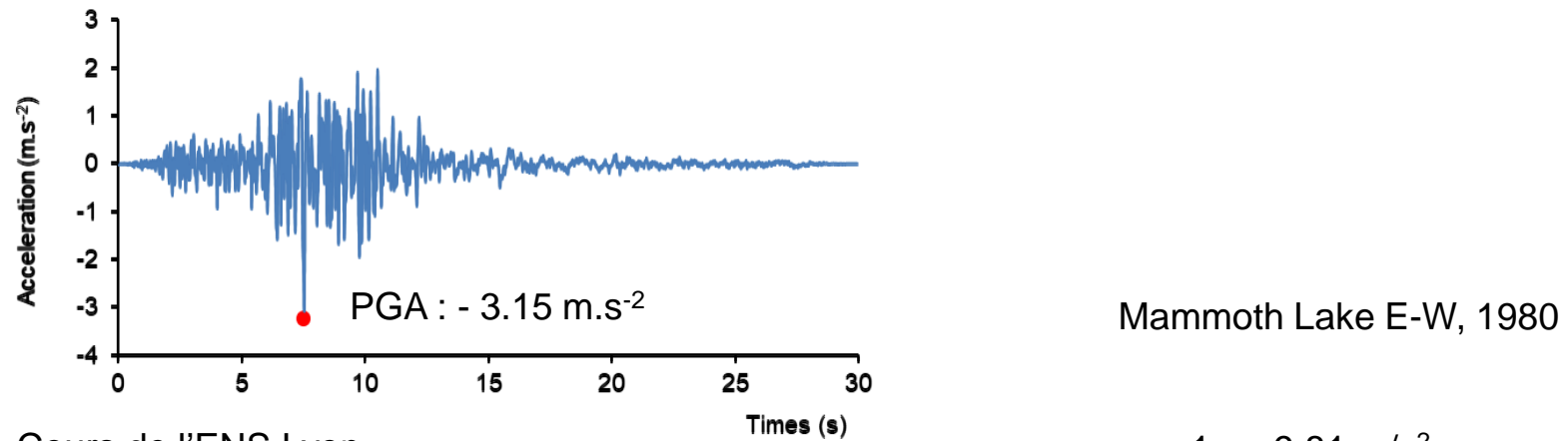
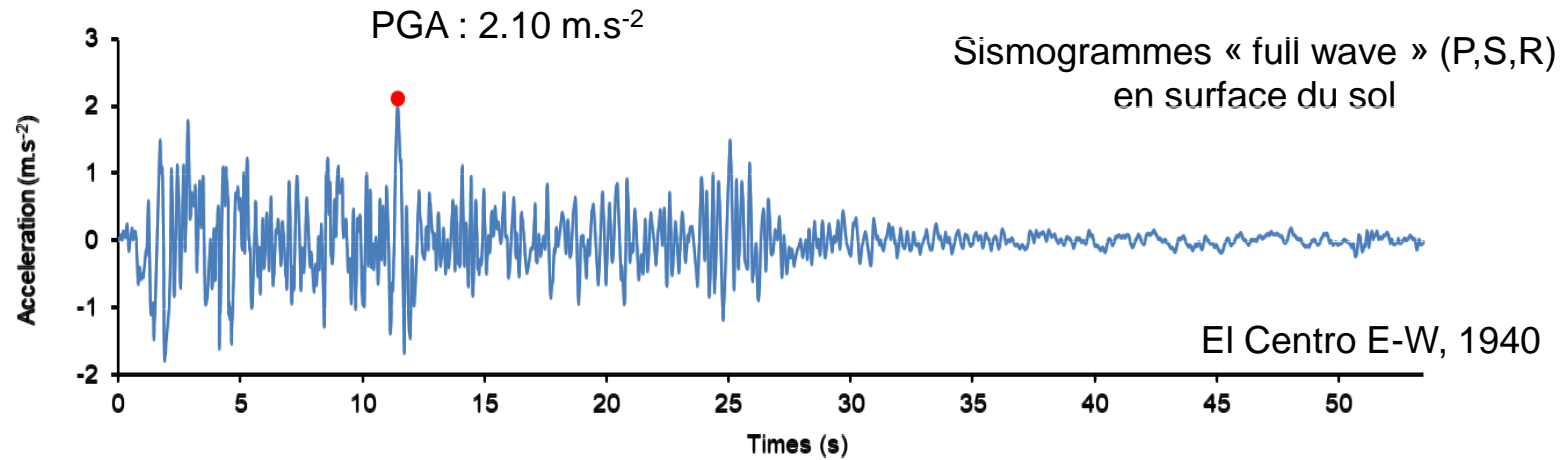
Brûlé S. et Cuira F. (2023). Ecole des Ponts Formation Continue – Savoir Pratiquer l'Interaction Sol-Structure

# Séisme en Turquie - 06/02/2023 à 1h17 T.U. (Gaziantep)



Source en champ proche (station 4614) – AFAD (Institut Turque en charge de la gestion de crise). Données du 7 février 2023.

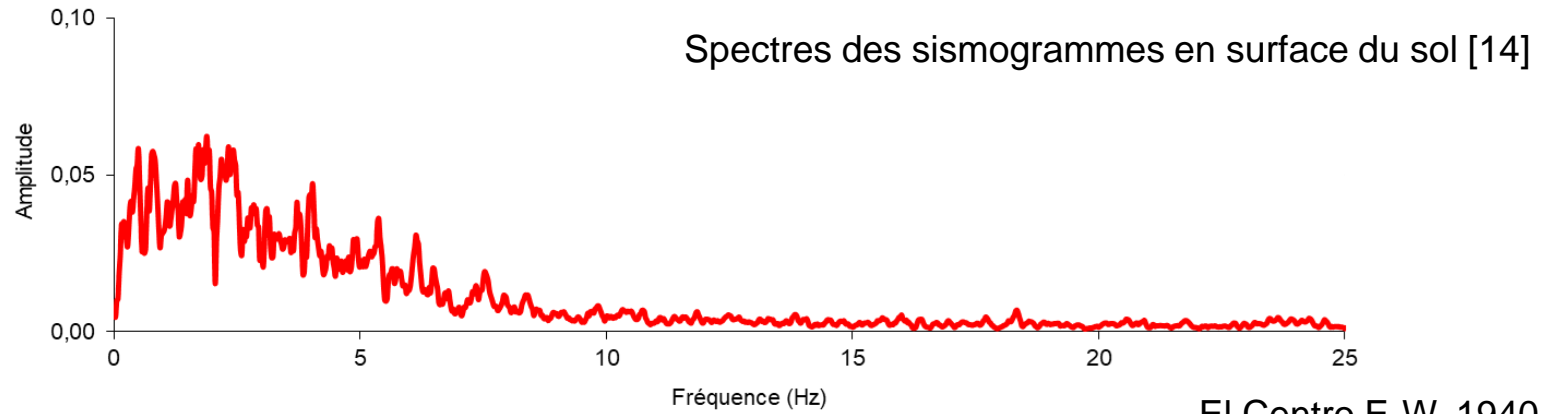
# Exploitation du signal sismique



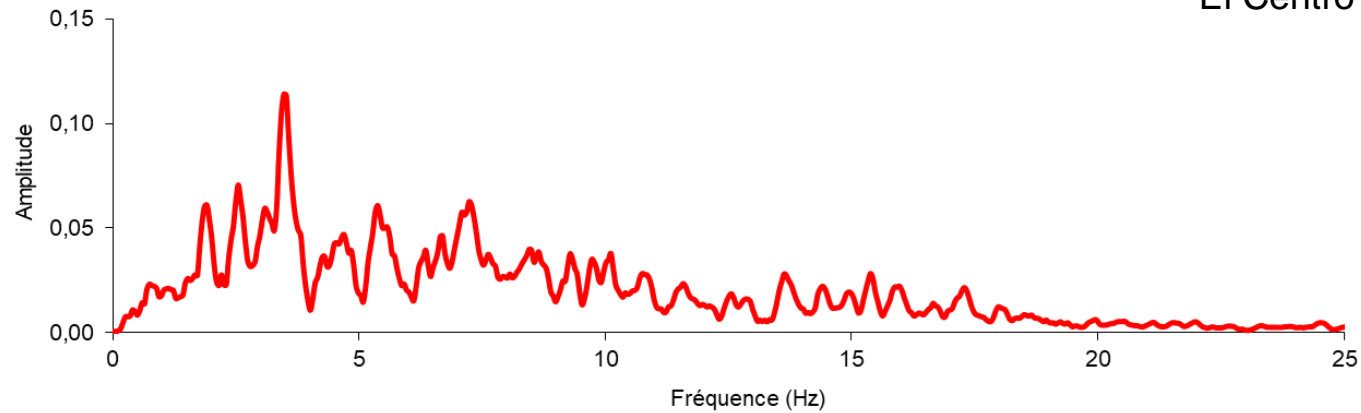
Brûlé (2022). Cours de l'ENS Lyon.

$1g \sim 9.81 \text{ m/s}^2$

# Exploitation du signal sismique



El Centro E-W, 1940

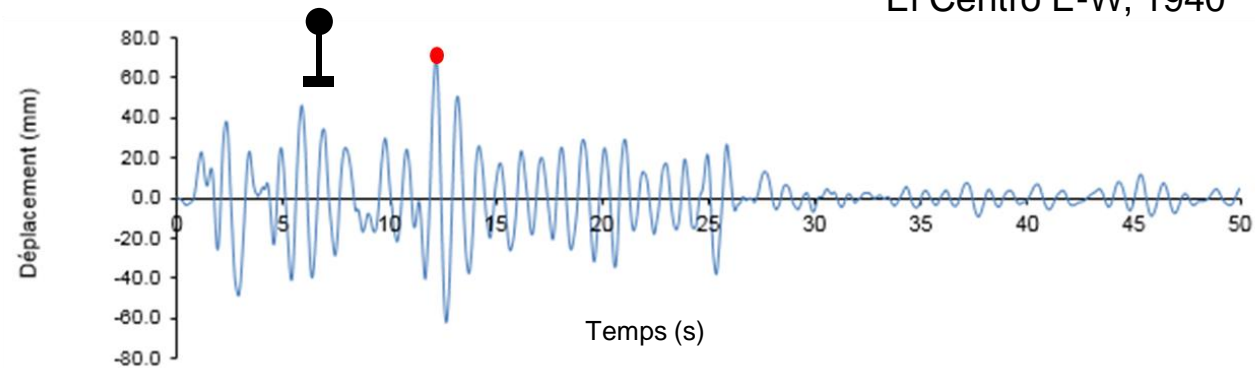
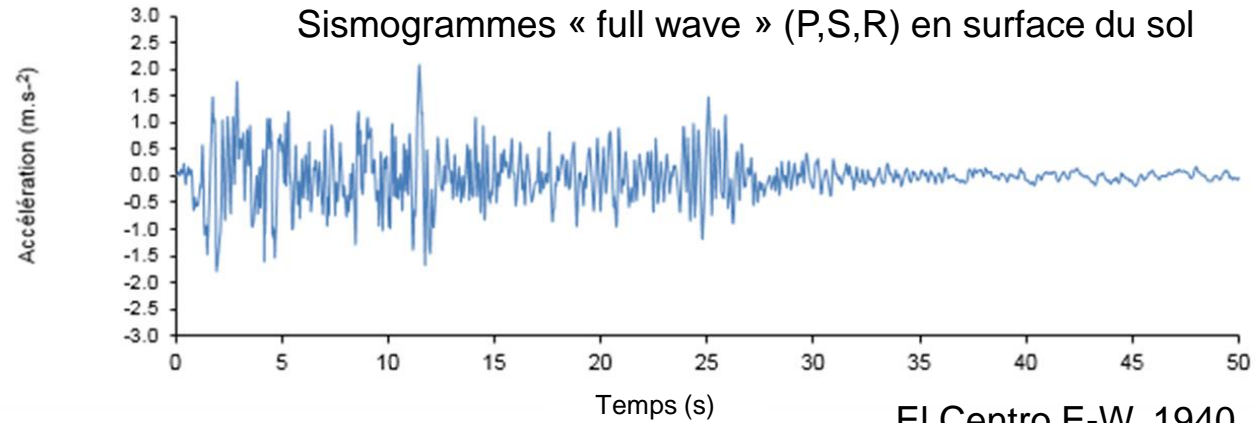
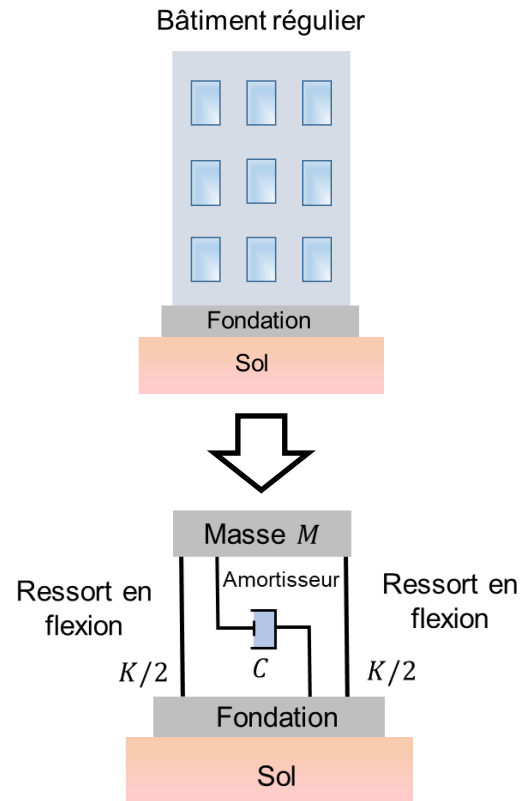


Mammoth Lake E-W, 1980

Brûlé (2022). Cours de l'ENS Lyon.



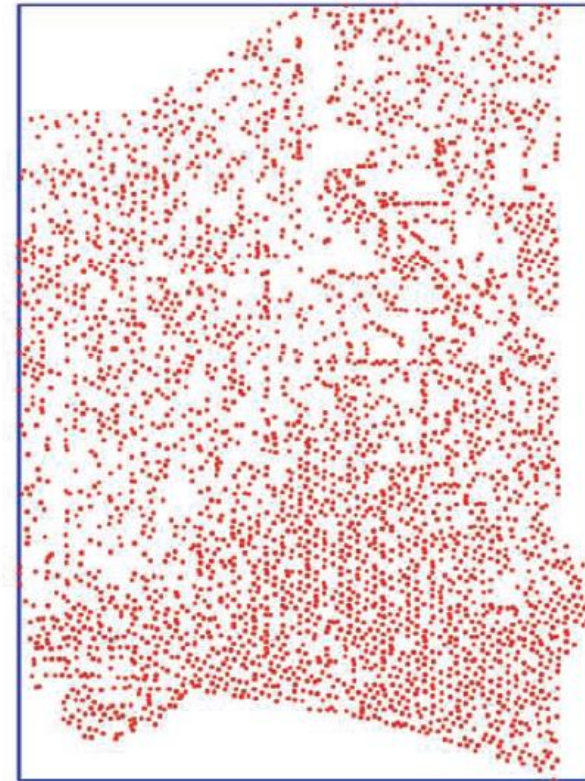
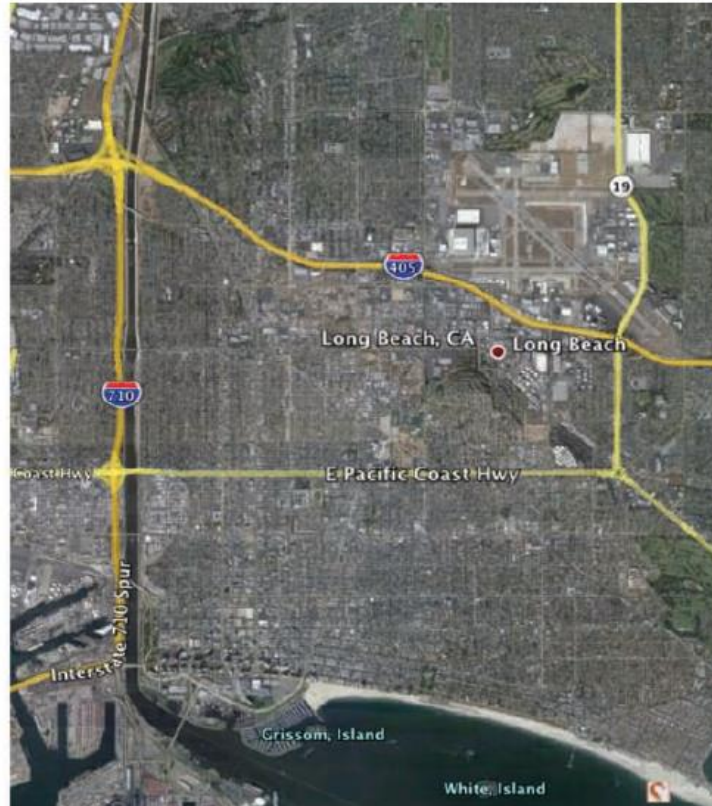
# Exploitation du signal sismique



Réponse (cas linéaire) en déplacement de  $M$  pour une valeur de  $T_{bât}$  et pour un amortissement de 5% - Déplacement maximal.

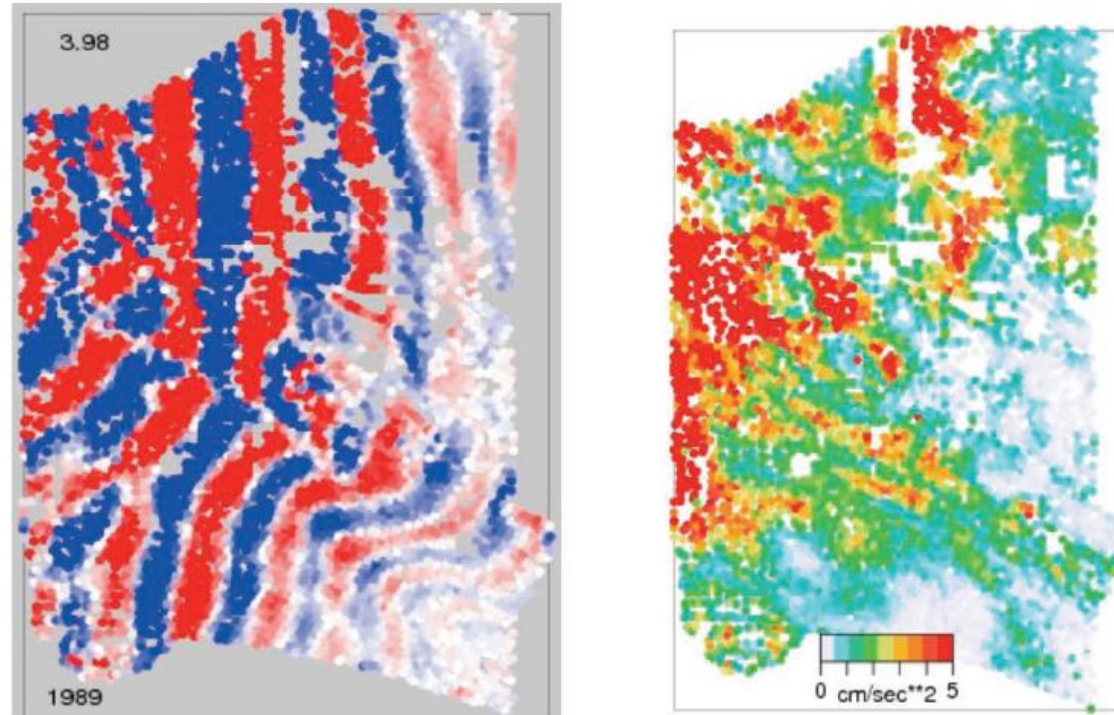
Brûlé (2022). Cours de l'ENS Lyon.

# Plus de capteurs, plus d'informations



Los Angeles - Réseau dense de 5 000 capteurs répartis sur une surface de 7 x 10 km pour sismicité modérée (NodalSeismic Inc.) – Clayton et al., 2001. Un capteur tous les 120 m en moyenne, selon x et y.

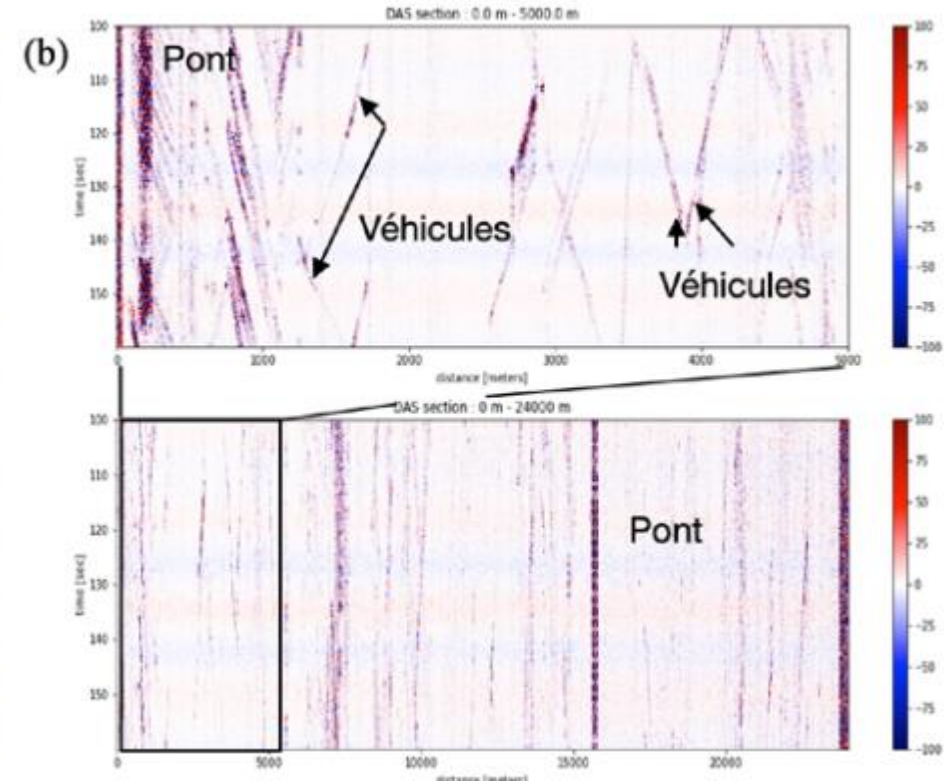
## Plus de capteurs, plus d'informations



À gauche, passage d'une onde *S* pour un séisme de magnitude 2.5 situé à 5 *km* à l'ouest de la zone. À droite distribution de l'accélération – Clayton et al., 2001.



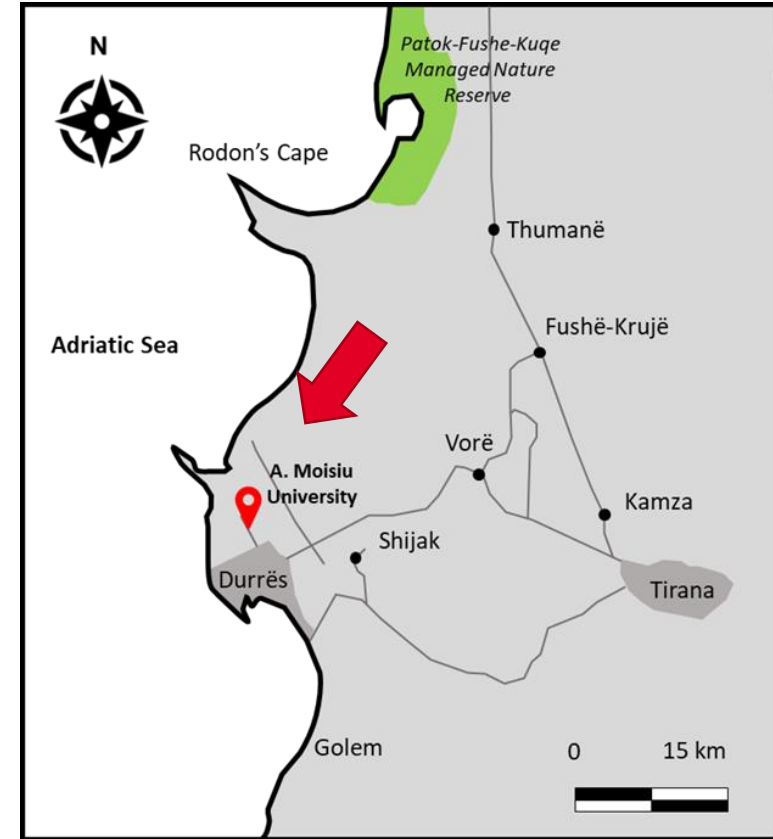
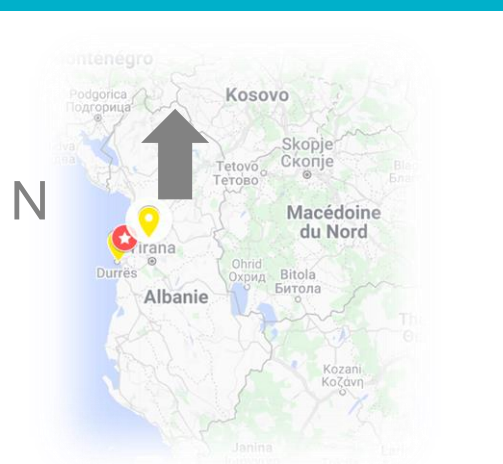
# Plus de capteurs, plus d'informations



Route optique (a) utilisée pour acquisition de données DAS sur 24 km (Grand Lyon THD et Métropole de Lyon). 60 secondes de données sur les 24 km de fibre (b – haut). Zoom sur les 5 premiers kilomètres de fibre (b – bas).

Rodet et al. (2022). JNGG.  
Rodet et al. (2021). RESIF n°20.

# Séisme de Durrës (ALB) Mw 6.4 (VIII) du 26 novembre 2019



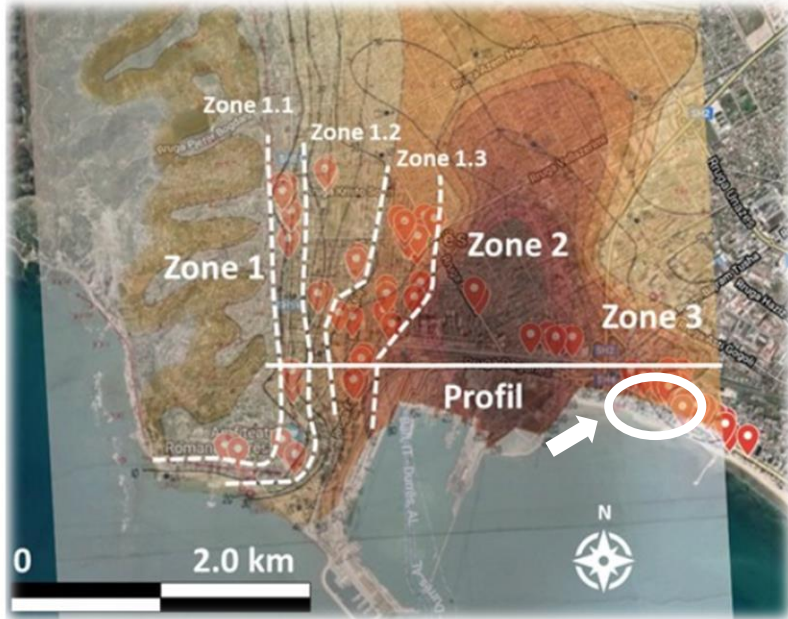
Brûlé S. et al. (2020. International Symposium on Durrës Earthquake and Eurocodes. Tirana, Albania.



Focus sur le bâtiment principal de la nouvelle université de Durrës en Albanie.



# Séisme de Durrës (ALB) $M_w$ 6.4 (VIII) du 26 novembre 2019



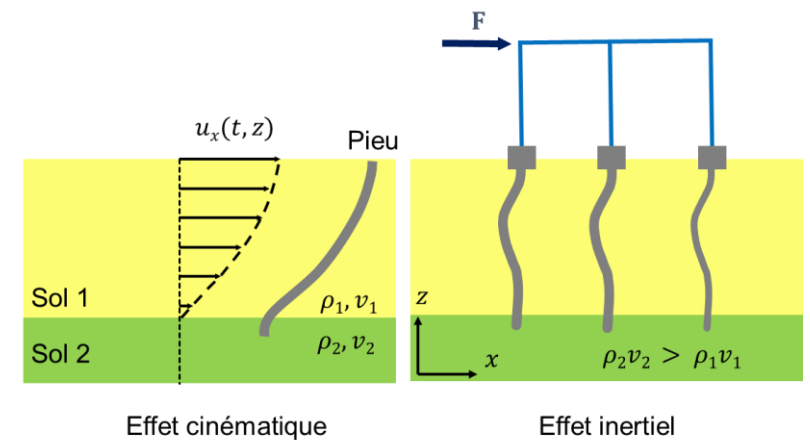
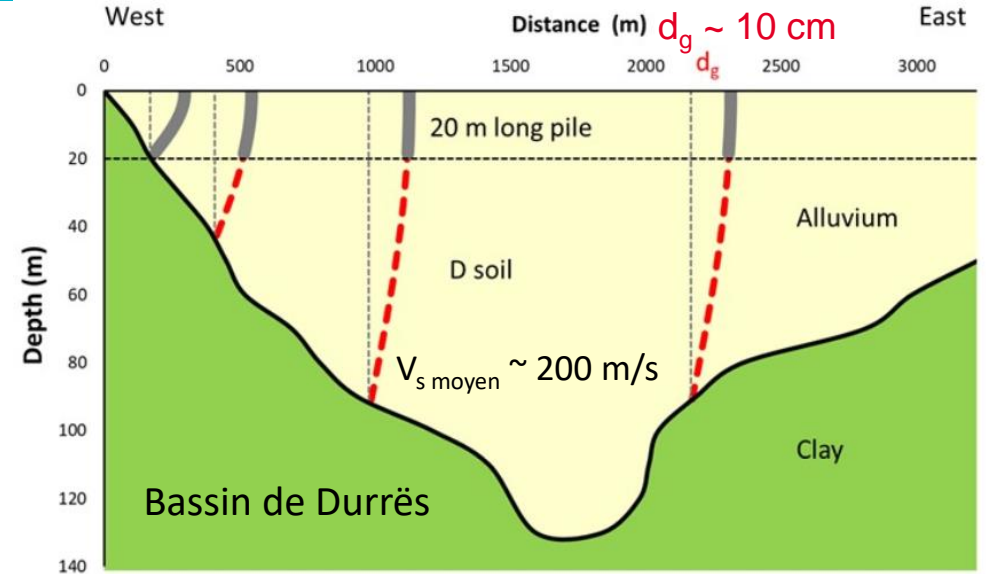
Dégâts majeurs sur le bâti

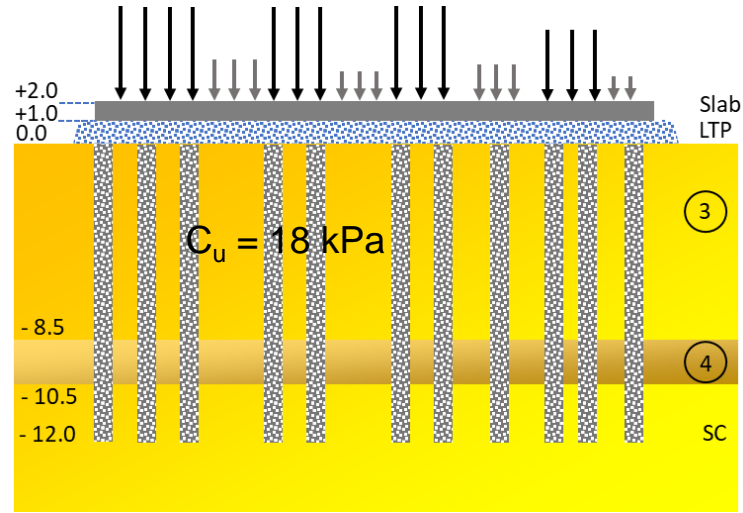
AFPS (2020). Rapport de la Mission Post-Sismique sur le séisme de Durrës en Albanie, du 26 novembre 2019.

EERI (2021). Mw 6.4 Albania Earthquake on Albania 26 november, 2019. Vol2: Seismology and geotechnical effects.

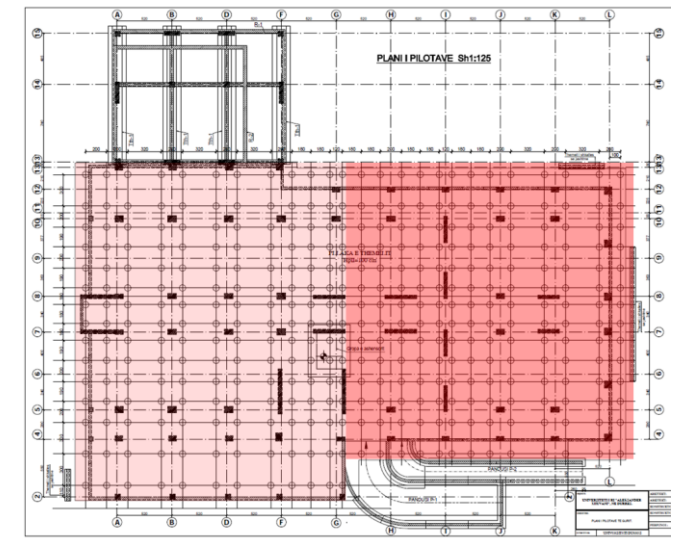


Double résonance (signal/sol et sol/ouvrage) + suspicion d'effets 2D/3D et piégeage d'énergie en bordure de bassin (?)





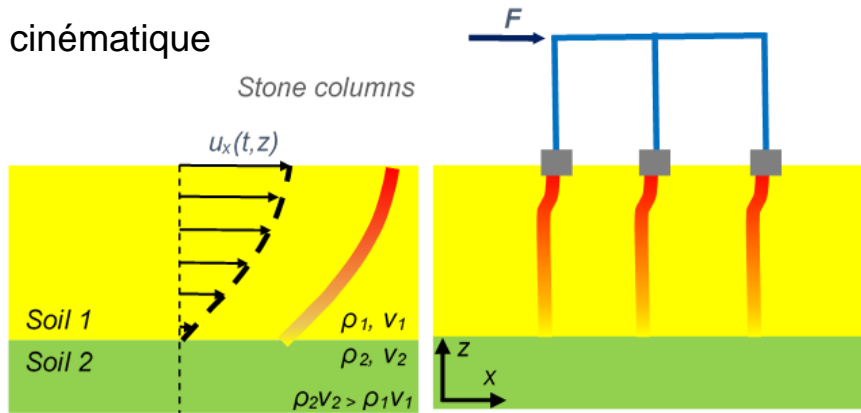
Radier de 1 m d'épaisseur sur sol renforcé par CB ( $\varnothing$  600 mm,  $\varphi = 40^\circ$ , 12 m de longueur)



Maille SB : 1.8 x 3.0 m ( $\alpha = 5\%$ ), 1.2 x 3.0 m ( $\alpha = 8\%$ ), 2.0 x 3.0 m et 3.0 x 3.2 m

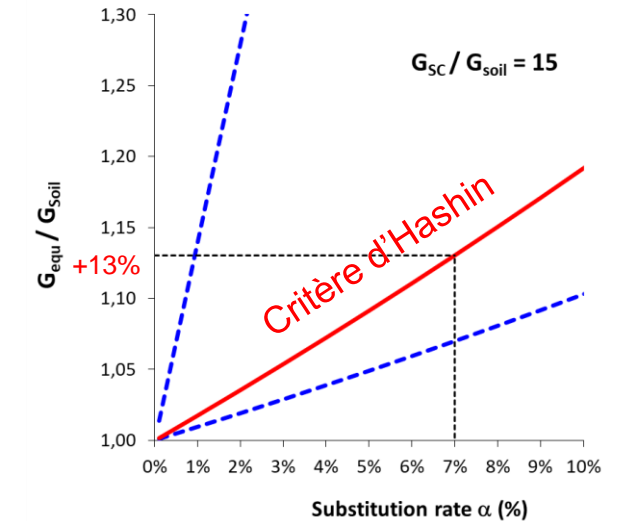
$H_{\text{bâtiment}} = 22.1 \text{ m} / 7 \text{ étages}$   
 $T_b \sim 0.45 \text{ s}$

Effet cinématique



Effet inertiel

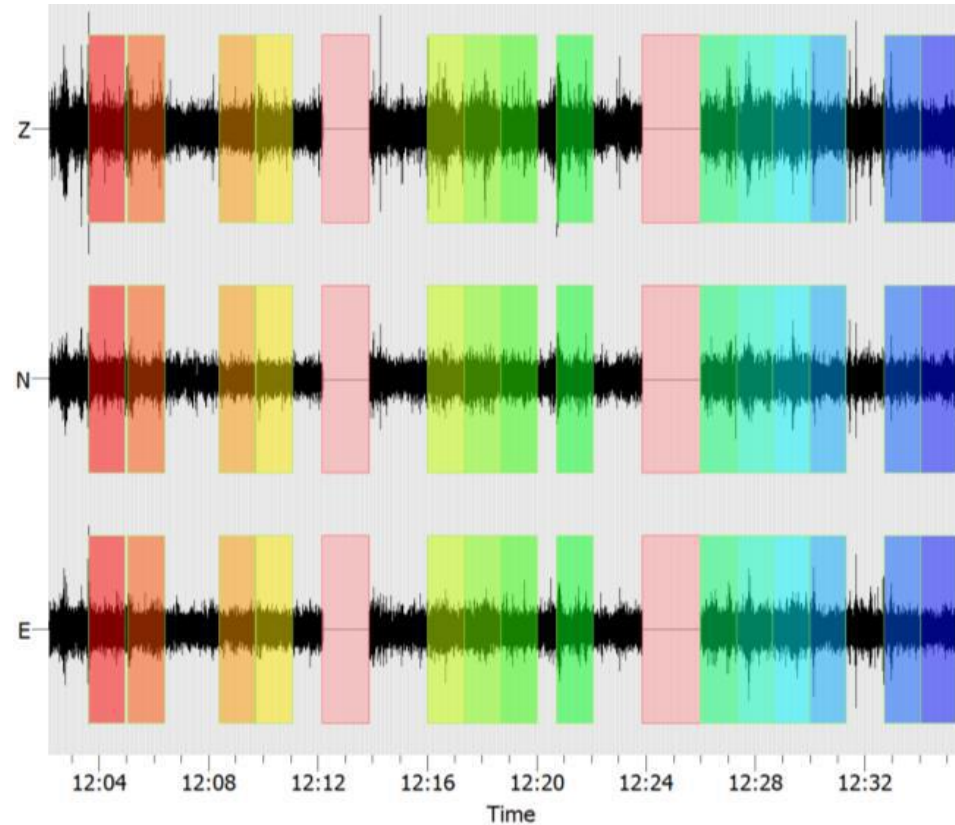
- + Drainage
- + Module de cisailment équivalent  $G_{eq}$



Brûlé S. et al. (2020. International Symposium on Durrës Earthquake and Eurocodes. Tirana, Albania.

# Principe de la mesure du bruit de fond sismique

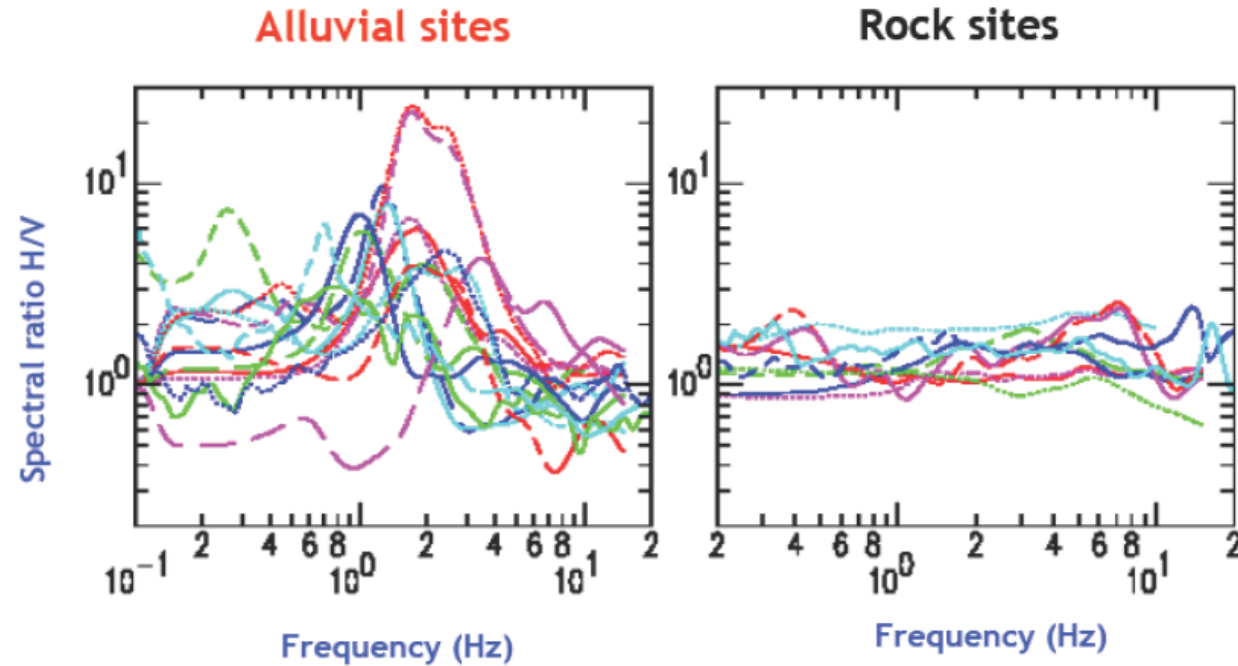
$$HVS\!R(\omega) = \frac{|F_H(\omega)|}{|F_V(\omega)|}$$



Enregistrement du bruit de fond selon x, y et z

# Principe de la mesure du bruit de fond sismique

## H/V technique: typical H/V curves




Courtesy from P.-Y. Bard

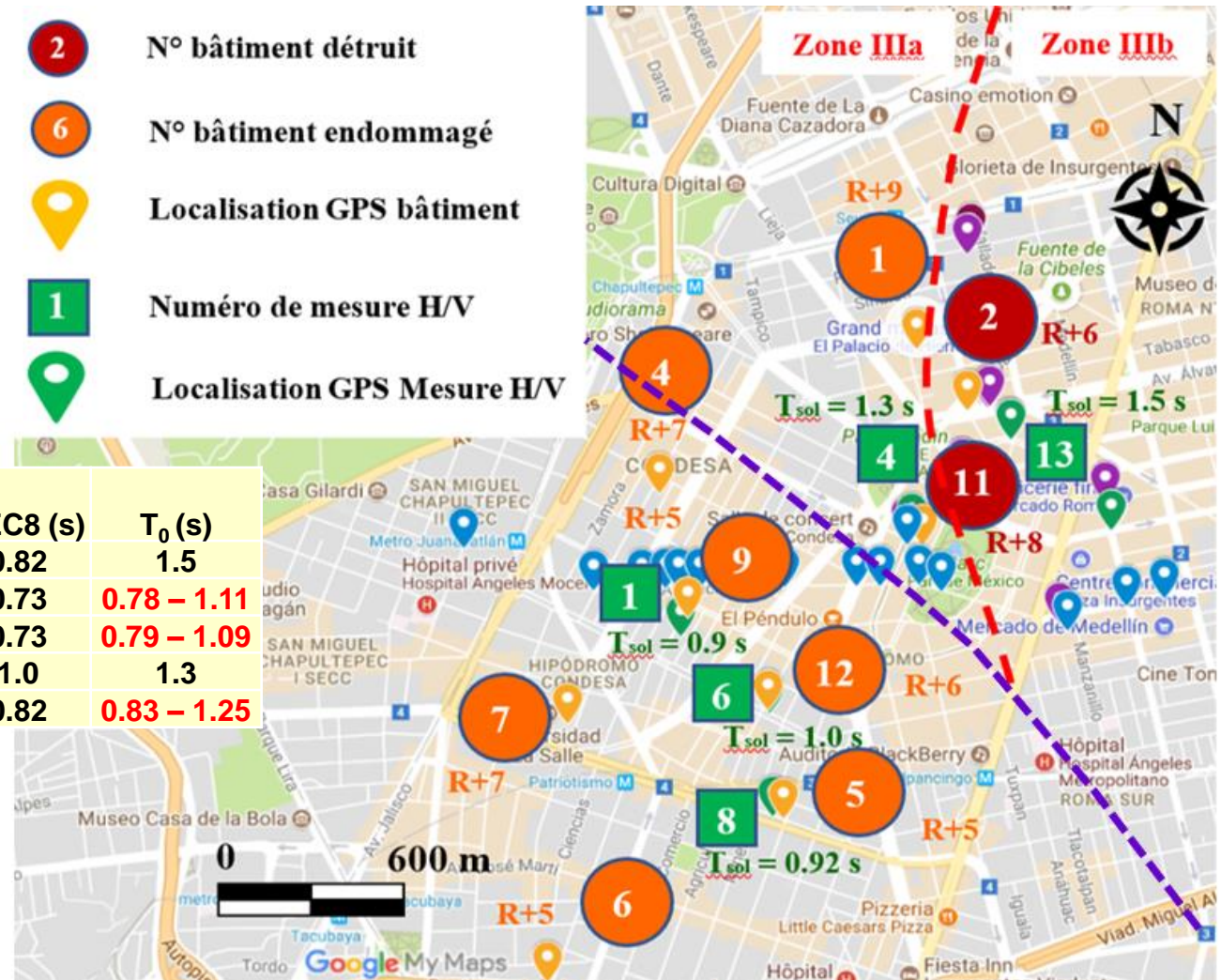


# Séisme de Puebla du 19 septembre 2017 (VIII – Mw 7.2)

## Zoom sur un quartier : intérêt

-  N° bâtiment détruit
-  N° bâtiment endommagé
-  Localisation GPS bâtiment
-  Numéro de mesure H/V
-  Localisation GPS Mesure H/V

N° Bâtiment	N° mesure H/V	Nb niveaux	$T_{bât}$ EC8 (s)	$T_0$ (s)
2	13	7	~ 0.82	1.5
5	8	6	~ 0.73	0.78 – 1.11
9	1	6	~ 0.73	0.79 – 1.09
11	4	9	~ 1.0	1.3
12	6	7	~ 0.82	0.83 – 1.25

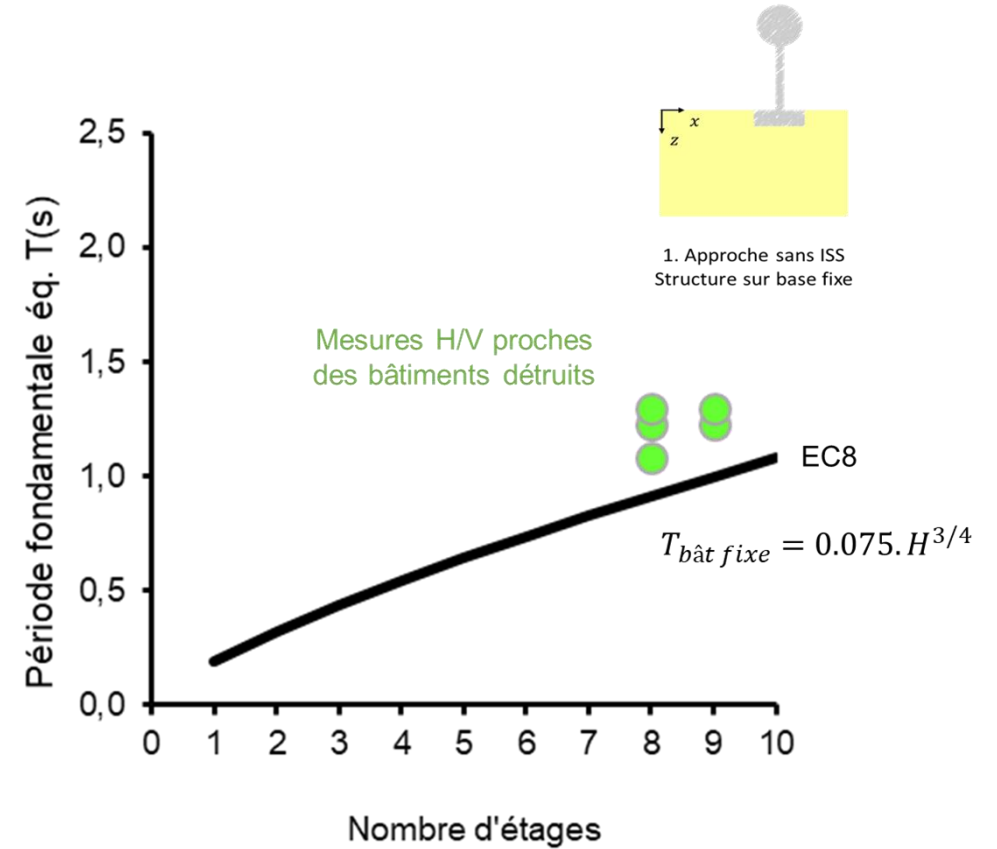
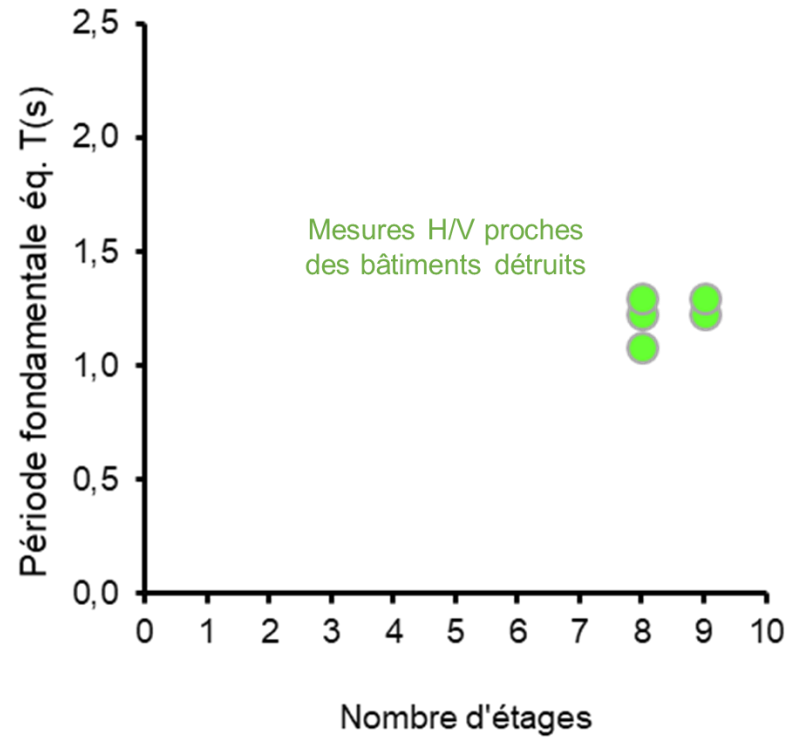


AFPS. (2018). Caractérisation dynamique in situ Mission post-séisme. Le séisme de Puebla (Mexique) du 19/09/2017

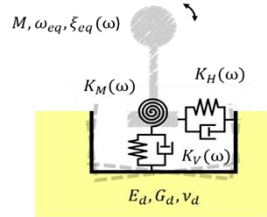
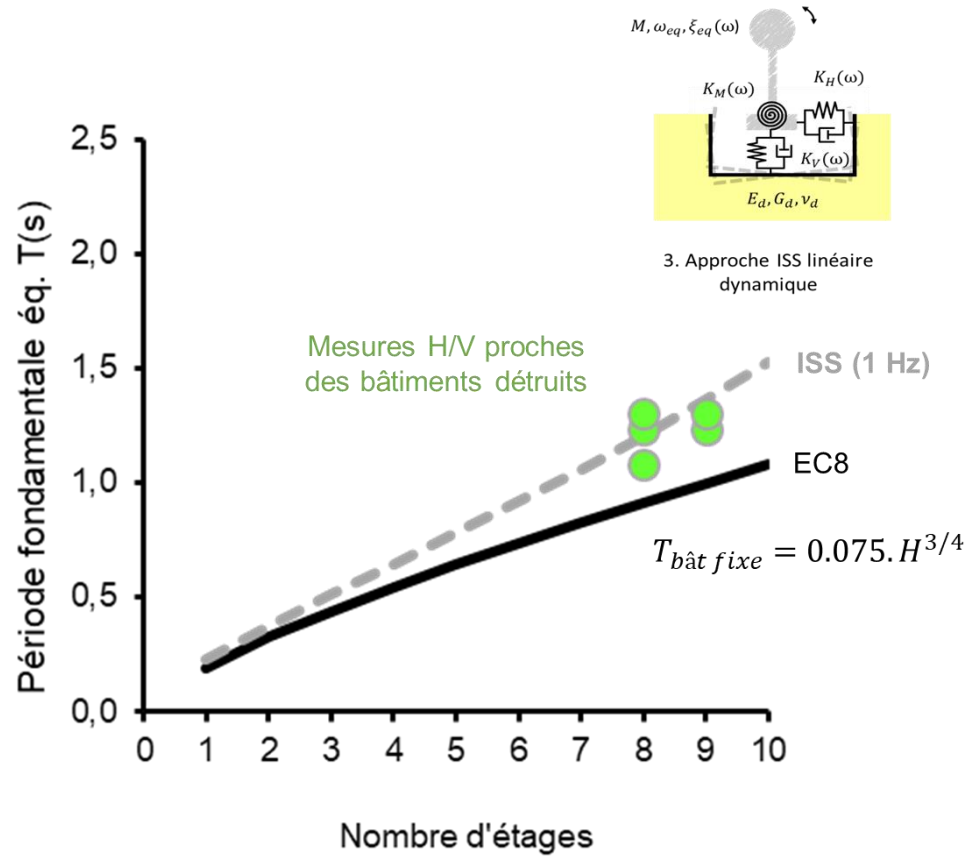


# Séisme de Puebla du 19 septembre 2017 (VIII – Mw 7.2)

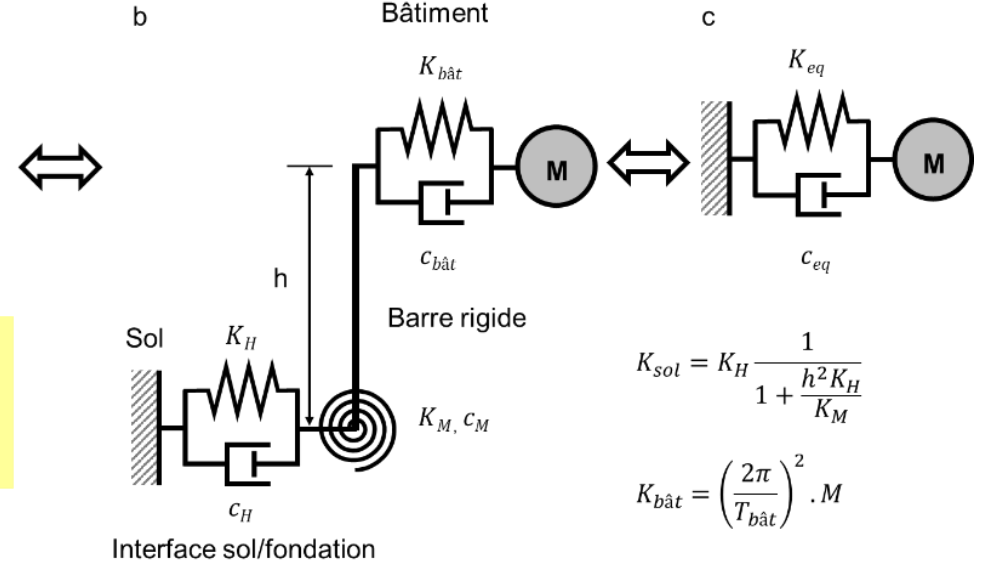
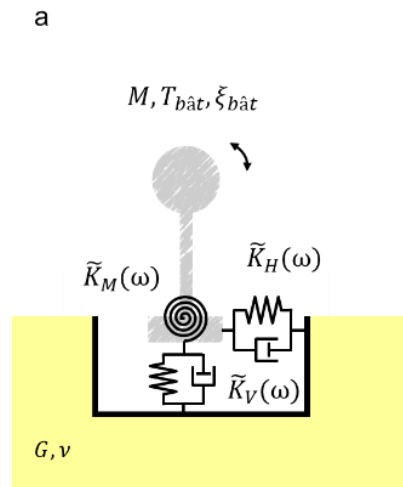
## Zoom sur un quartier : intérêt



# Séisme de Puebla du 19 septembre 2017 (VIII – Mw 7.2)

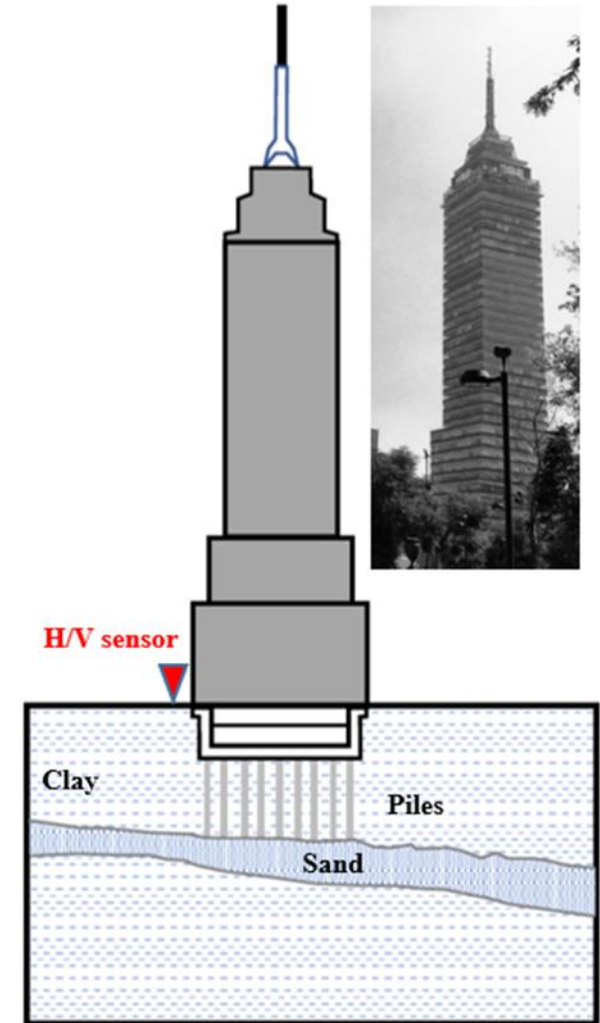
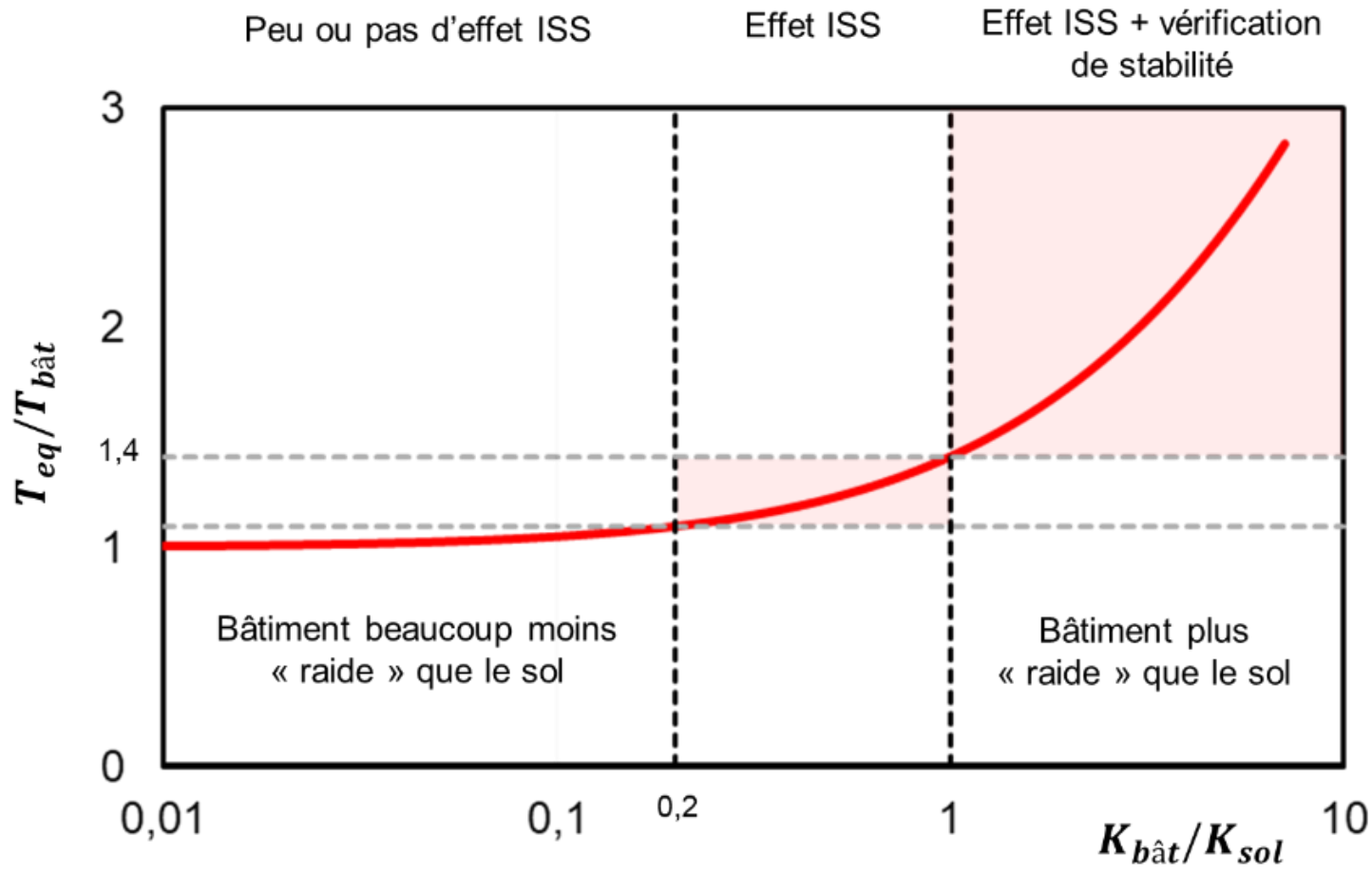


3. Approche ISS linéaire dynamique



Brûlé S. et Cuirra F. (2023)

# Séisme de Puebla du 19 septembre 2017 (VIII – Mw 7.2)



# Merci pour votre attention



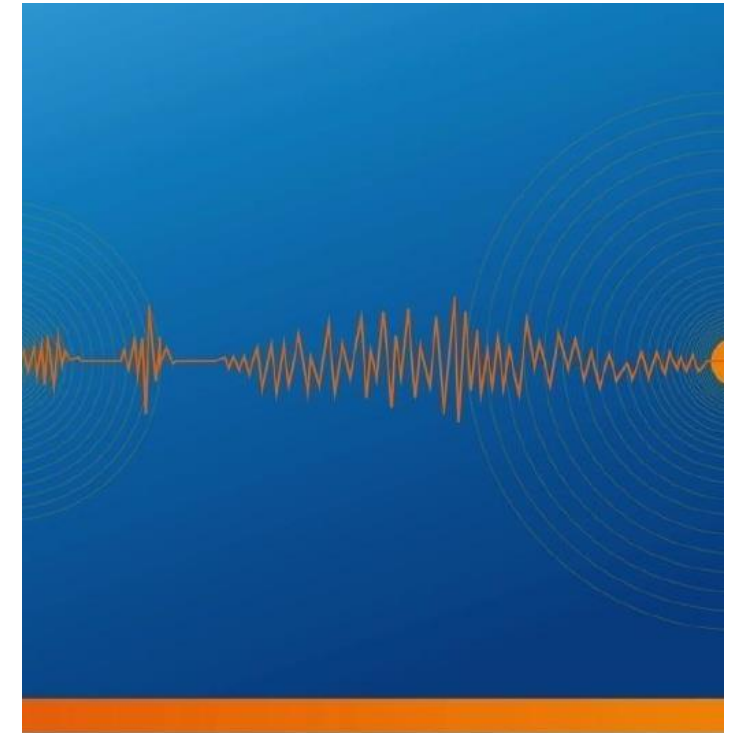
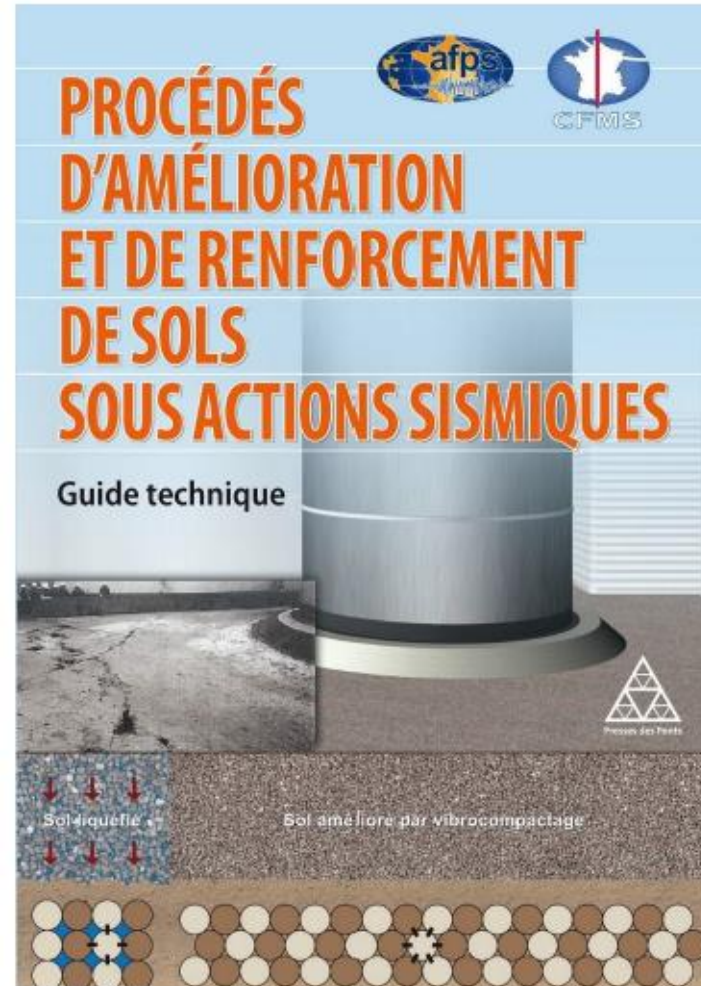
PRATIQUE DE

## l'interaction sol-structure sous séisme



APPLICATION AUX FONDATIONS ET AUX SOUTÈNEMENTS

afnor  
EDITIONS



CAHIER TECHNIQUE N° 38 – Mars 2017

Guide pour la conception et le dimensionnement des fondations profondes  
sous actions sismiques des bâtiments à risque normal

afps  
Association Française du Génie Parasismique  
French Association for Earthquake Engineering