



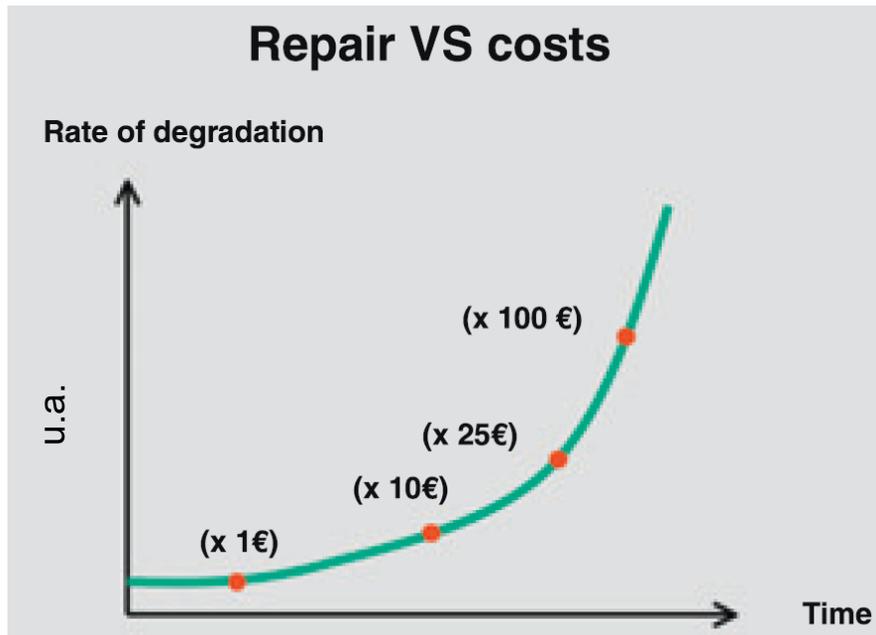
Intégrité des matériaux et structures de Génie Civil

Cédric Payan



Enjeux sociaux-économique

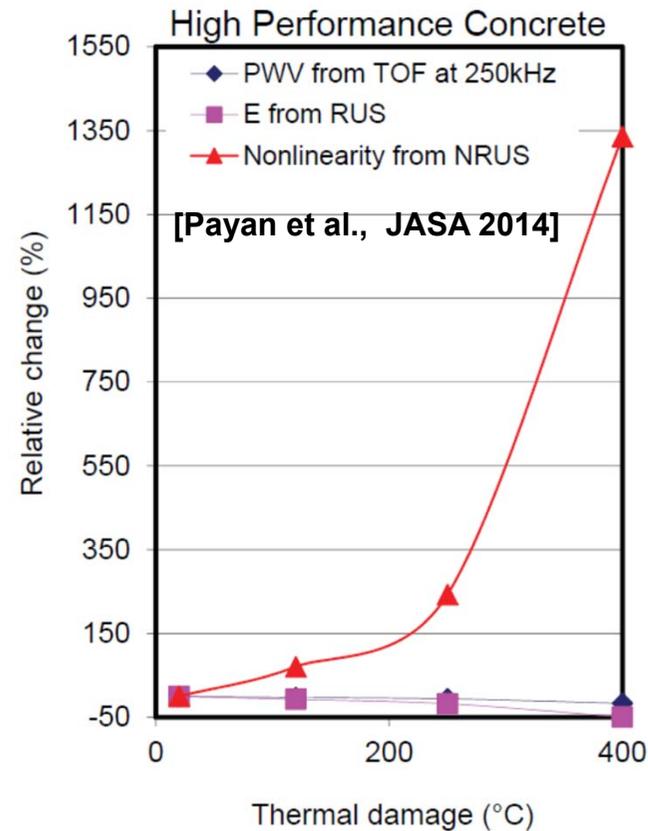
■ Vieillessement



[P. Stephan, J. Salin, CBM 2012]

■ Quantification précoce de l'endommagement

■ Sensibilité

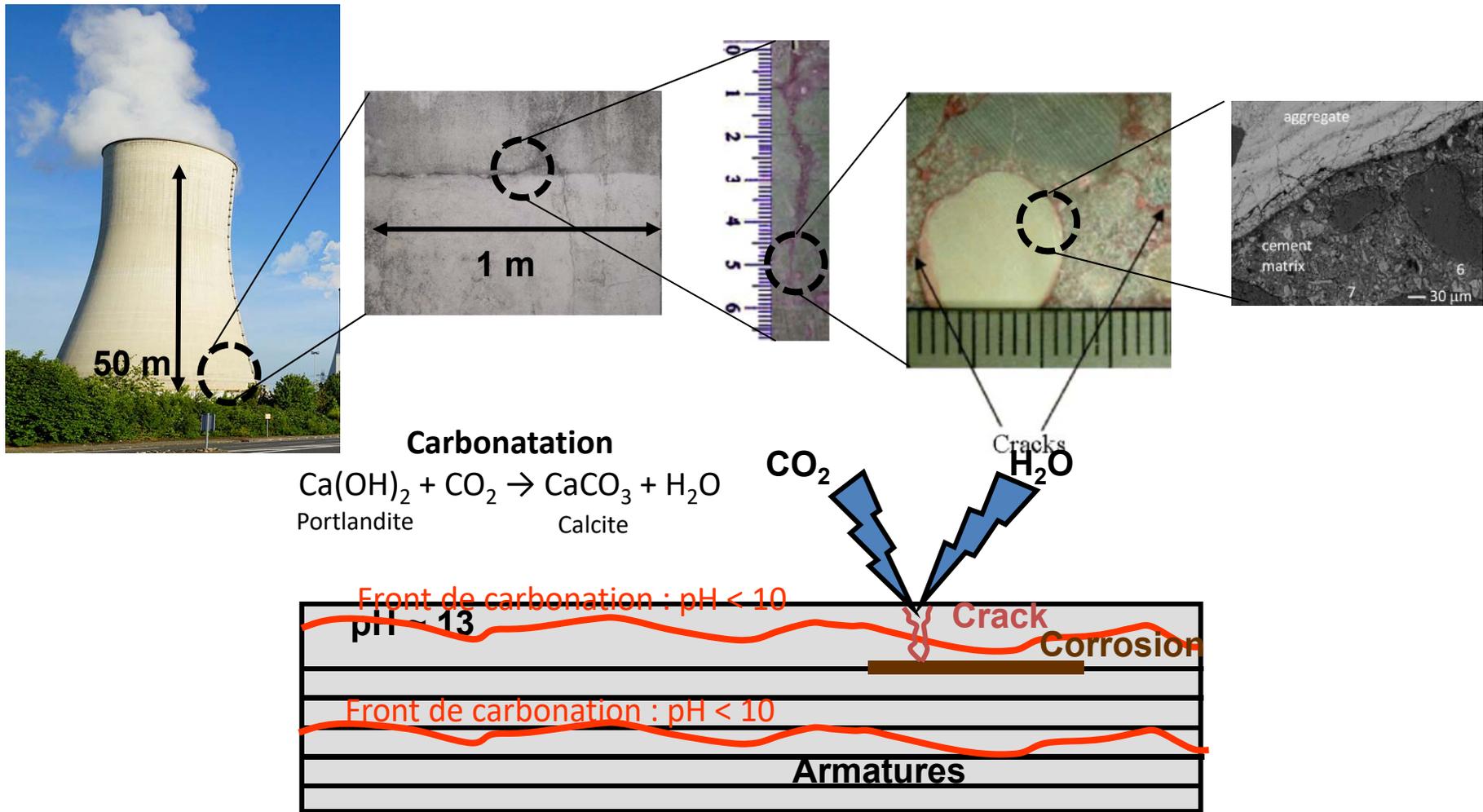


■ Fort potentiel de la non-linéarité



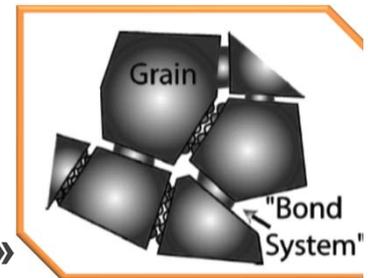
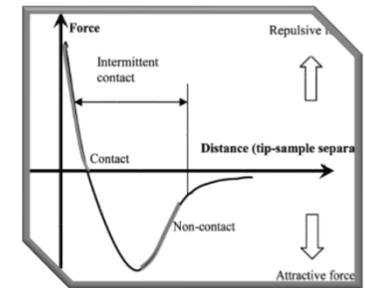
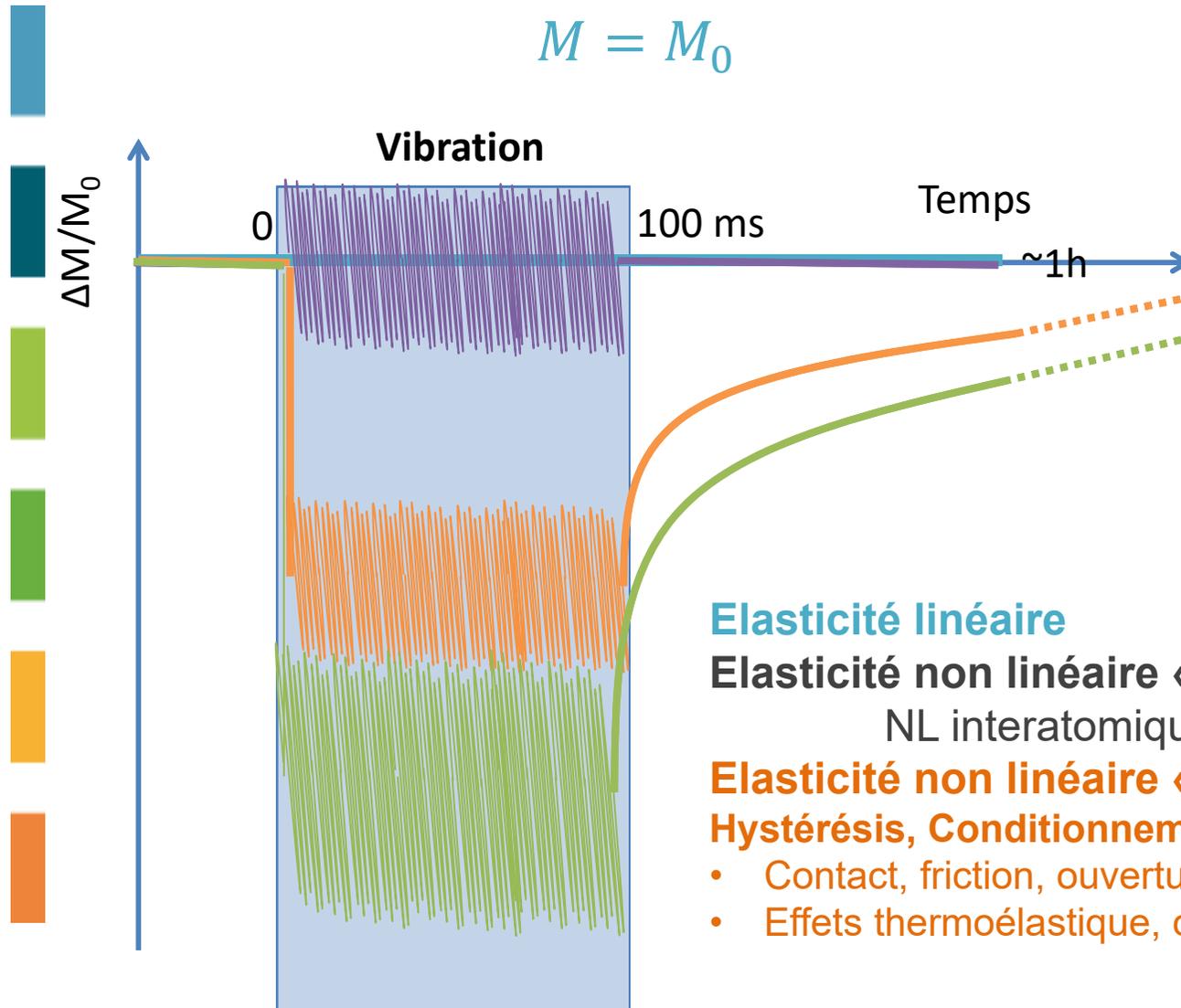
Phénomène multi-échelle

■ De la structure à la microstructure





Comportement dynamique NL



Elasticité linéaire

Elasticité non linéaire « classique »

NL interatomique

Elasticité non linéaire « non classique »

Hystérésis, Conditionnement, Dynamique lente*

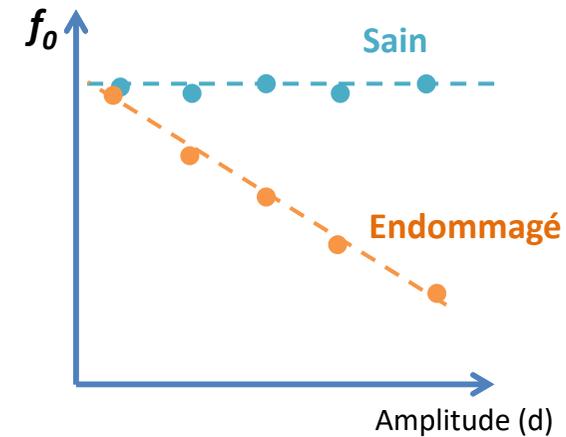
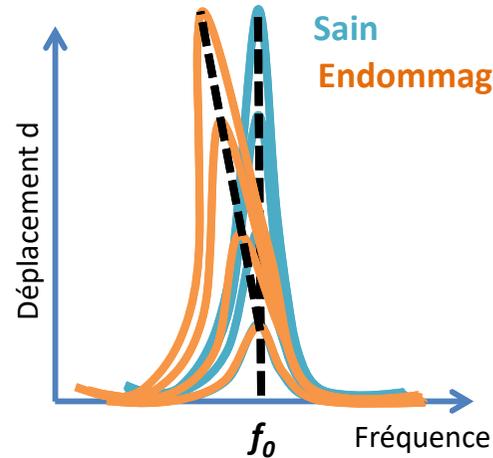
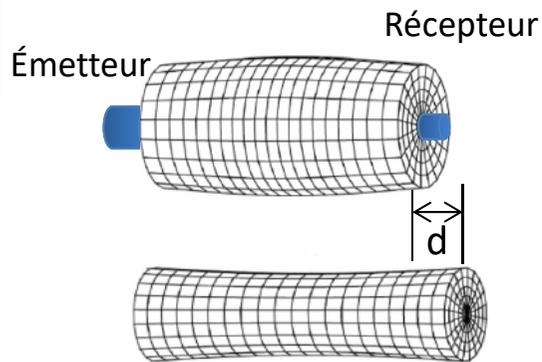
- Contact, friction, ouverture/fermeture μfissures...
- Effets thermoélastique, capillarité, ...



Expérience / Simulation

■ Résonance non linéaire

■ Identification de l'endommagement



■ Collaboration étroite avec Los Alamos Nat. Lab. (USA)

■ Thème pluri disciplinaire

- **Physique** : Phys. Rev. Lett., Proc. Roy. Soc., App. Phys. Lett, ...
- **Matériau** : Cem. Conc. Res., Const. Build. Mat., ...
- **Acoustique** : Wave Mot., J. Acoust. Soc. Am., Acta Acoustica, ...



Verrous scientifiques

■ Du 1D au 3D :

- Est-ce qu'un seul paramètre suffit à décrire des vibrations non linéaires pour de modes ?

■ Origine physique de la non-linéarité

- Lien microstructure / phénomènes non linéaires

■ Passage du laboratoire à l'application réelle

- Géométries complexes, hétérogénéité des propriétés, endommagement localisé...

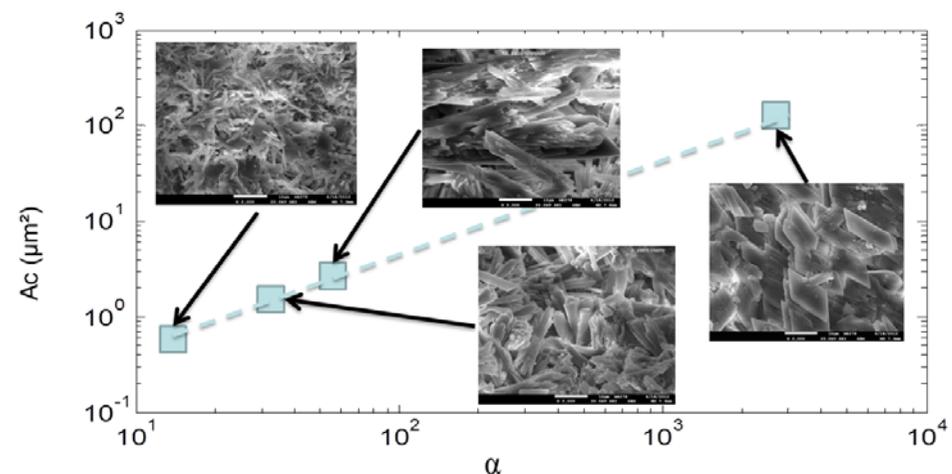
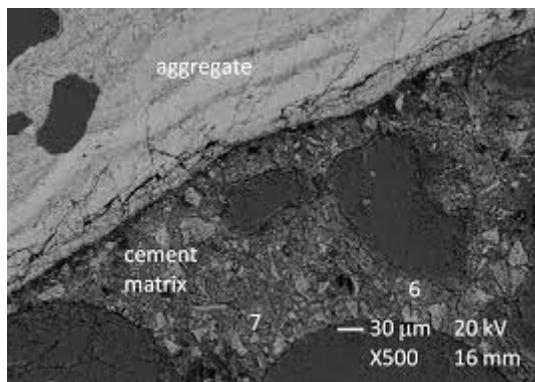


■ Le matériau

■ Interaction microstructure / comportement dynamique

- Carbonatation [CCR 2011]
- Endommagement thermique [JASA 2007, 2014, 2018]
- Réactions gonflantes (RSI, ASR, ...) [CCR 2019]
- Teneur en eau, etc... [CCR 2010, 2019]

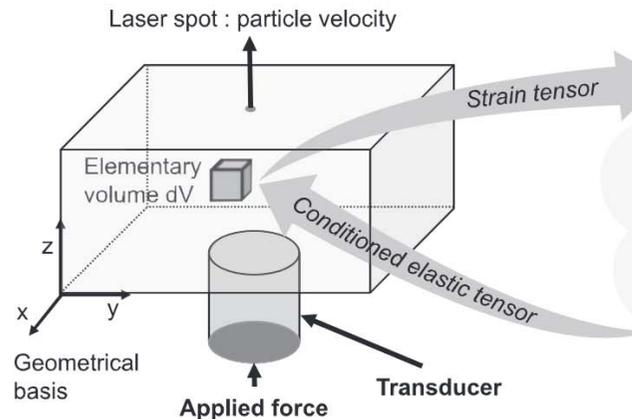
■ Le rôle majeur de l'ITZ (Interfacial Transition Zone)





Modélisation du comportement mécanique non linéaire 3D : 1 seul paramètre suffit

- Modèle
- Numérique
- Expériences



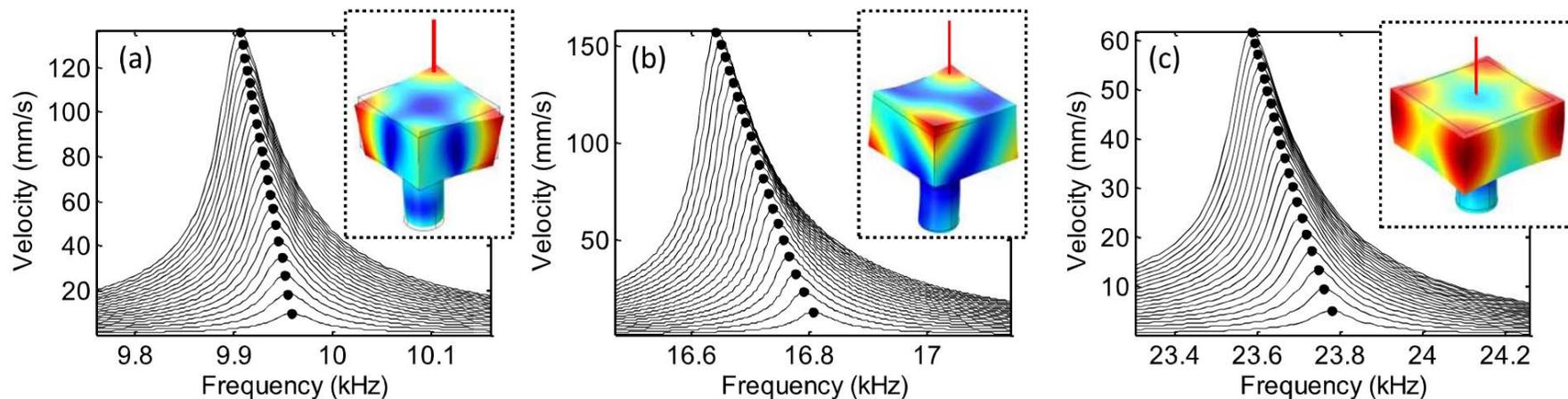
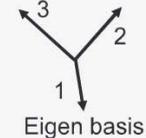
Diagonalization process

$$\Delta \varepsilon_{ij} \Rightarrow \Delta \varepsilon_{ij}^*$$

Conditioning law

$$\Lambda_{ij} = \delta_{ij} (1 - \alpha \Delta \varepsilon_{ij}^*)$$

Eq.(4) : $C_{ijkl}^* \Rightarrow C_{ijkl}$



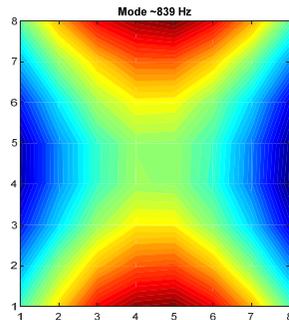


Echelle intermédiaire : méthode

■ Imagerie d'endommagement localisé

■ Dalle en béton 1x1x0.2 m³

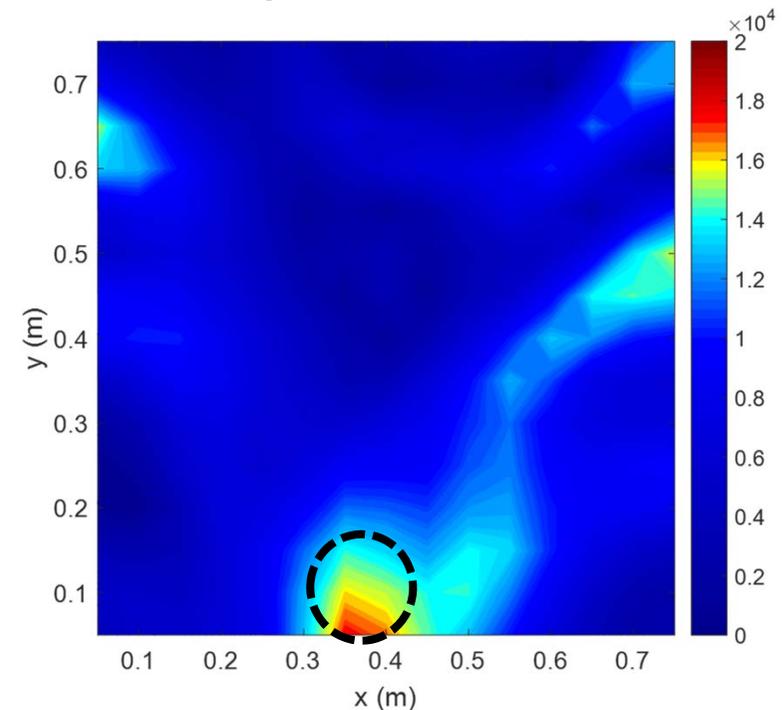
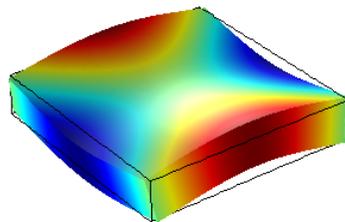
■ Mesures déformées modales et fr



■ Modèle numérique fiable

■ Imagerie de la NL

■ Optimisation d'un modèle numérique linéaire



[Eiras et al., SHM 2020]



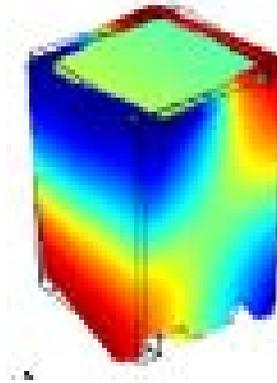
Transposition à échelle

■ Conteneur de fut de déchets (ANDRA)

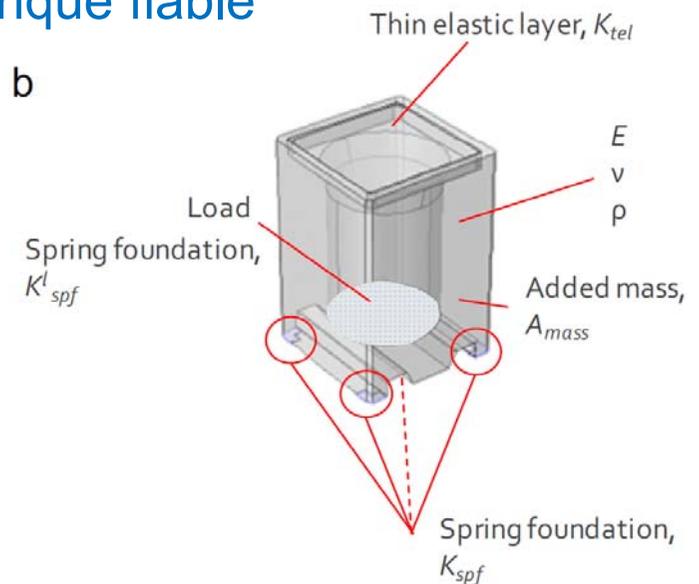
- Déformée modale et optimization d'un modèle numérique [Eiras et al., CBM 2018]



- Optimisation des fréquences et des déformées modales (exp <-> num) incluant un grand nombre de paramètres libres.
- Modèle numérique fiable



b

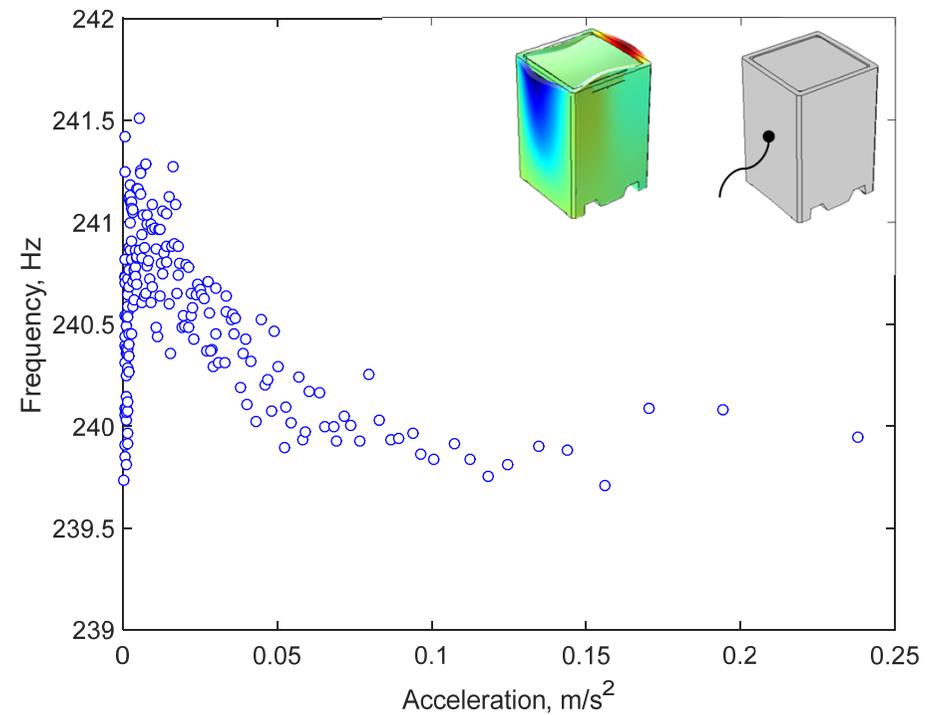




Transposition à échelle

■ Conteneur de fut de déchet (ANDRA)

- Bruit ambiant (vibrations dues à l'activité, ...)
- Estimation des fréquences de résonances / tri par amplitude
- Mise en évidence d'un phénomène non linéaire
- Prochaine étape : endommagement des conteneurs





Transposition à échelle

■ Enceinte de confinement : maquette VeRCoRs

- Simulation d'épreuve décennale : mise sous pression
- Bruit ambiant (vibration aérodynamiques, pompes, etc.)
- Estimation de la pression interne via vibrations passives [Spalvier et al., JNDE 2020]
- Mise au point d'un modèle numérique

Maquette VeRCoRs



30 m de haut



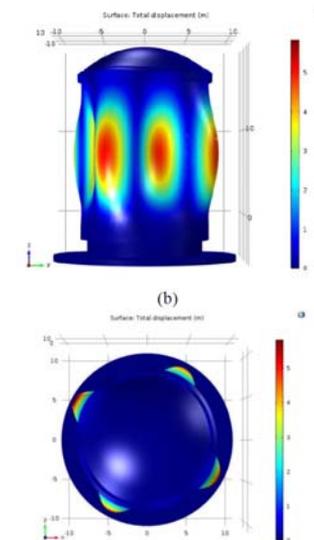
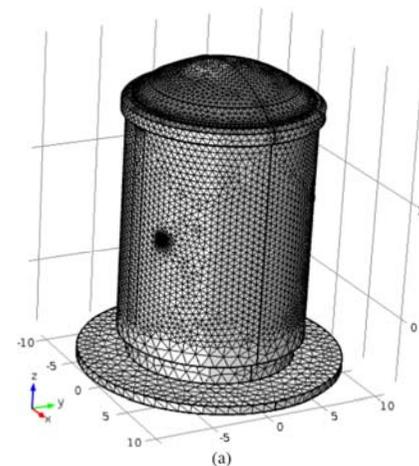
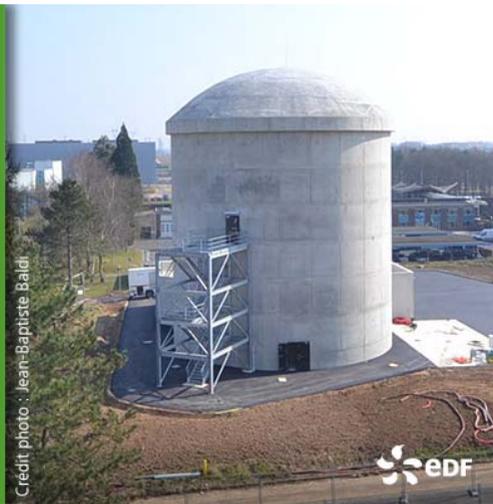
5000 t de béton



700 capteurs



2 km de fibre optique

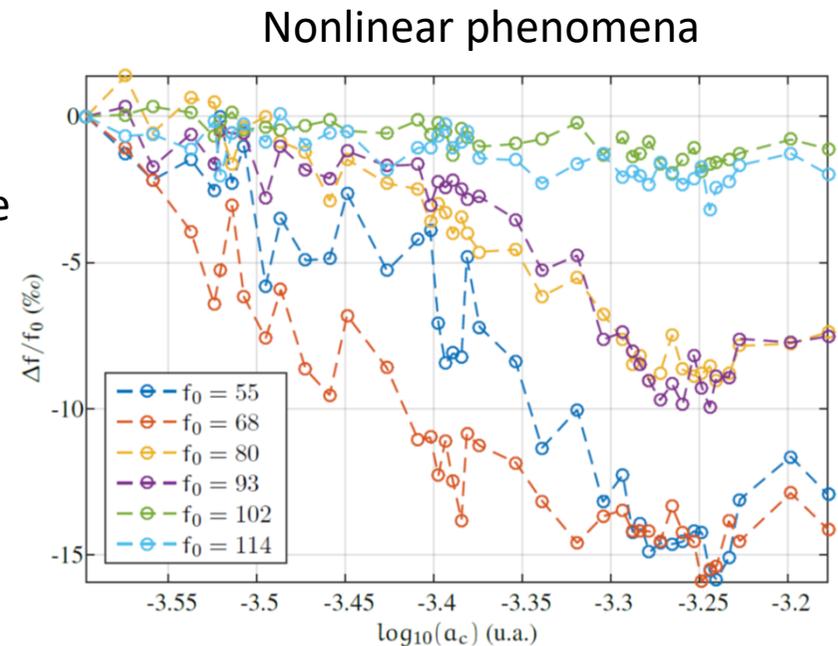
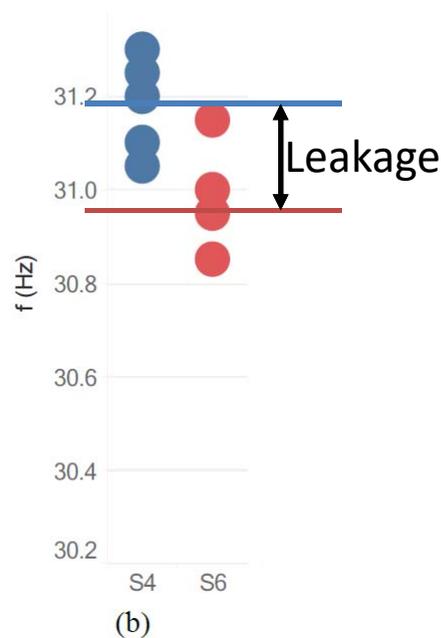
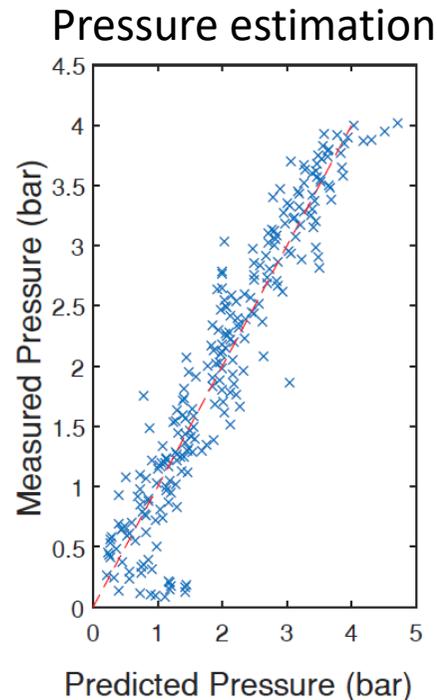




Transposition à échelle

■ Enceinte de confinement : maquette VeRCoRs

- Estimation de la pression interne et des fuites
- Mise en évidence de phénomènes non linéaires
- Prochaine campagne en Mars 2020





Conclusions

■ Non-linéarité des milieux hétérogènes

- Un lien étroit entre théorie/numérique/XP
- Lien étroit avec la microstructure (taille et nature des μ contacts)
- Vers l'estimation de la résistance mécanique

■ Caractérisation Non Destructive / SHM

- Un paramètre extrêmement sensible à l'endommagement
- Méthodes opérationnelles in situ
- Imagerie passive