

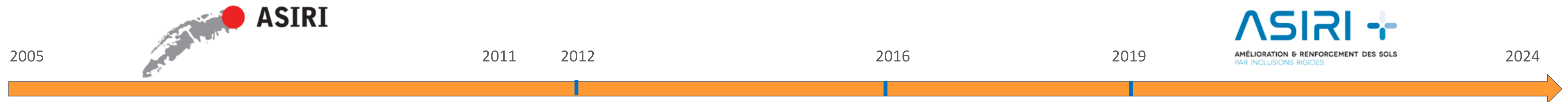
Traitements et améliorations des sols

Avancement du projet ASIRI+

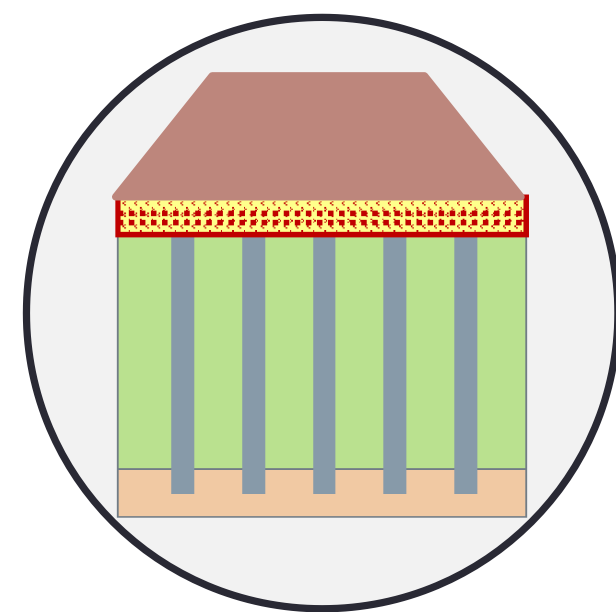
JST DU 05/04/2023

L. Briançon (INSA Lyon) – Fahd Cuira (Terrasol)

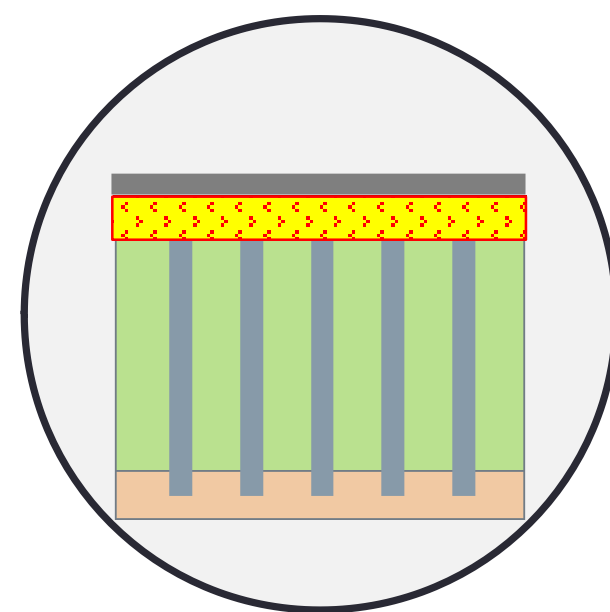
La genèse du projet



PN ASIRI (2005 - 2011)



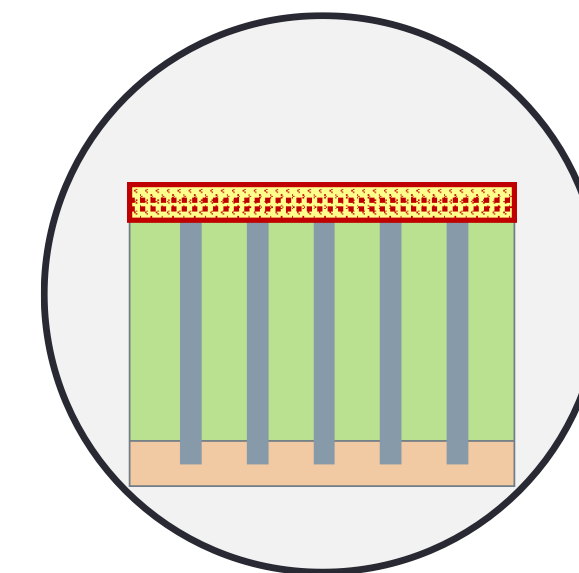
Remblais



Dallages

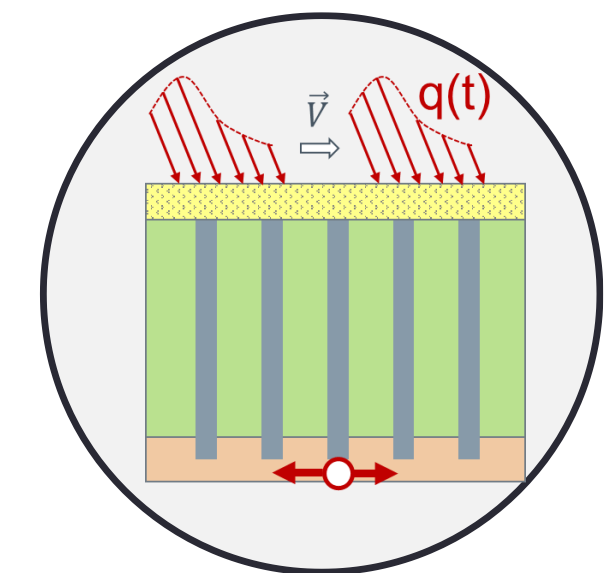


Enquête IREX + JT CFMS



Matelas de répartition

- Renforcement
- Matériau constitutif
- Epaisseur optimale



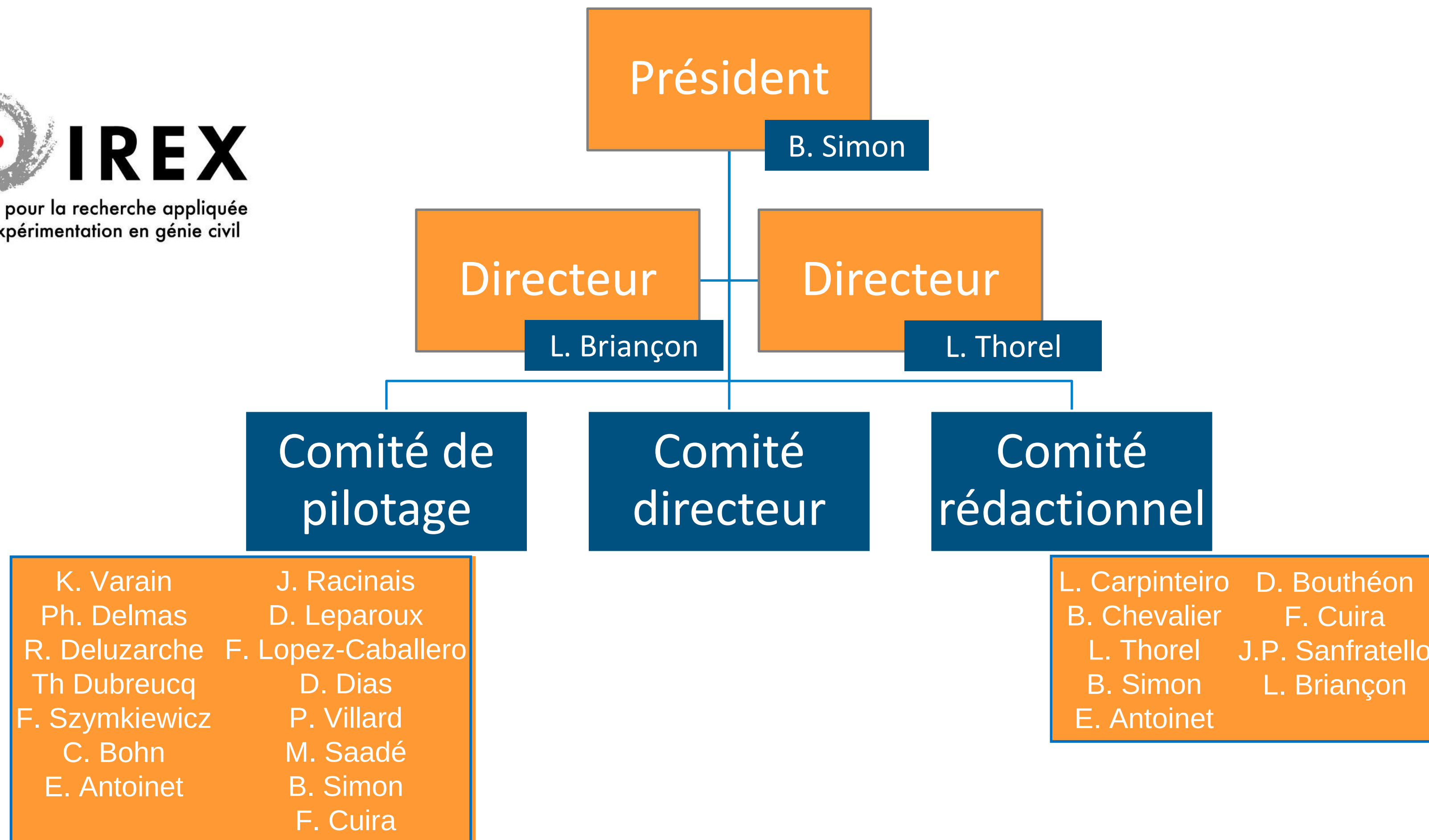
Sollicitations complexes

- Inclinaées ou non uniformes
- Permanentes ou variables
 - Fixes ou mobiles
 - Sismiques

Les adhérents



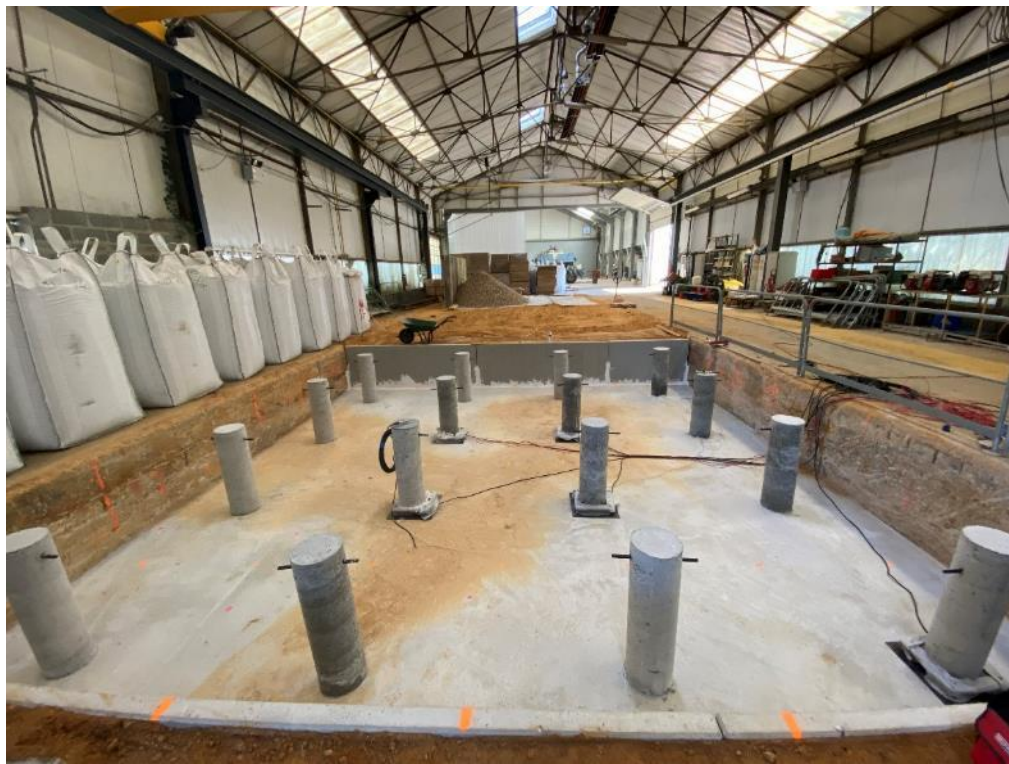
L'organisation



<https://asiriplus.fr/>

Les moyens déployés

Essais en laboratoire à échelle 1



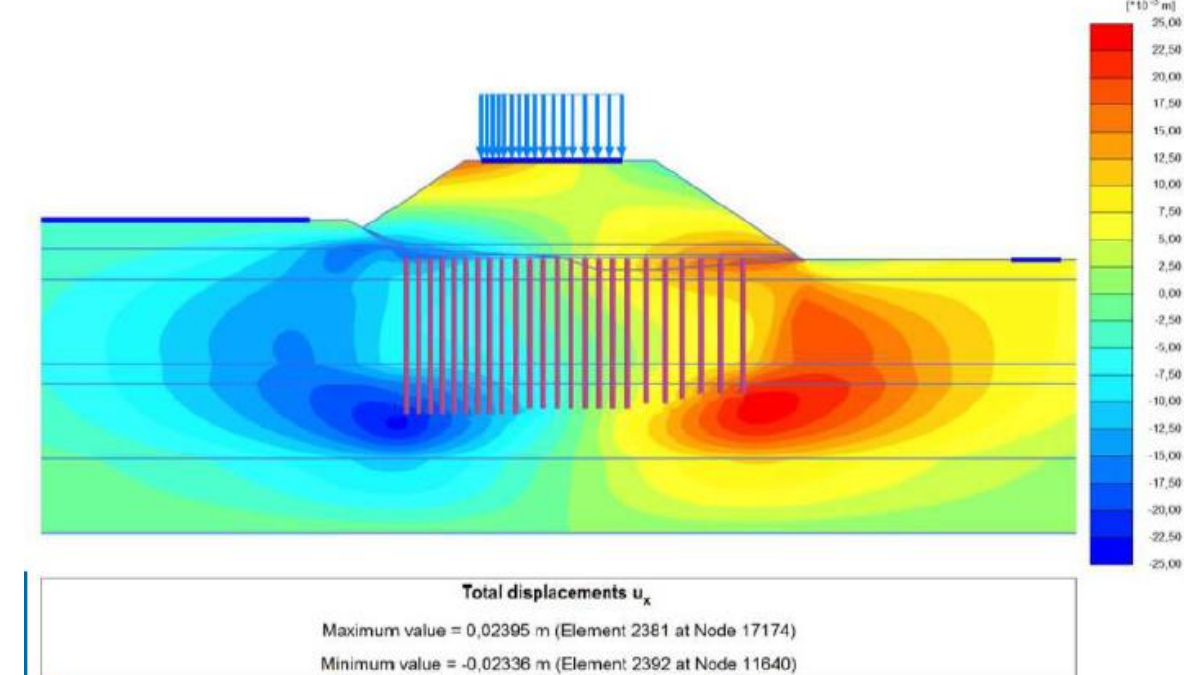
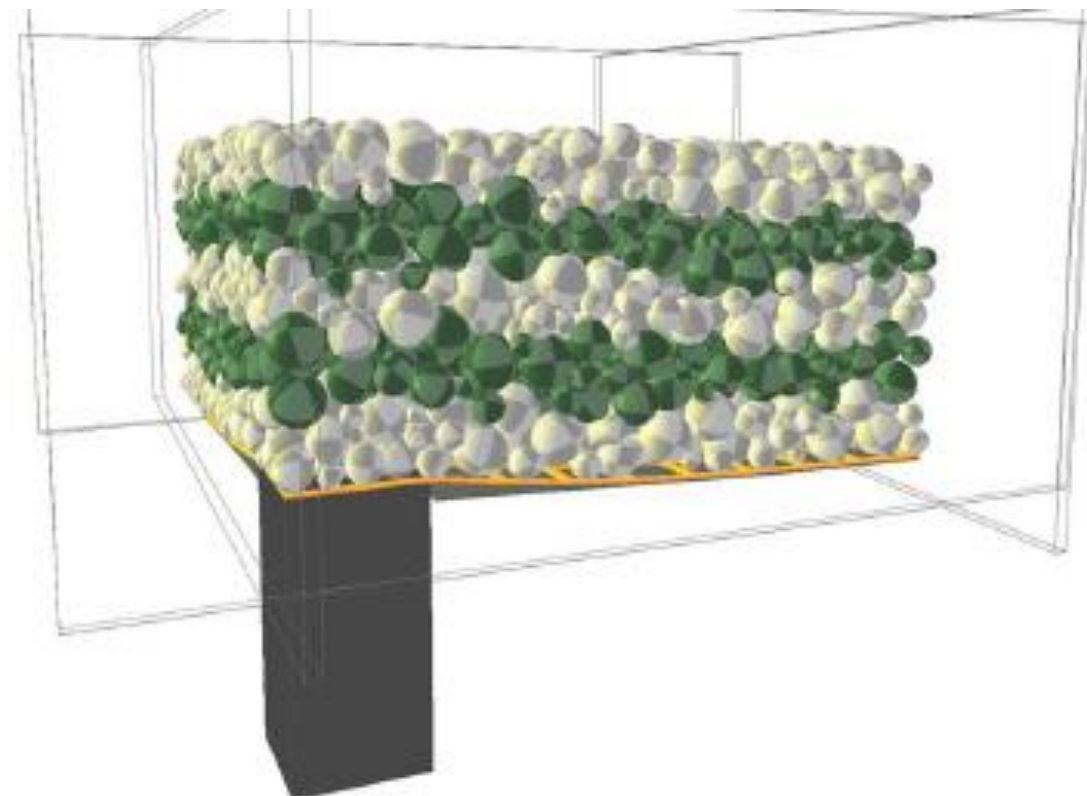
Instrumentation d'ouvrages réels



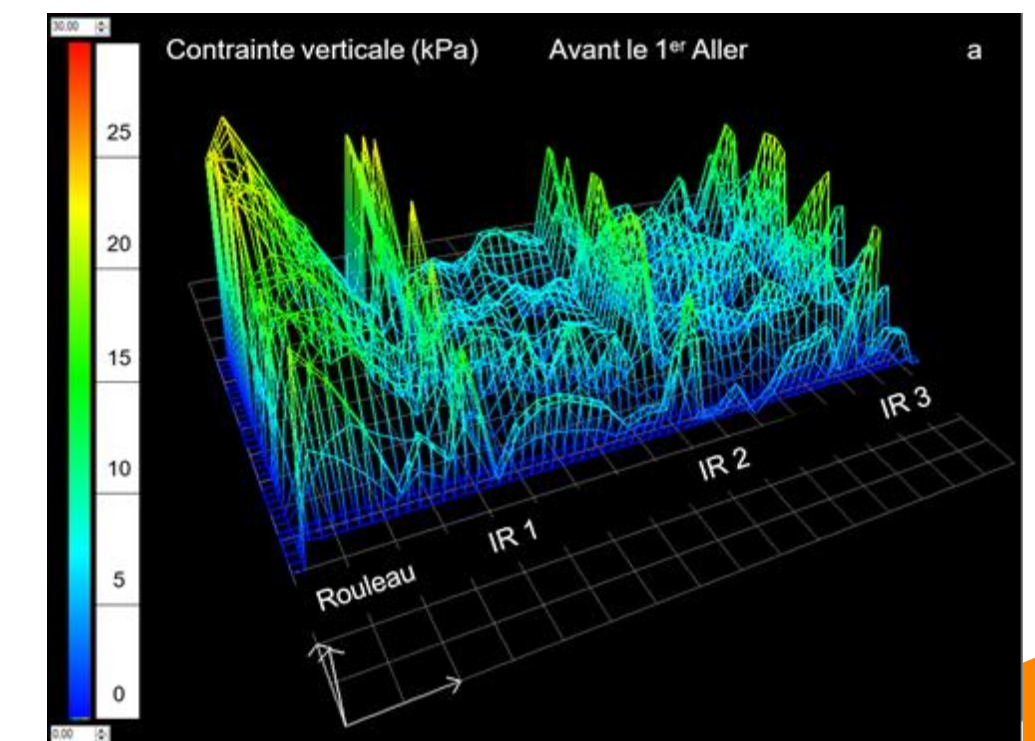
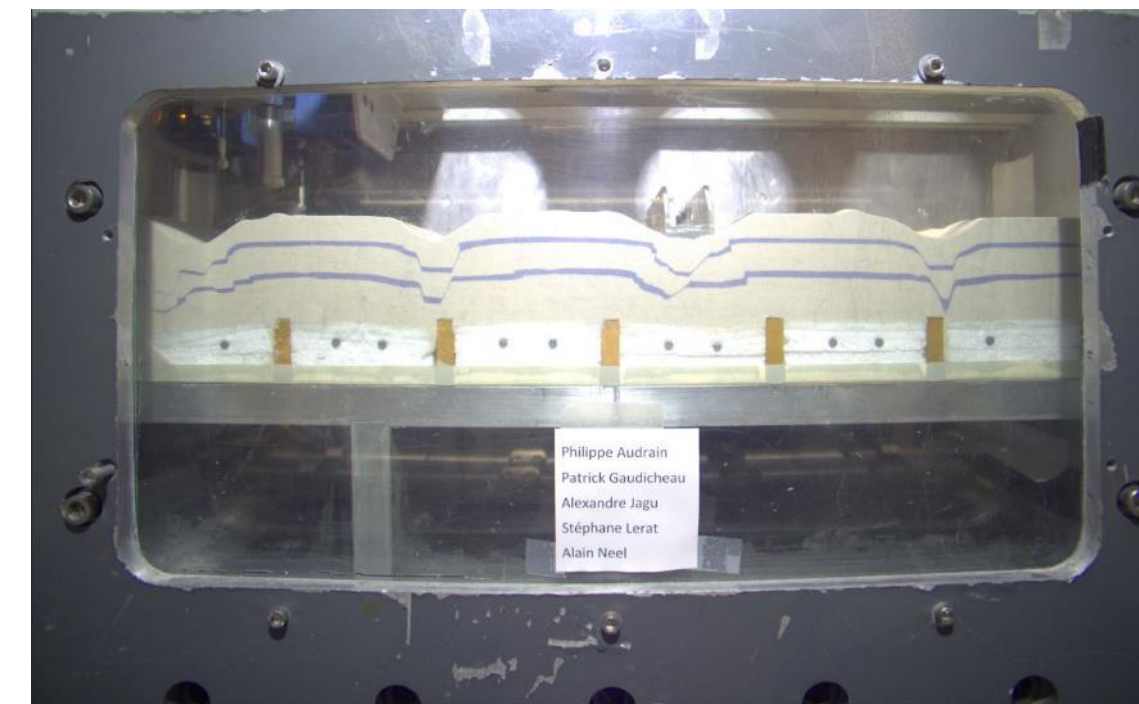
Plots expérimentaux



Modélisations numériques complexes et transfert vers l'ingénierie

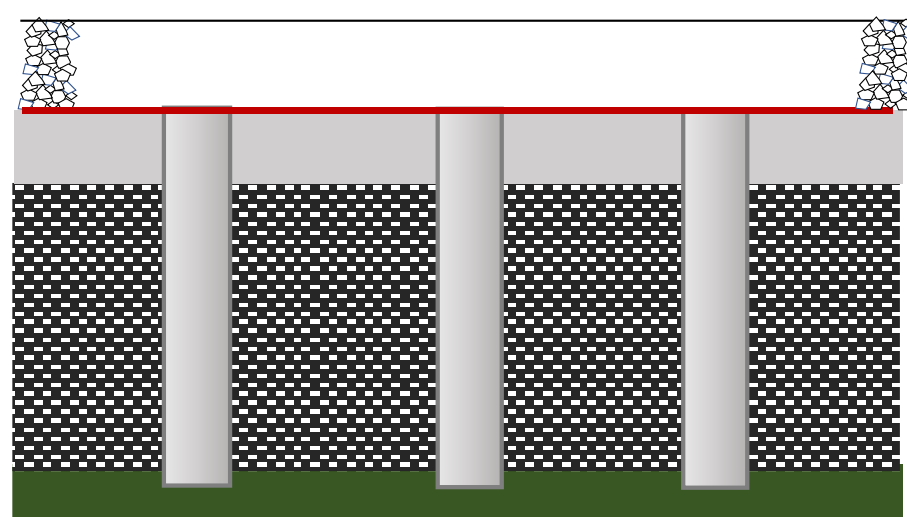
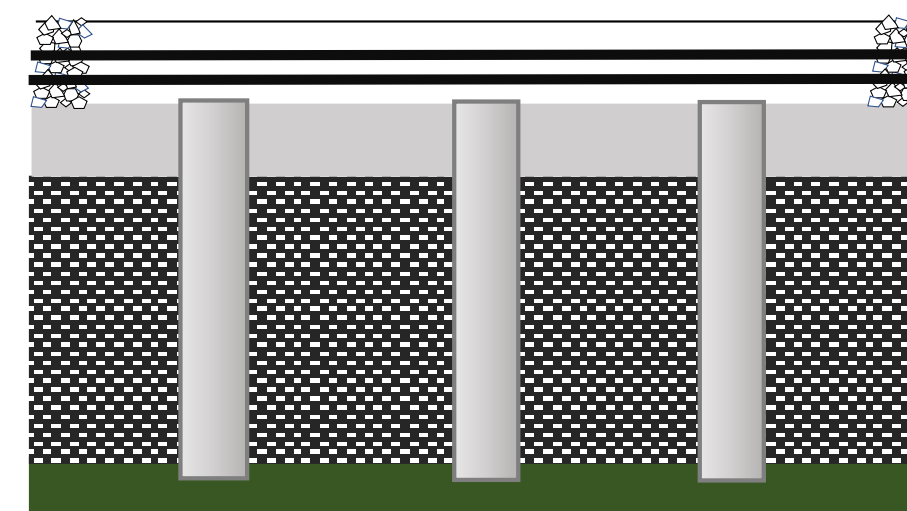
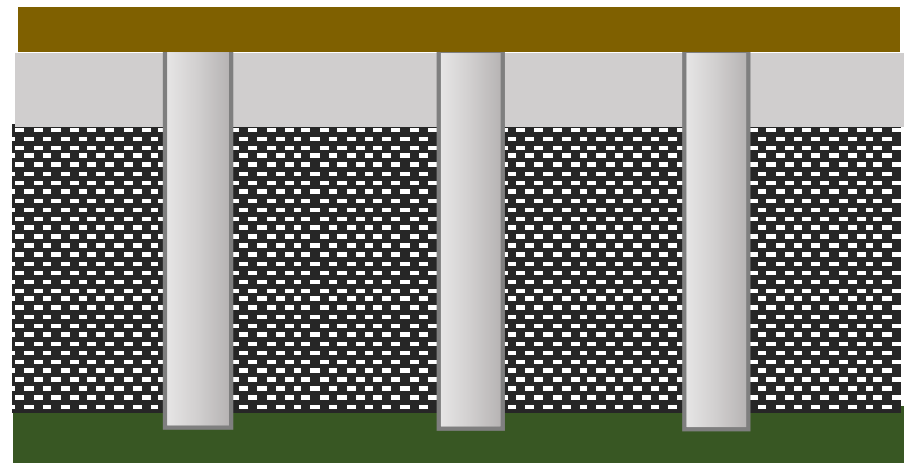


Modélisations physiques élaborées

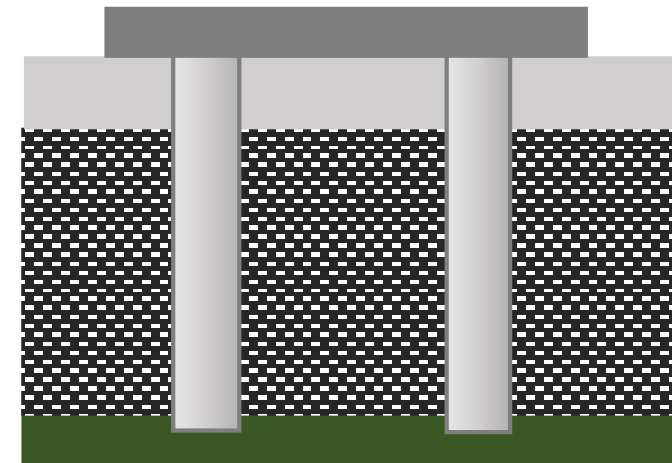


Les sujets traités

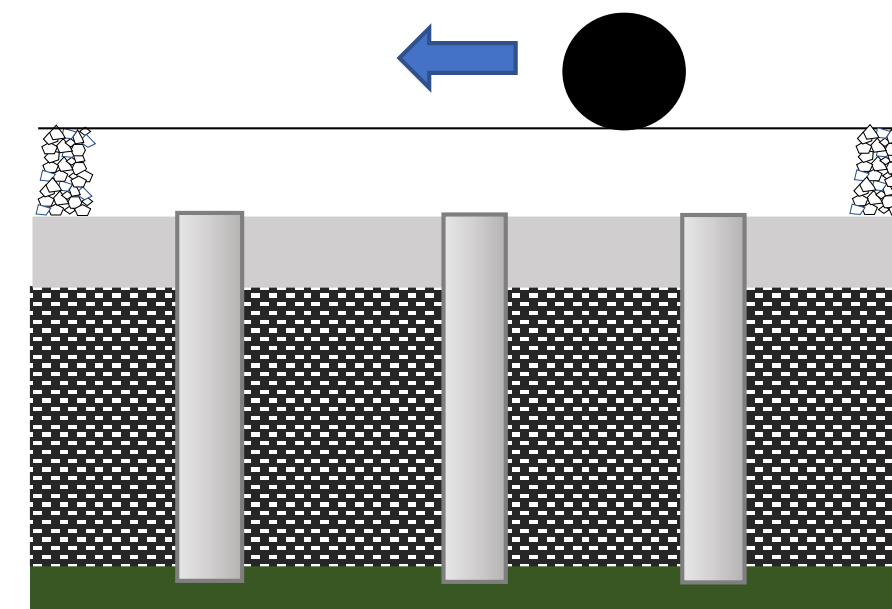
Plateformes de transfert de charge



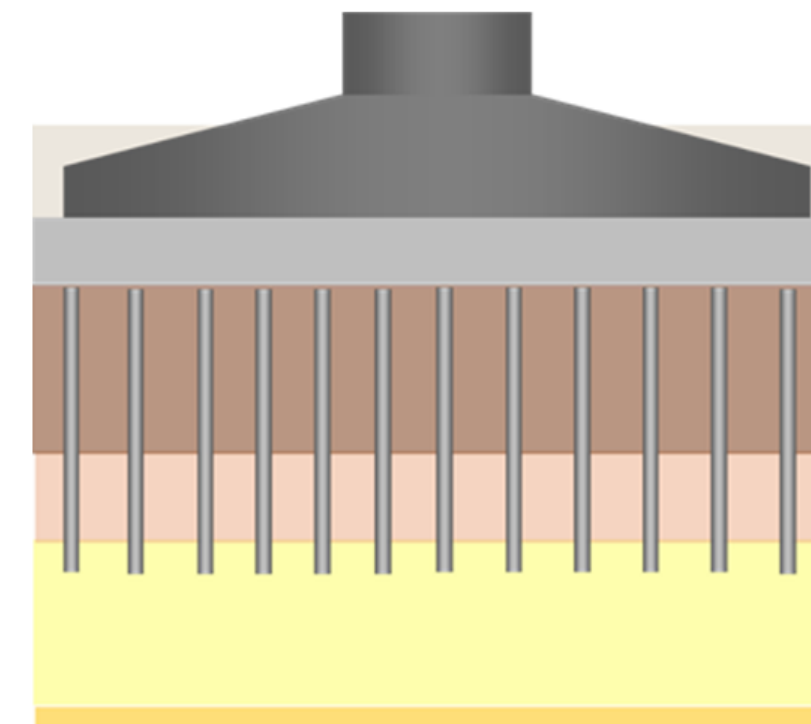
Semelles et dallages



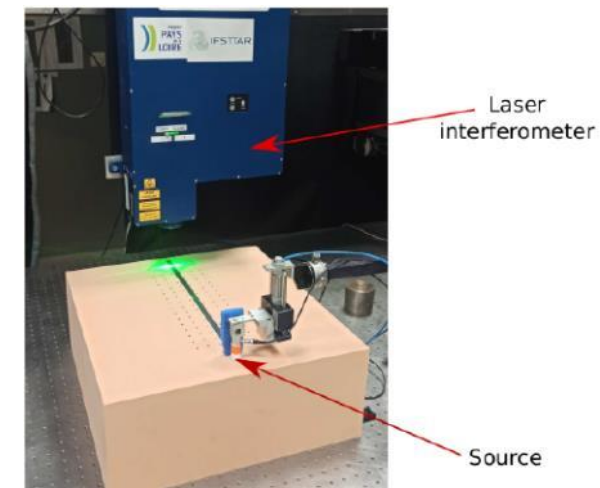
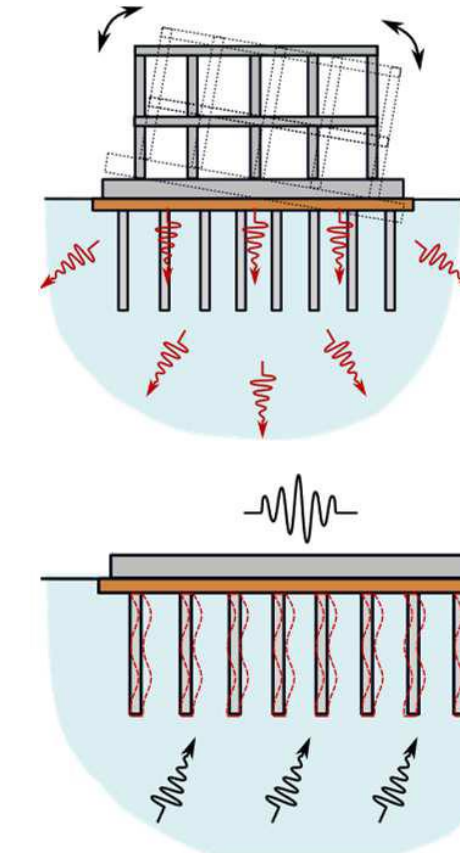
Sollicitations de circulation



Sollicitations cycliques Projet FUI FEDRE 2018 - 2023



Sollicitations dynamiques et sismiques Projet ANR ASIRIplus_SDS 2019 - 2023



Les plateformes granulaires renforcées par géosynthétiques

1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

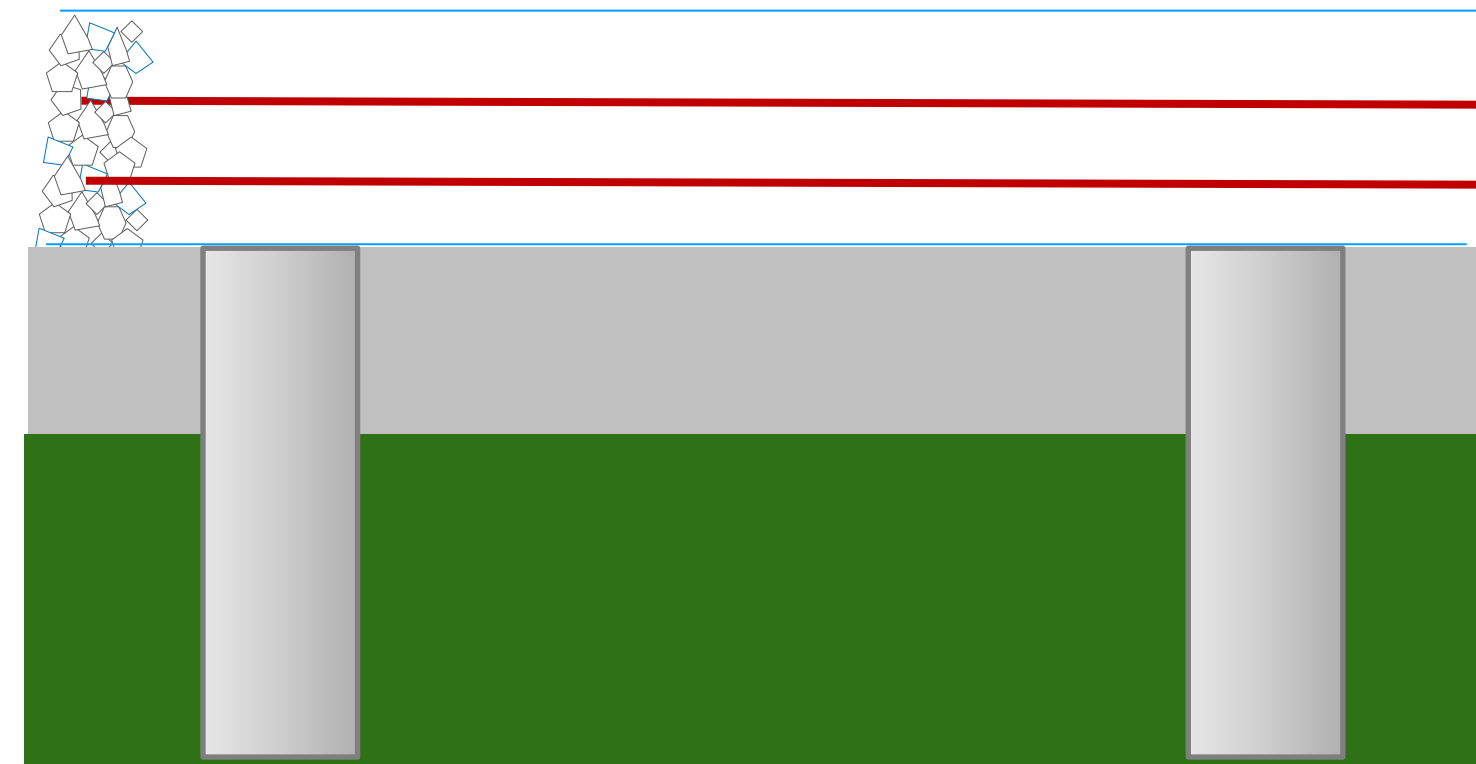
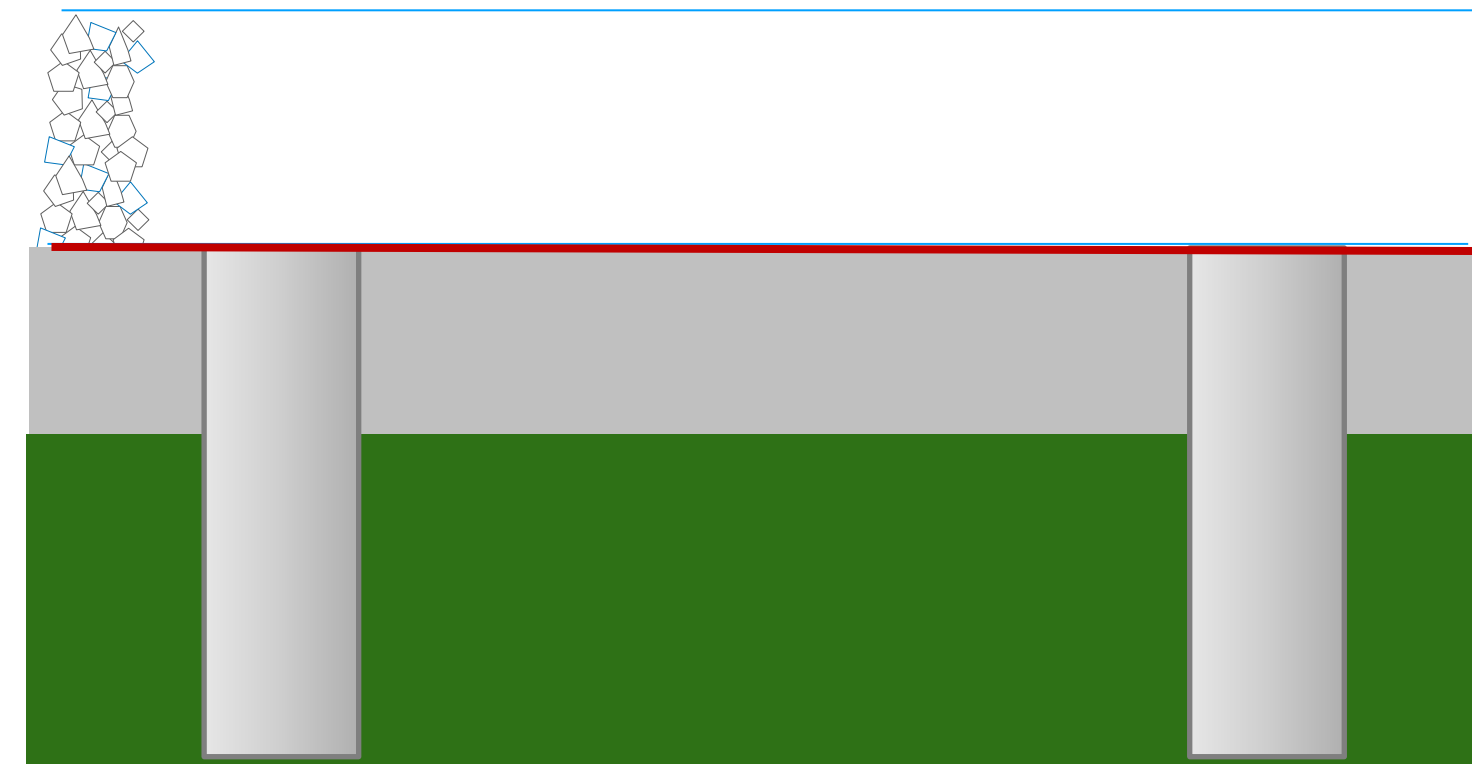
Objectifs

Proposer des règles donnant :

- Le nombre de nappes
- Le type de nappes et leurs caractéristiques
- La position des nappes



Optimiser la PTC renforcée



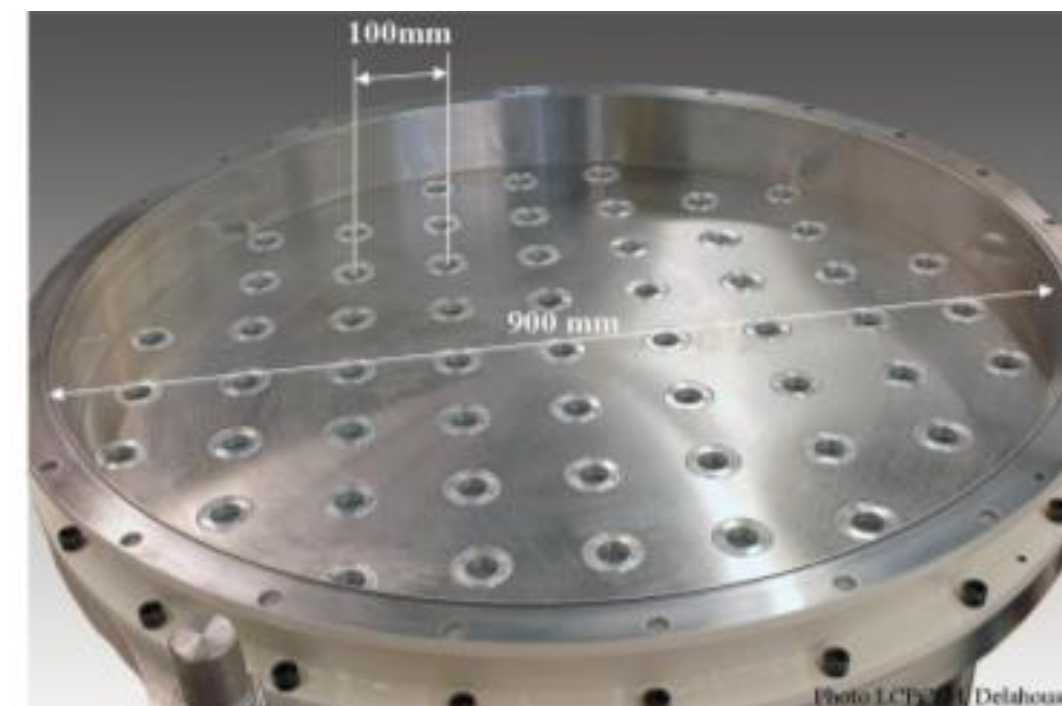
1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

Moyens

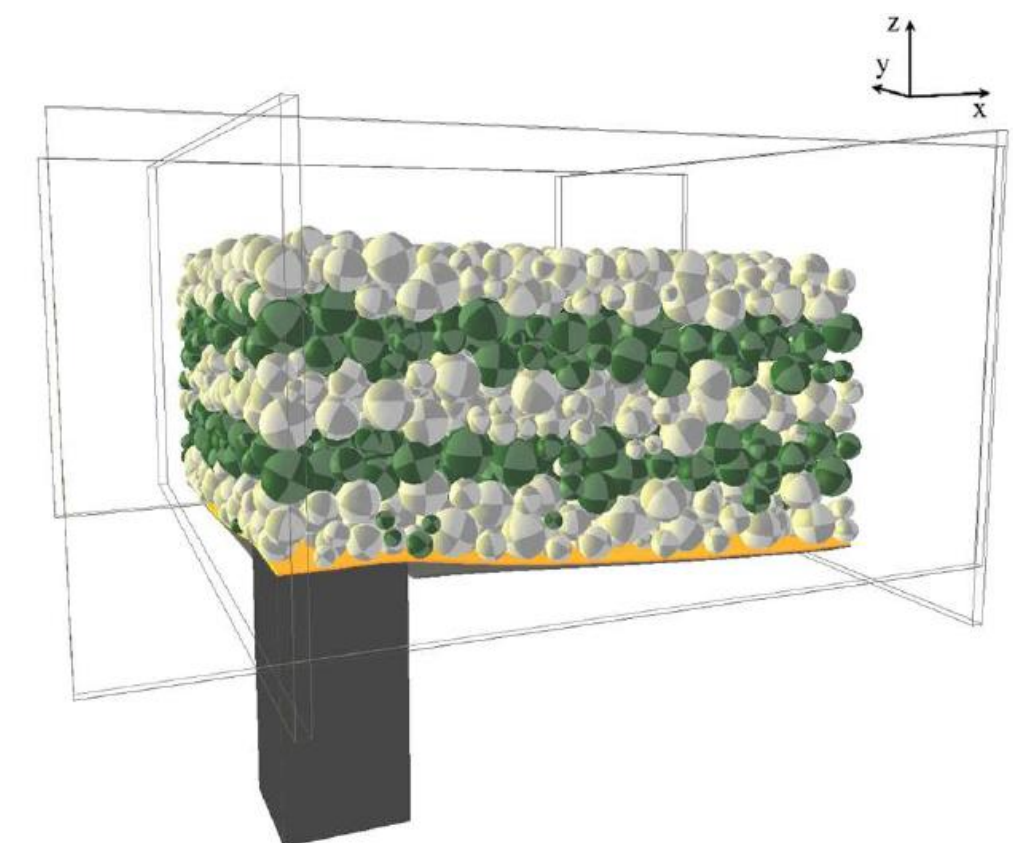
Expérimentaux
(Echelle 1)



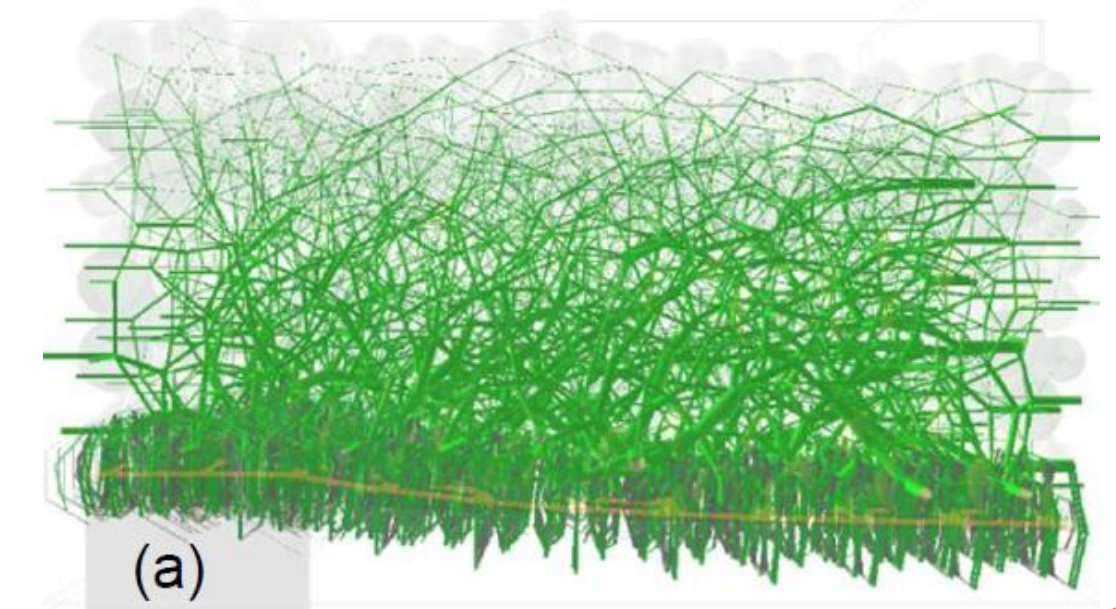
Expérimentaux
(Laboratoire)



Numériques



Etat de l'art



1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

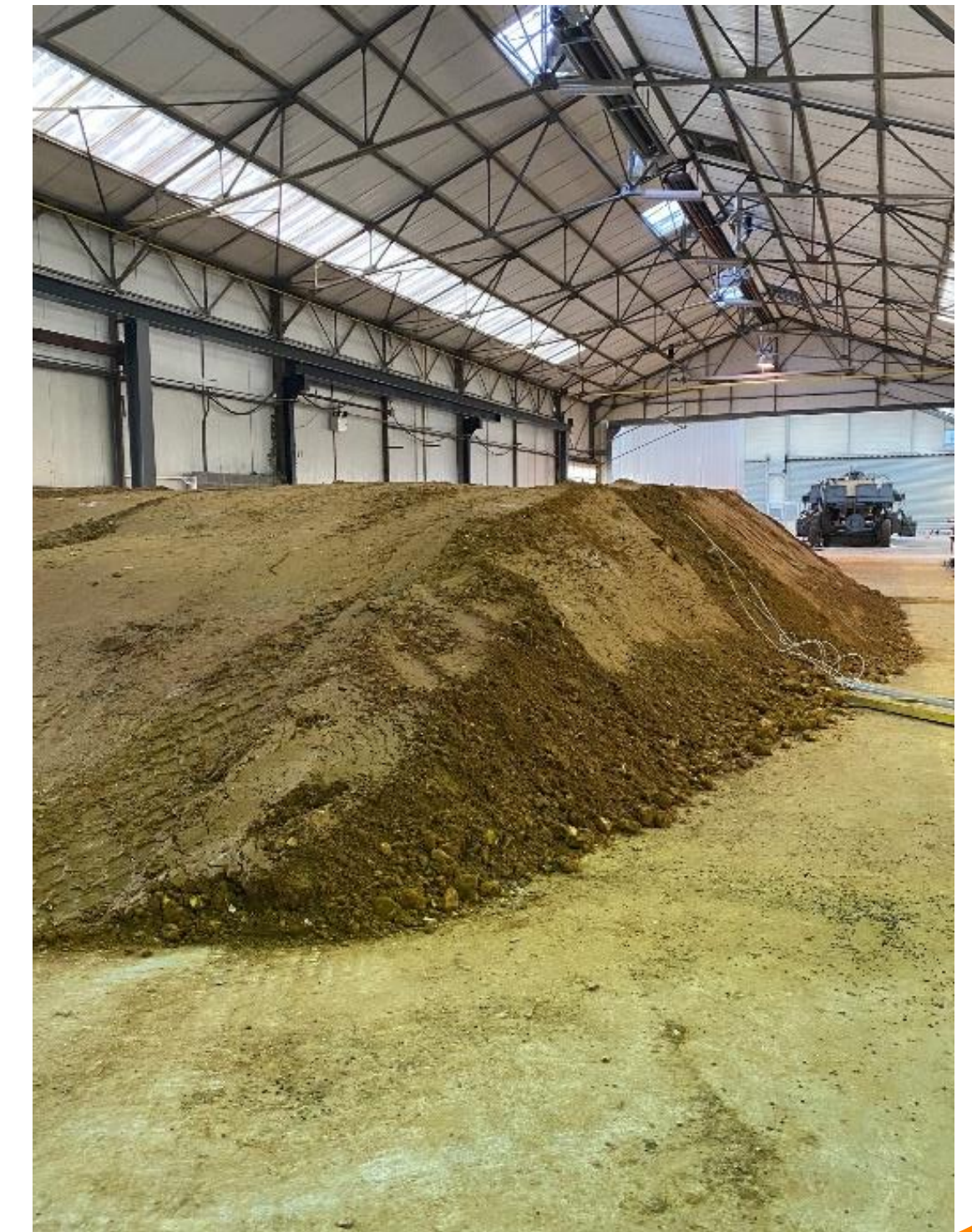
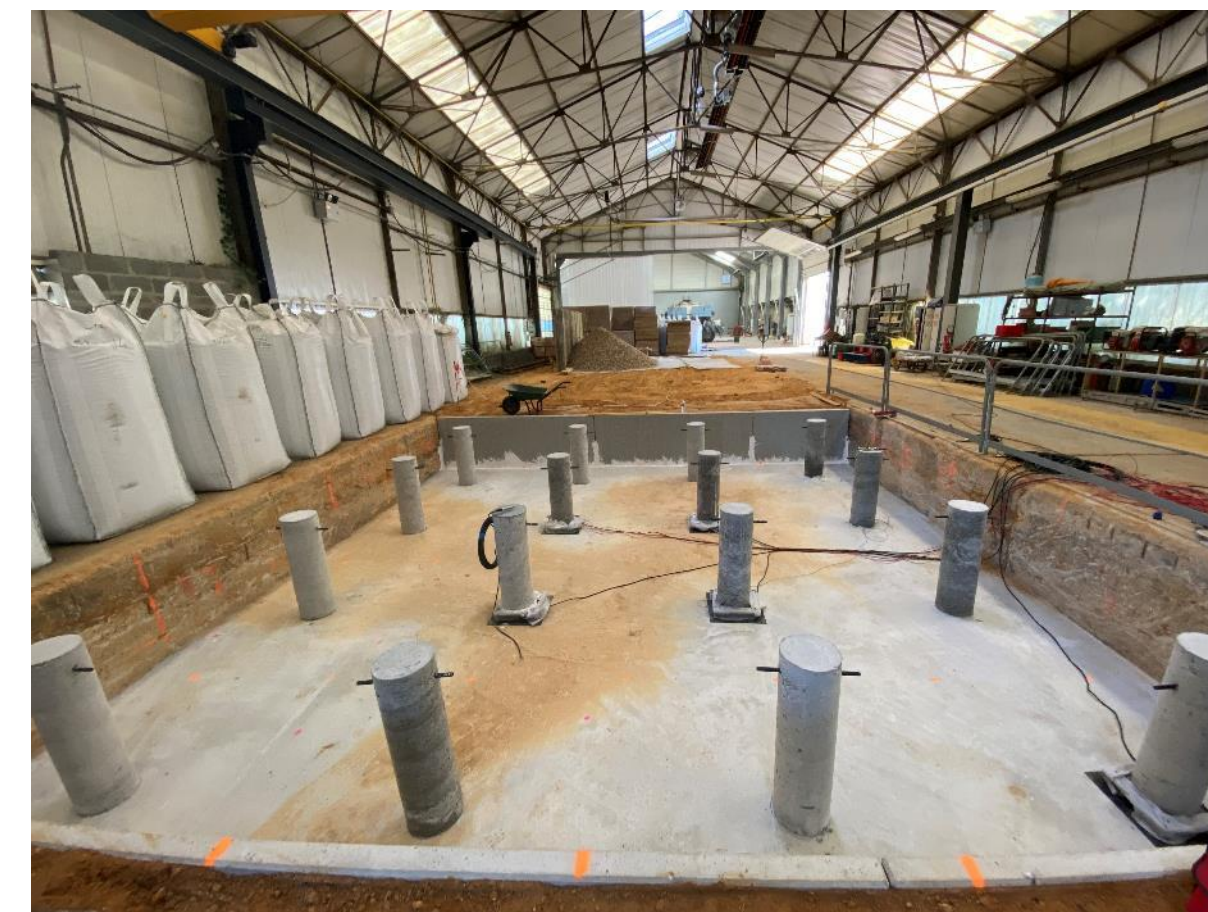
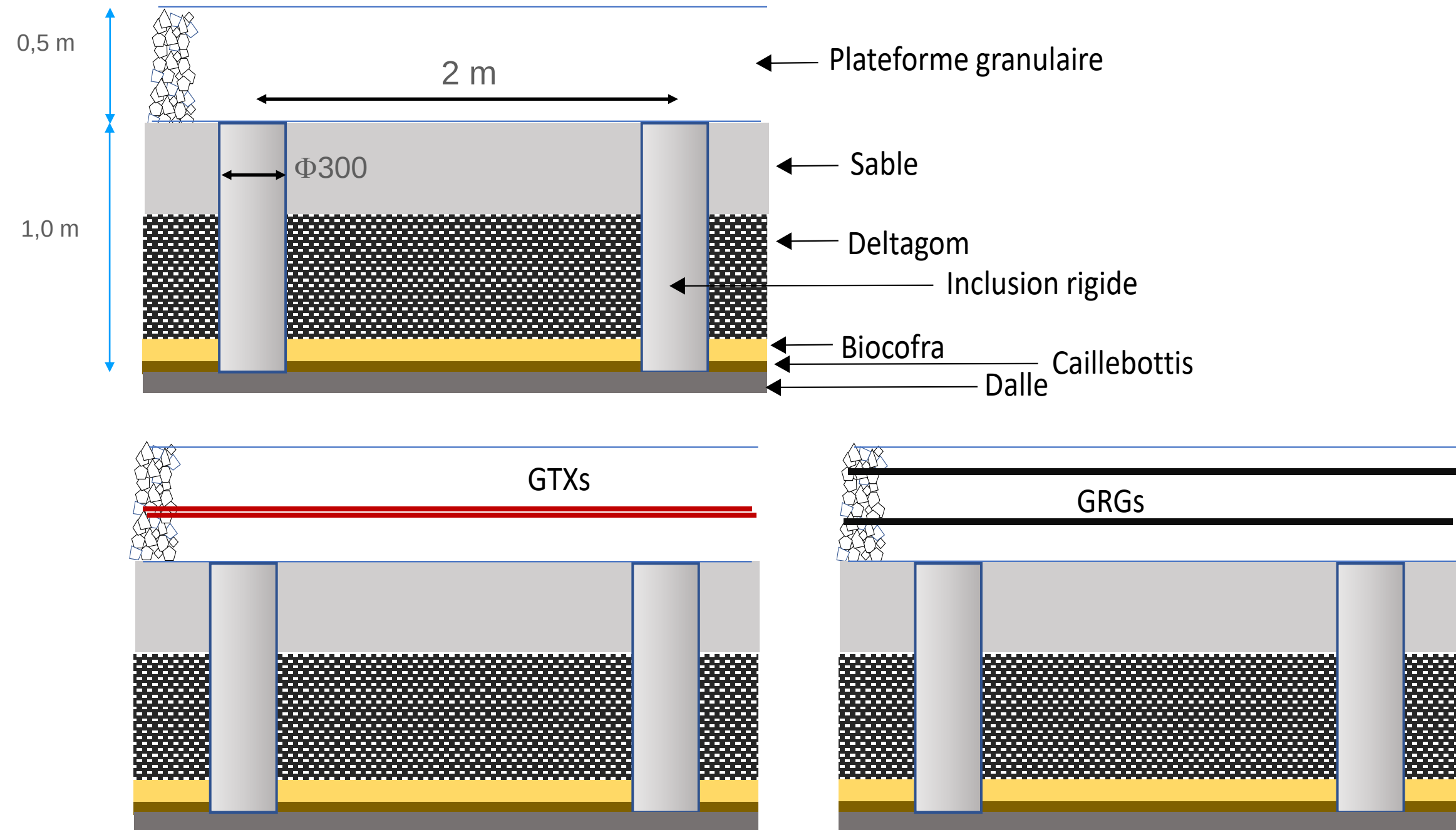
Etat de l'art

Almeida et al. (2007)	Van Eekelen (2015)
Oh and Shin (2008)	Chen et al. (2016)
Wachman et al. (2010)	Nguyen et al. (2020)
Sloan (2011)	Lee et al. (2020)
Lian et al. (2014)	Pan et al. (2022)
Cheng et al. (2014)	Gunnvard et al. (2022)
Lu and Miao (2015)	Wang et al. (2022)

- ✓ Configurations de renforcement très différentes
- ✓ Une grande partie du transfert de charge et du tassement se fait pendant la montée du remblai
- ✓ Le transfert de charge par cisaillement dans la plateforme se fait pour de très faibles déplacements
- ✓ La présence d'un GSY améliore l'efficacité de report de charge
- ✓ La présence d'un GSY ne diminue pas significativement le tassement
- ✓ Les méthodes de dimensionnement existantes souvent mises à défaut

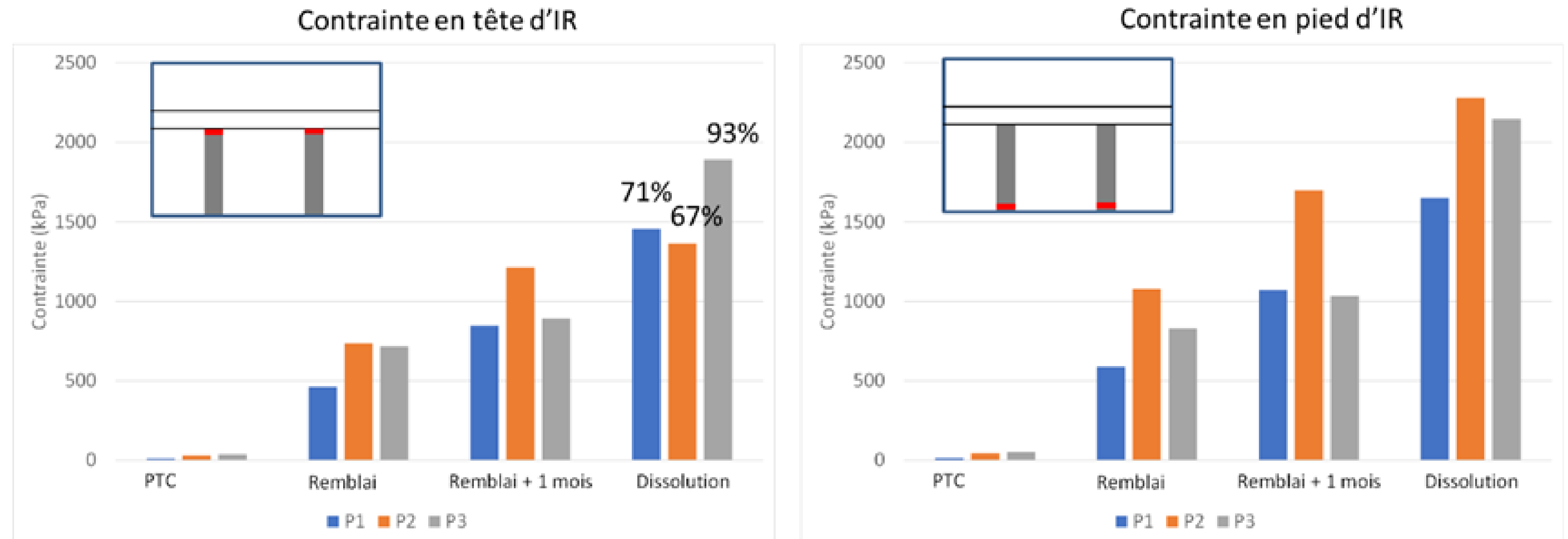
1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

Expérimentations (Thèse de Clara Terqueux) – Cerema de Rouen



1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

Transfert de charge vers les IR



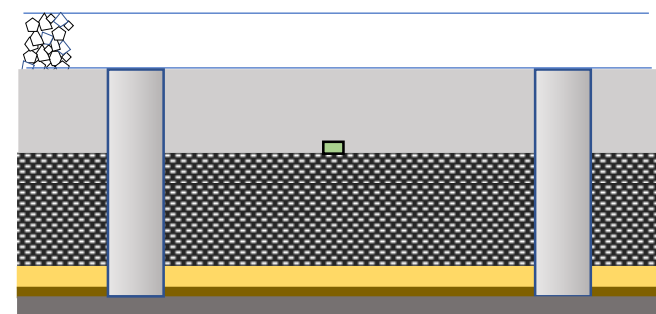
La plateforme non renforcée présente une bonne efficacité

L'élimination de la résistance du sol compressible entraîne un important transfert de charge vers les inclusions

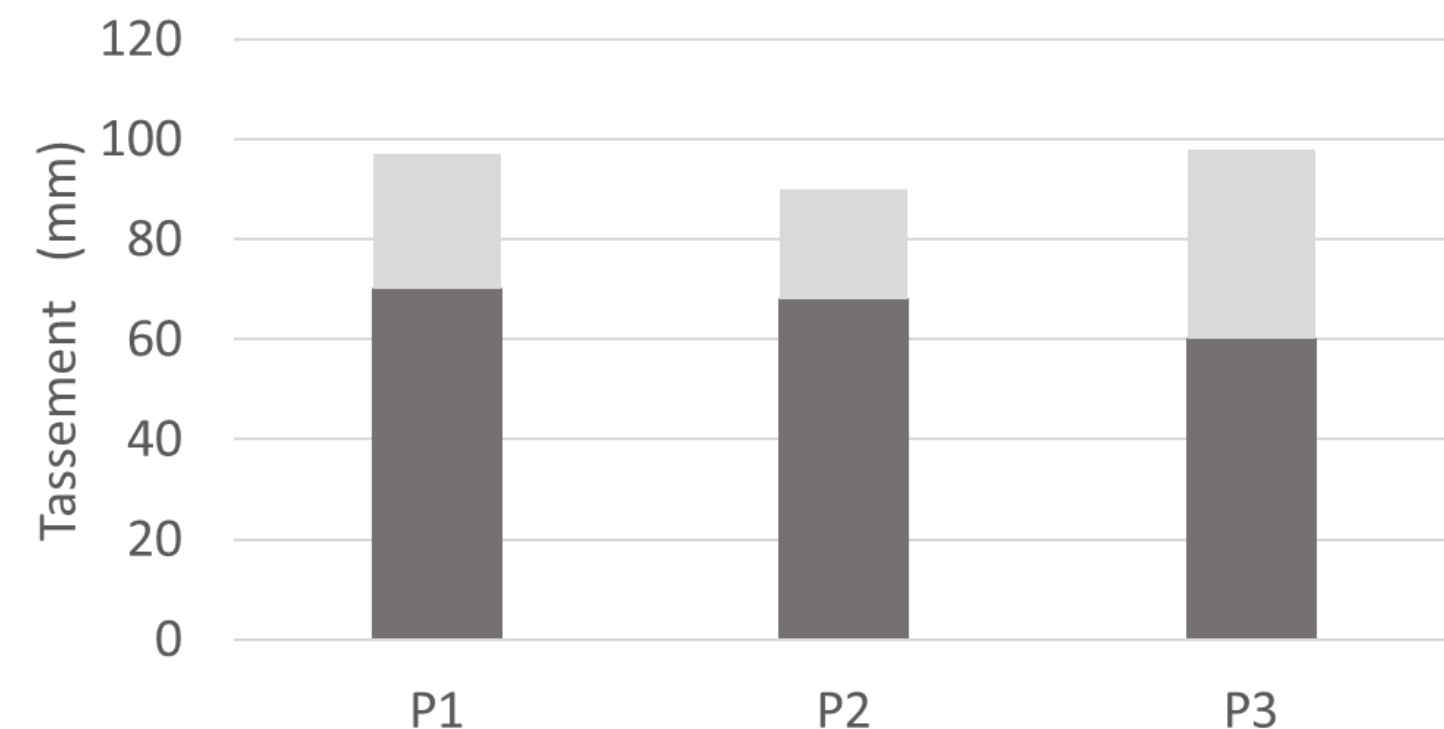
La présence des GSY améliore le transfert de charge vers les inclusions

1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

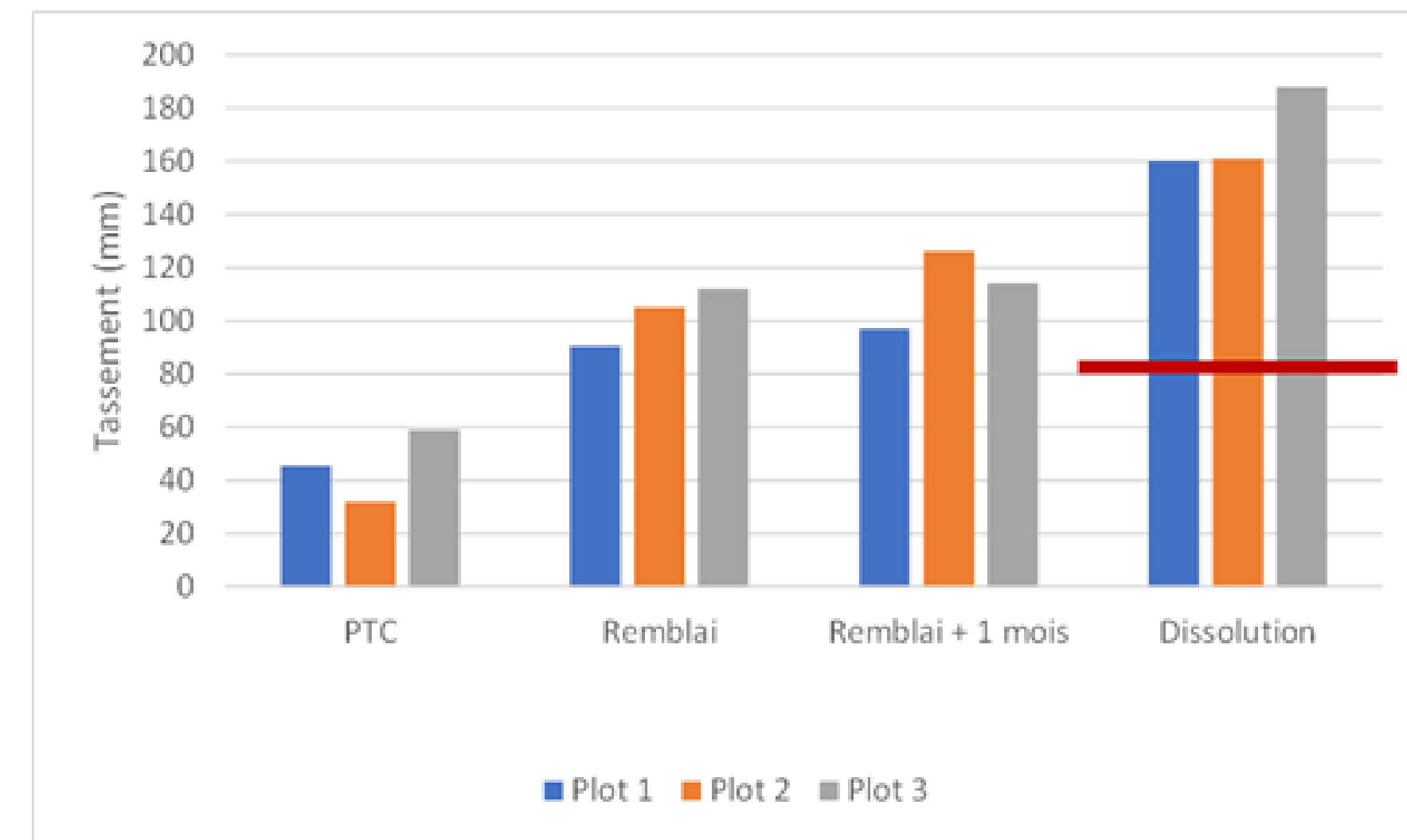
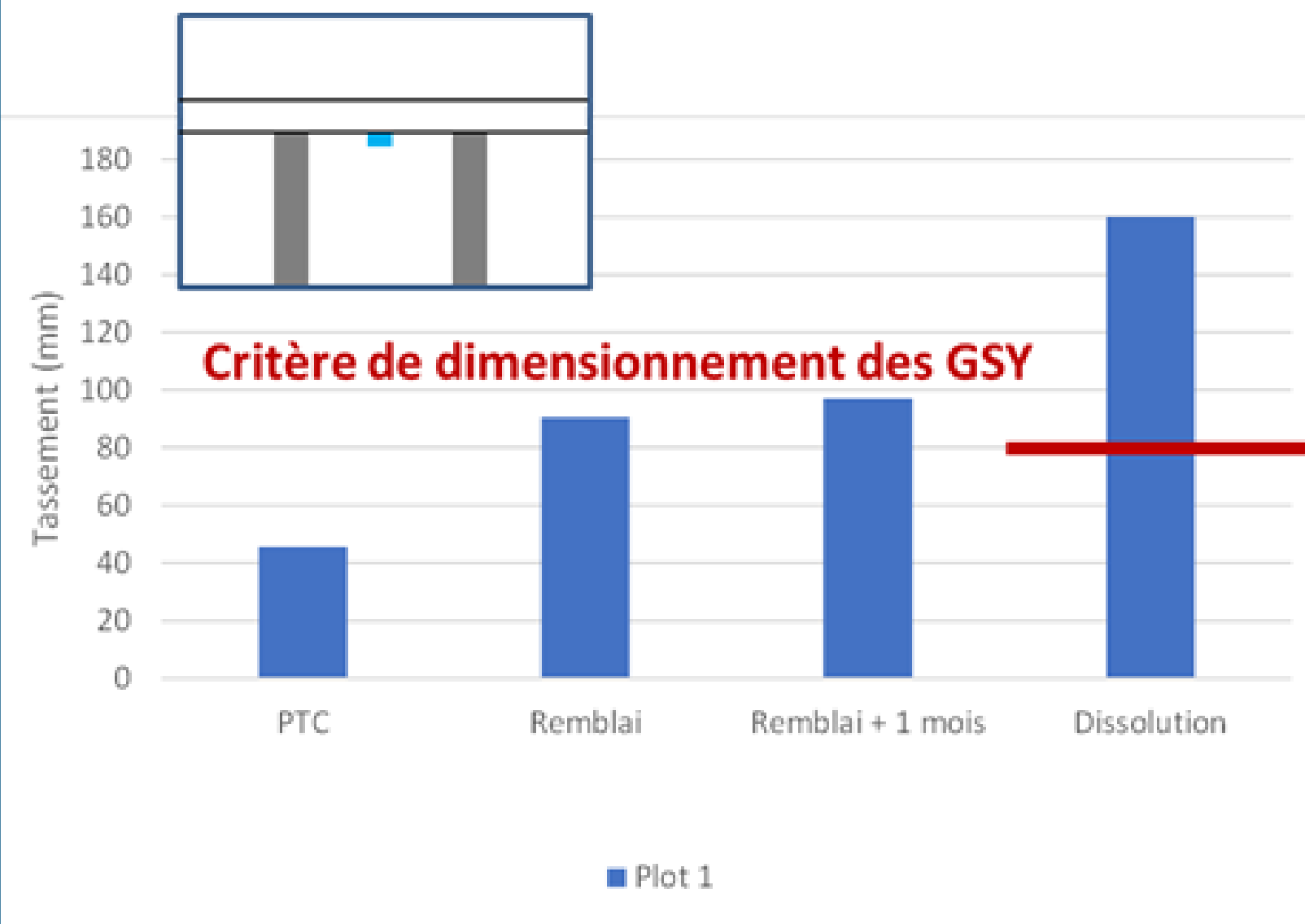
Tassement



MEO de la PTC



Conditions initiales identiques

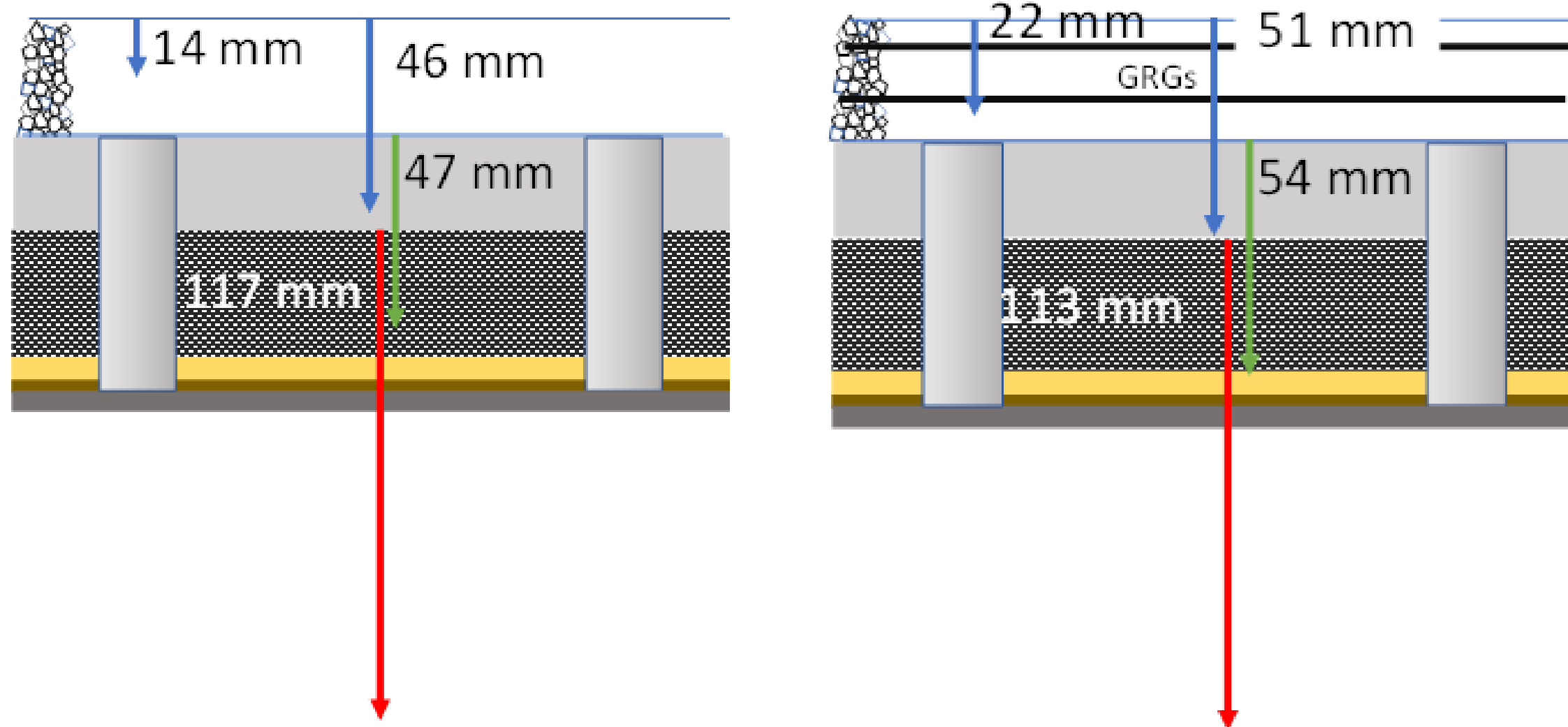


L'objectif de réduction de tassement n'a pas été atteint

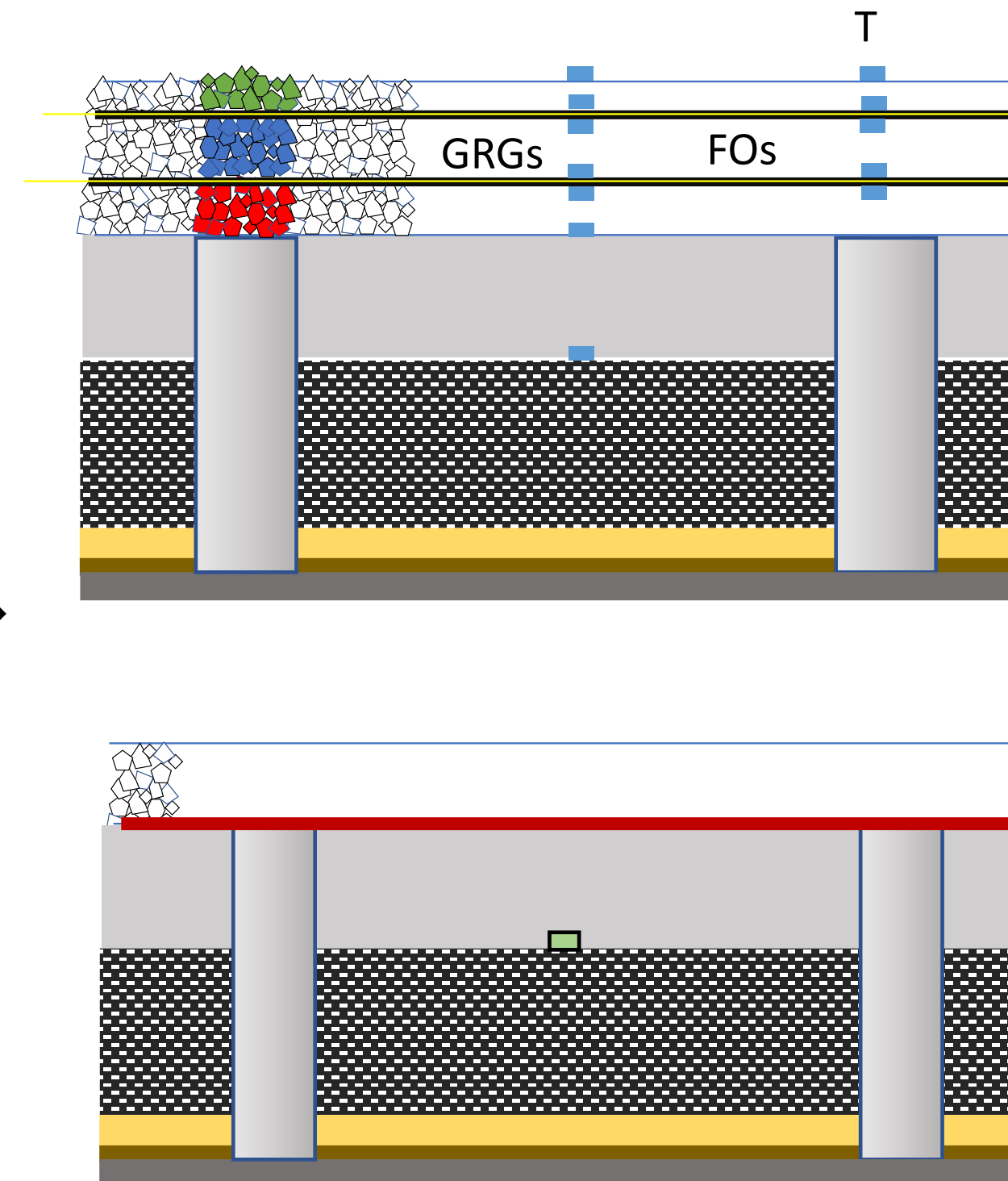
1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

Analyse

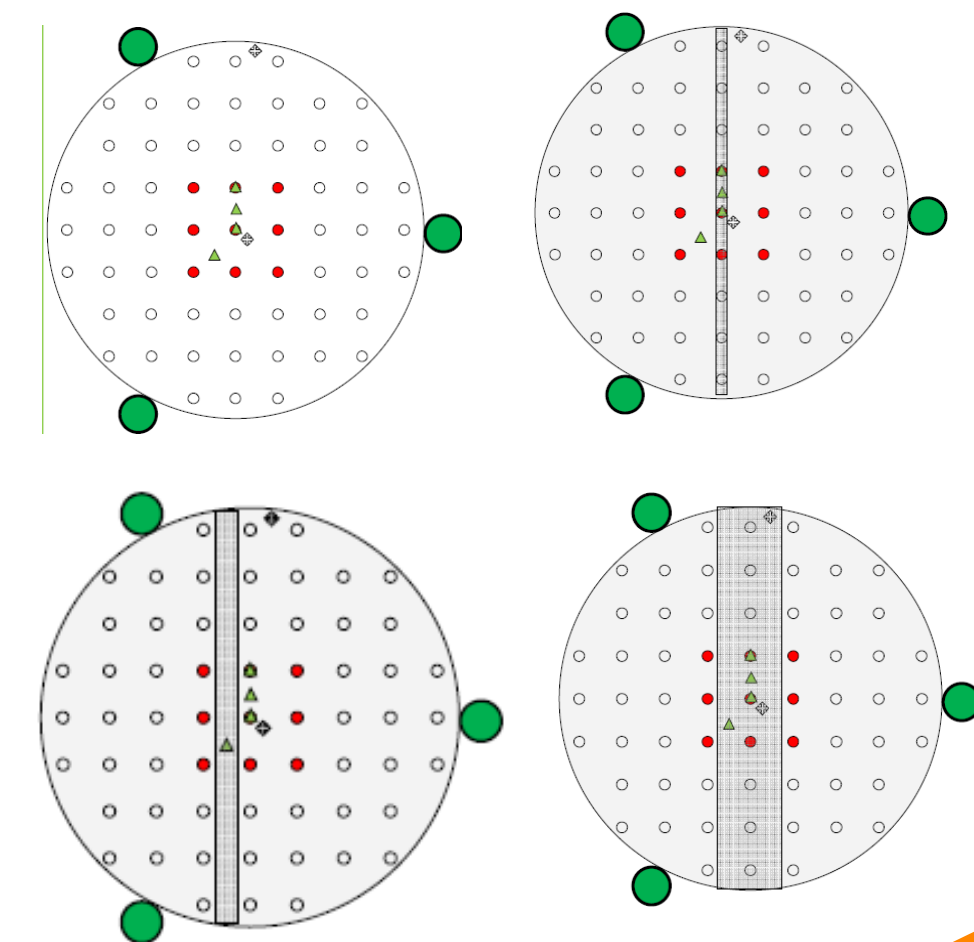
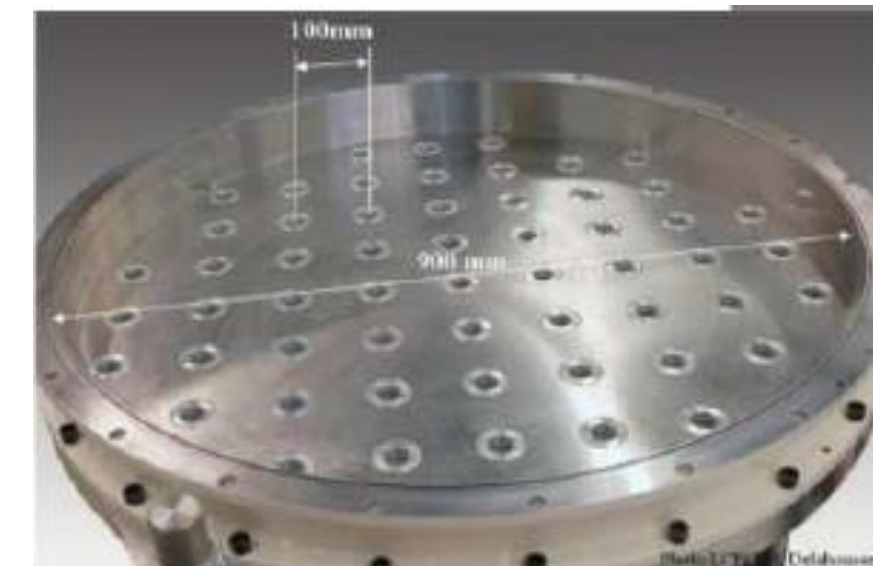
Poinçonnement de la PTC par les IR
Tassement identique au-dessous et au-dessus de la PTC
FO → Pas de mise en tension des GSY



Nouveaux essais

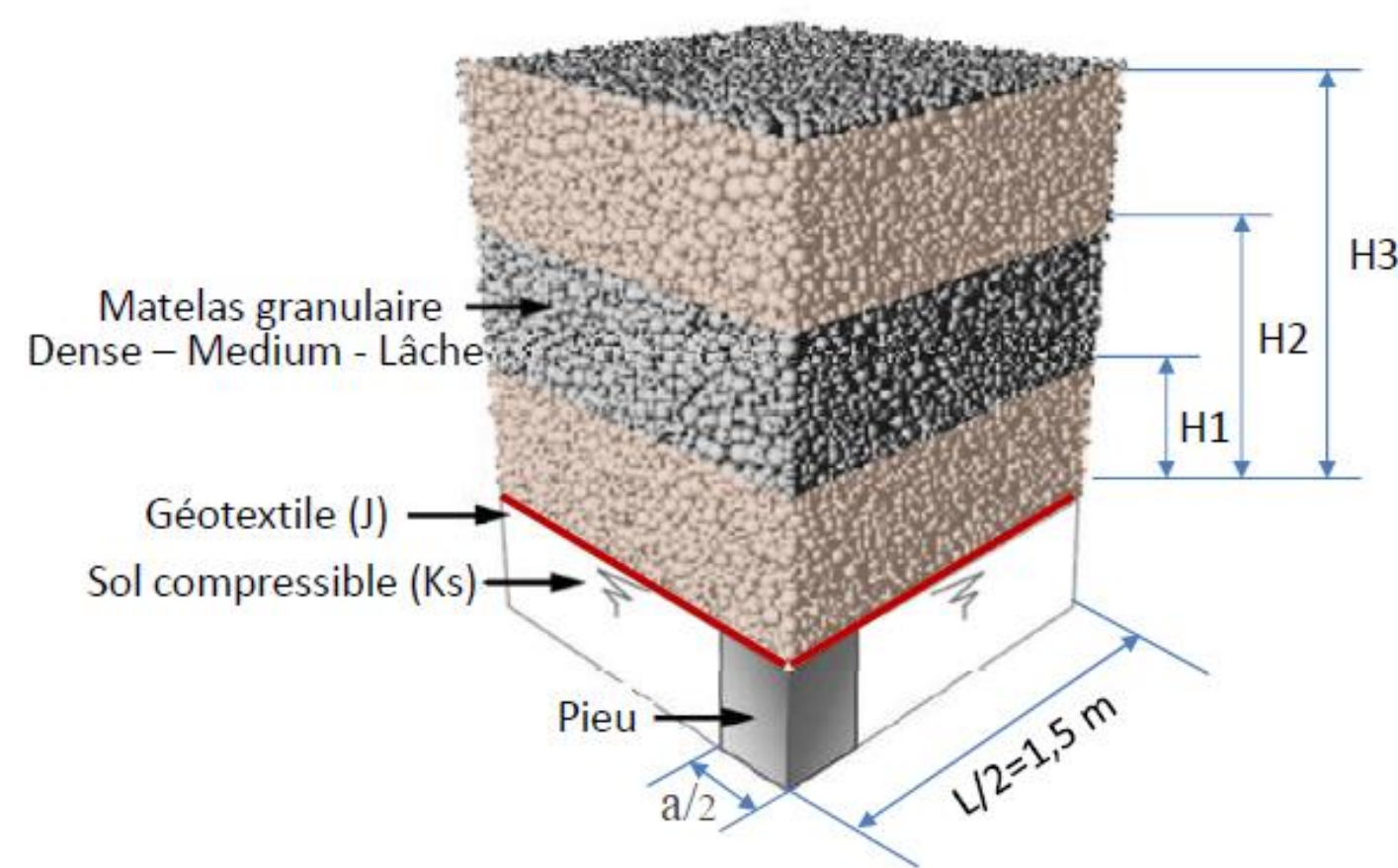


Essais à la centrif

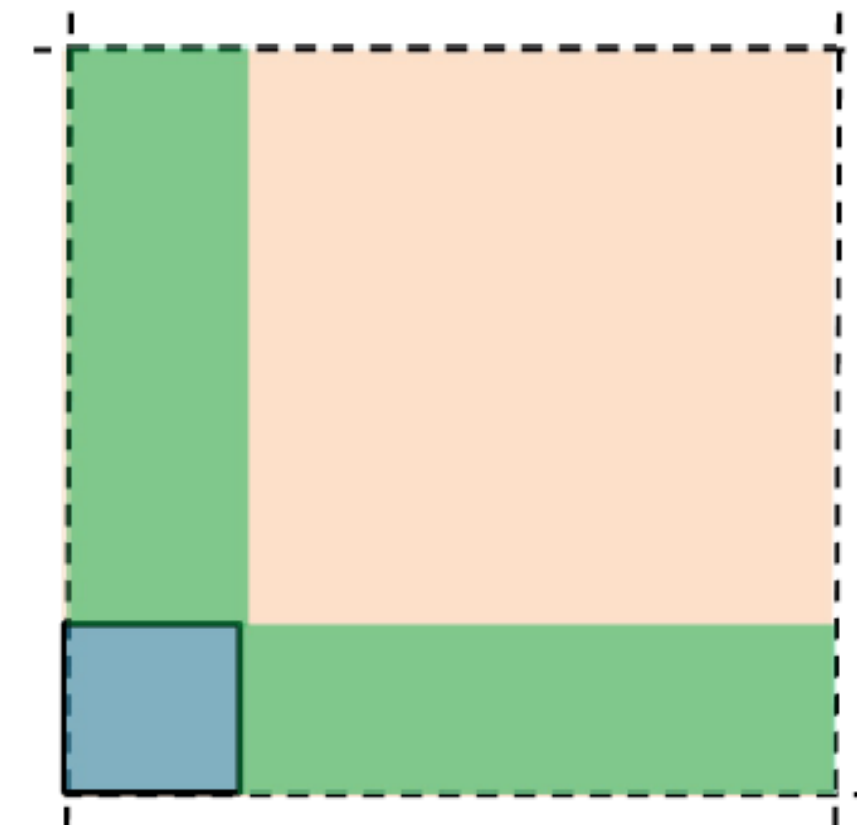
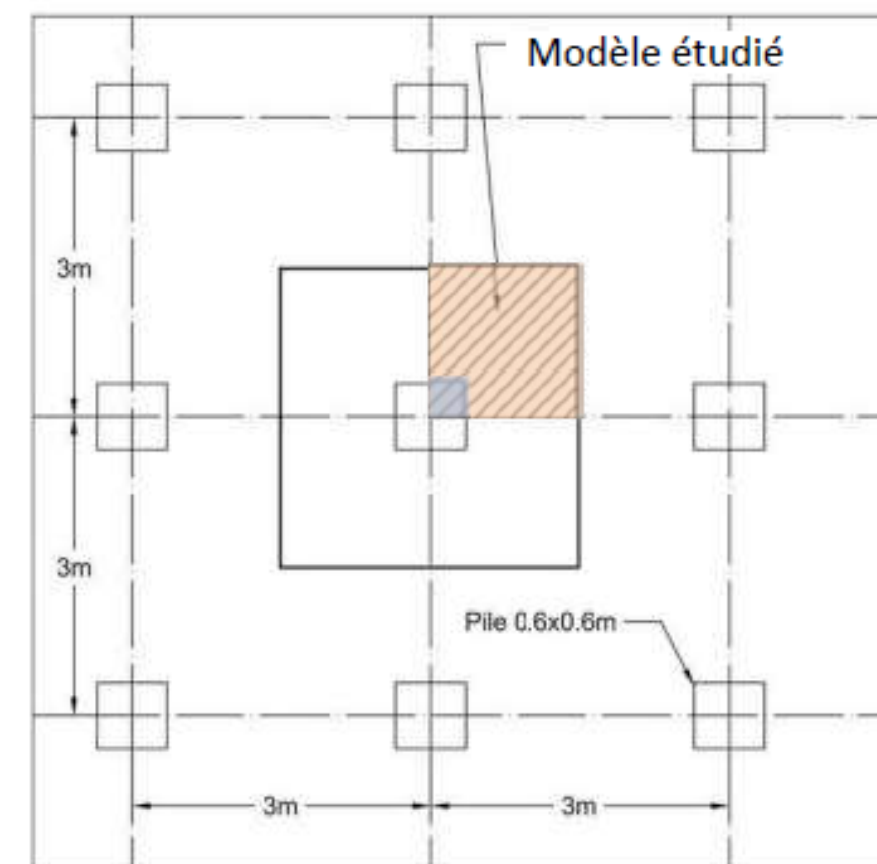


1. Les plateformes granulaires renforcées par GSY

Modélisation numérique (Post-Doc Marcus Moravia) – Pascal Villard (UGA)



MED



Entre 80 et 90 % de la charge appliquée sur le sol est reprise par les bandes inter-inclusions

La répartition des efforts sur ces bandes pouvaient être décrite par un polynôme de degré 3



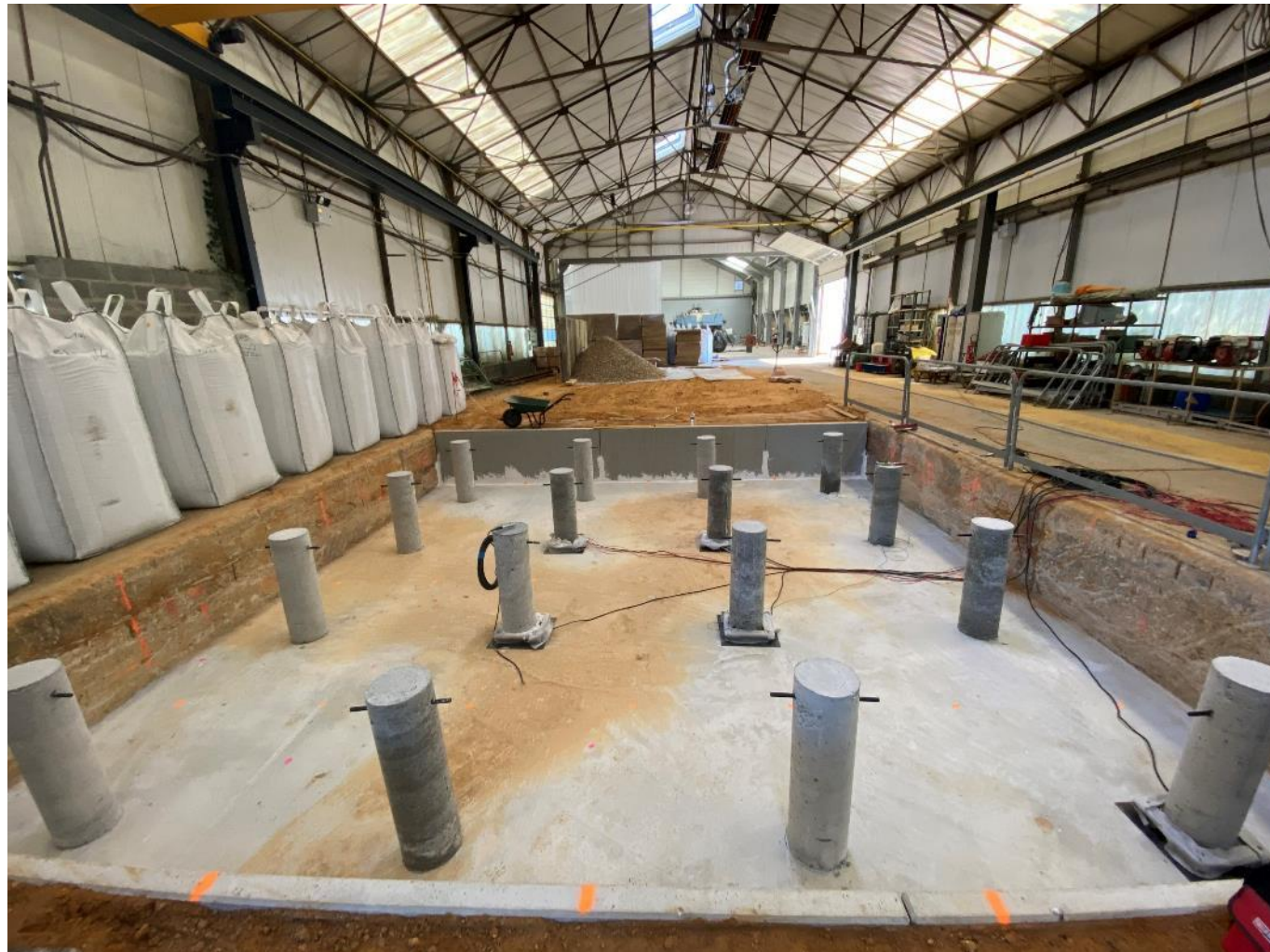
Proposition d'une procédure de dimensionnement

Les plateformes en sol traité

2. Les plateformes en sol traité

Thèse de Julien Mannah

F1 : Limon peu plastique



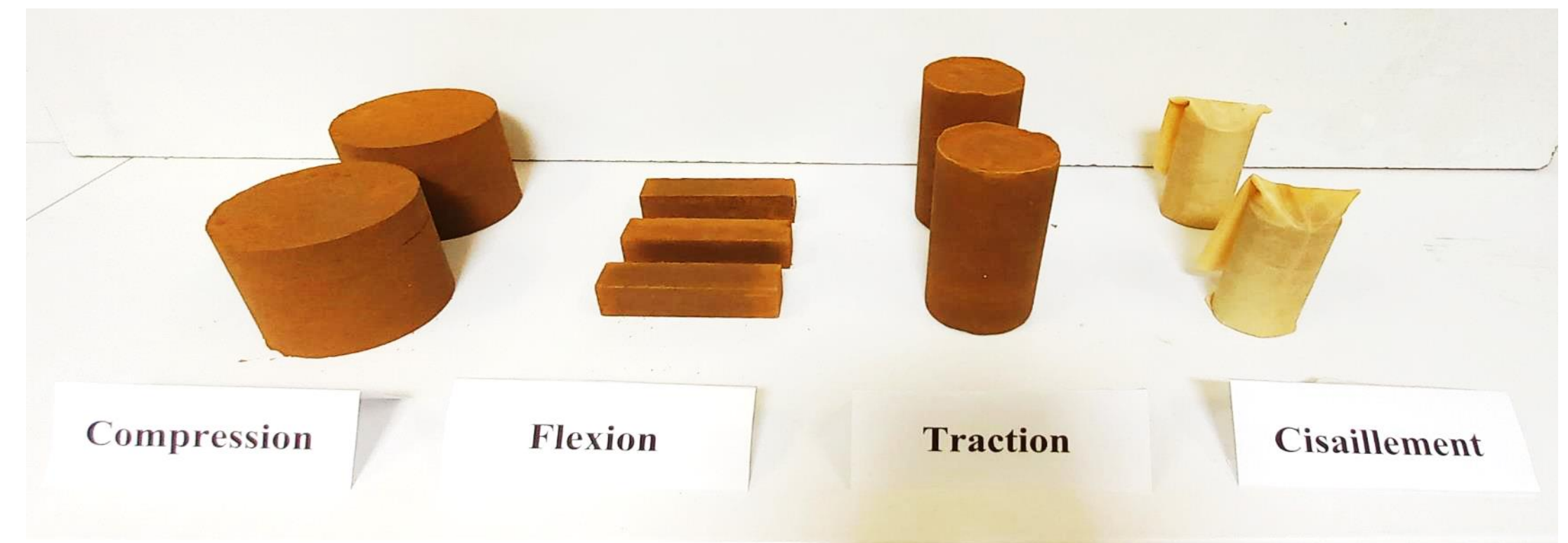
1. Essais d'Aptitude
2. Essai Proctor + confection des éprouvettes
3. Essais de résistance mécanique (7, 14, 21, 28, 90 jours)
 - Compression (1,9 MPa)
 - Flexion (0,95 MPa)
 - Traction (0,22 MPa)
 - Cisaillement (30°, 240 kPa)



Limon de Dieppe

1% Chaux vive
CL90-Q

4% Ciment
CEM II 32.5



Compression

Flexion

Traction

Cisaillement

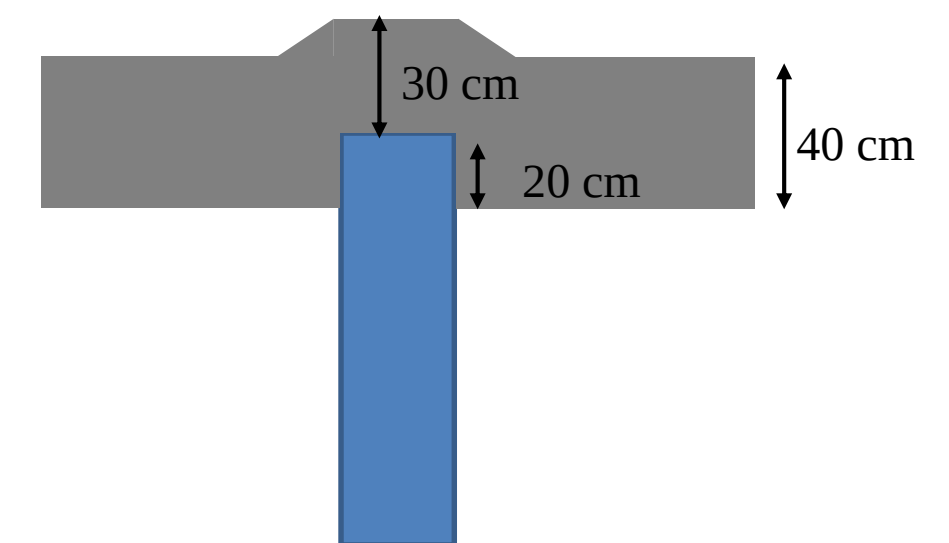
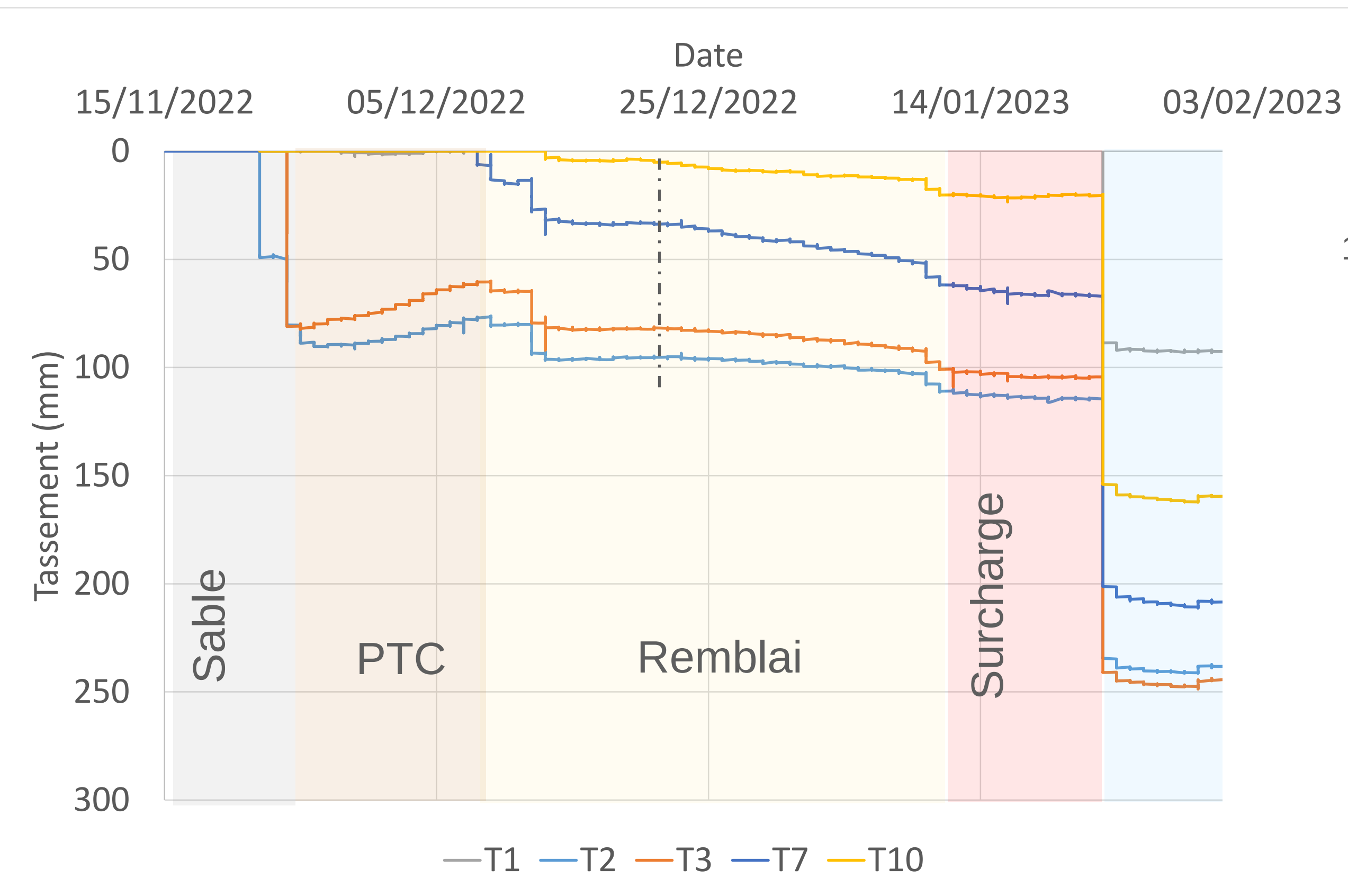
2. Les plateformes en sol traité

Mise en place du plot d'essai



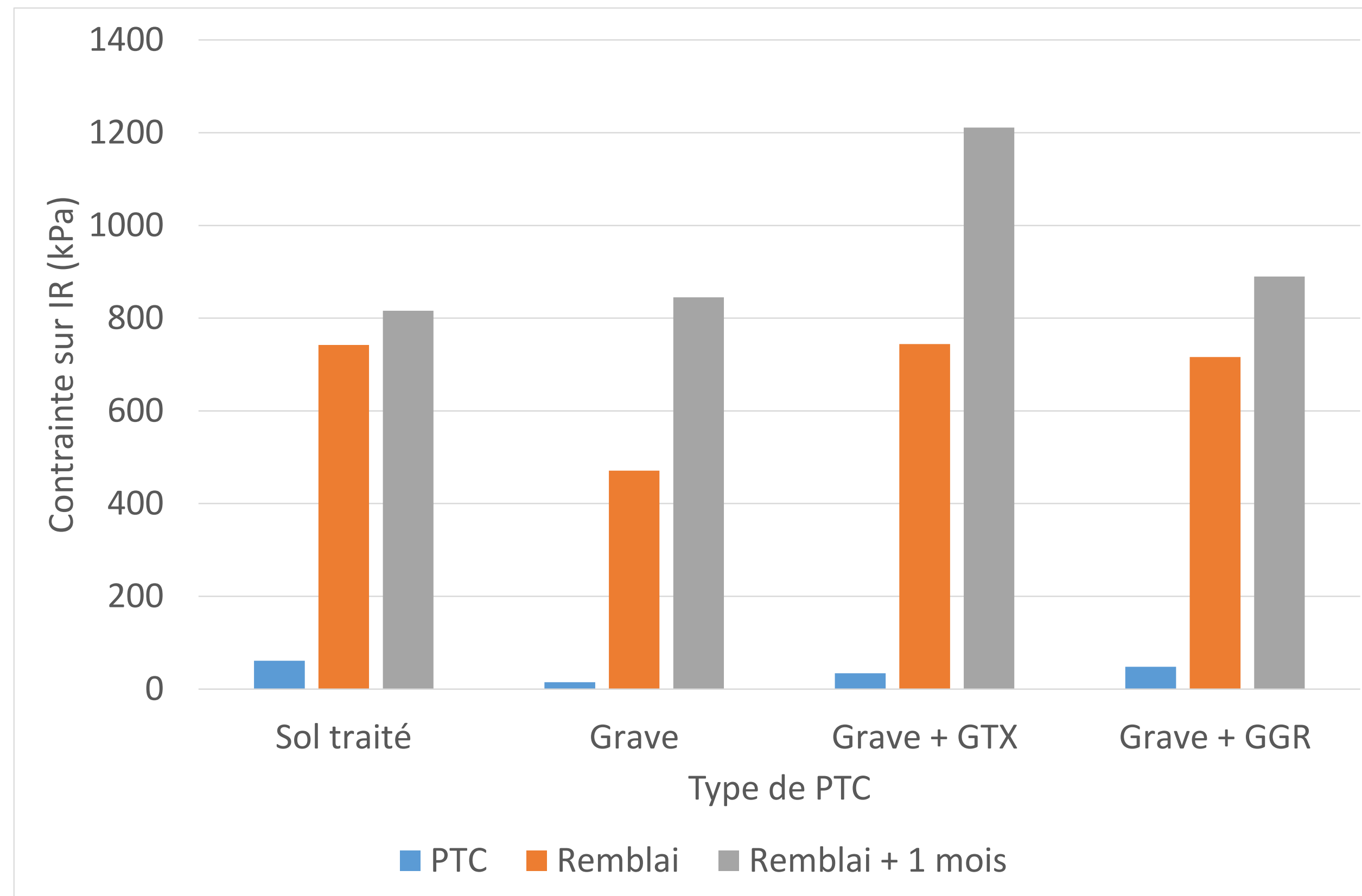
2. Les plateformes en sol traité

Tassement



2. Les plateformes en sol traité

Transfert de charge



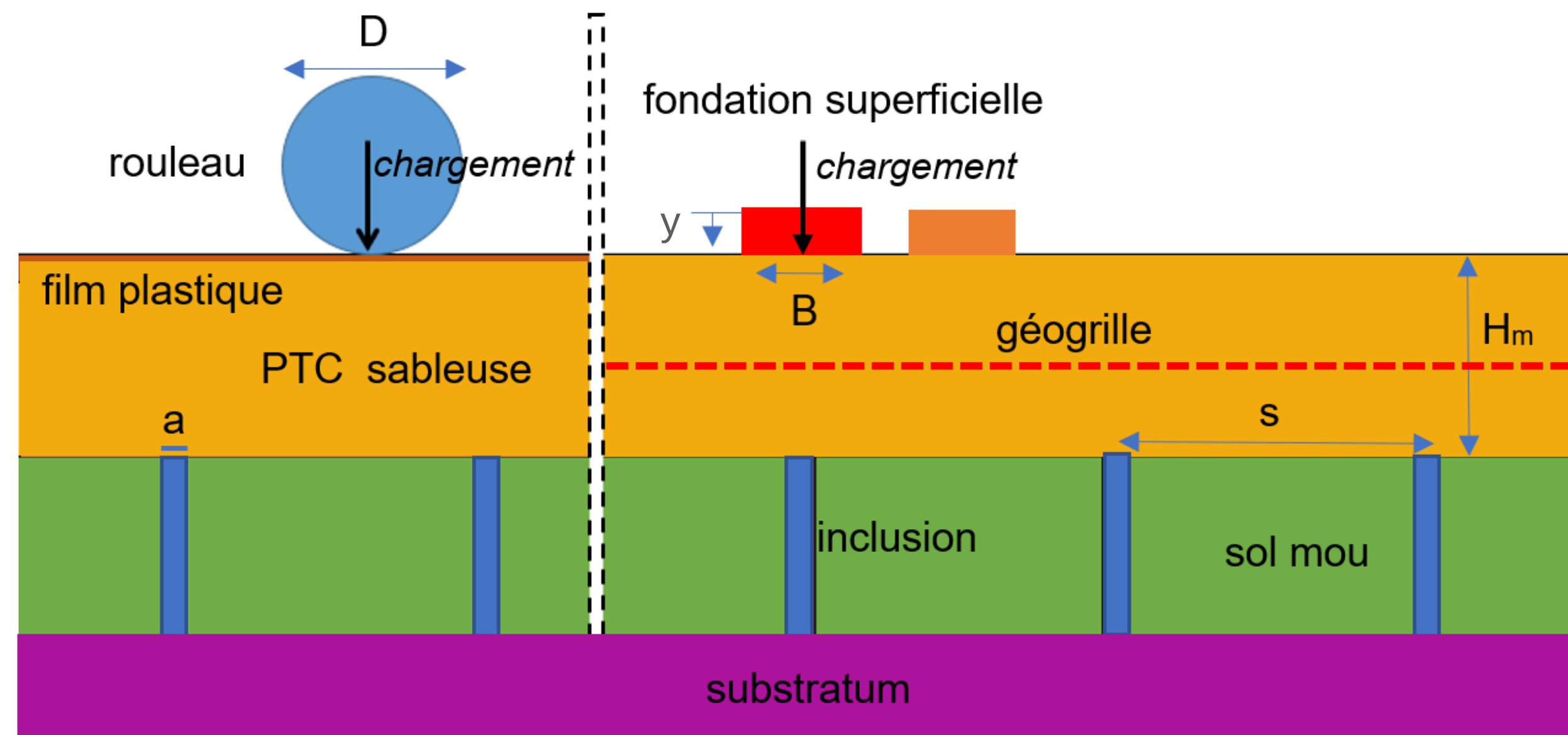
Calibration modèle numérique

Détermination des paramètres requis
➔ Définition des essais à retenir

Evaluation des solutions pour limiter le poinçonnement

Comportement sous sollicitations de circulation

3. Comportement sous sollicitations de circulation



$$H_m = 4/40 \text{ cm}$$

$$D = 6/60 \text{ cm}$$

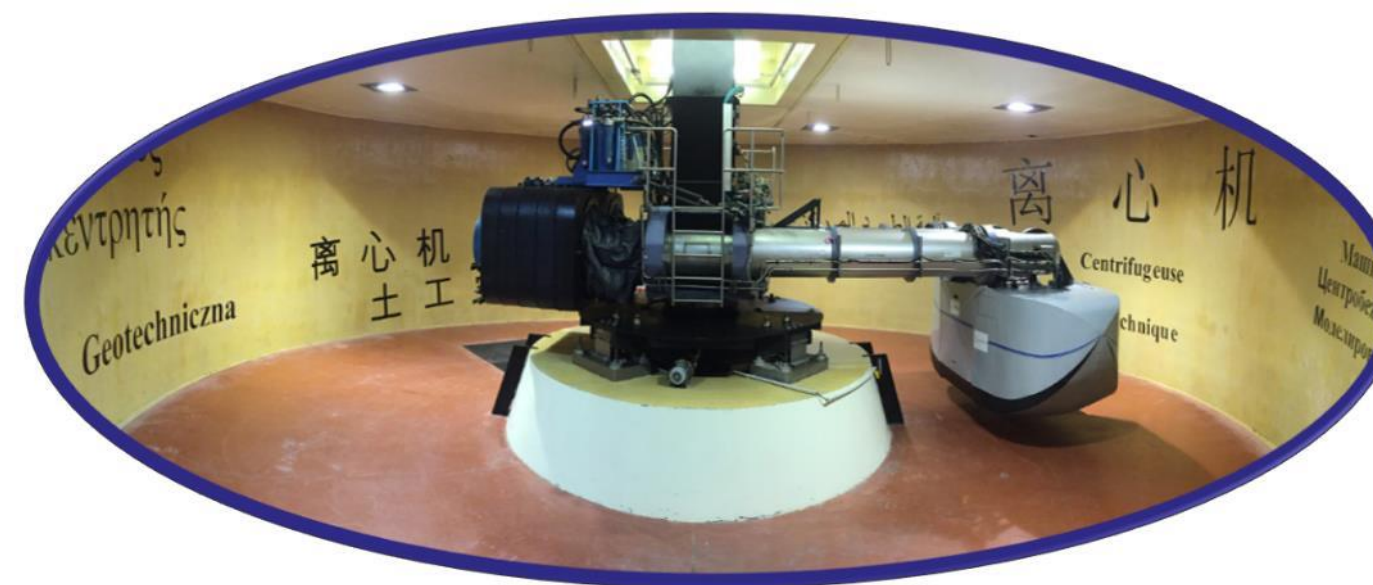
$$s = 10/100 \text{ cm}$$

$$a = 1/10 \text{ cm}$$

(Modèle/Prototype)

$$H_m = 4/40 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad 6/60 \text{ cm}$$

$$B = 3/30 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad 6/60 \text{ cm}$$



Modèle bidimensionnel en centrifugeuse

- Échelle : 1/10^{ème} ; Accélération : 10×g
- PTC en sable
- sol mou (polystyrène, E = 1 MPa)
- inclusions métalliques encastrées : $\alpha = 10\%$
- Fondation superficielle ou Rouleau
- Géogrille ($J_{\text{prototype}} = 10 \text{ MN/ml}$)

Sol mou en comportement élastique (non drainé)

Trafic à double sens, trafic en sens unique

Sans ou avec couche de roulement (chaussée)

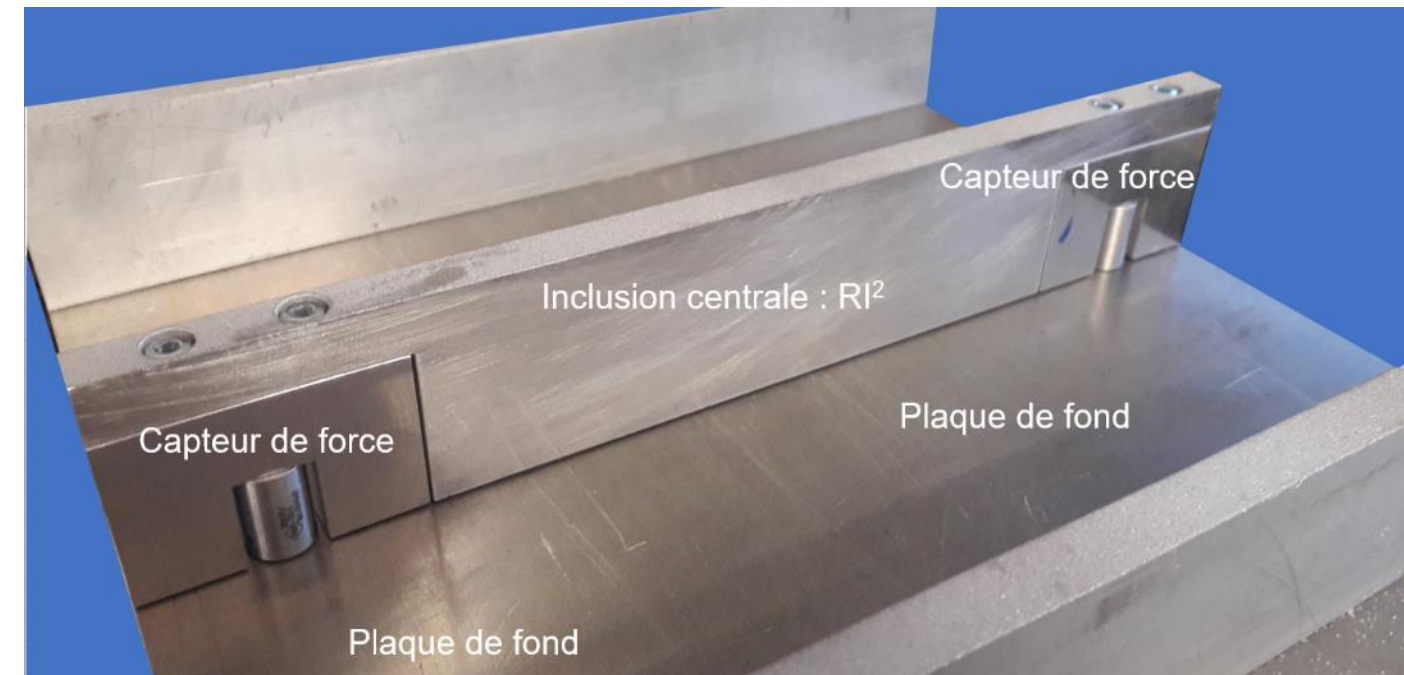
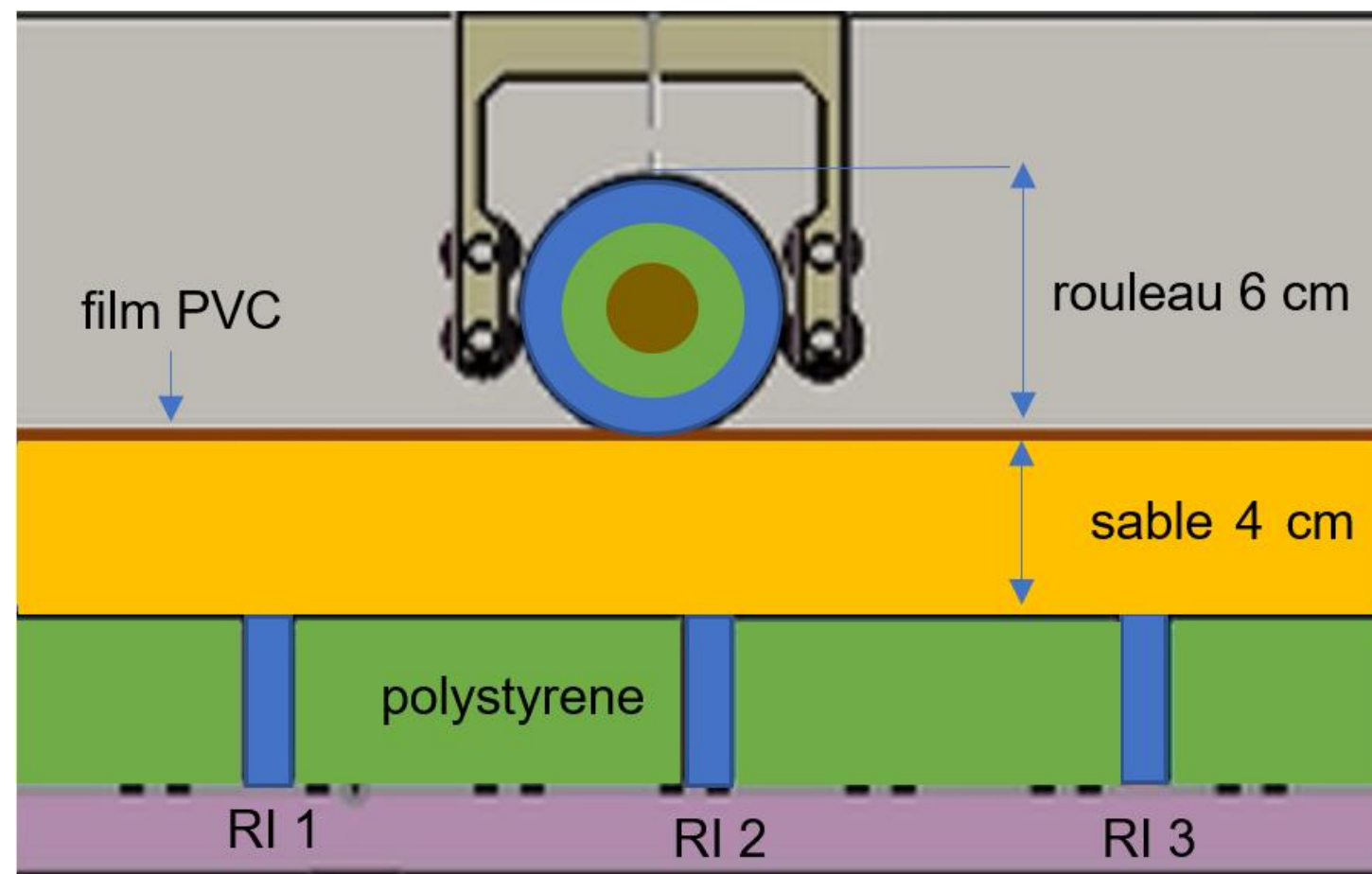
Règles :

$$F_{\text{prototype}} = 100 \times F_{\text{modèle}}$$

$$D_{\text{prototype}} = 10 \times D_{\text{modèle}}$$

$$\sigma_{\text{prototype}} = 1 \times \sigma_{\text{modèle}}$$

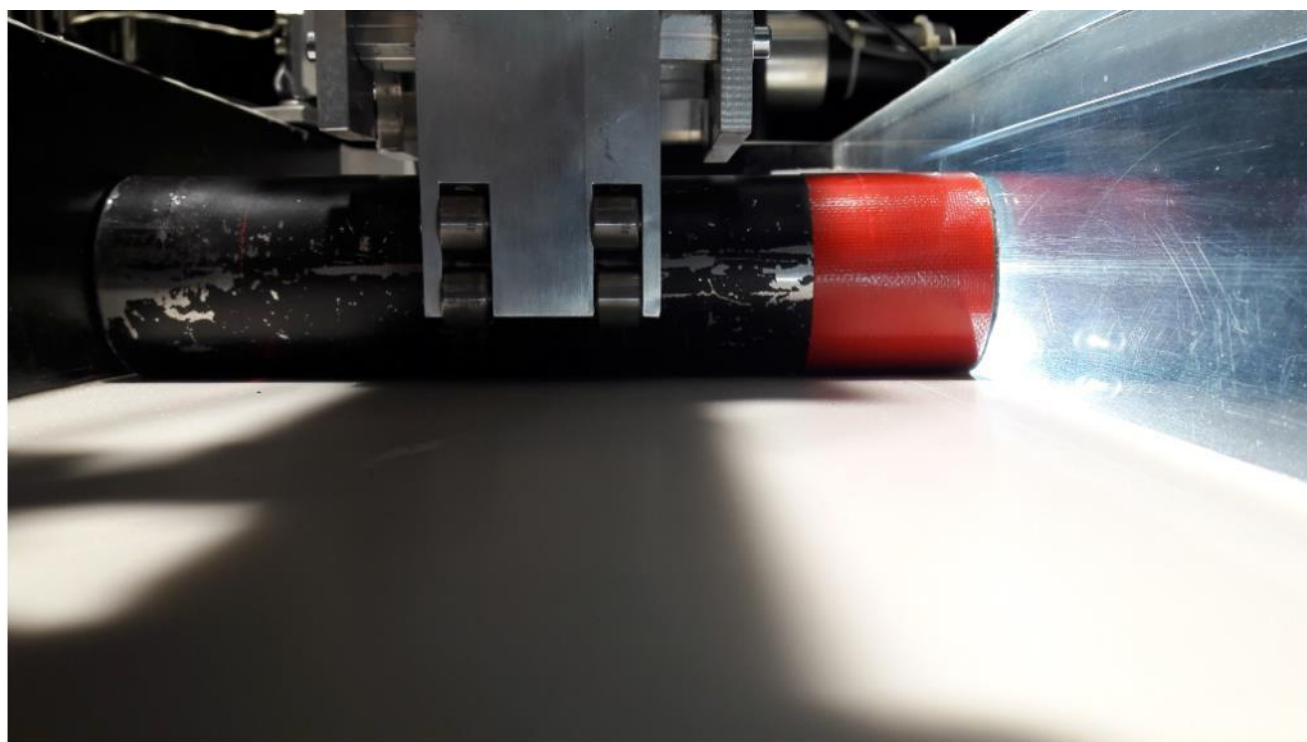
3. Comportement sous sollicitations de circulation



Instrumentation des IR

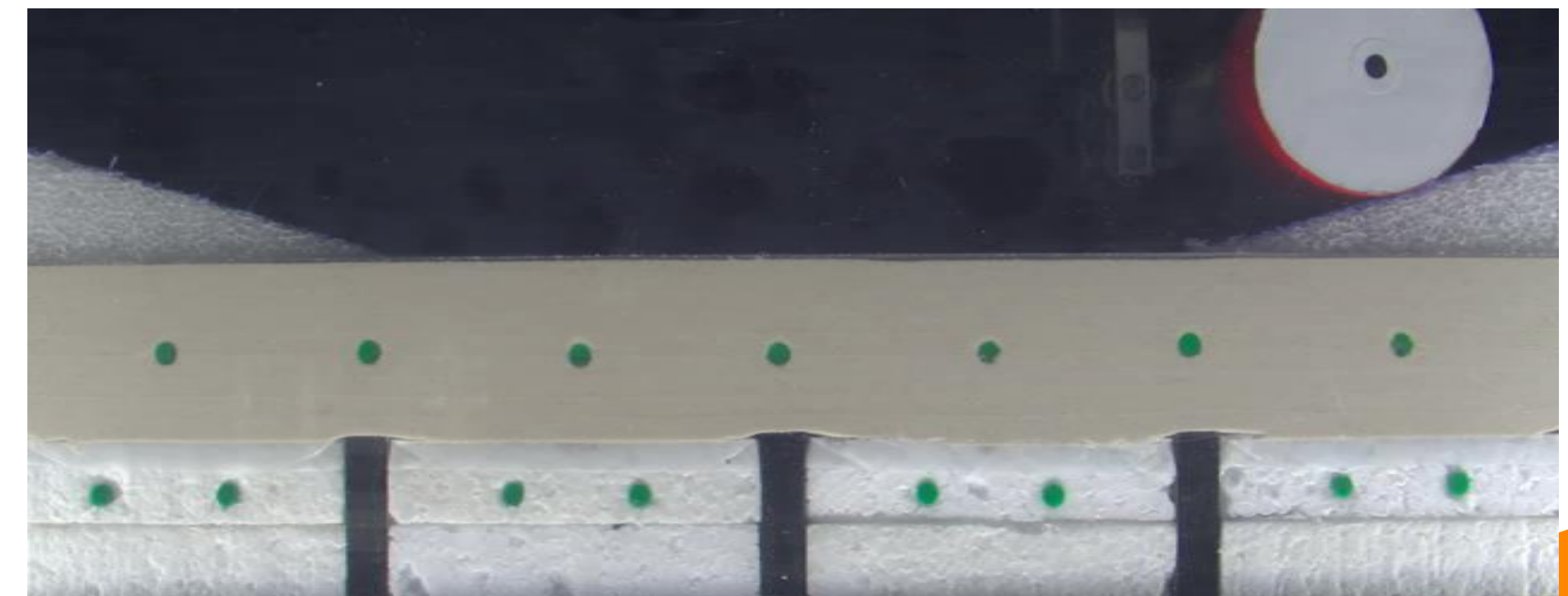


tapis tactile



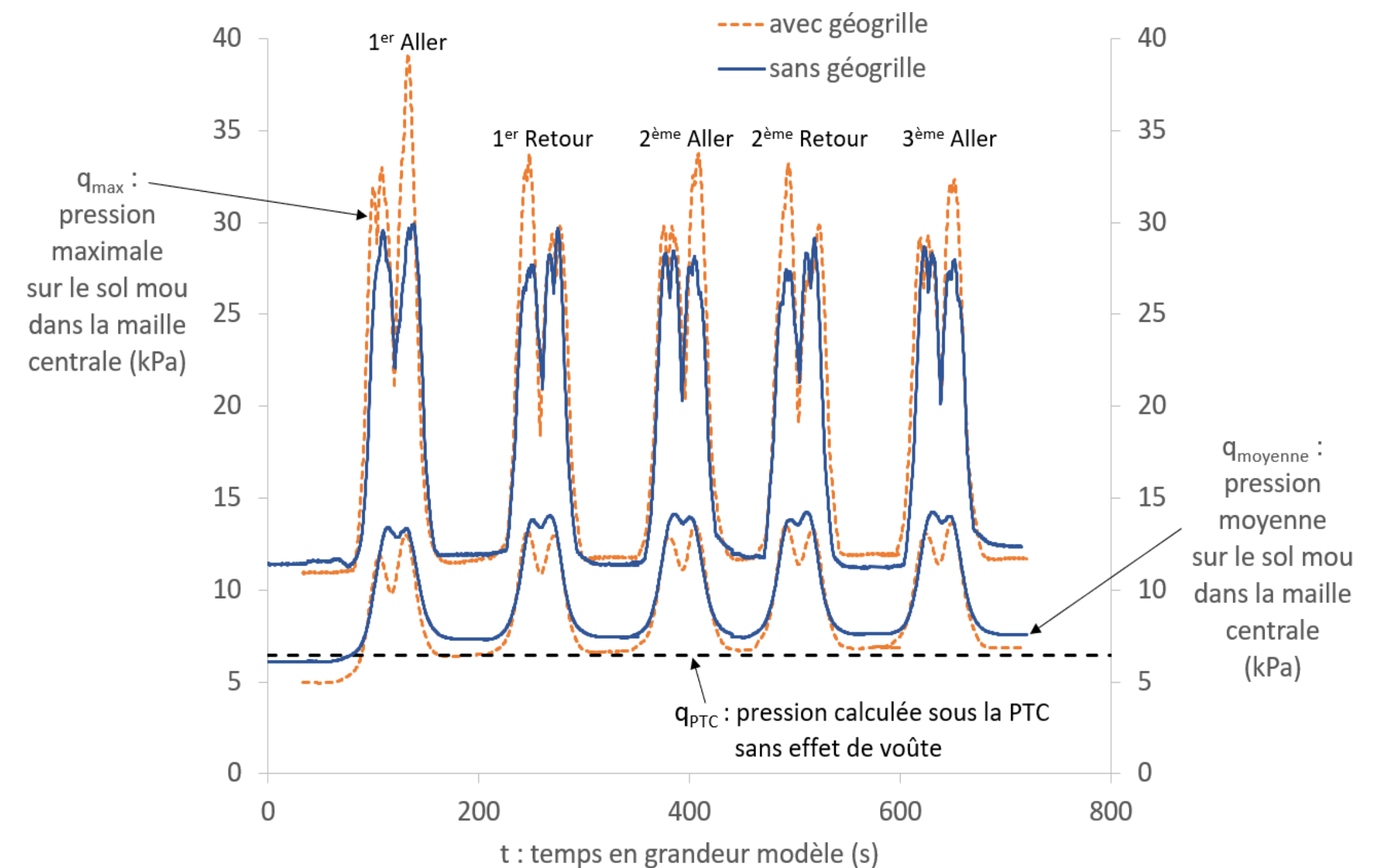
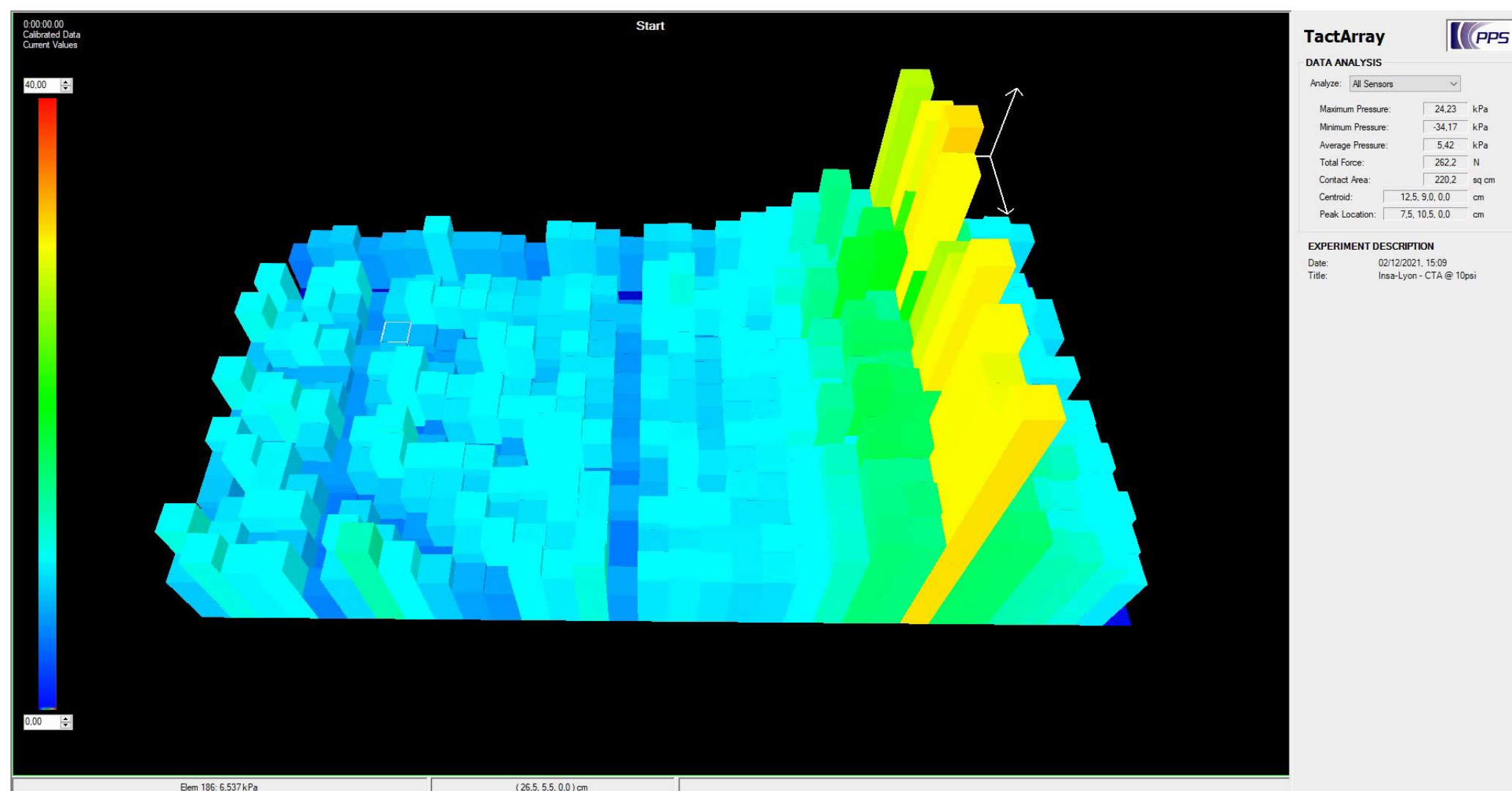
Vue de côté
dans le
conteneur

Vue de
face
devant
la vitre



3. Comportement sous sollicitations de circulation

Répartition des contraintes verticales au-dessus des têtes d'inclusions rigides et du polystyrène



Évolution de la pression au-dessus du « sol mou » de part et d'autre de l'IR centrale au fil des allers-retours, avec géogrid ou sans géogrid.

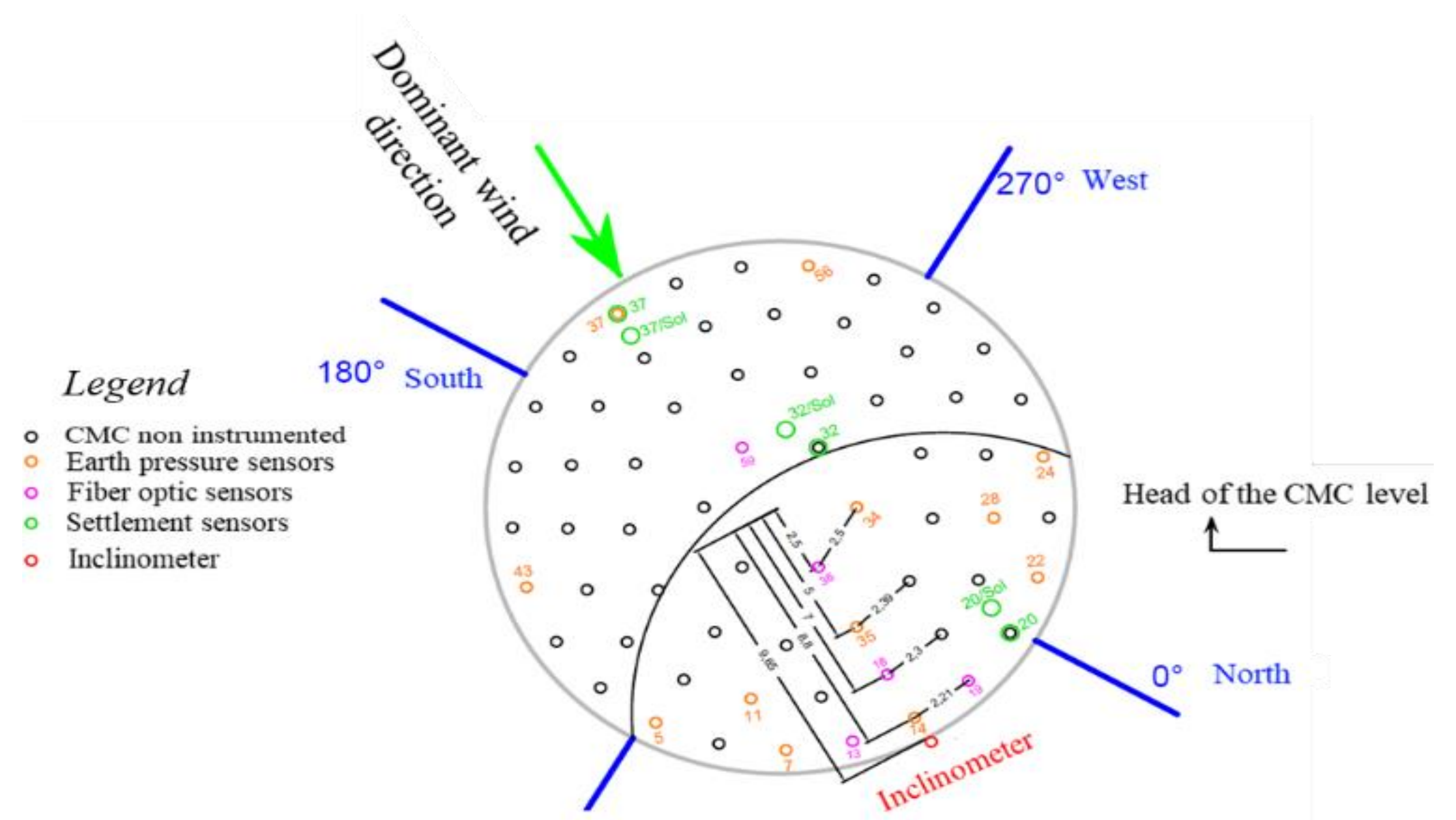
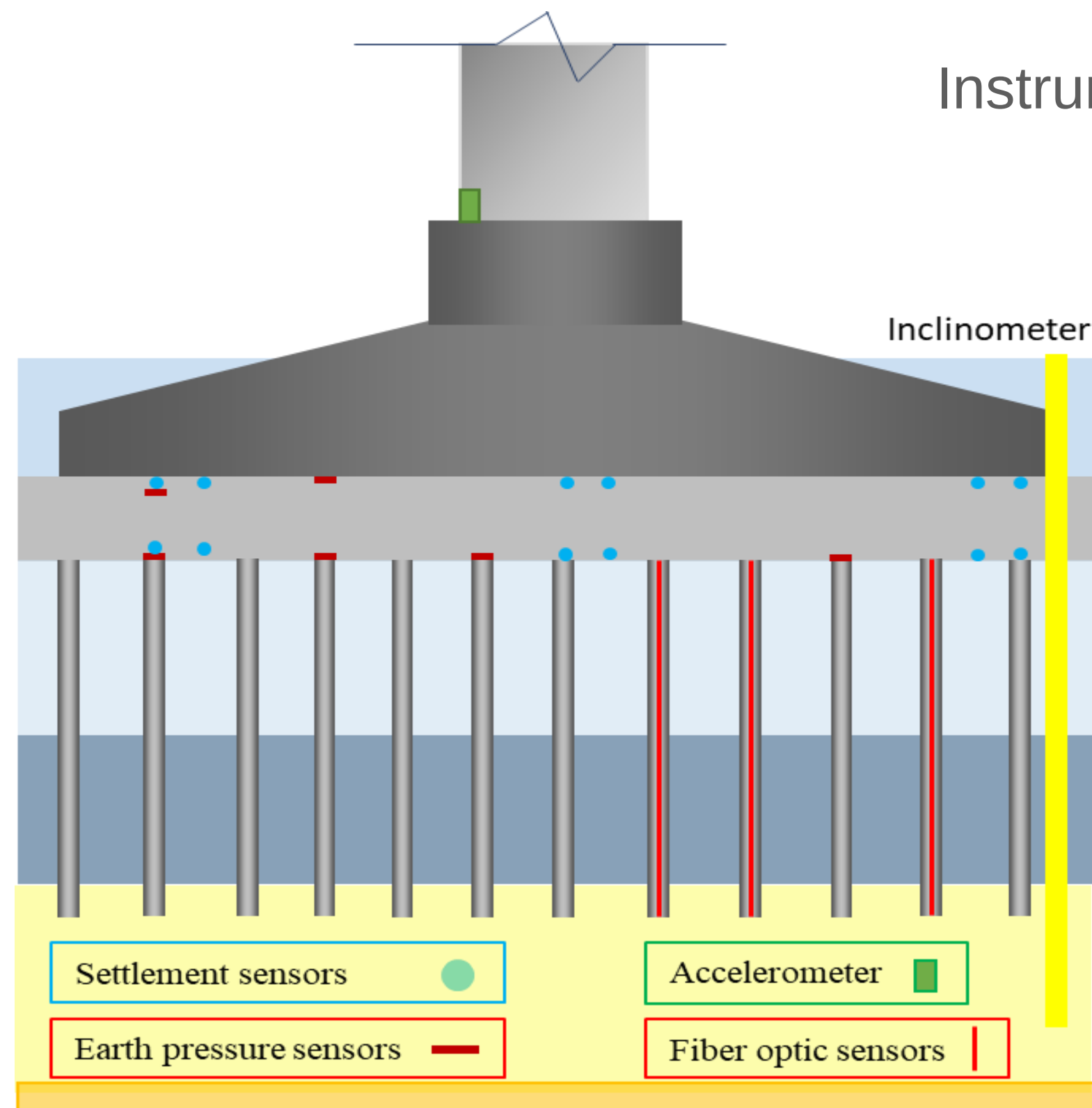
En dimension modèle

Comportement sous sollicitations cycliques

4. Comportement sous sollicitations cycliques

Thèse d'Adnan Sahyouni (FEDRE)

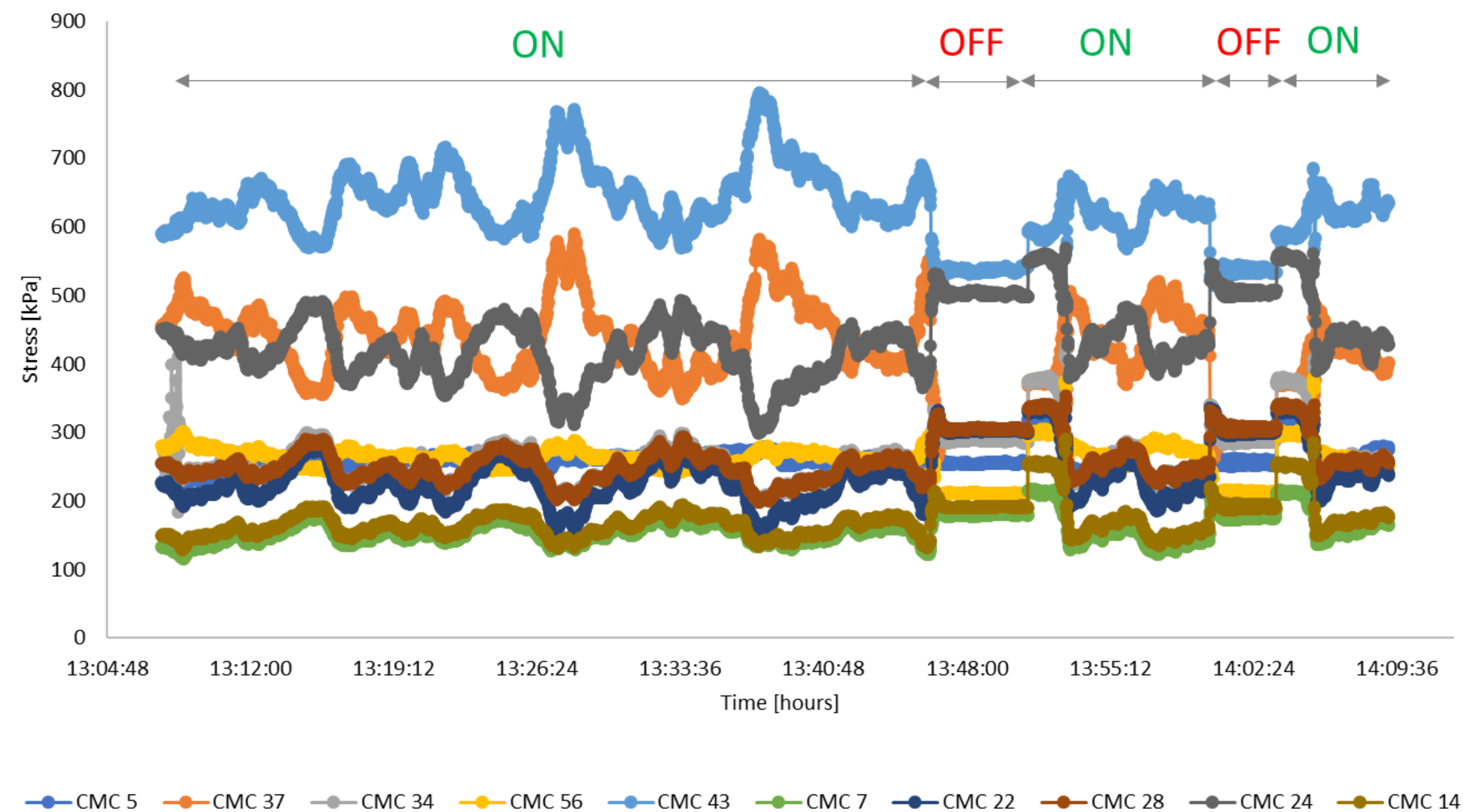
Instrumentation du renforcement de sol sous une éolienne



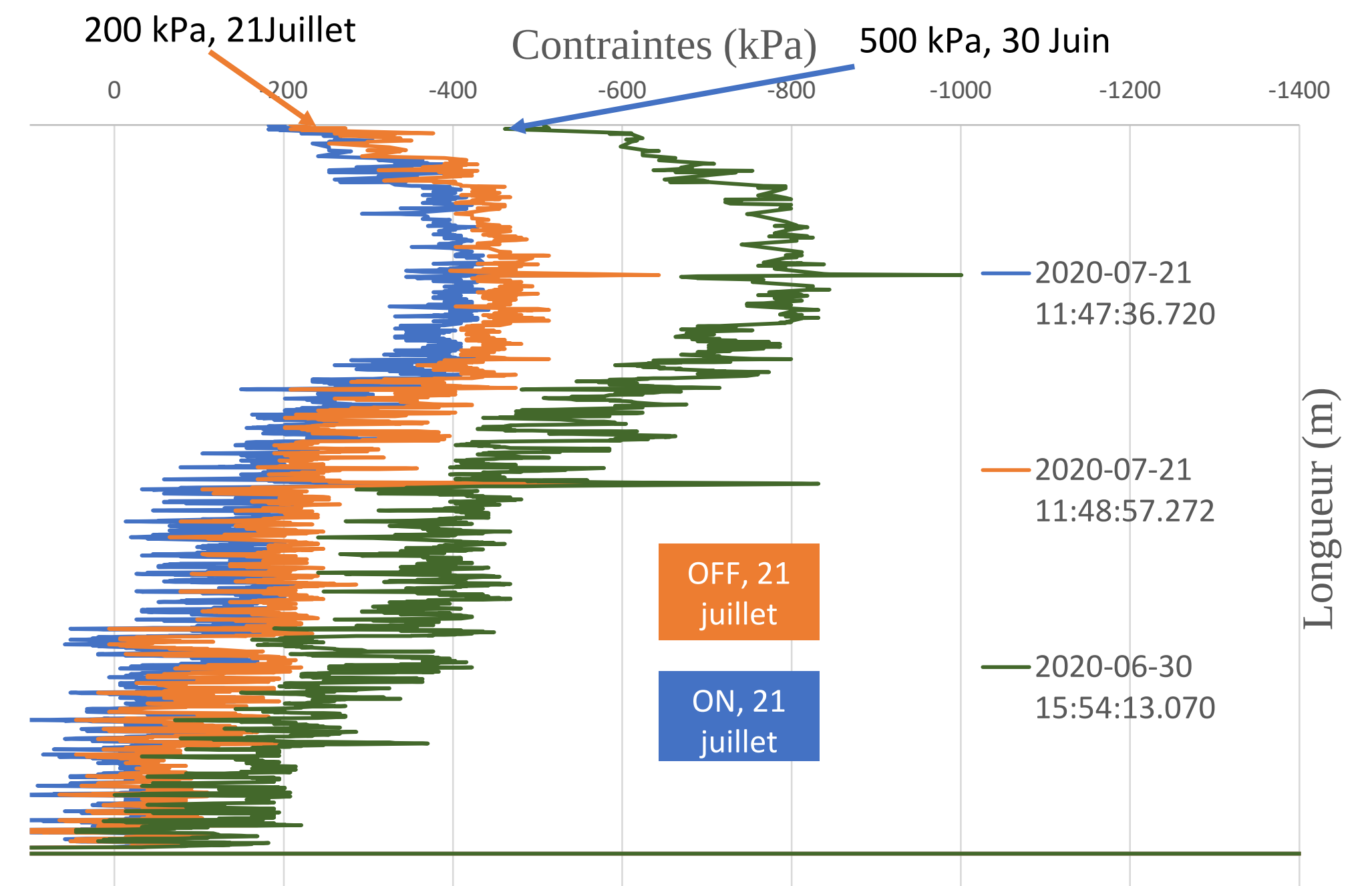
4. Comportement sous sollicitations cycliques

Thèse d'Adnan Sahyouni (FEDRE)

Mesure de la contrainte sur les IR



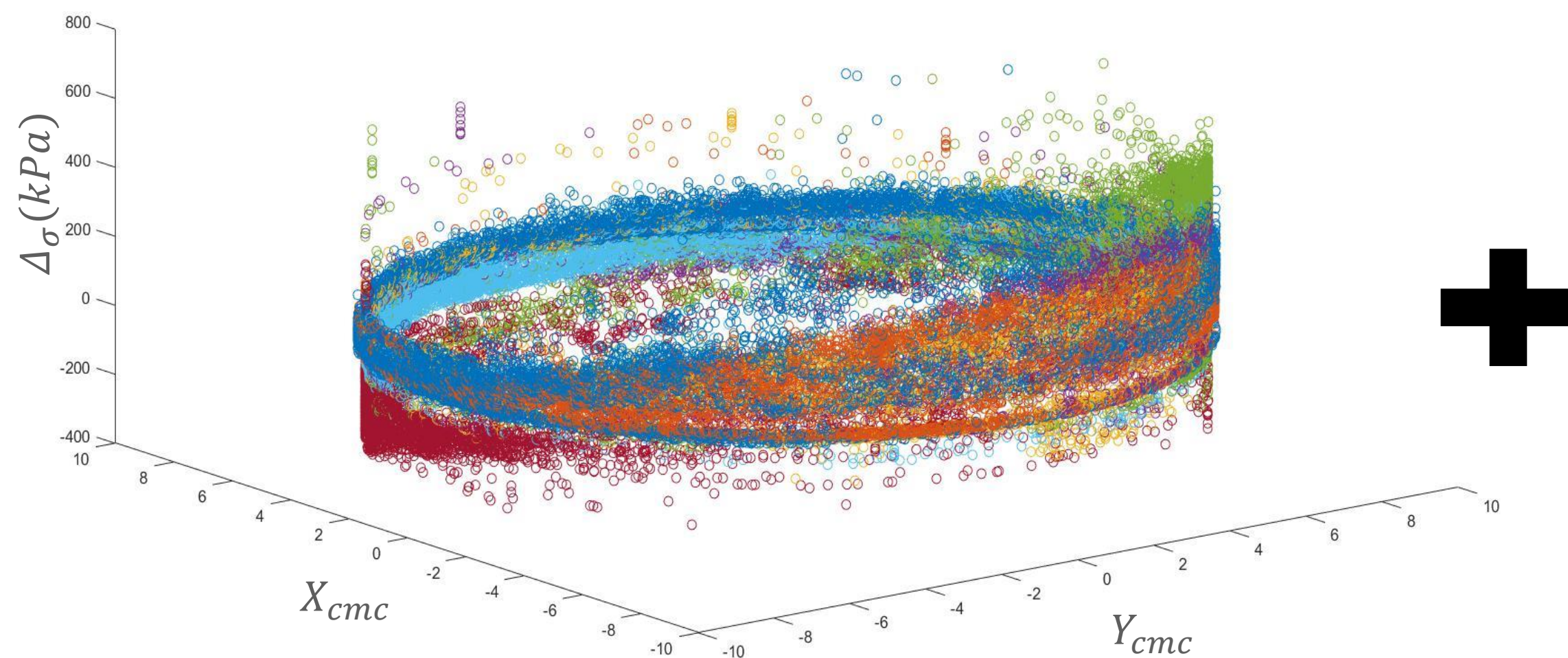
Mesure de la déformation dans les IR



4. Comportement sous sollicitations cycliques

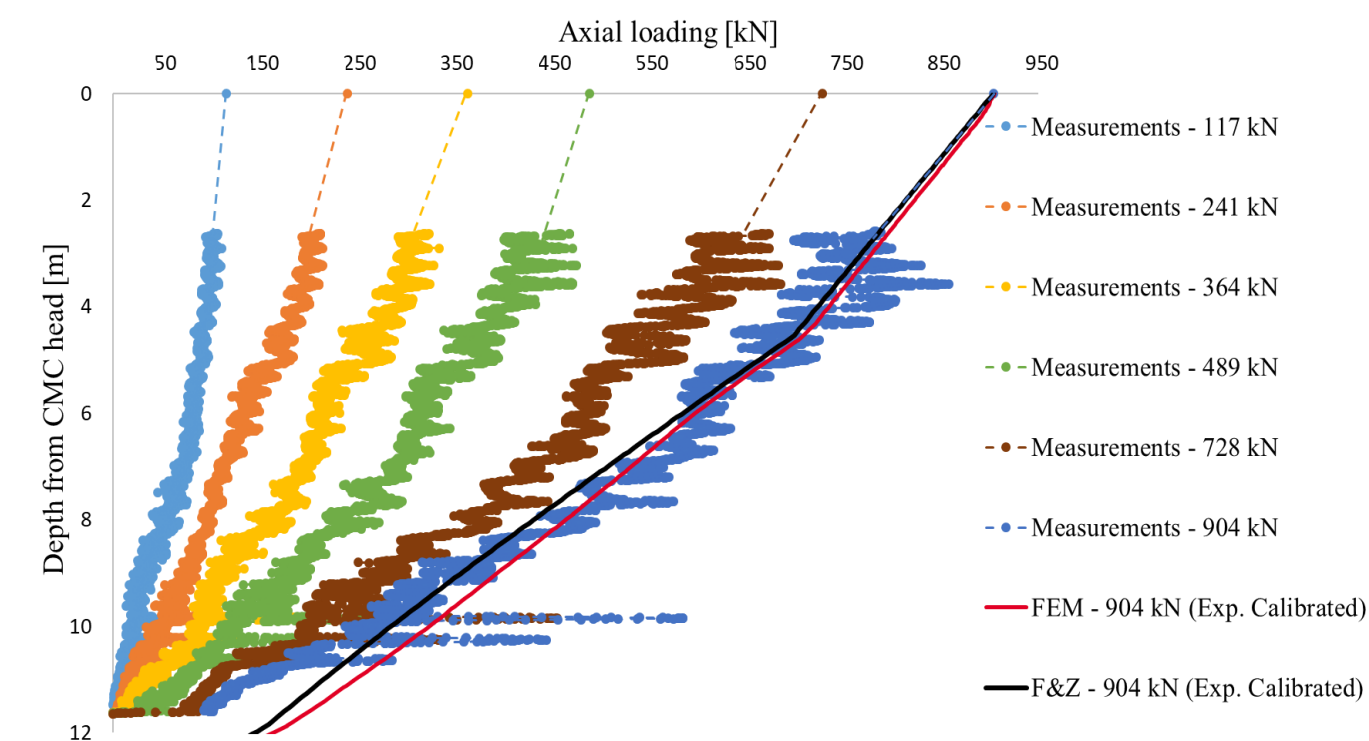
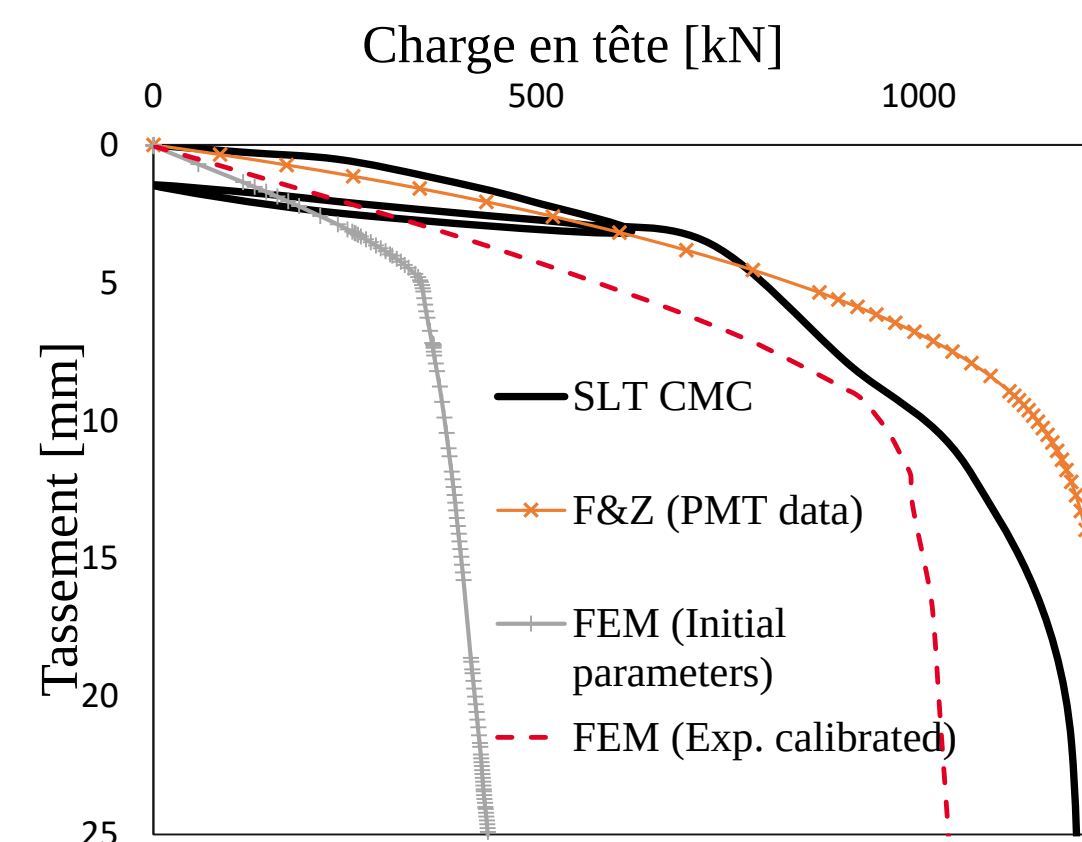
Thèse d'Adnan Sahyouni (FEDRE)

Mesures sous l'éolienne



Nuage de points constitué par la variation des contraintes sur les têtes des CMC du rayon extérieur.

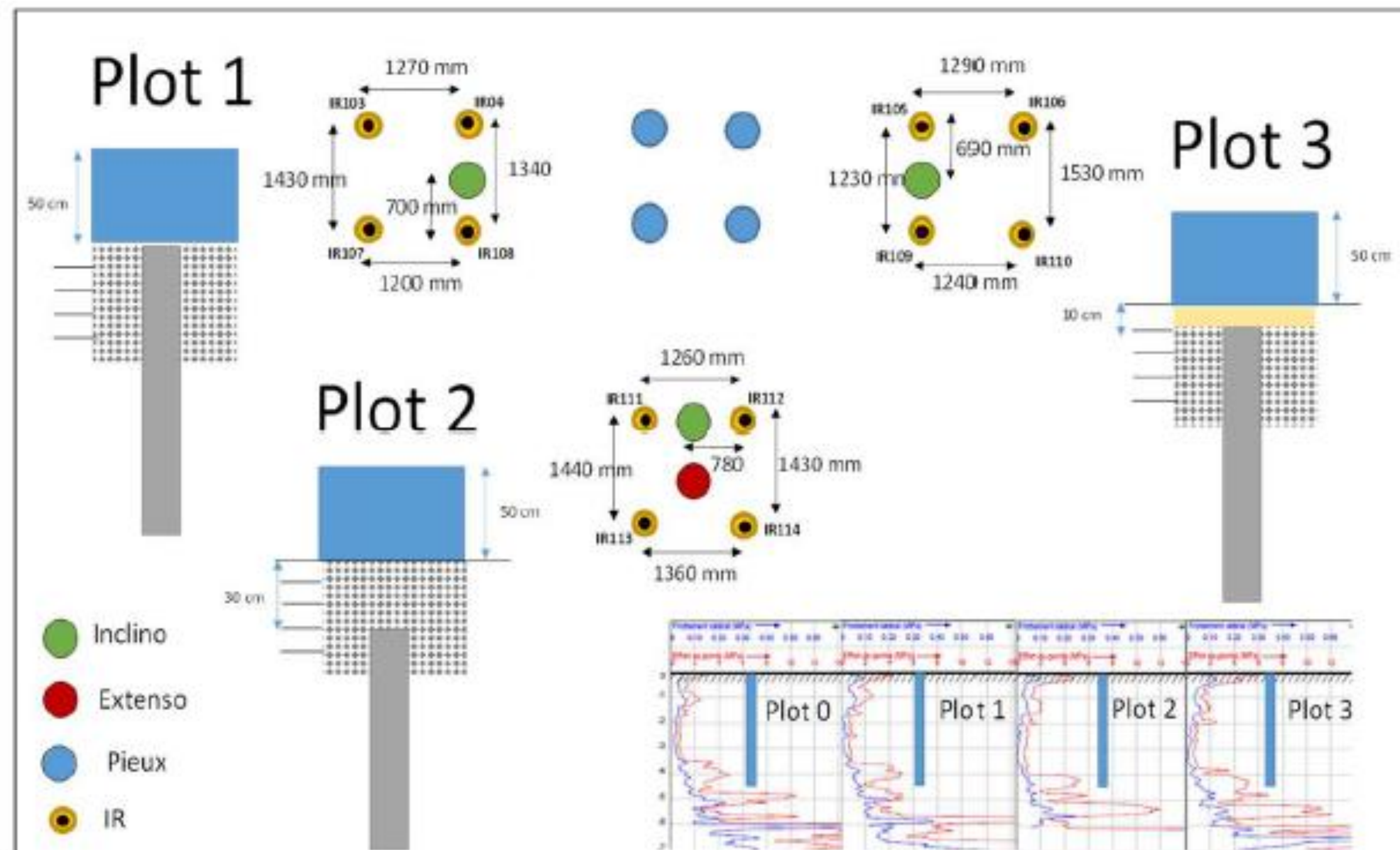
Essai de chargement



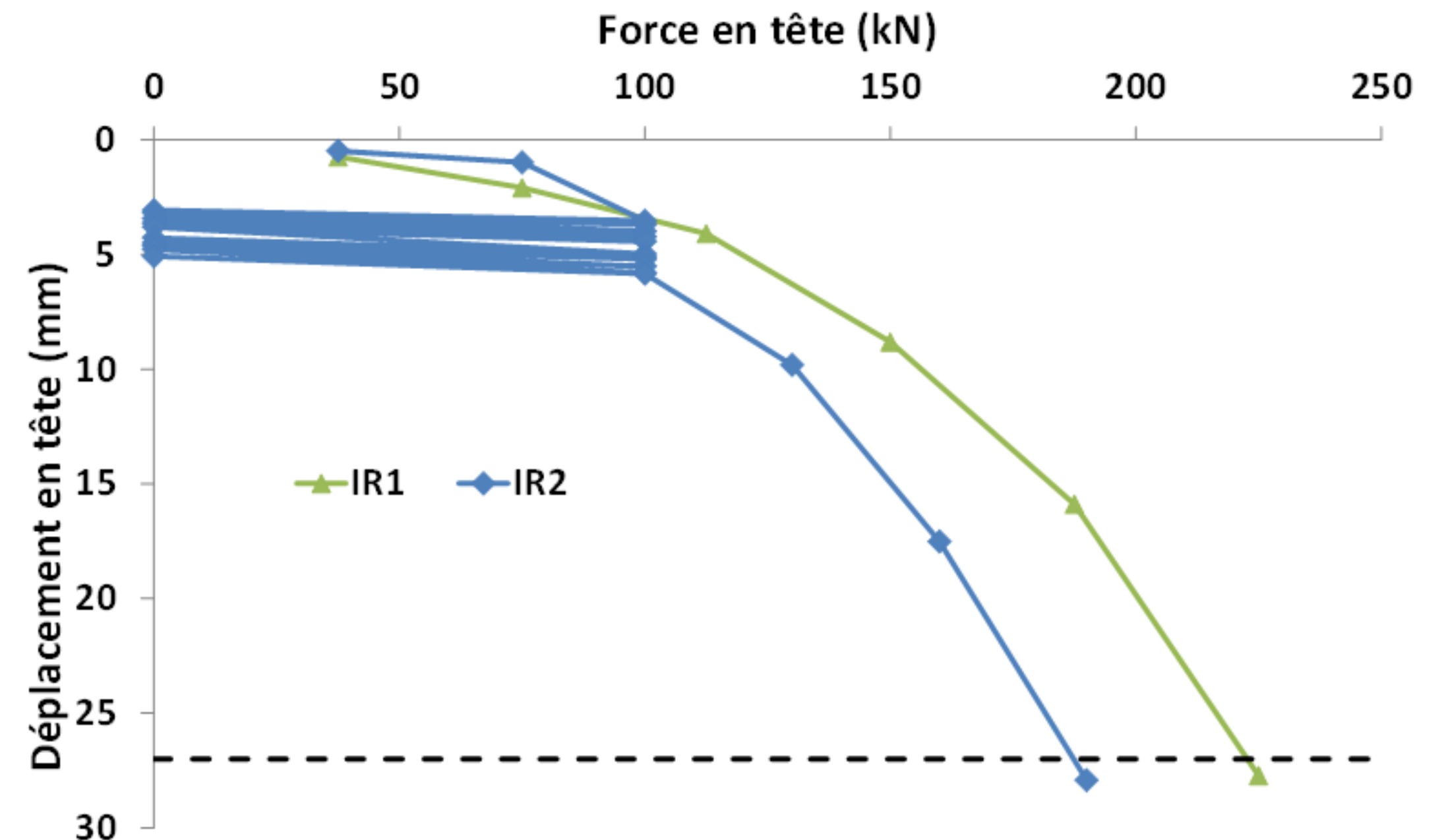
Modèle EF 3D
Macro-élément

Cas des semelles sur inclusions rigides

5. Cas des semelles sur inclusions rigides



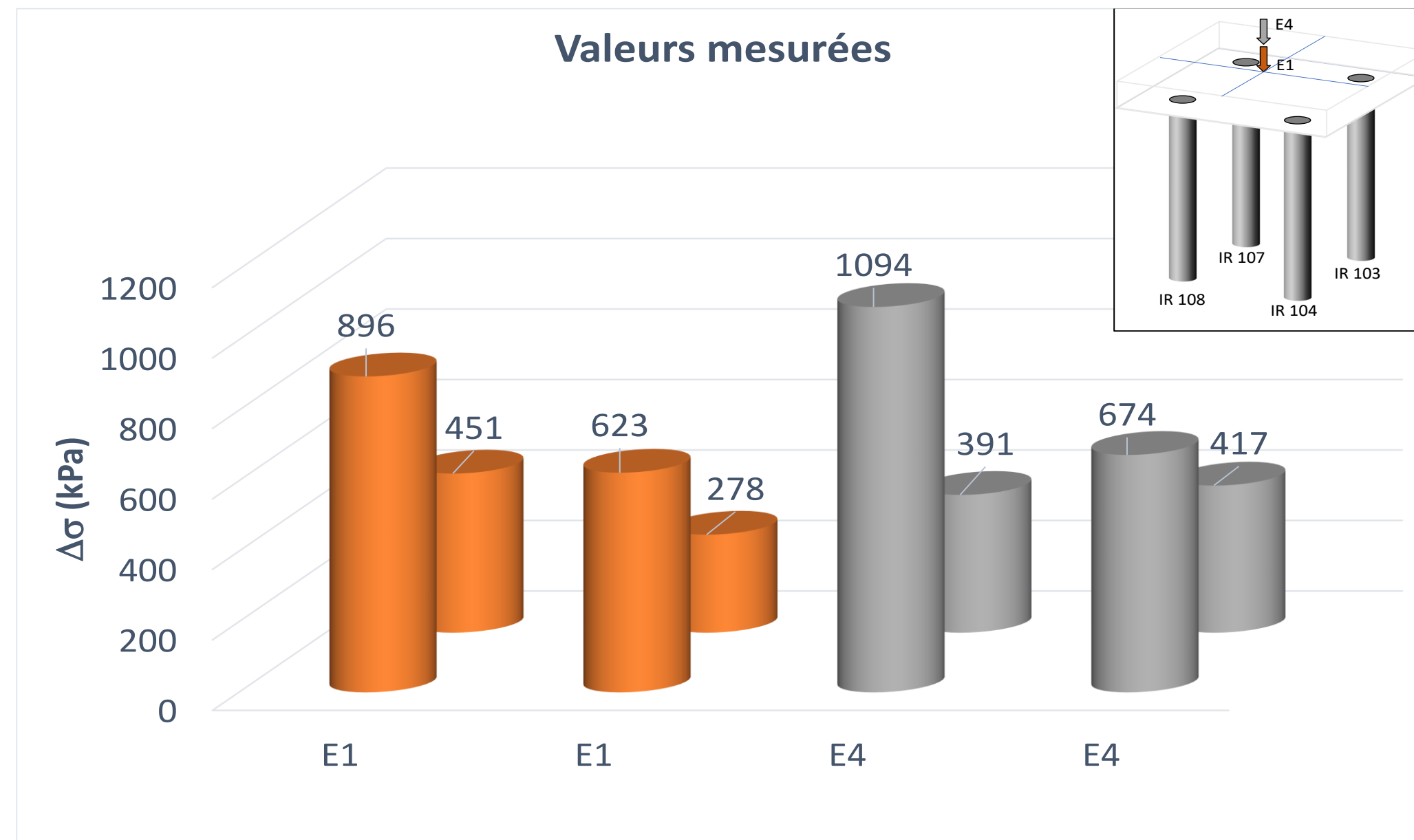
5. Cas des semelles sur inclusions rigides



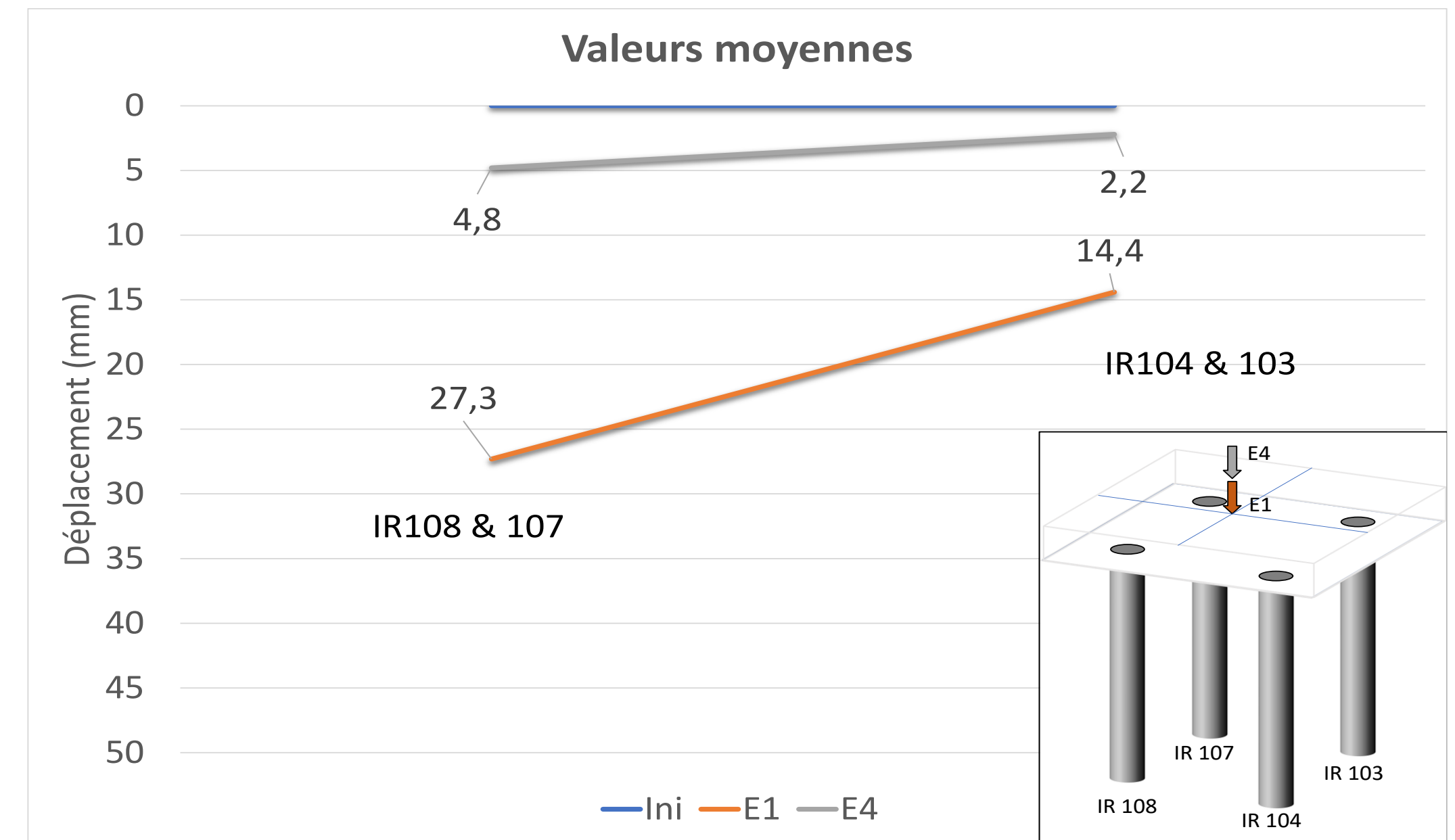
Portance mesurée 210 kN < Portance théorique 270 kN

Sollicitations cycliques dégradent la résistance

5. Cas des semelles sur inclusions rigides



Répartition non uniforme sur les quatre inclusions



Tassement plus important lors du premier essai



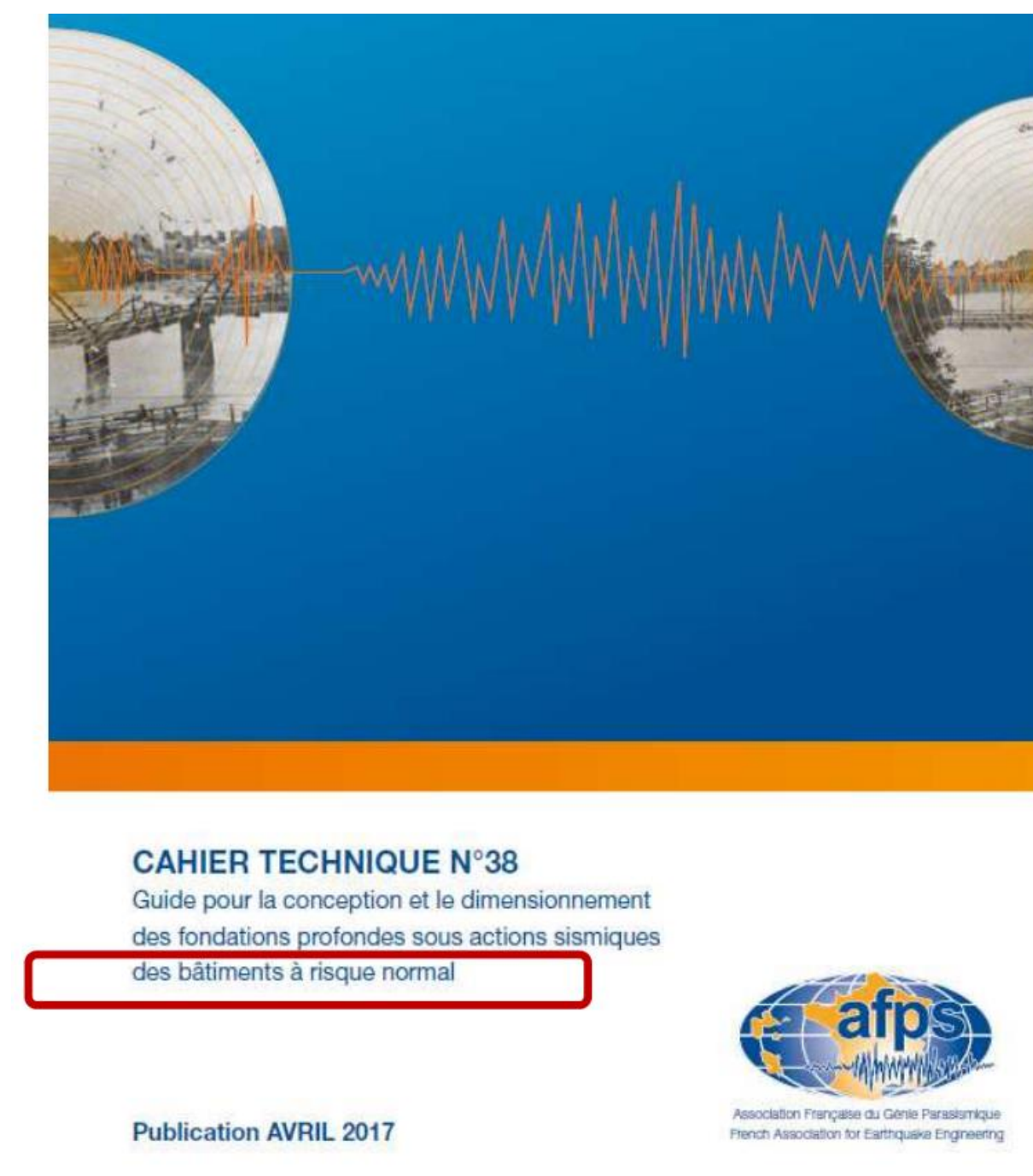
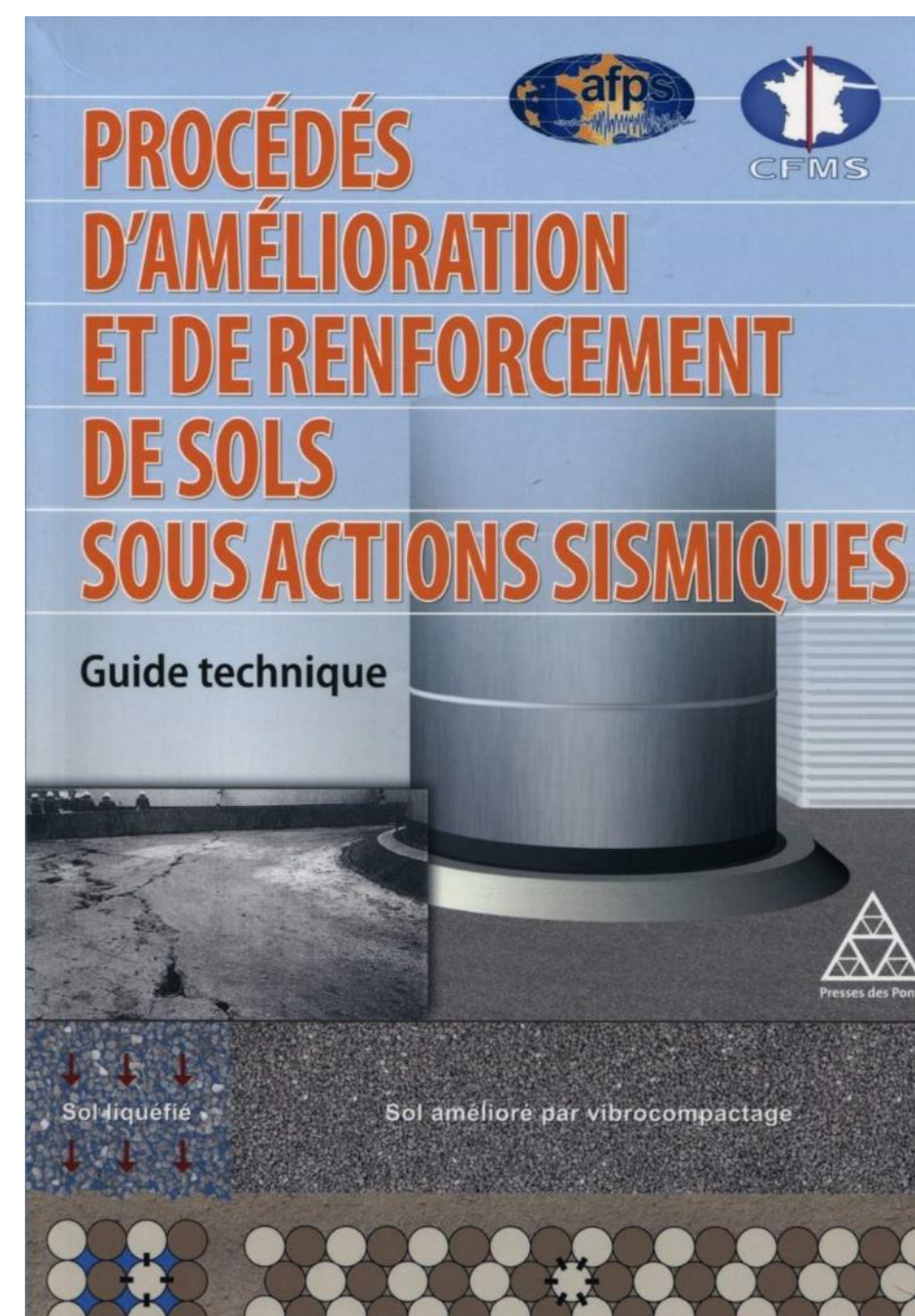
cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Comportement sous sollicitations sismiques

6. Comportement sous sollicitations sismiques

Proposer un cadre homogène et scientifiquement justifié pour la vérification sismique d'un massif renforcé par inclusions rigides

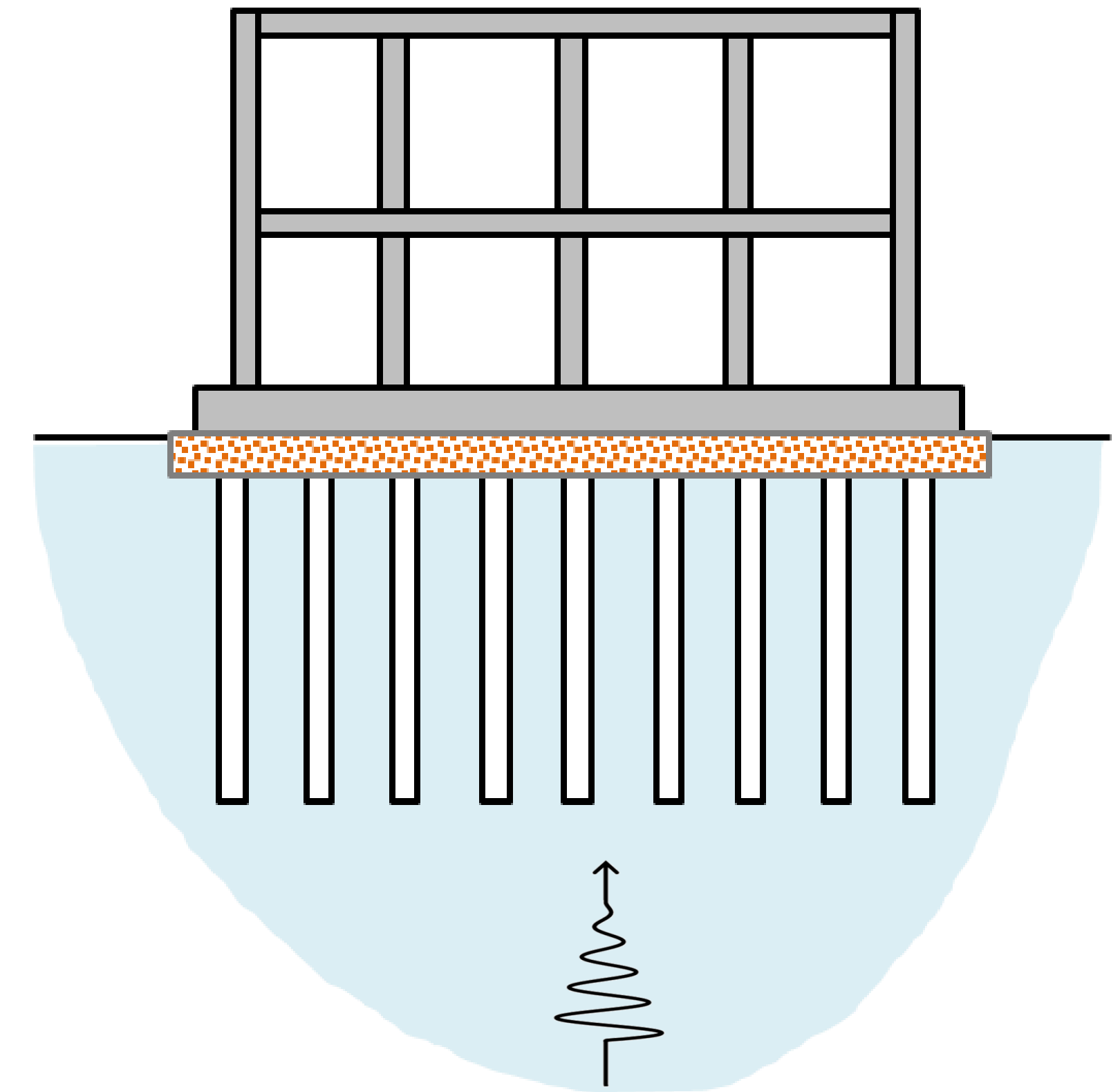


Dans la continuité de la pratique actuelle...

6. Comportement sous sollicitations sismiques

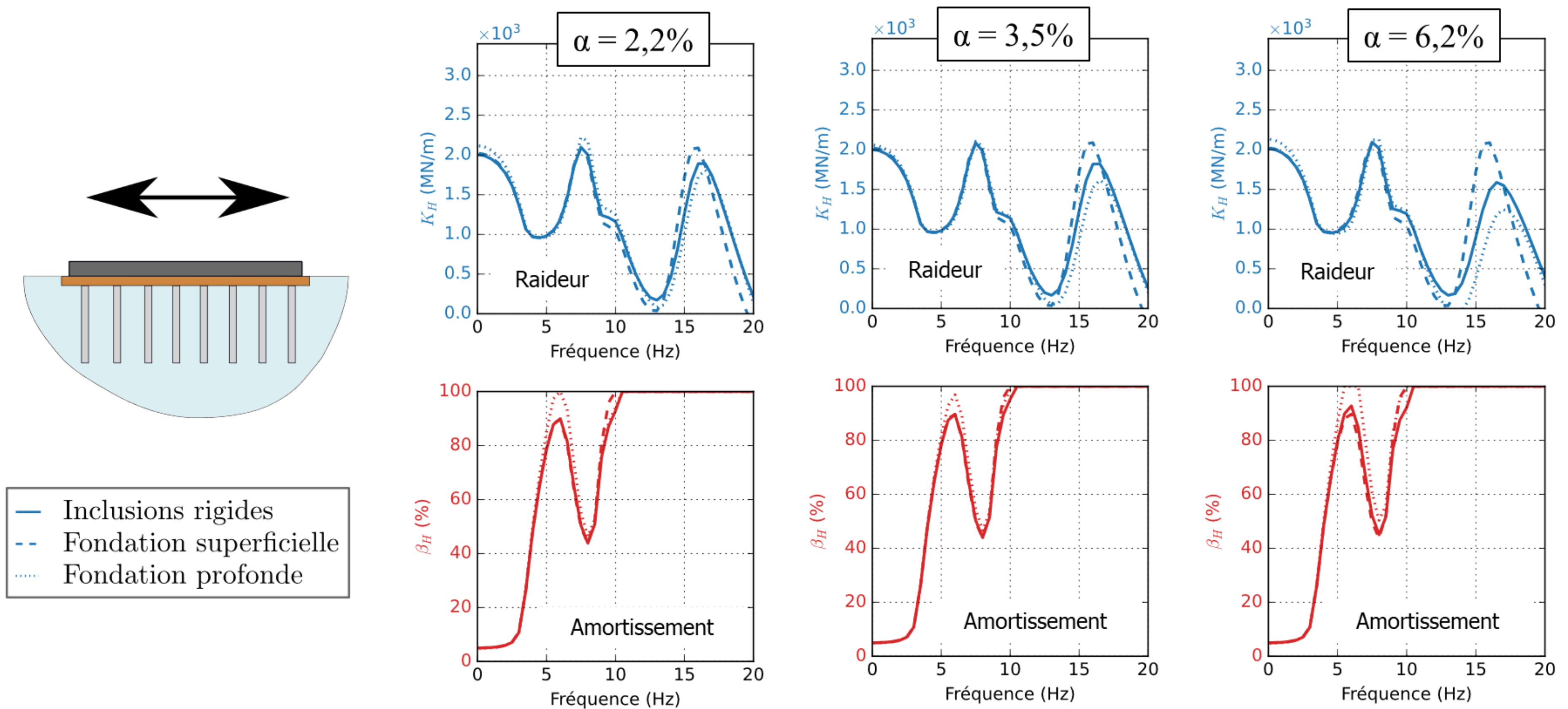
Les points clés à gérer

- 1) Maîtrise des effets d'interaction inertielle sous séisme
- 2) Maîtrise des effets d'interaction cinématique
- 3) Stabilité sismique d'une fondation sur inclusions rigides
- 4) Rôle du matelas de répartition



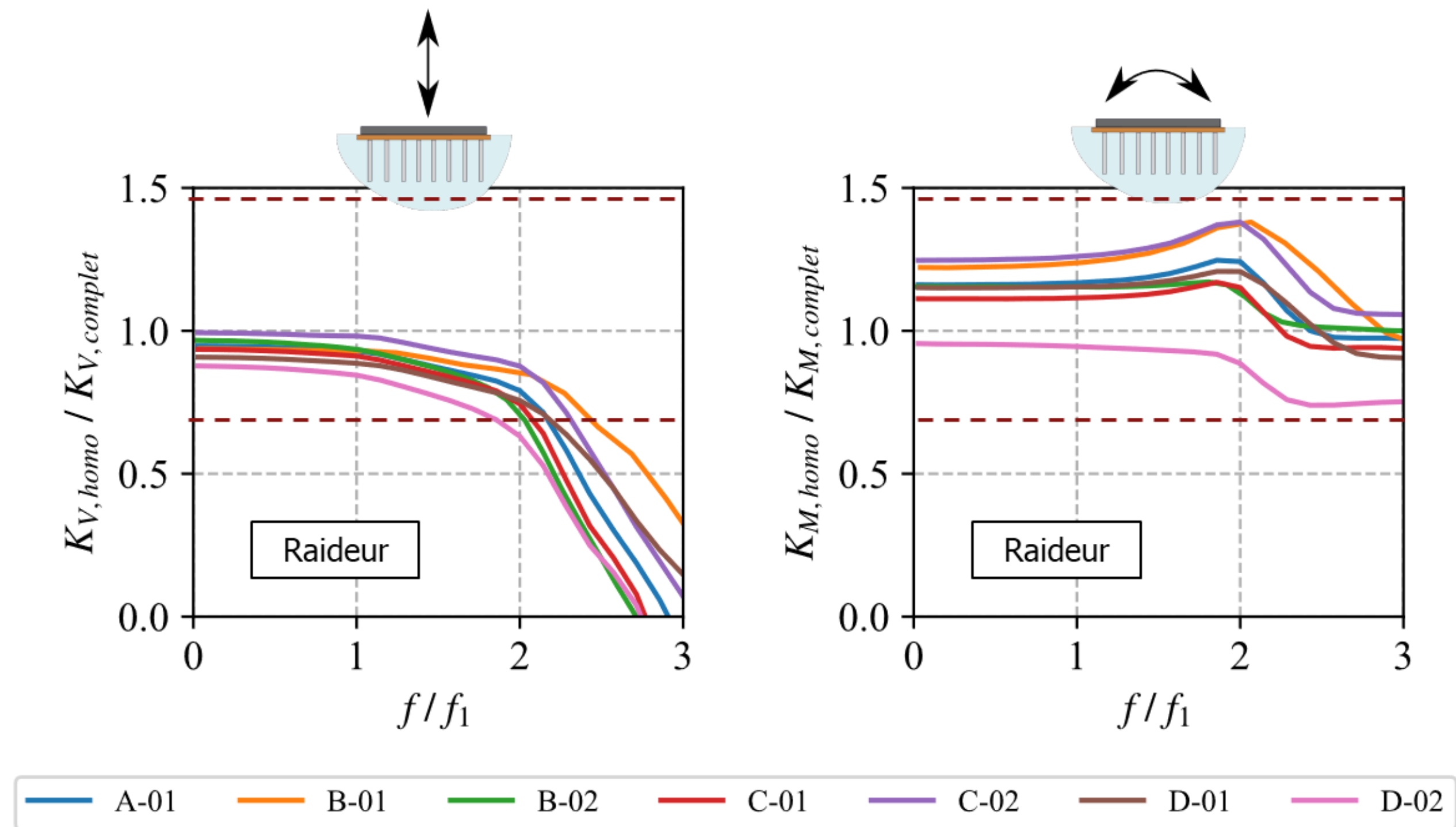
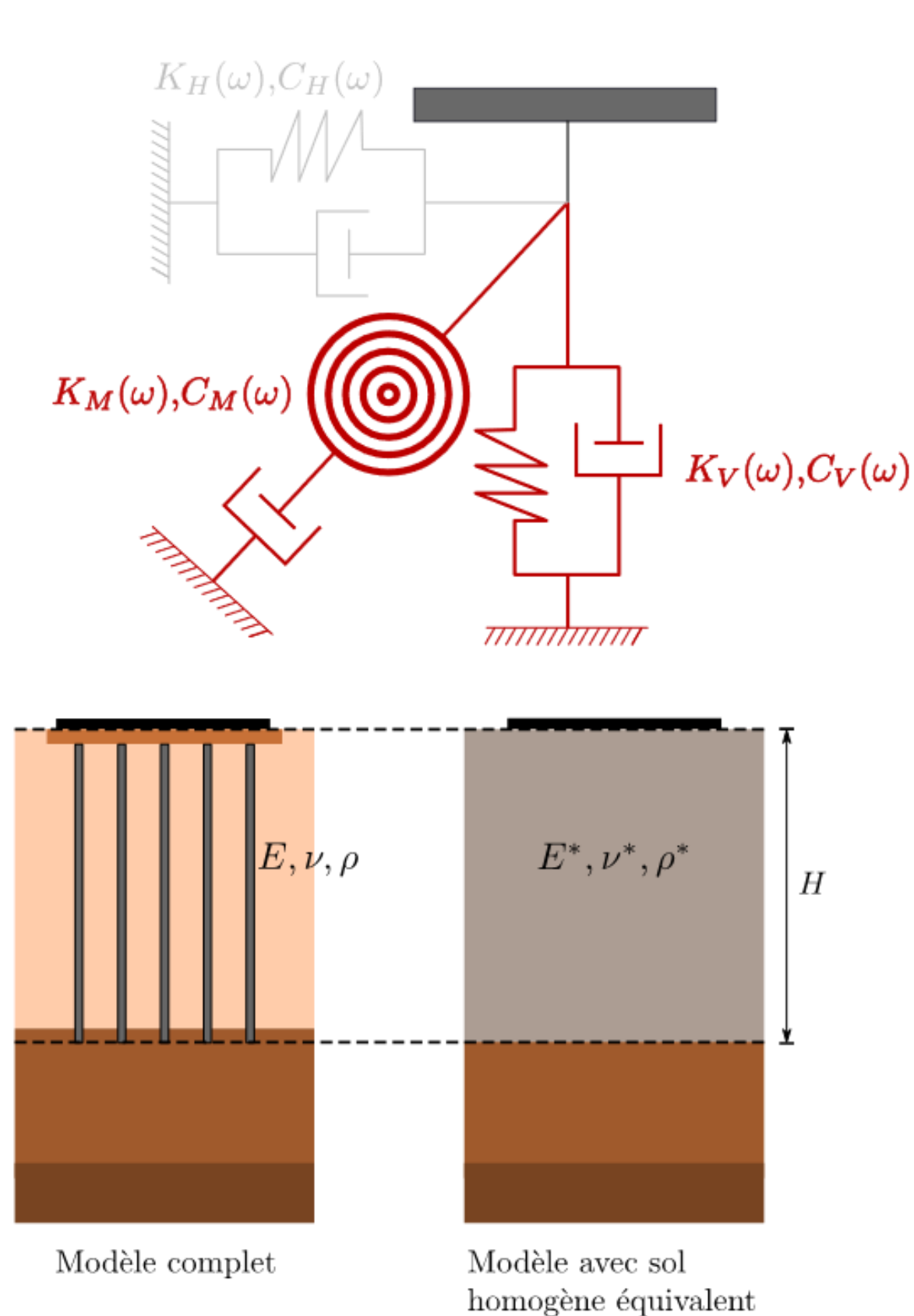
6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : effets d'interaction inertielle sous séisme



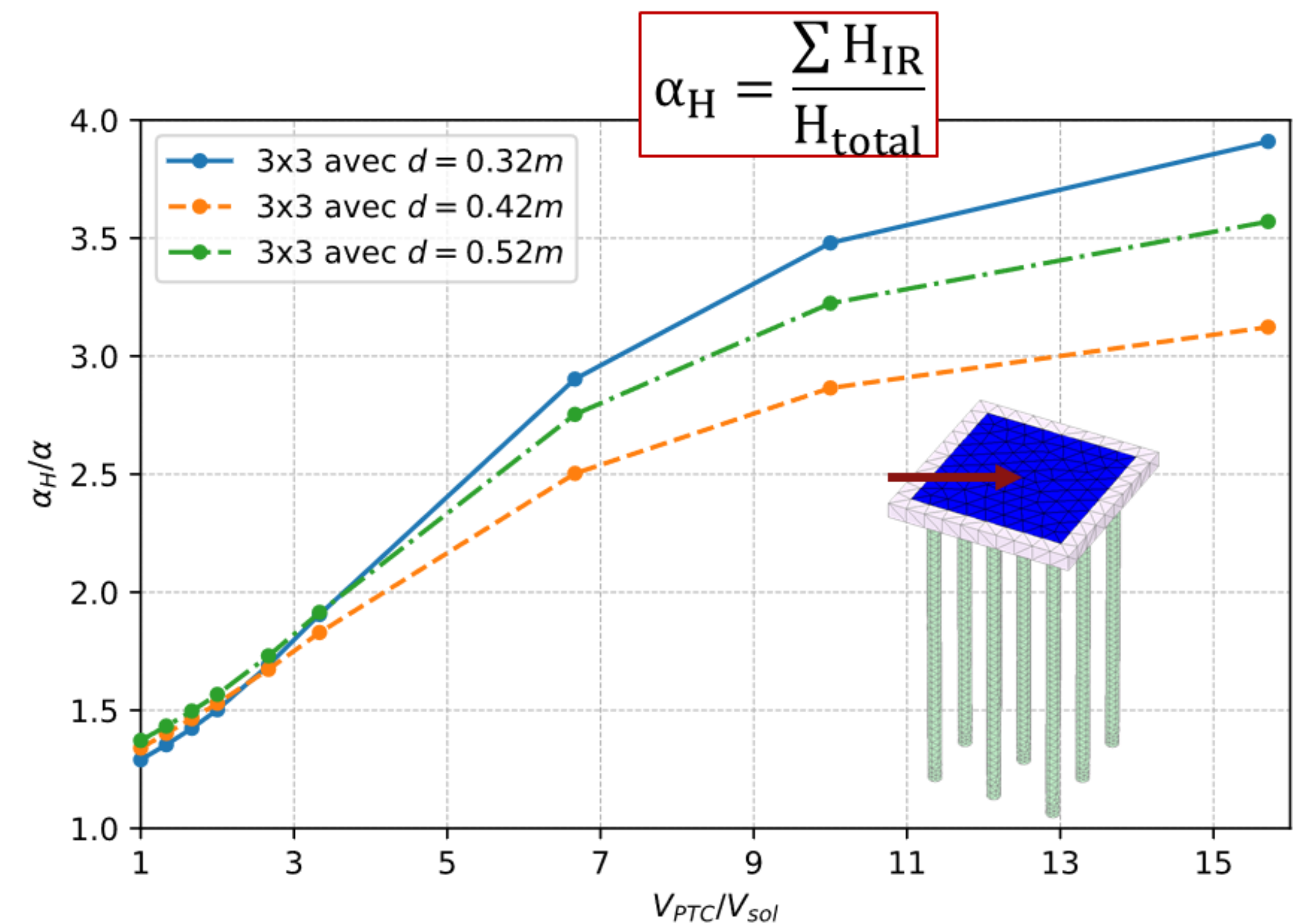
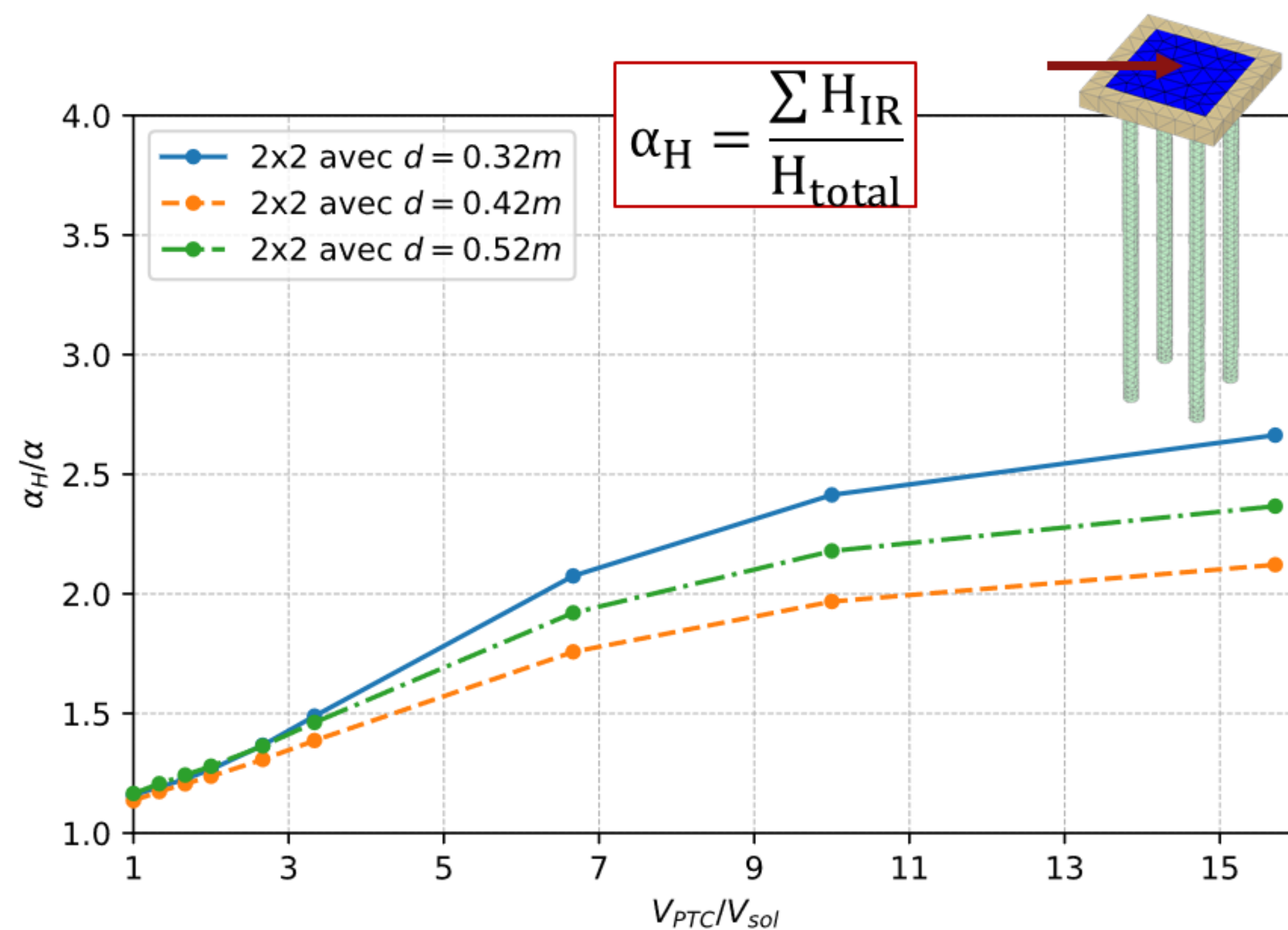
6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : effets d'interaction inertielle sous séisme



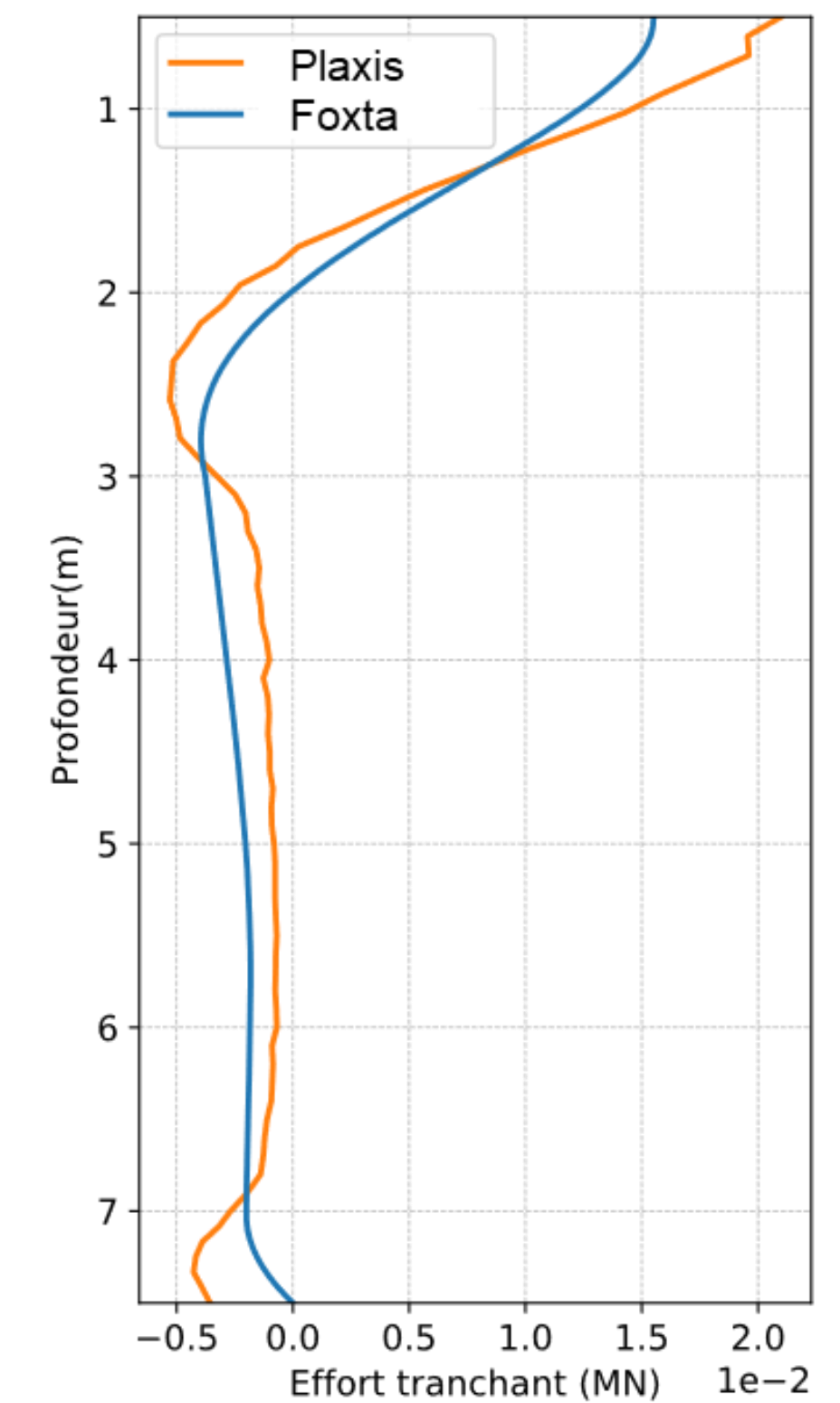
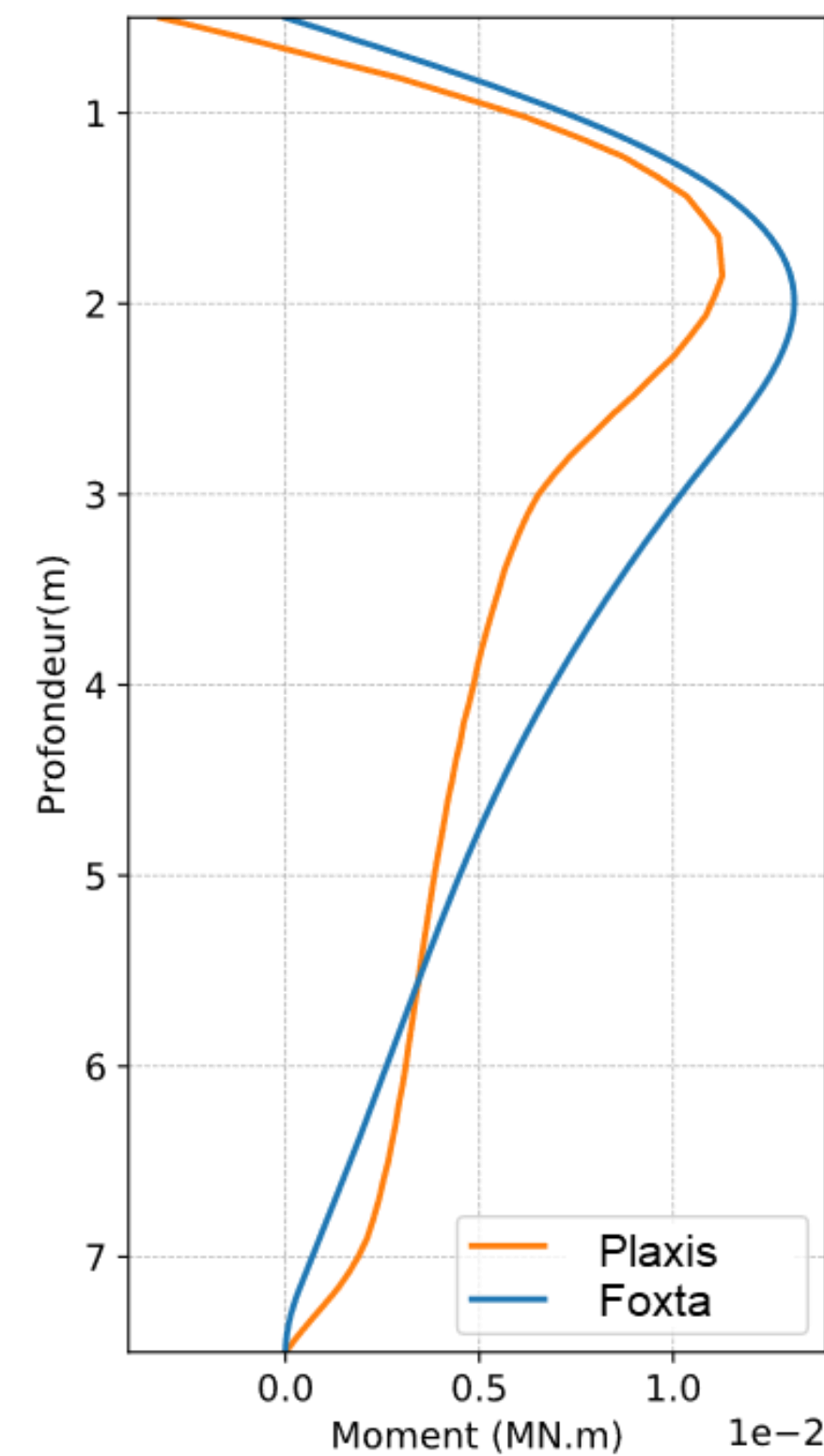
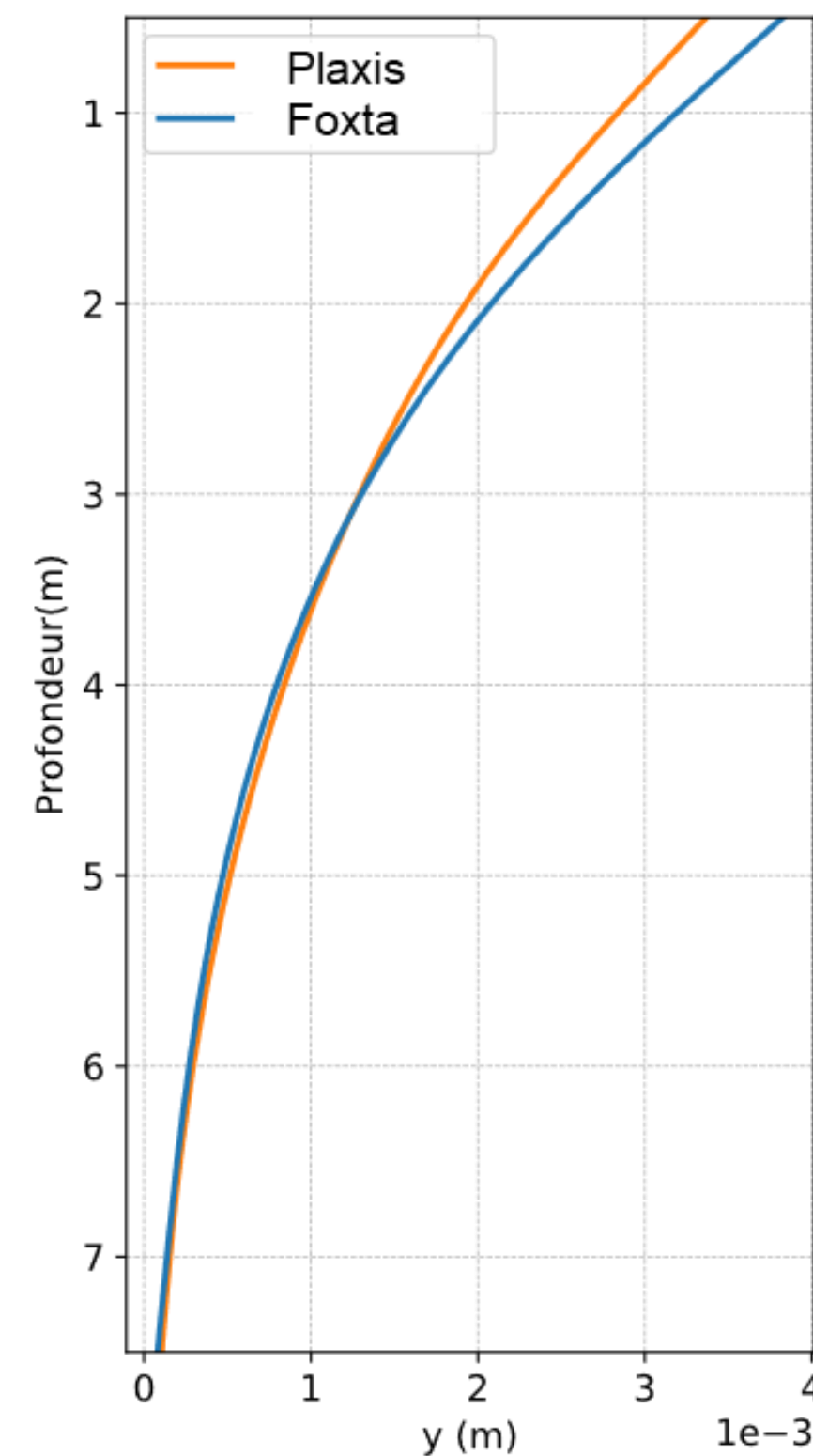
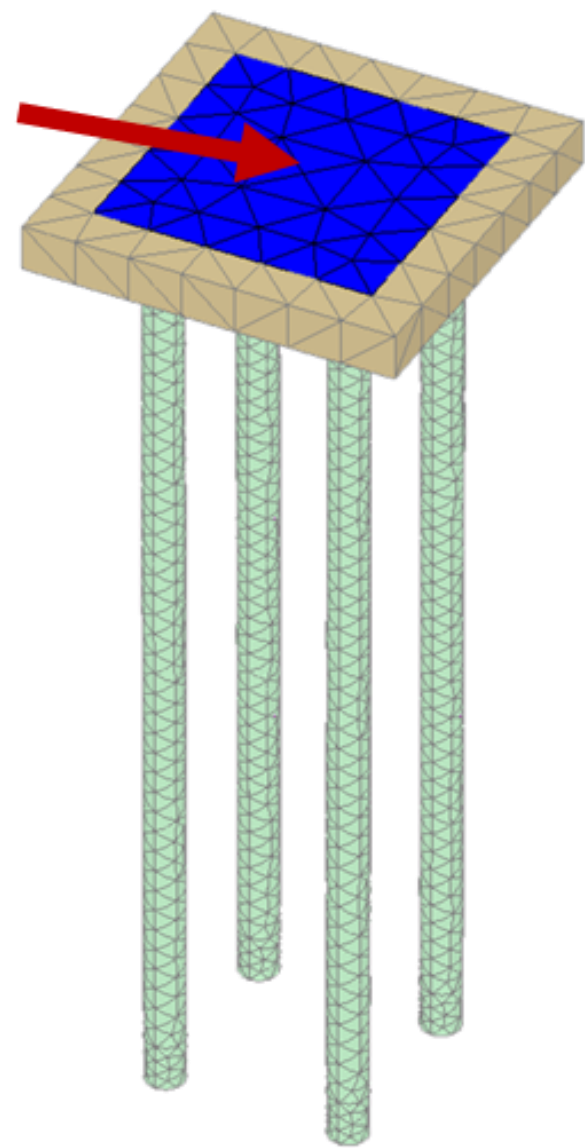
6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : effets d'interaction inertielle sous séisme



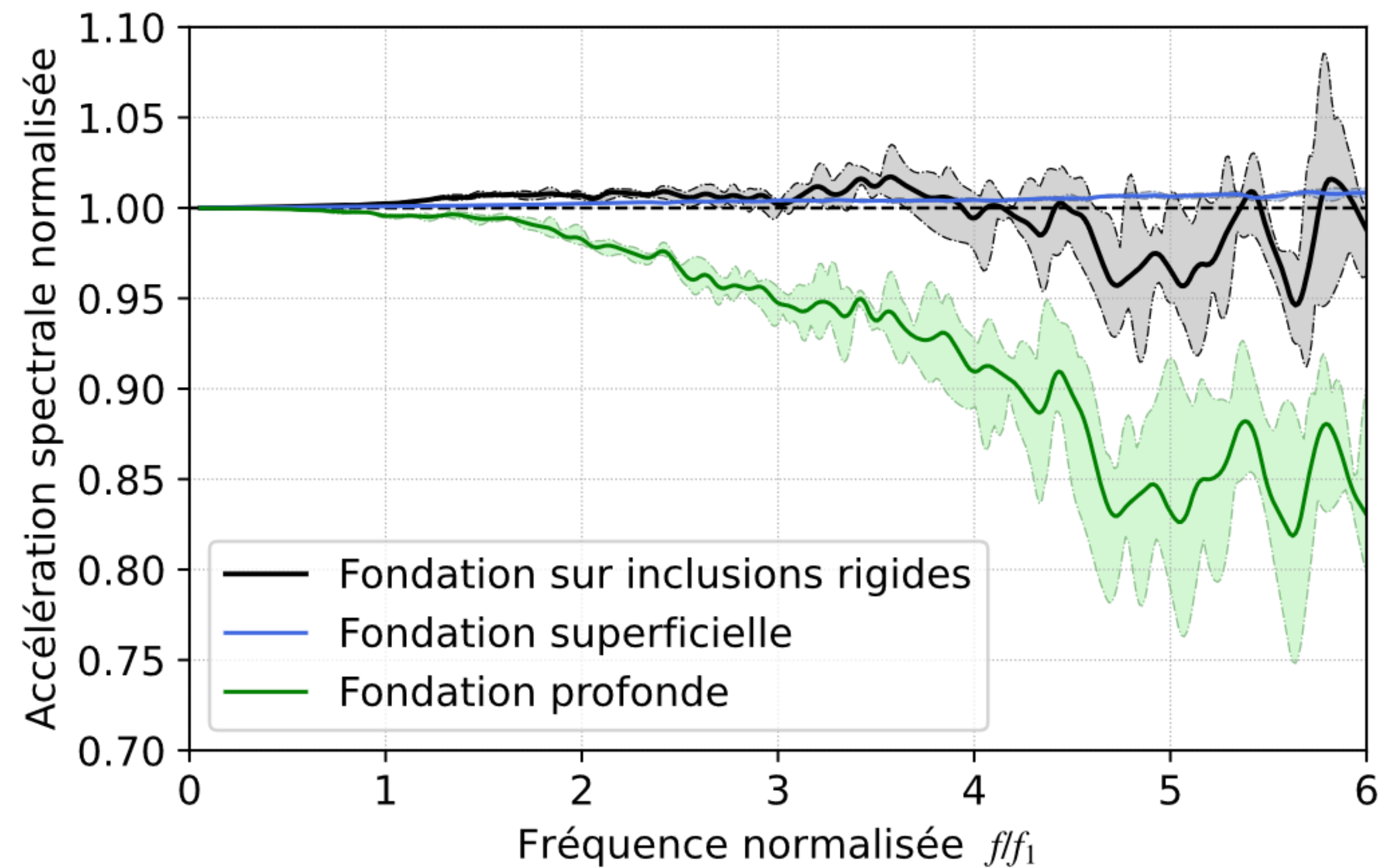
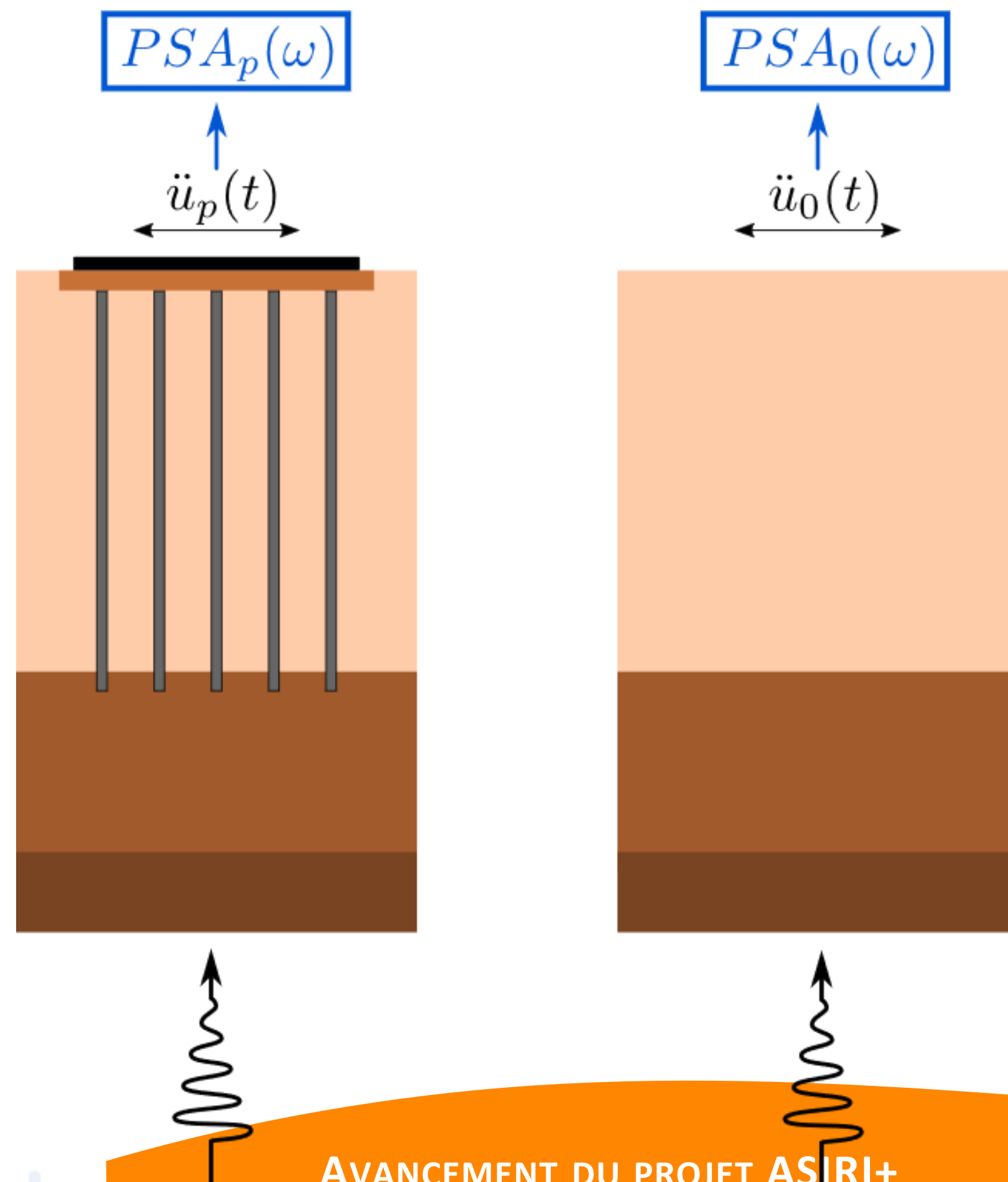
6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : effets d'interaction inertielle sous séisme



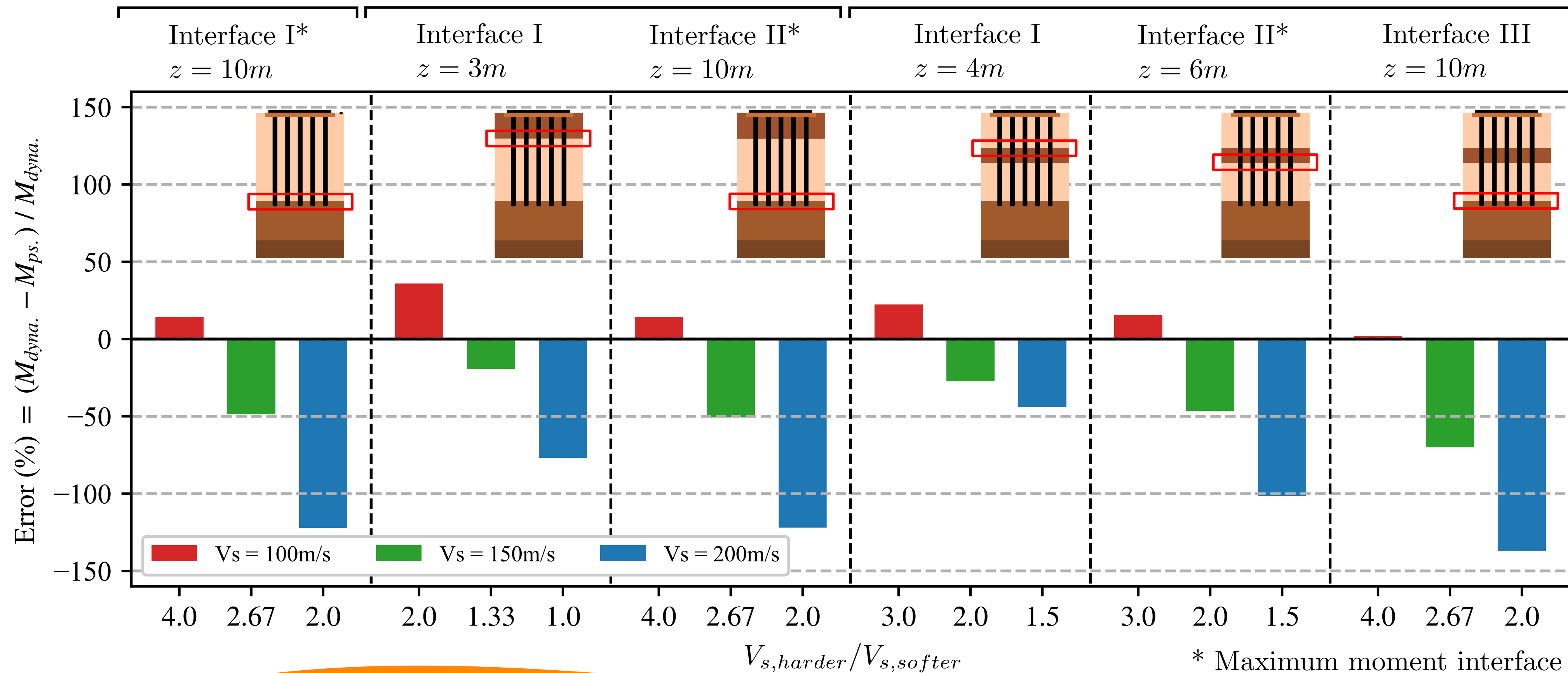
6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : effets d'interaction cinématique



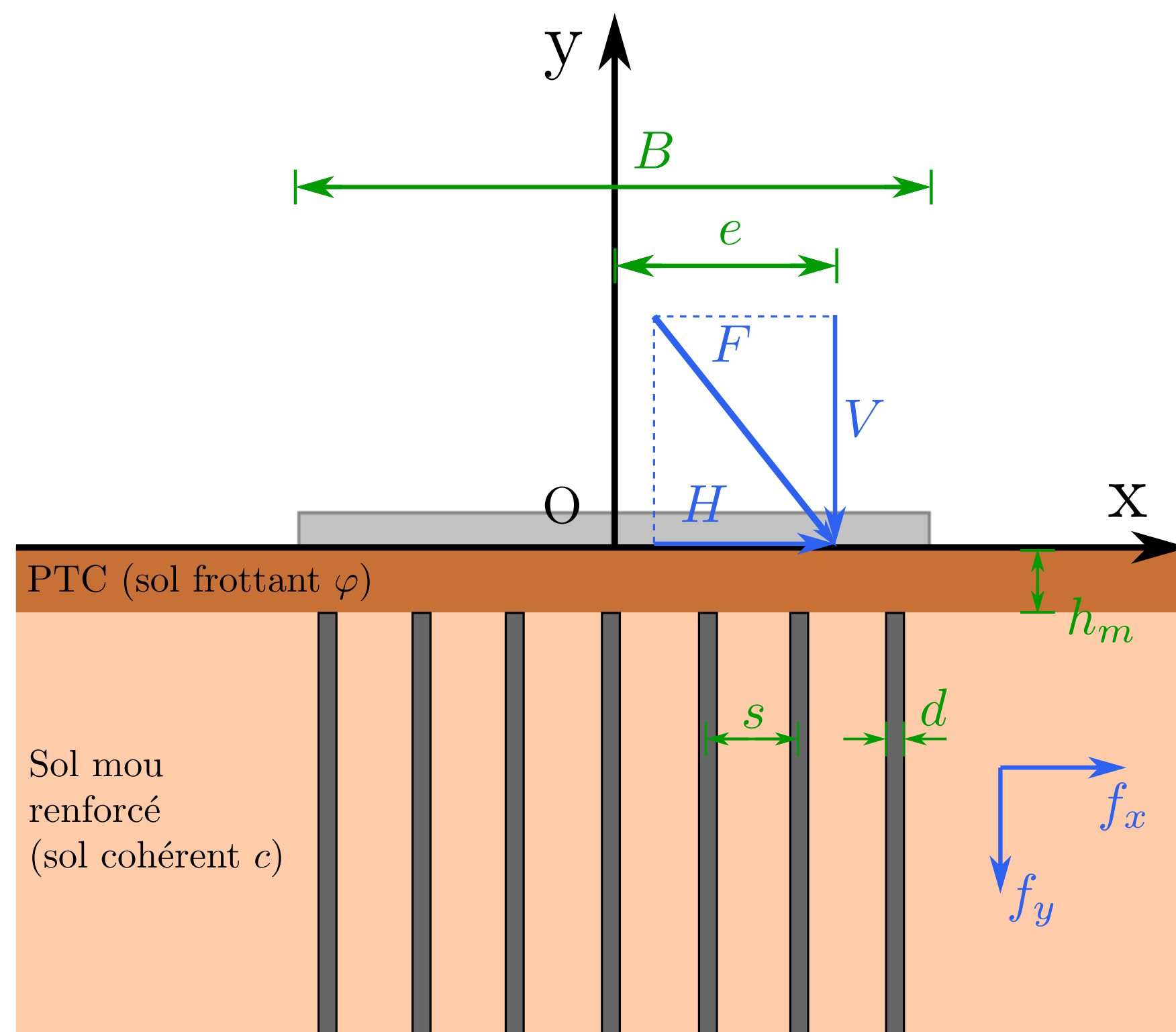
6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : effets d'interaction cinématique

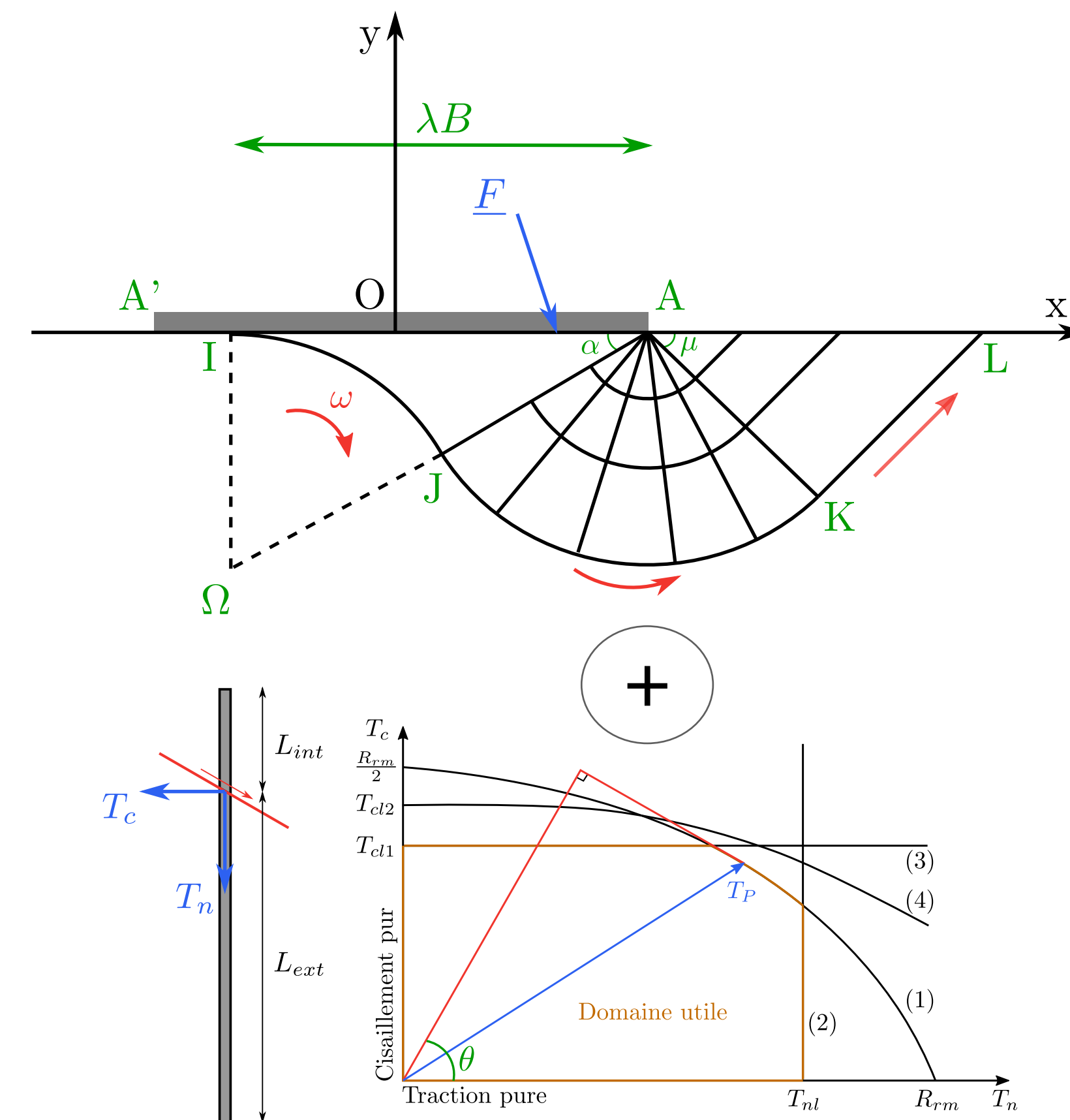


6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : portance sismique d'une fondation sur IR



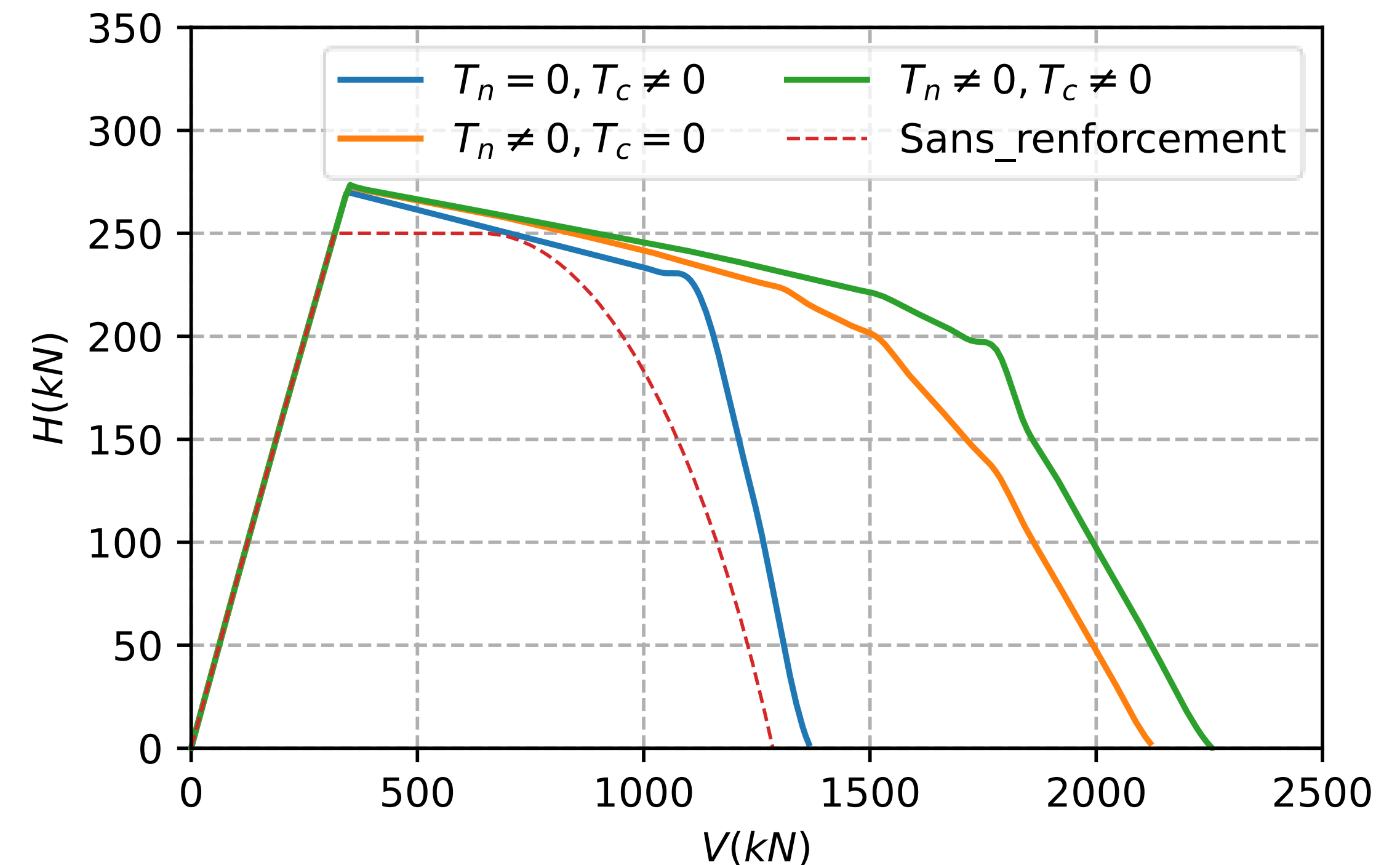
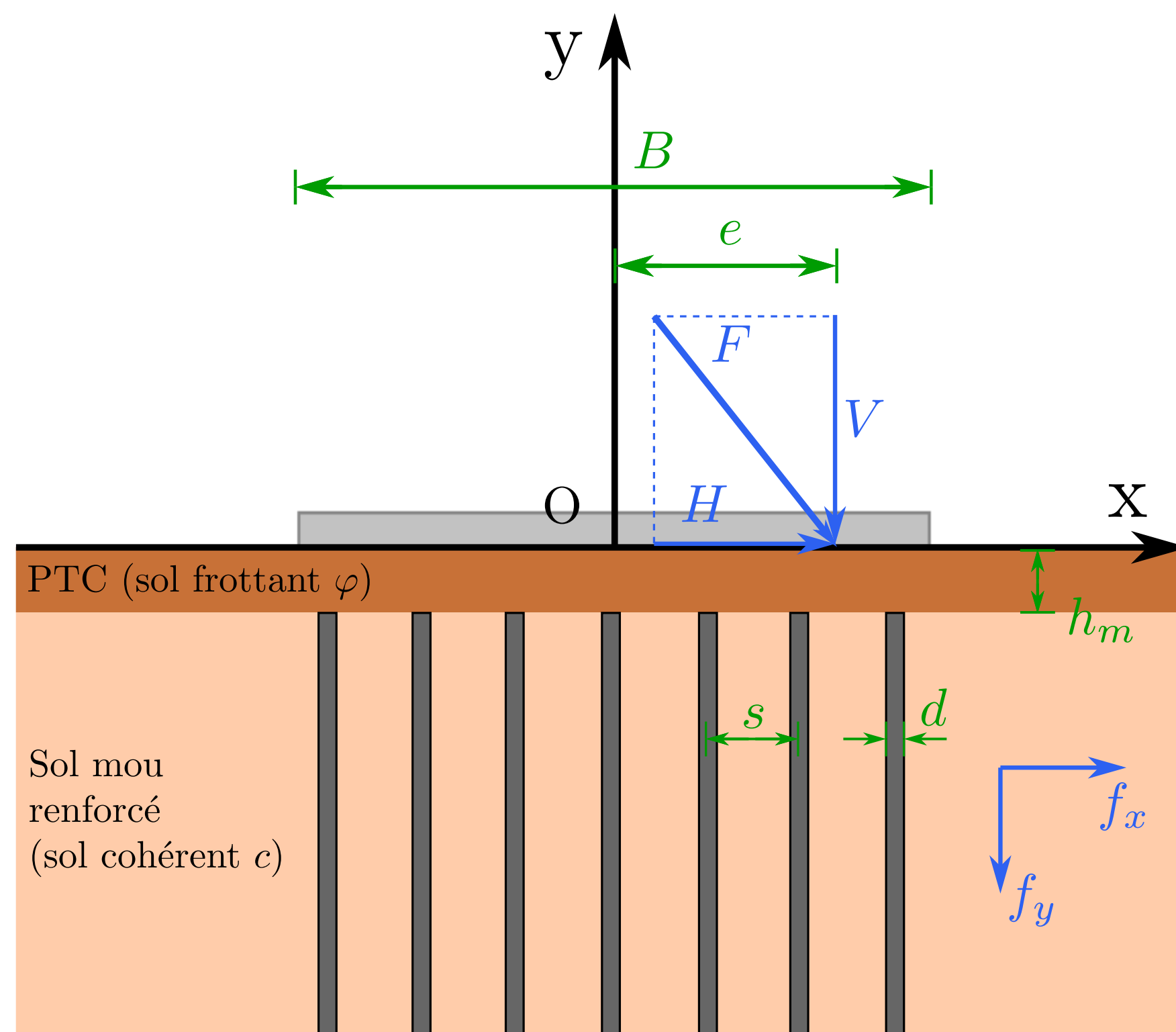
=



+

6. Comportement sous sollicitations sismiques

Aperçu de quelques résultats clés : portance sismique d'une fondation sur IR



6. Comportement sous sollicitations sismiques

Les axes de travail

- 1) Mise au point de procédures simplifiées pour la justification sismique d'une fondation sur IR
- 2) Validation par des modélisations numériques
- 3) Validation par des essais en centrifugeuse
- 4) Formalisation de recommandations pratiques

Organisation des recommandations

Tome 1 – Synthèse des actions ASIRI+ mises en perspective avec pratiques et méthodes reconnues

- 1-1 Pour les différentes configurations de PTC sous différents types d'ouvrages
- 1-2 Influence de la nature des charges
- 1.3 Evaluation des modèles numériques sous charges statiques ou roulantes
- 1.4 Comportement dynamique et sismique
- 1.5 Évolutions du champ d'application des IR

Tome 2 – Guide utile pour conception, dimensionnement, exécution contrôle

- 2.1 Conception
- 2.2 ACV et GES
- 2.3 Investigations géotechniques
- 2.4 Cadre général des vérifications ELU/ELS
- 2.5 Justifications déclinées par type d'ouvrage et par nature de charge
- 2.5 Vérifications sous conditions sismiques
- 2.7 Exécution contrôles
- 2.8 Instrumentation



AMÉLIORATION & RENFORCEMENT DES SOLS
PAR INCLUSIONS RIGIDES