



Effets I3S : Interaction Structure-Sol-Structure



Fahd Cuira
Terrasol

Sommaire

- Illustration des effets I3S
- Utilisation de la notion de matrice de souplesse
- Interaction entre ouvrages voisins
- Interactions dynamiques dans un groupe de pieux

Fondation d'un ouvrage d'art

- Conception d'une dalle de couverture de voies ferroviaires existantes



Fondation d'un ouvrage d'art

- Conception d'une dalle de couverture de voies ferroviaires existantes



Fondation d'un ouvrage d'art

- Conception d'une dalle de couverture de voies ferroviaires existantes



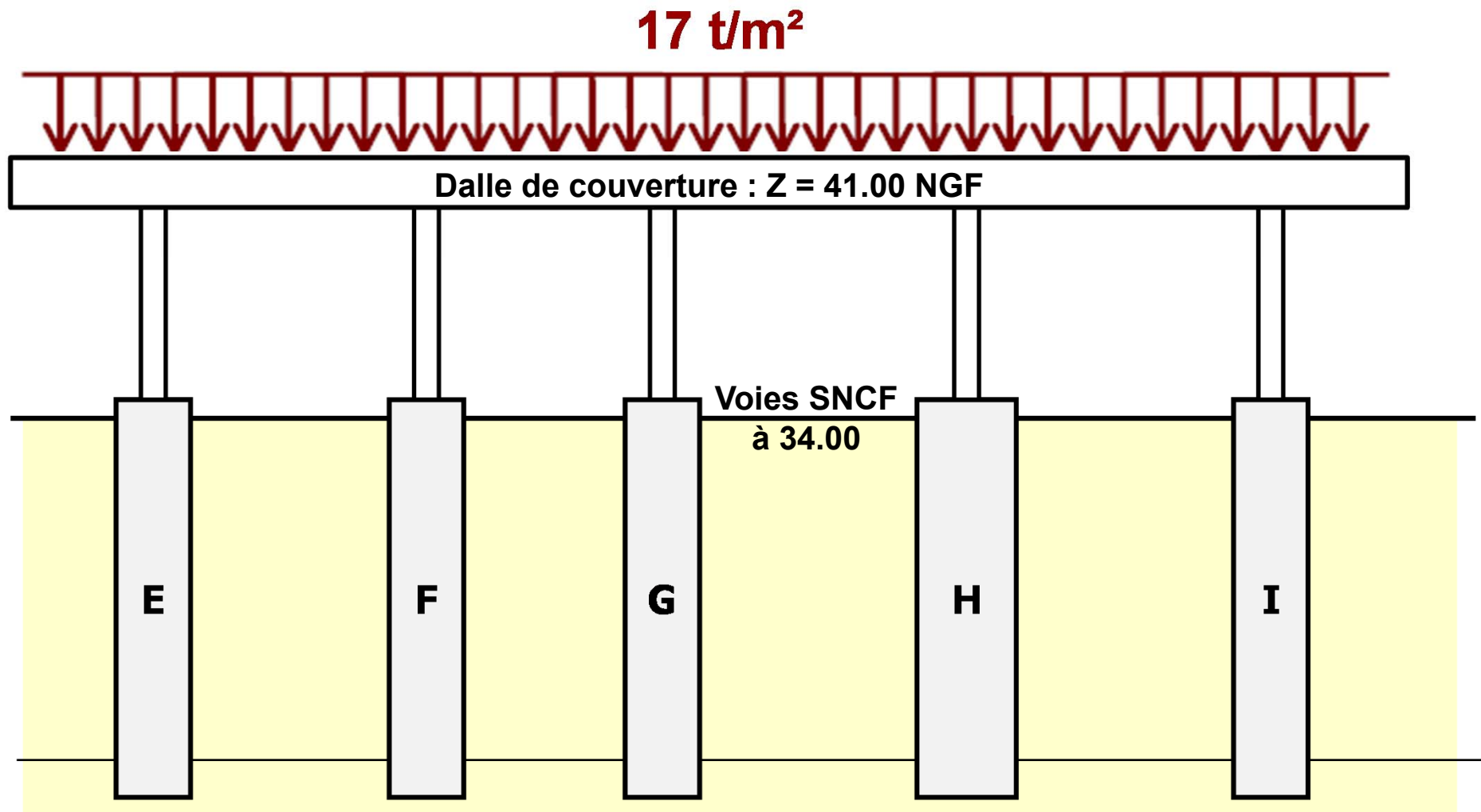
Fondation d'un ouvrage d'art

- Conception d'une dalle de couverture de voies ferroviaires existantes



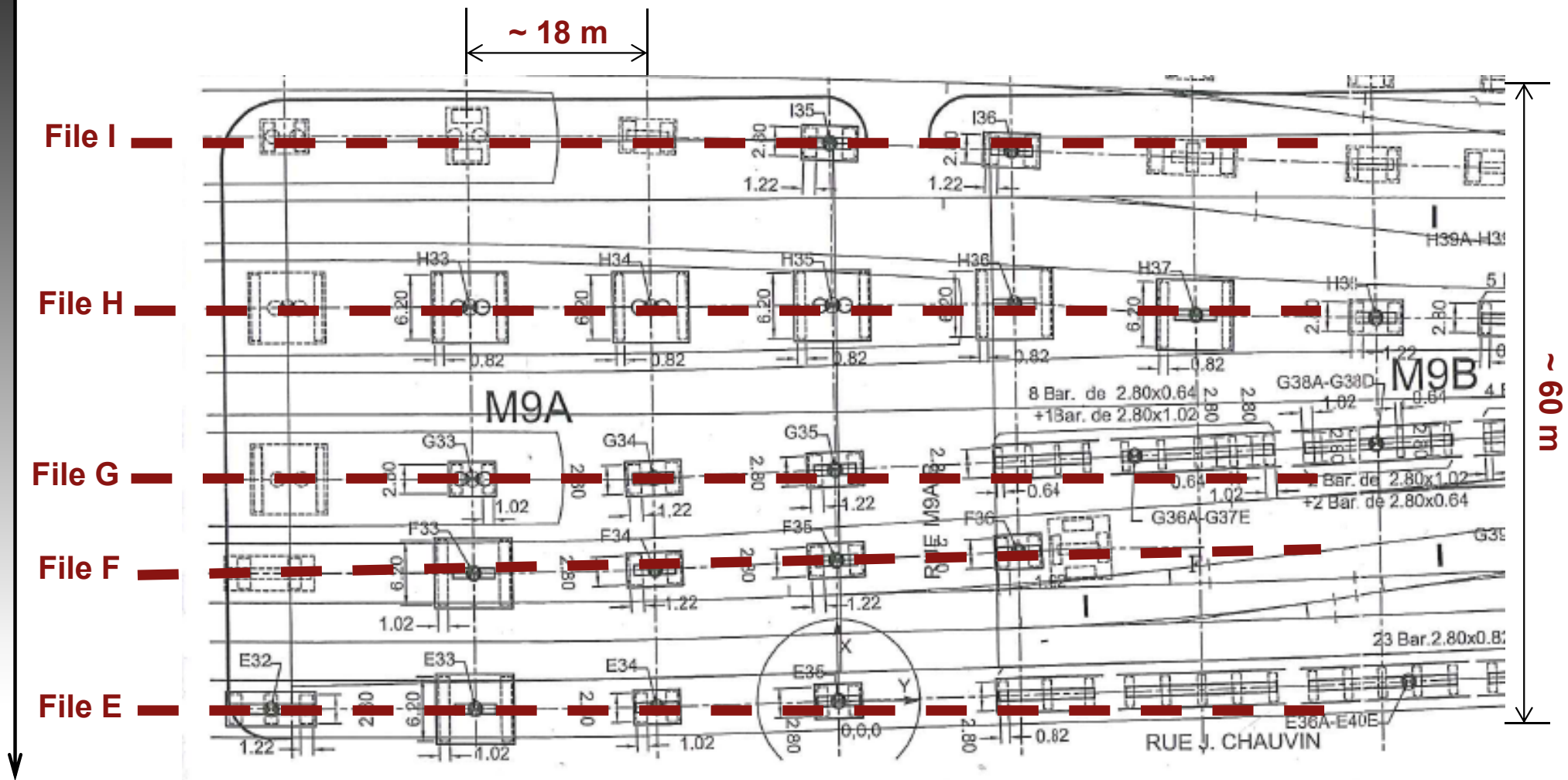
Fondation d'un ouvrage d'art

- Conception d'une dalle de couverture de voies ferroviaires existantes



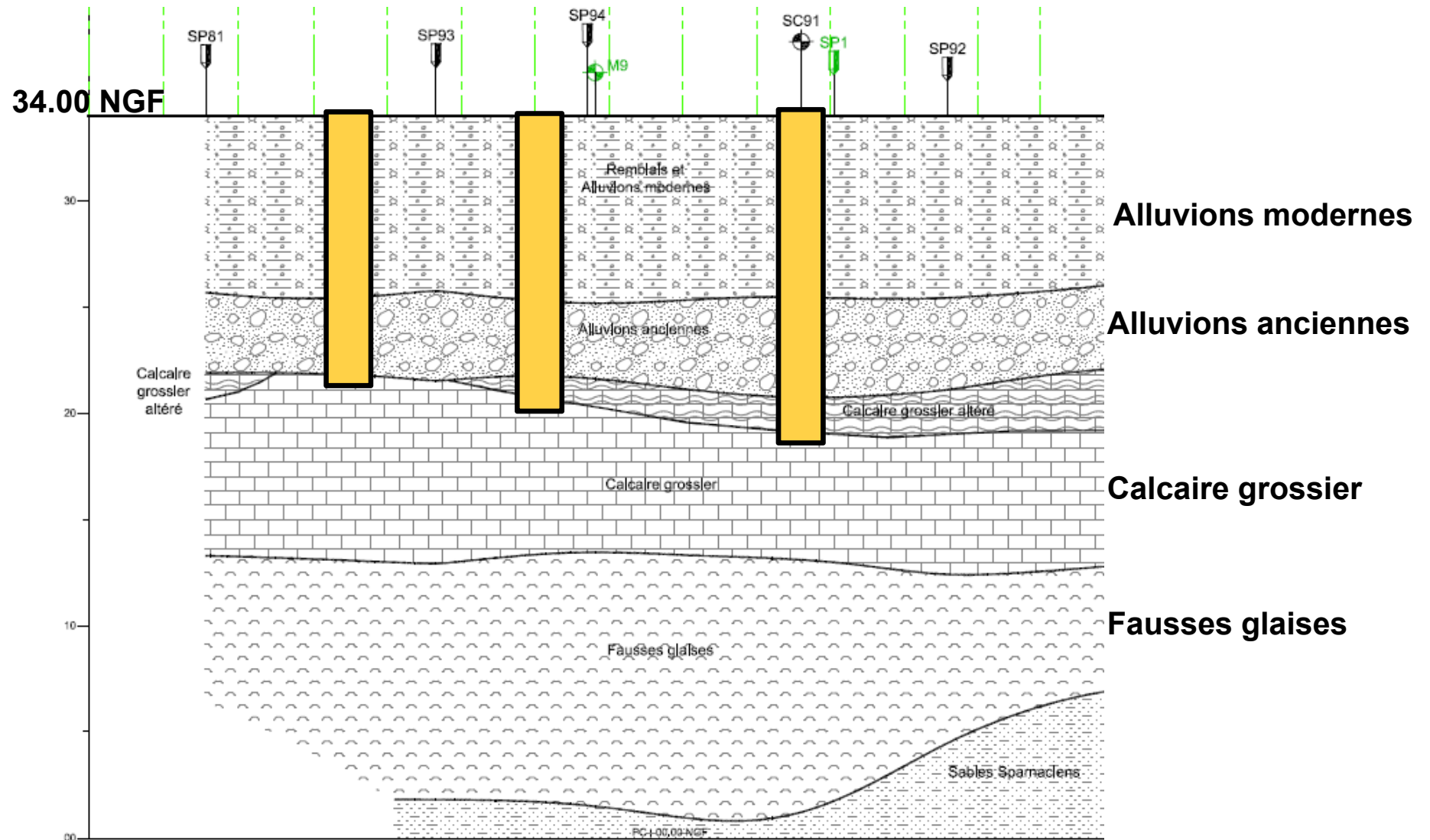
Fondation d'un ouvrage d'art

- Conception d'une dalle de couverture de voies ferroviaires existantes



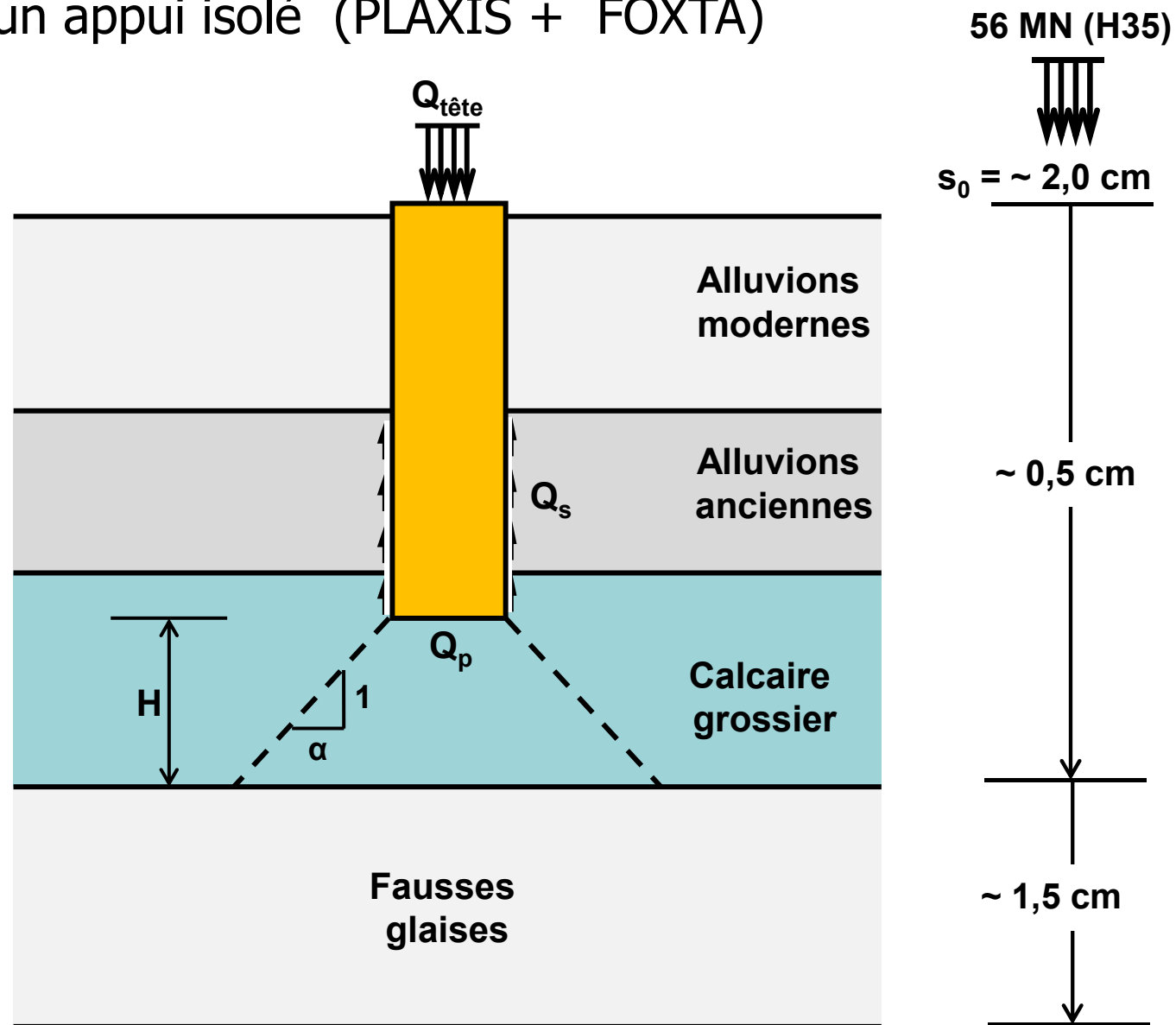
Fondation d'un ouvrage d'art

- Contexte géotechnique / principe de fondation



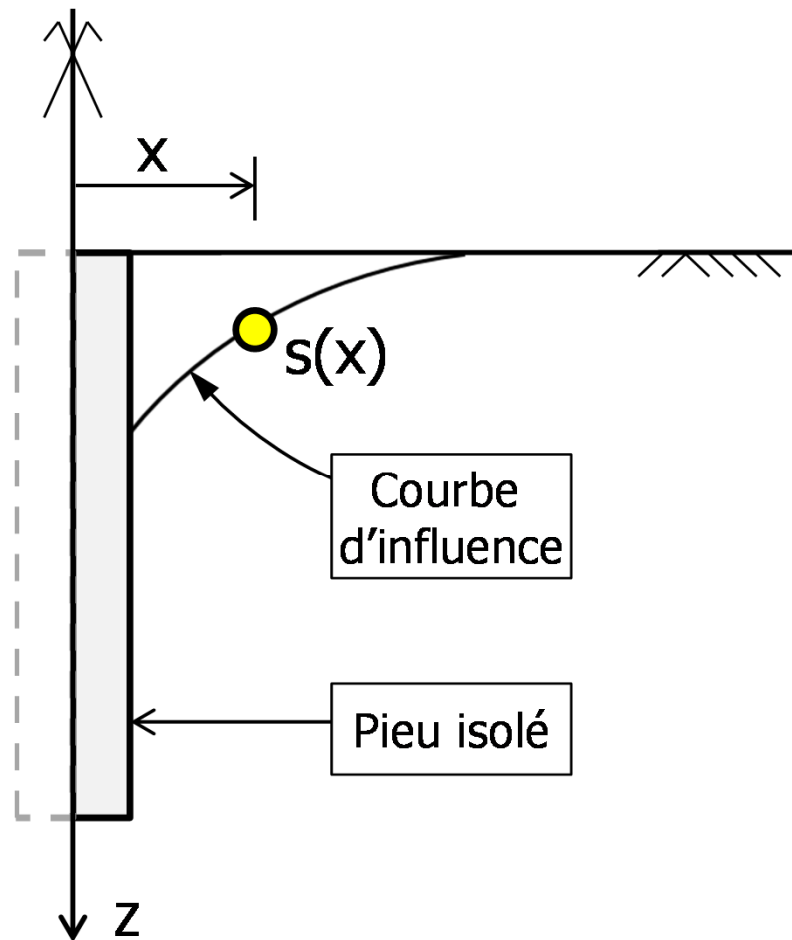
Fondation d'un ouvrage d'art

- Tassement d'un appui isolé (PLAXIS + FOXTA)



Fondation d'un ouvrage d'art

- Notion de courbe d'influence d'un appui isolé

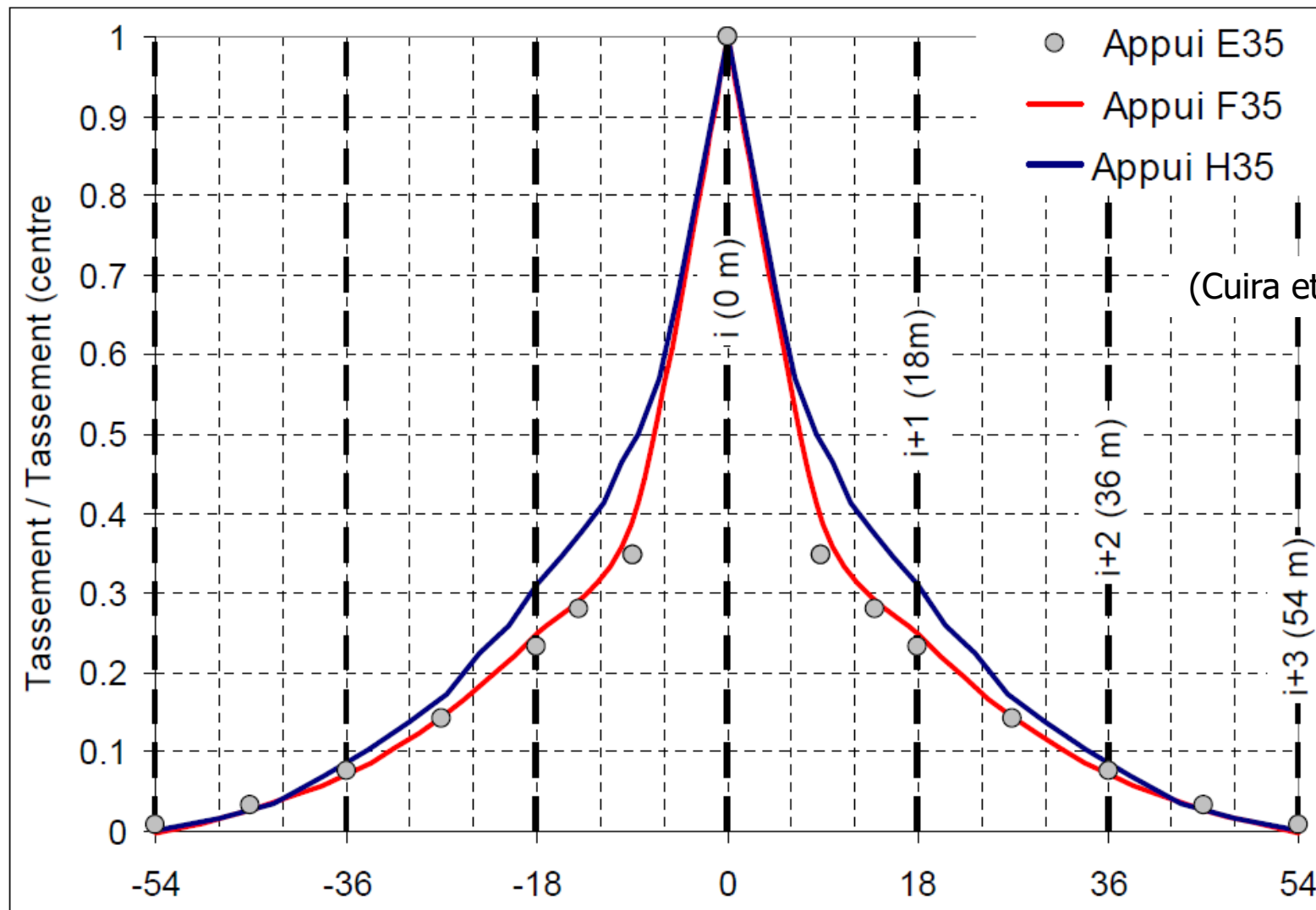


$$s(x) = \alpha_v \cdot s(0)$$

Peut être construite avec un modèle axisymétrique centré sur un appui

Fondation d'un ouvrage d'art

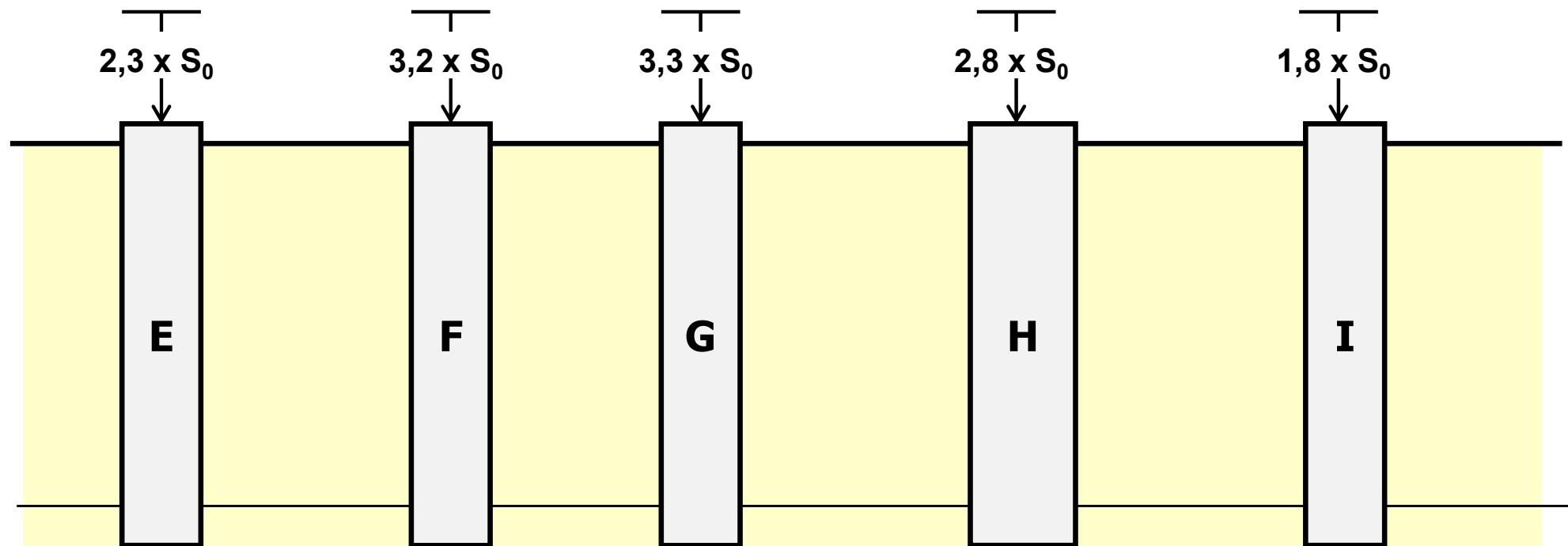
- Construction de la courbe d'influence (tassement normalisé)



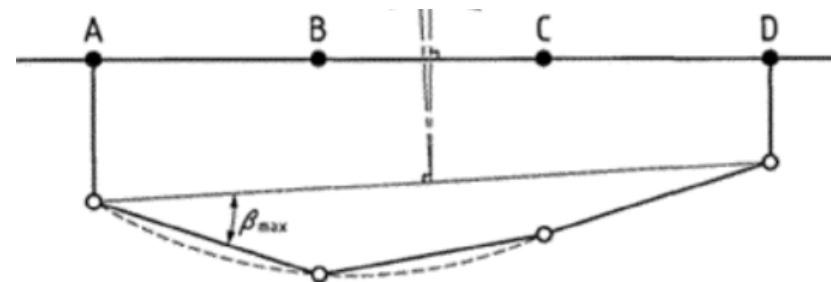
(Cuira et Simon 2016)

Fondation d'un ouvrage d'art

- Interaction entre appuis : facteurs d'amplification par file (DDC initiale)

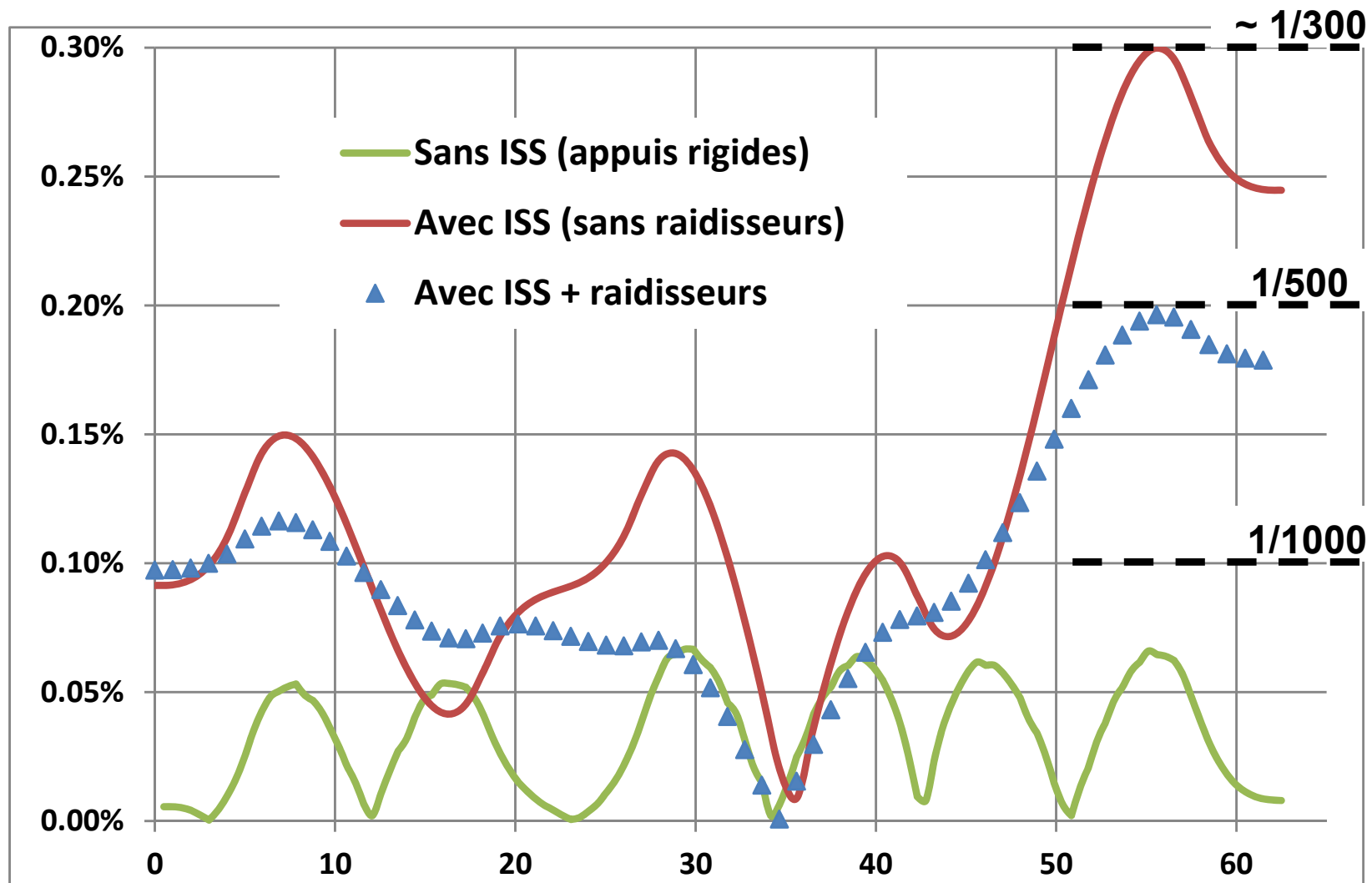


⇒ Tassements différentiels ?



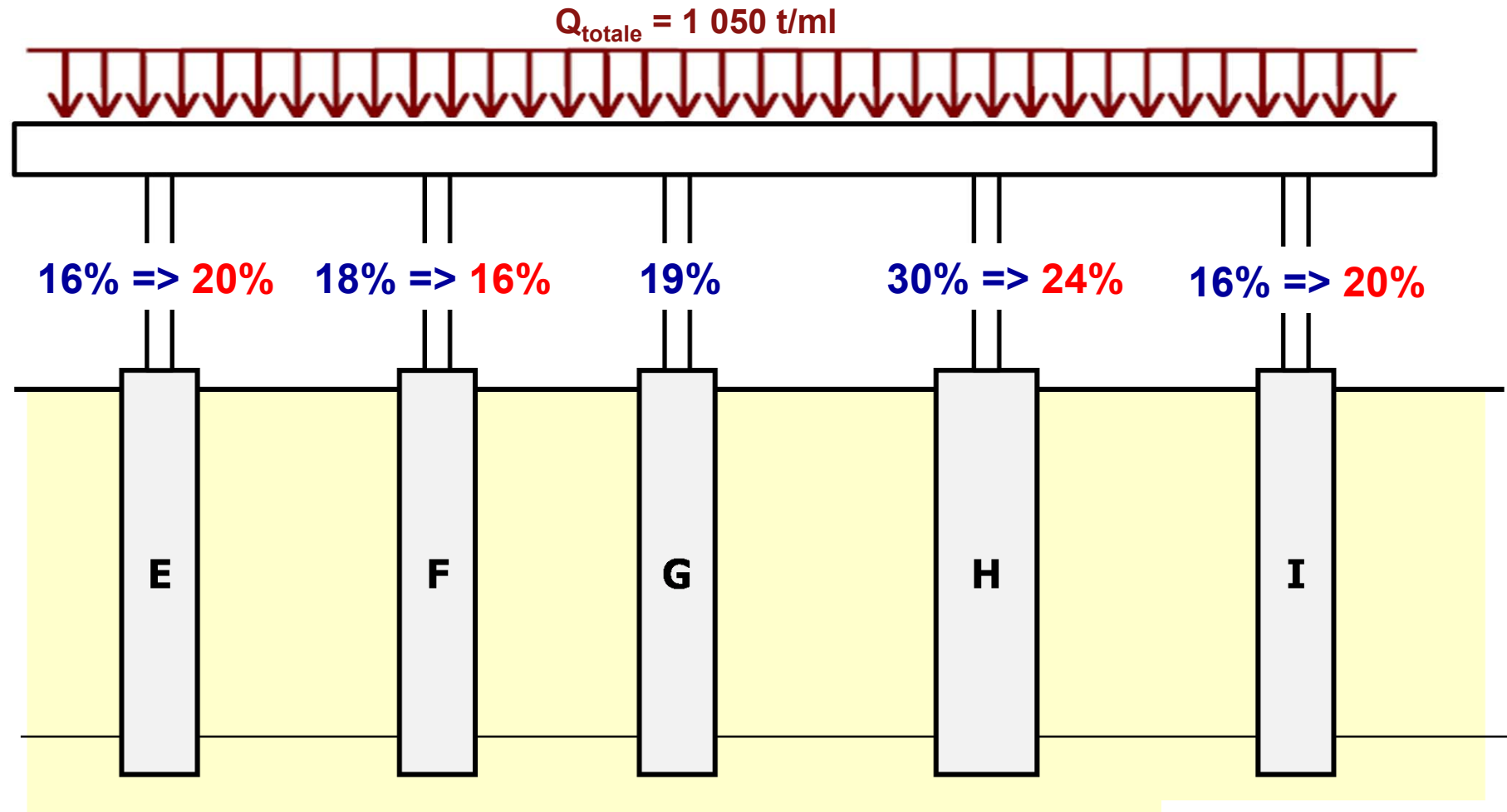
Fondation d'un ouvrage d'art

- Tassements différentiels entre appuis (distorsion relative de la dalle)



Fondation d'un ouvrage d'art

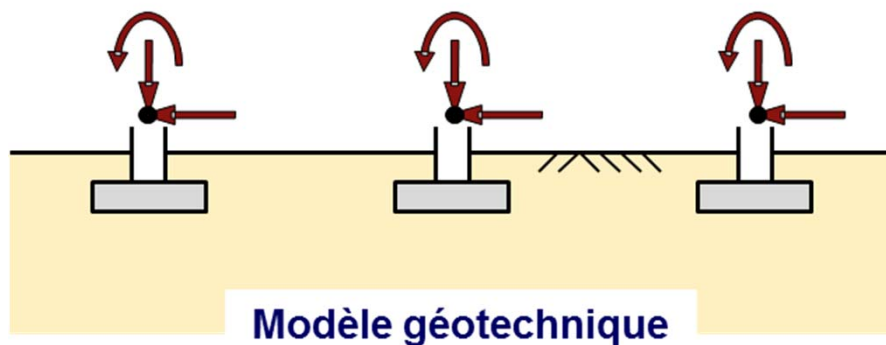
- Distribution des réactions : apports de l'ISS



(Cuir et Simon 2016)

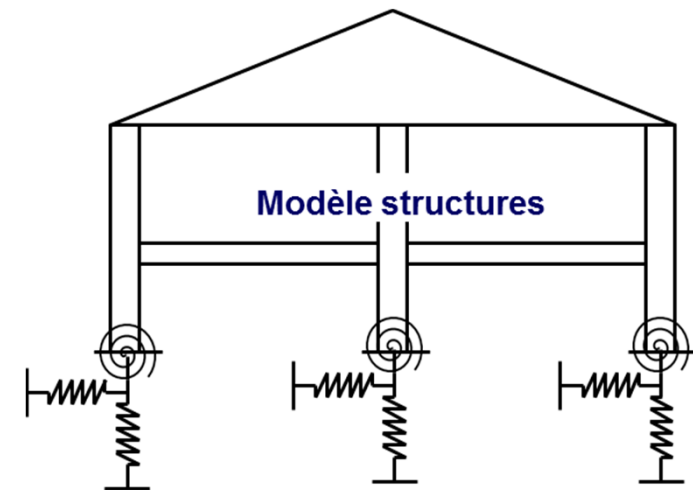
Raideur d'une fondation en groupe

- Schéma ISS mis en œuvre



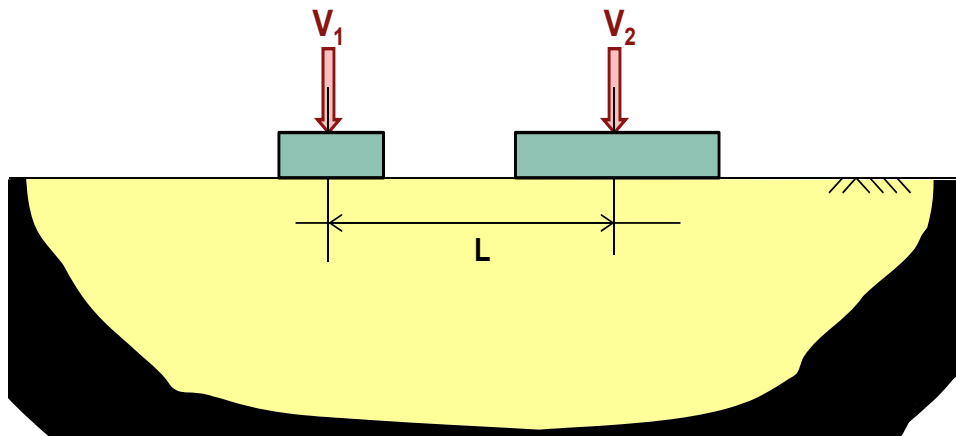
Réactions des appuis
Déflexion et sollicitations

Raideurs « apparentes »
des appuis



Raideur d'une fondation en groupe

- Principe de Saint Venant appliqué sur deux fondations en interaction



$$u_1 = \alpha_{11} \cdot V_1 + \alpha_{12} \cdot V_2$$

$$u_2 = \alpha_{21} \cdot V_1 + \alpha_{22} \cdot V_2$$

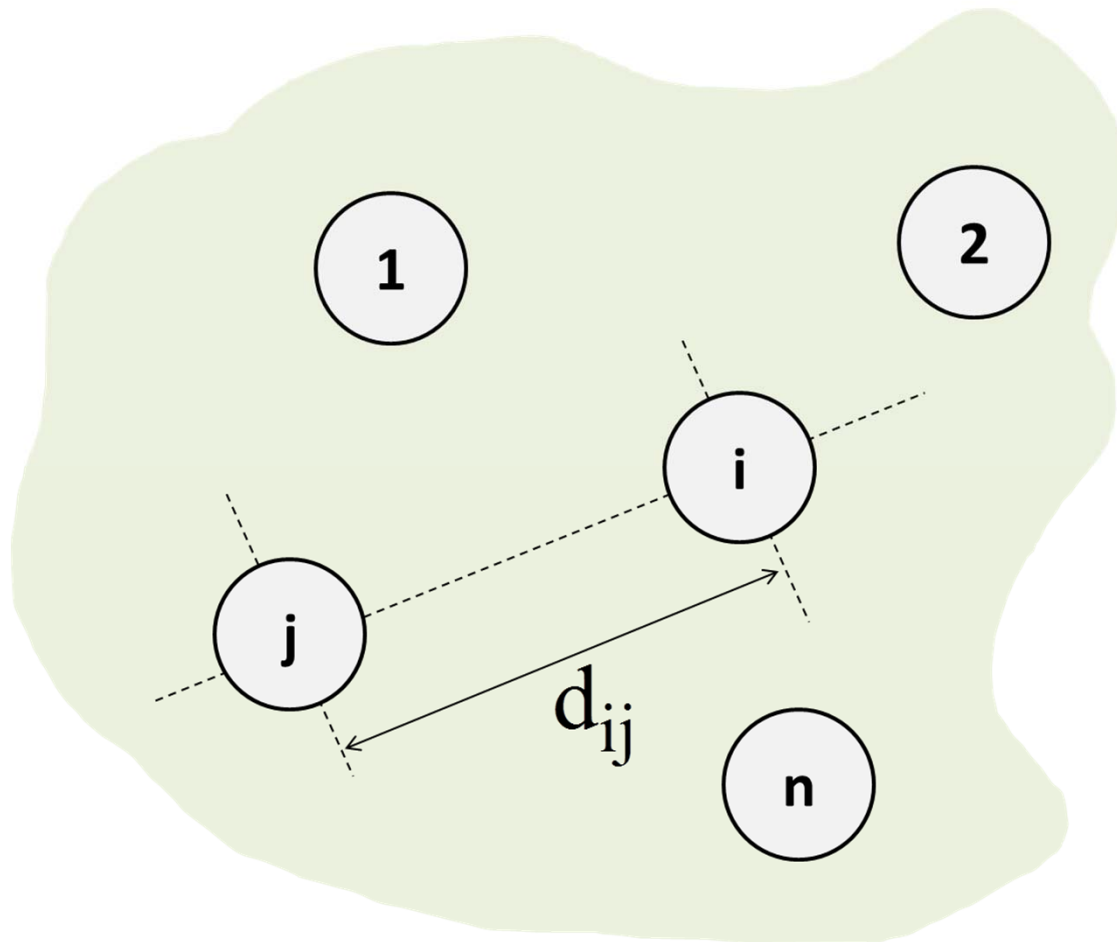
$$\frac{1}{K_1} = \frac{u_1}{V_1} = \alpha_{11} + \alpha_{12} \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{1}{K_2} = \frac{u_2}{V_2} = \alpha_{22} + \alpha_{21} \frac{V_1}{V_2}$$

⇒ La raideur apparente est réduite et dépend de la charge !

Raideur d'une fondation en groupe

- Application au cas d'un groupe quelconque de pieux

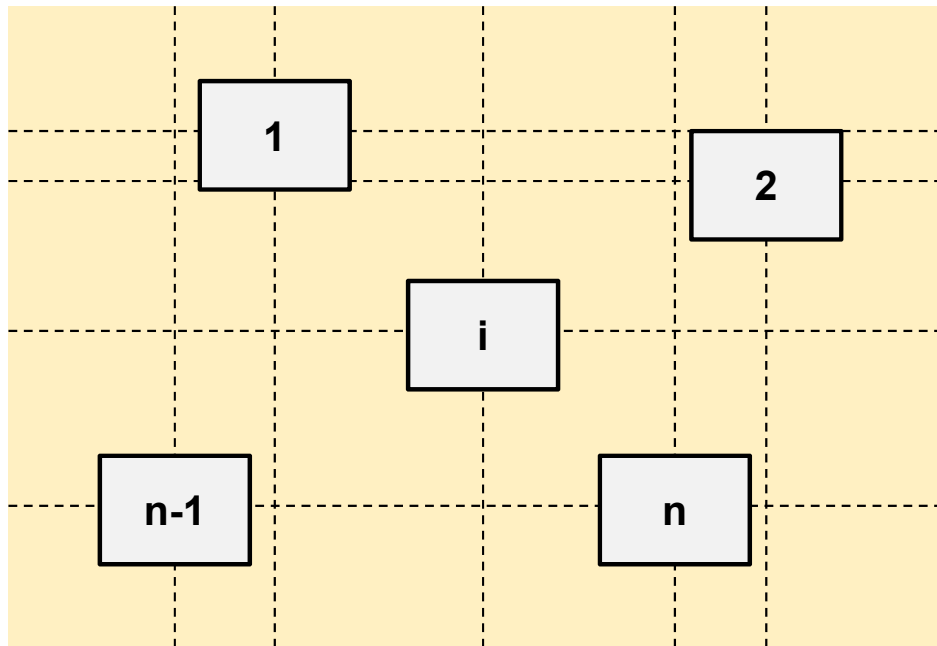


$$K_i^{\text{groupe}} = \frac{K_i^{\text{isolé}}}{1 + \sum_{j \neq i} \alpha_v(d_{ij}) \frac{F_j}{F_i}}$$

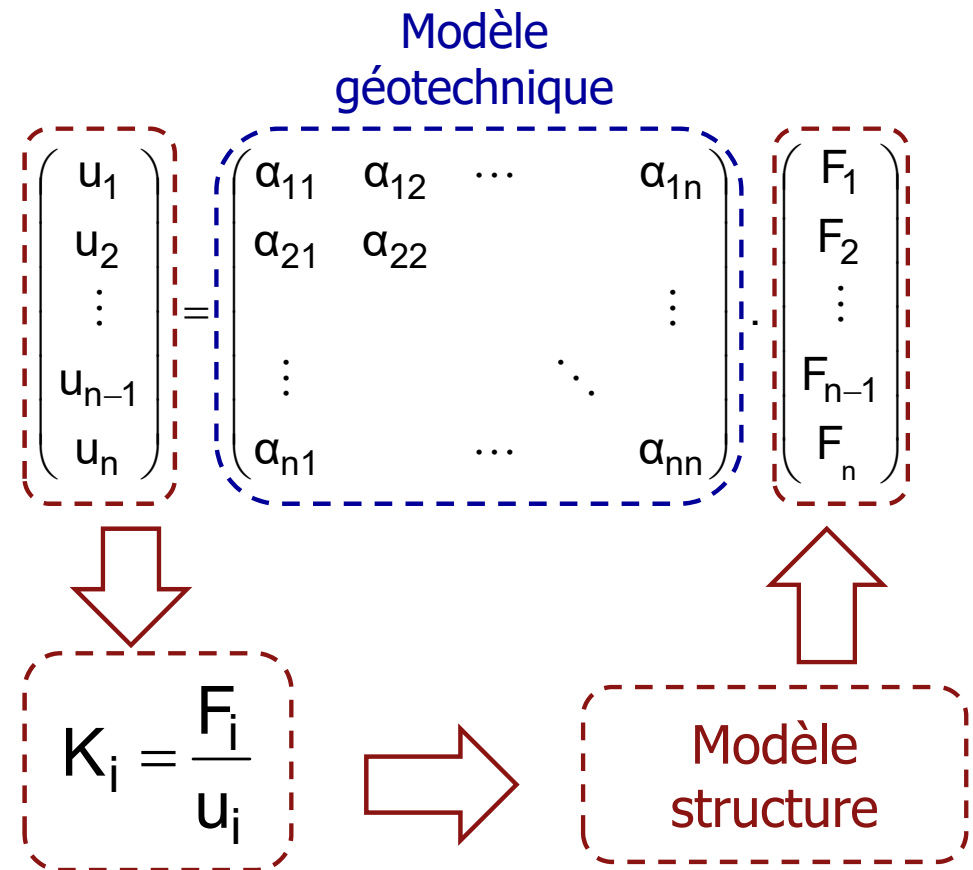
La raideur apparente dépend de la position du pieu et de la DDC

Notion de matrice de souplesse

- La réponse des pieux en interaction peut être traduite de façon « intrinsèque » par une matrice de souplesse construite à partir des coefficients d'influence de chaque pieu

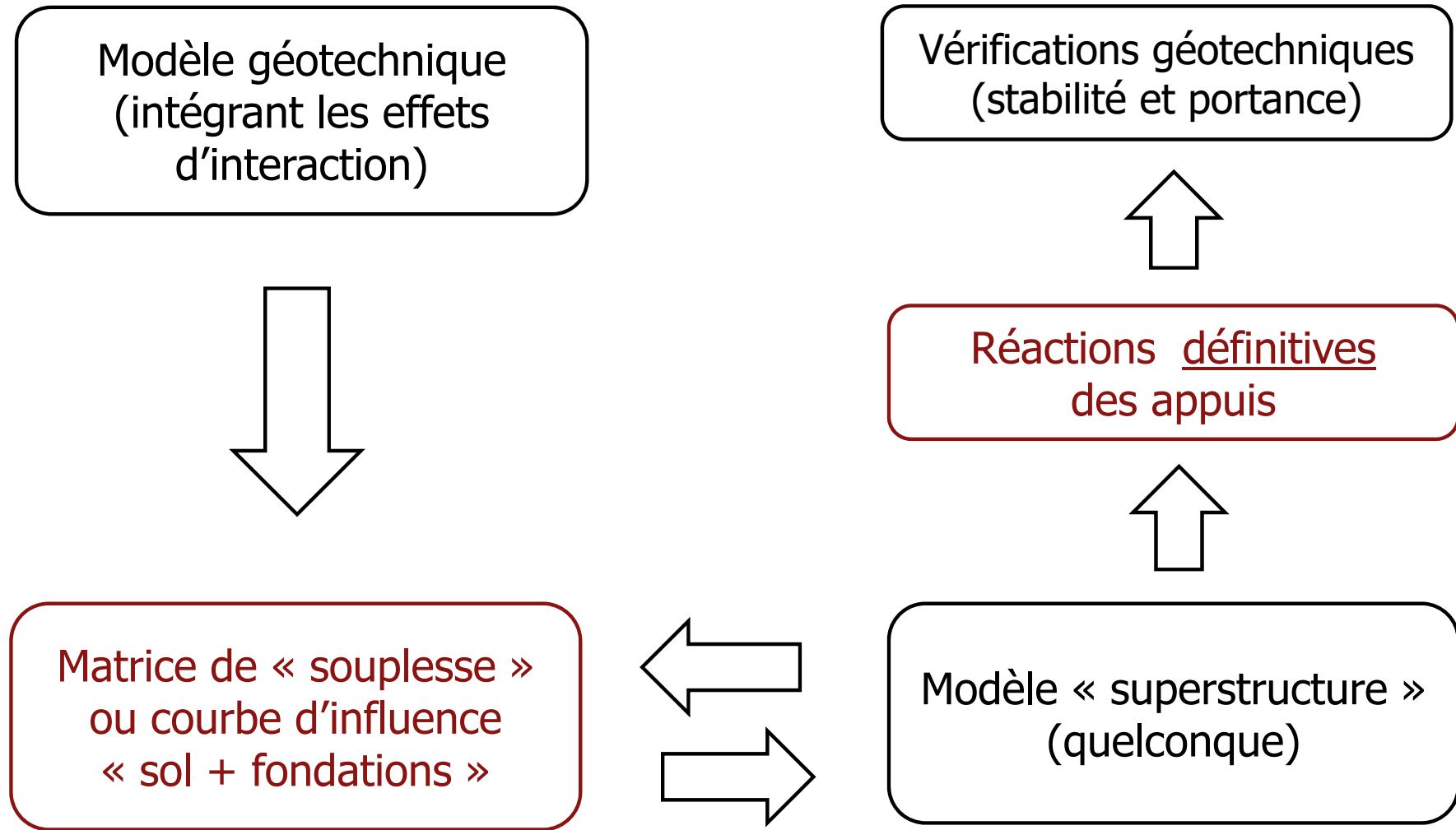


(Cuira et Simon 2016)



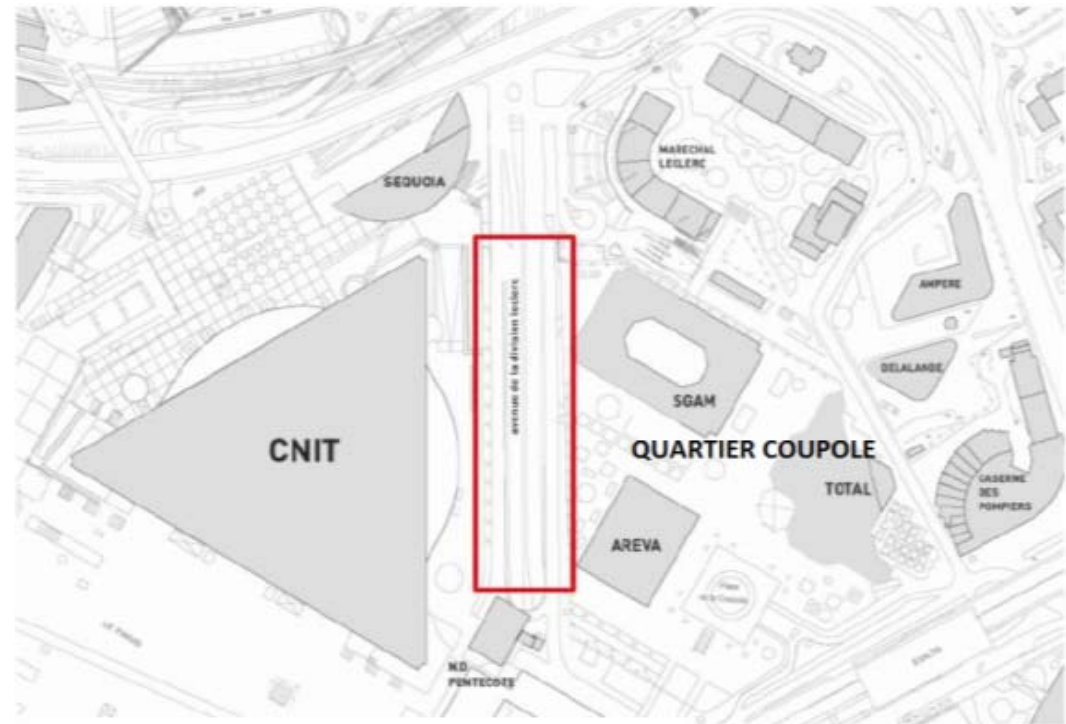
Notion de matrice de souplesse

- Schéma ISS plus élaboré (et plus adapté)



Fondation d'un IGH

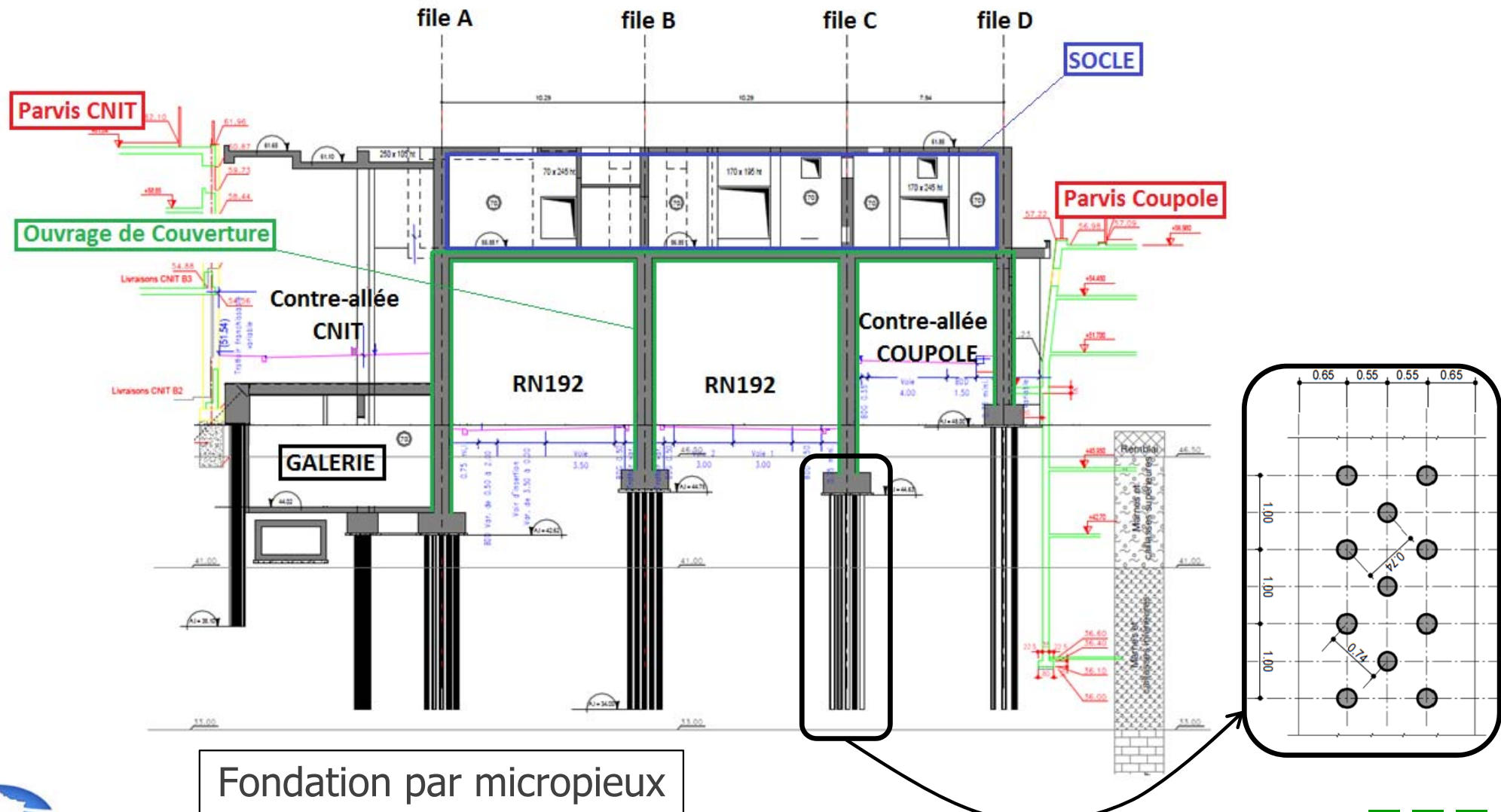
- Contexte du projet



Projet de Tour à la Défense

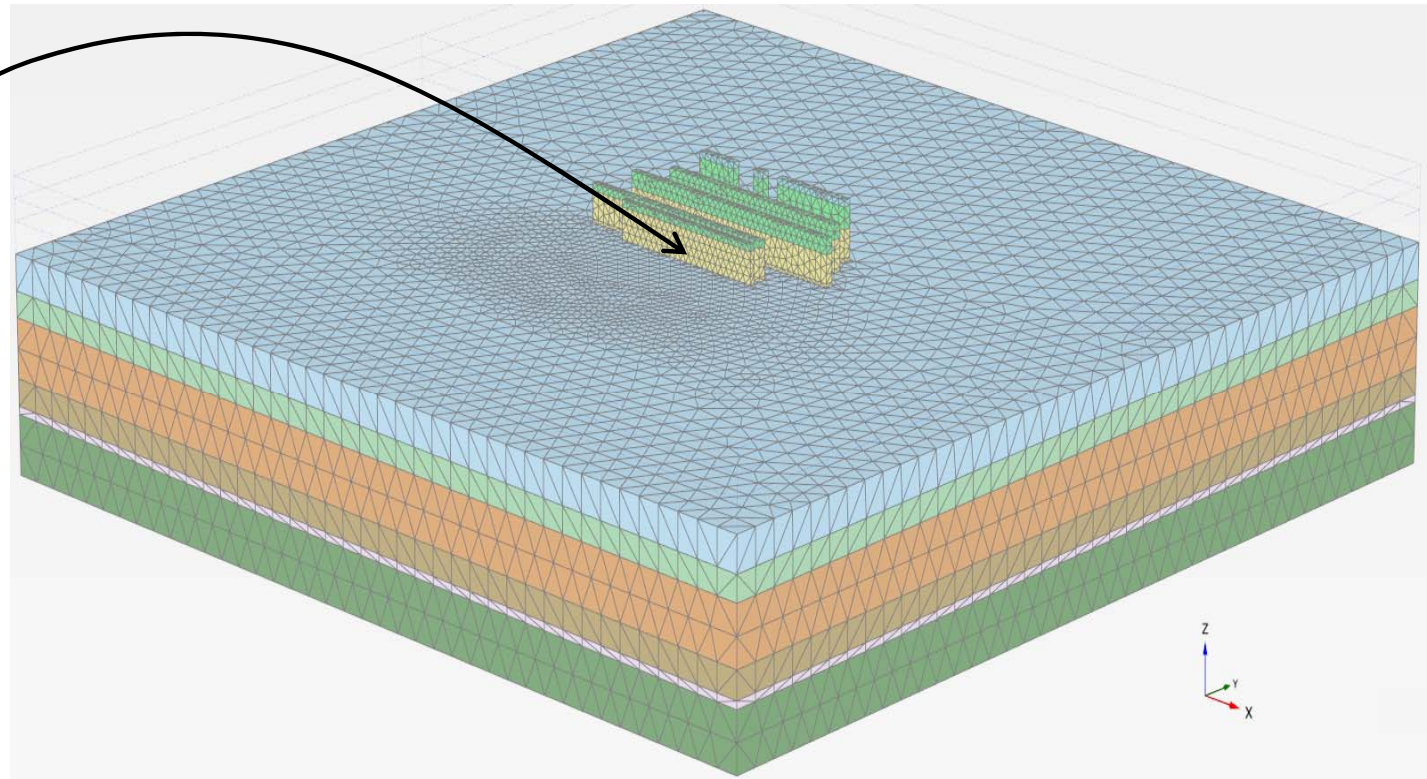
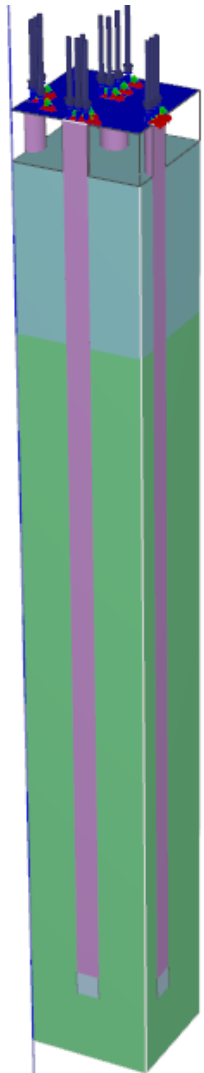
Fondation d'un IGH

- Principe de fondation



Fondation d'un IGH

- Construction du modèle géotechnique (FOXTA puis PLAXIS)



Modèle « géotechnique » = sol + fondations

- Empreinte des « zones d'appui » (sous la superstructure)



Décomposition de l'emprise de fondation en 13 massifs en interaction

Fondation d'un IGH

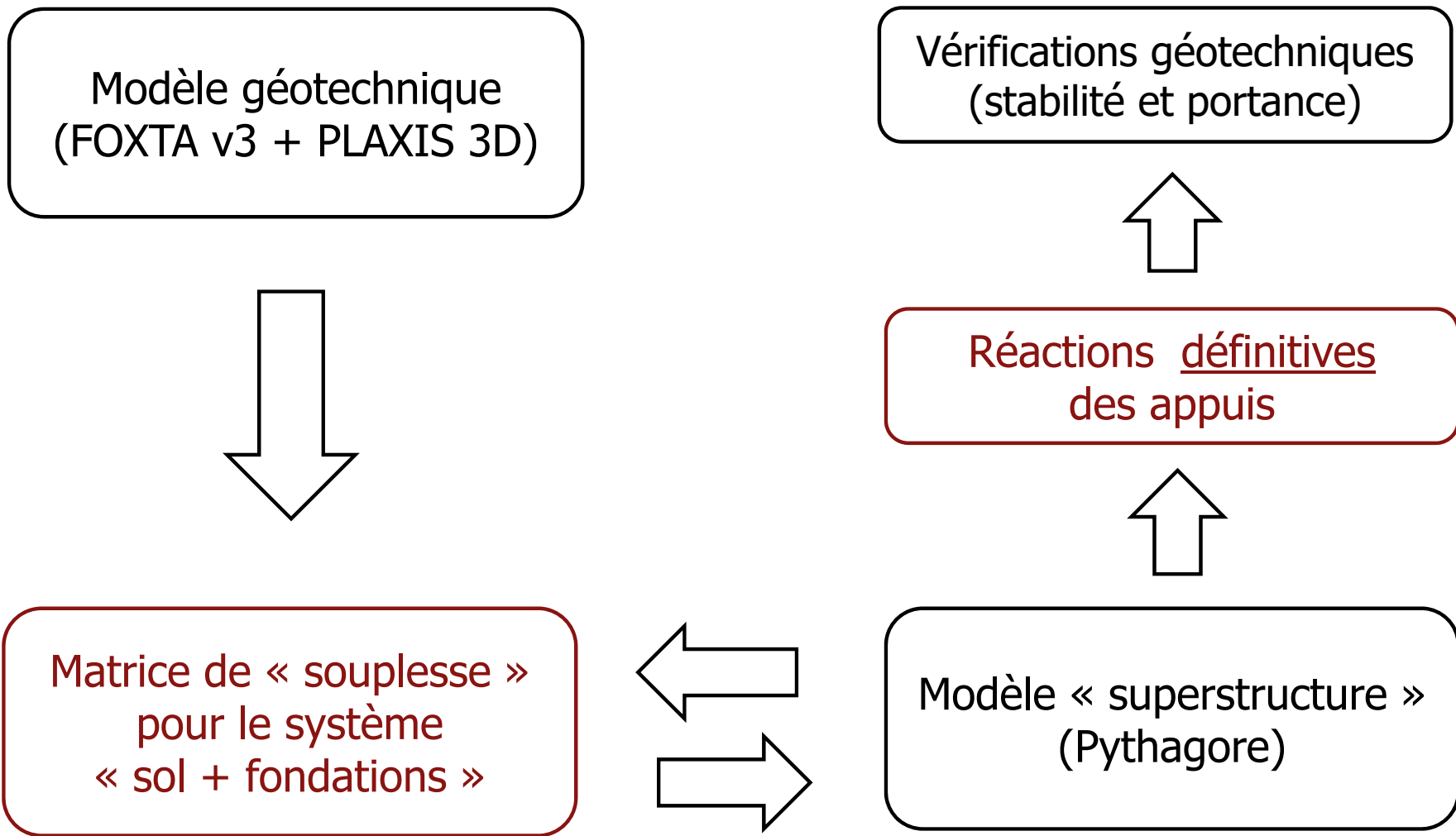
- Construction de la matrice de souplesse (= 13 calculs)

$\tau_{ij} =$	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5	zone 6	zone 7	zone 8	zone 9	zone 10	zone 11	zone 12	zone 13
zone 1	1.54E-07	3.02E-08	7.58E-09	3.28E-08	2.13E-08	7.52E-09	2.04E-09	1.44E-08	6.43E-09	2.42E-09	1.03E-08	7.06E-09	4.40E-09
zone 2	2.84E-08	1.26E-07	1.85E-08	2.44E-08	3.13E-08	1.55E-08	4.66E-09	1.72E-08	1.11E-08	4.86E-09	1.20E-08	1.03E-08	7.15E-09
zone 3	7.01E-09	1.54E-08	8.34E-08	7.70E-09	1.42E-08	2.83E-08	1.50E-08	1.04E-08	1.64E-08	1.22E-08	8.47E-09	1.15E-08	1.16E-08
zone 4	3.19E-08	2.44E-08	8.40E-09	2.44E-07	4.56E-08	9.05E-09	2.77E-09	2.42E-08	9.08E-09	3.57E-09	1.62E-08	1.06E-08	6.64E-09
zone 5	2.11E-08	3.11E-08	1.51E-08	3.64E-08	1.47E-07	1.97E-08	5.15E-09	2.91E-08	1.53E-08	6.08E-09	1.85E-08	1.49E-08	9.86E-09
zone 6	7.06E-09	1.47E-08	2.80E-08	8.39E-09	1.62E-08	1.00E-07	1.57E-08	1.40E-08	2.68E-08	1.60E-08	1.21E-08	1.76E-08	1.75E-08
zone 7	2.04E-09	4.67E-09	1.58E-08	2.73E-09	5.18E-09	1.91E-08	1.40E-07	5.25E-09	1.50E-08	2.97E-08	5.71E-09	9.53E-09	1.45E-08
zone 8	1.43E-08	1.71E-08	1.05E-08	2.40E-08	2.91E-08	1.46E-08	5.25E-09	1.31E-07	1.83E-08	6.87E-09	3.52E-08	1.98E-08	1.22E-08
zone 9	6.20E-09	1.10E-08	1.64E-08	8.56E-09	1.46E-08	2.67E-08	1.43E-08	1.56E-08	9.41E-08	1.78E-08	1.58E-08	2.93E-08	3.05E-08
zone 10	2.46E-09	4.90E-09	1.22E-08	3.58E-09	6.16E-09	1.68E-08	2.88E-08	6.90E-09	2.42E-08	1.74E-07	8.17E-09	1.33E-08	2.36E-08
zone 11	5.91E-09	1.12E-08	8.99E-09	1.98E-08	1.79E-08	1.22E-08	3.98E-09	3.18E-08	1.69E-08	8.56E-09	2.63E-07	2.46E-08	1.54E-08
zone 12	7.16E-09	9.86E-09	1.10E-08	1.09E-08	1.46E-08	1.65E-08	9.71E-09	2.04E-08	2.73E-08	1.37E-08	2.48E-08	6.28E-07	2.71E-08
zone 13	4.44E-09	6.97E-09	1.09E-08	6.77E-09	9.71E-09	1.62E-08	1.45E-08	1.23E-08	2.68E-08	2.38E-08	1.50E-08	2.50E-08	2.14E-07

Utilisation du modèle géotechnique pour constituer une matrice de souplesse 13 x 13

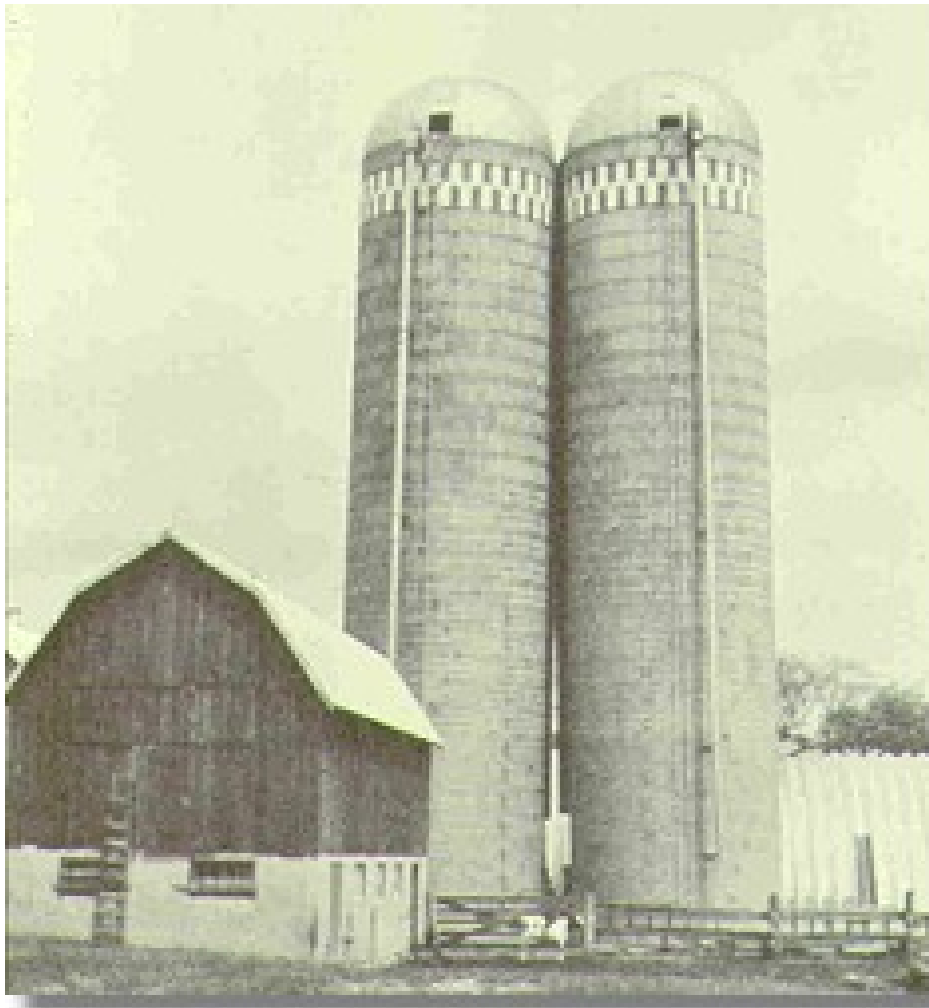
Fondation d'un IGH

- Schéma ISS mis en œuvre : processus itératif géré par BE structure



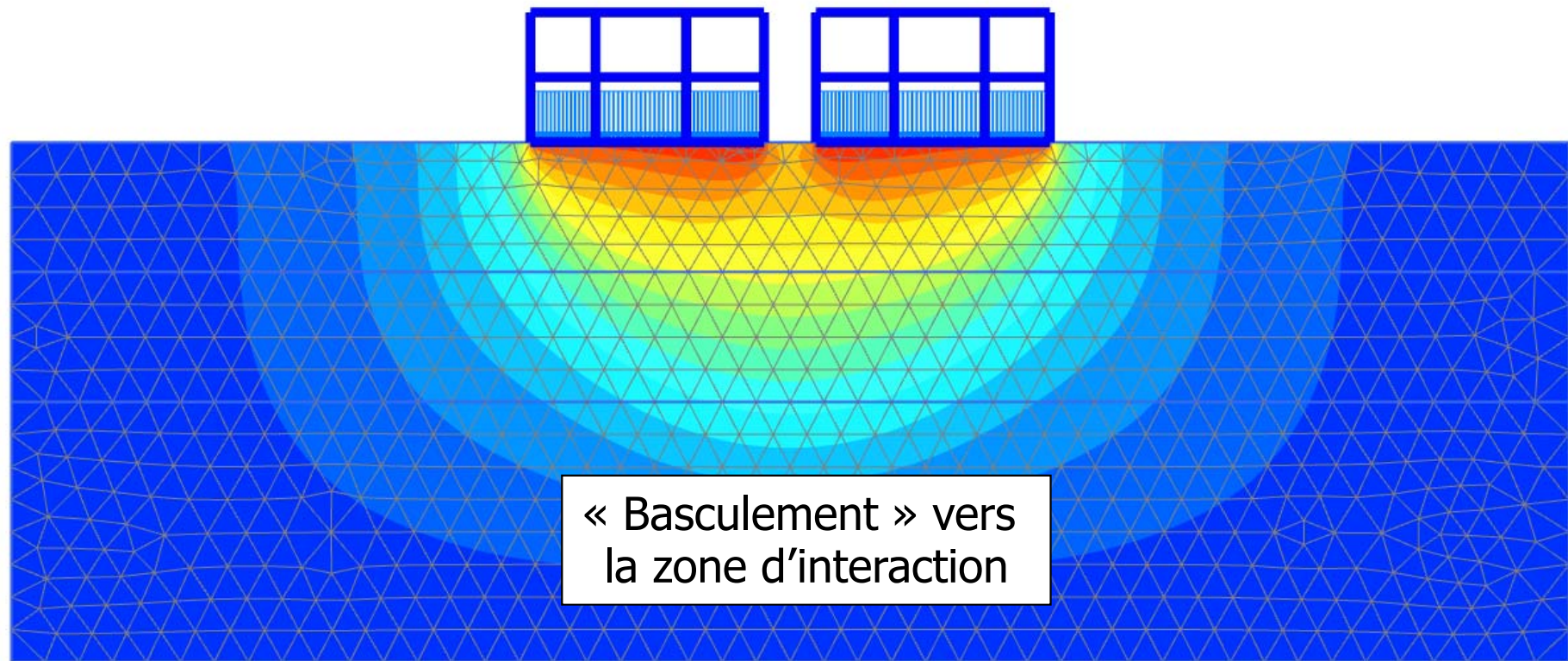
Interaction entre ouvrages voisins

- Basculement vers la zone d'interaction



Interaction entre ouvrages voisins

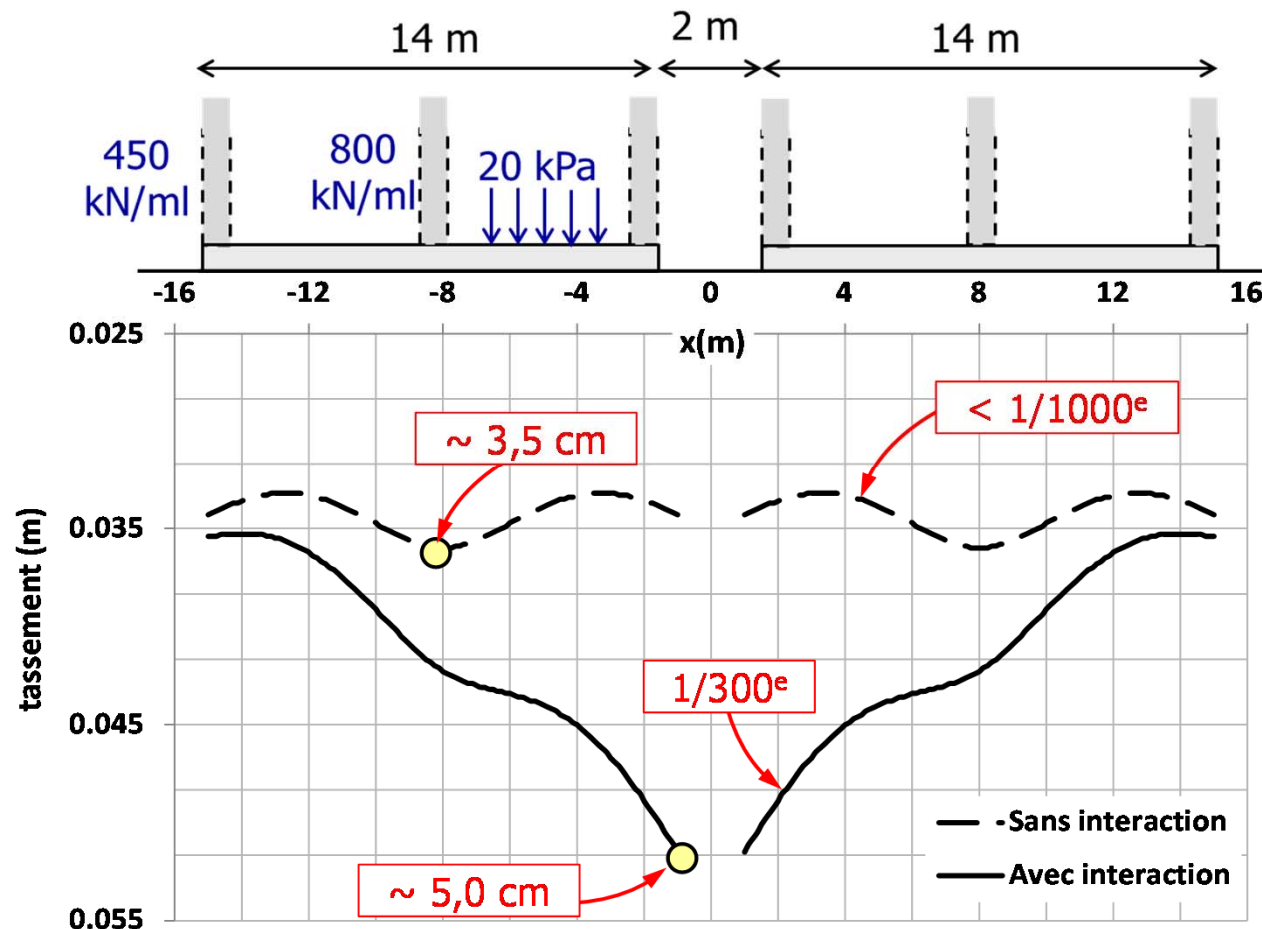
- Les deux ouvrages sont construits simultanément



Interaction « simultanée » de deux ouvrages fondés superficiellement

Interaction entre ouvrages voisins

- Les deux ouvrages sont construits simultanément

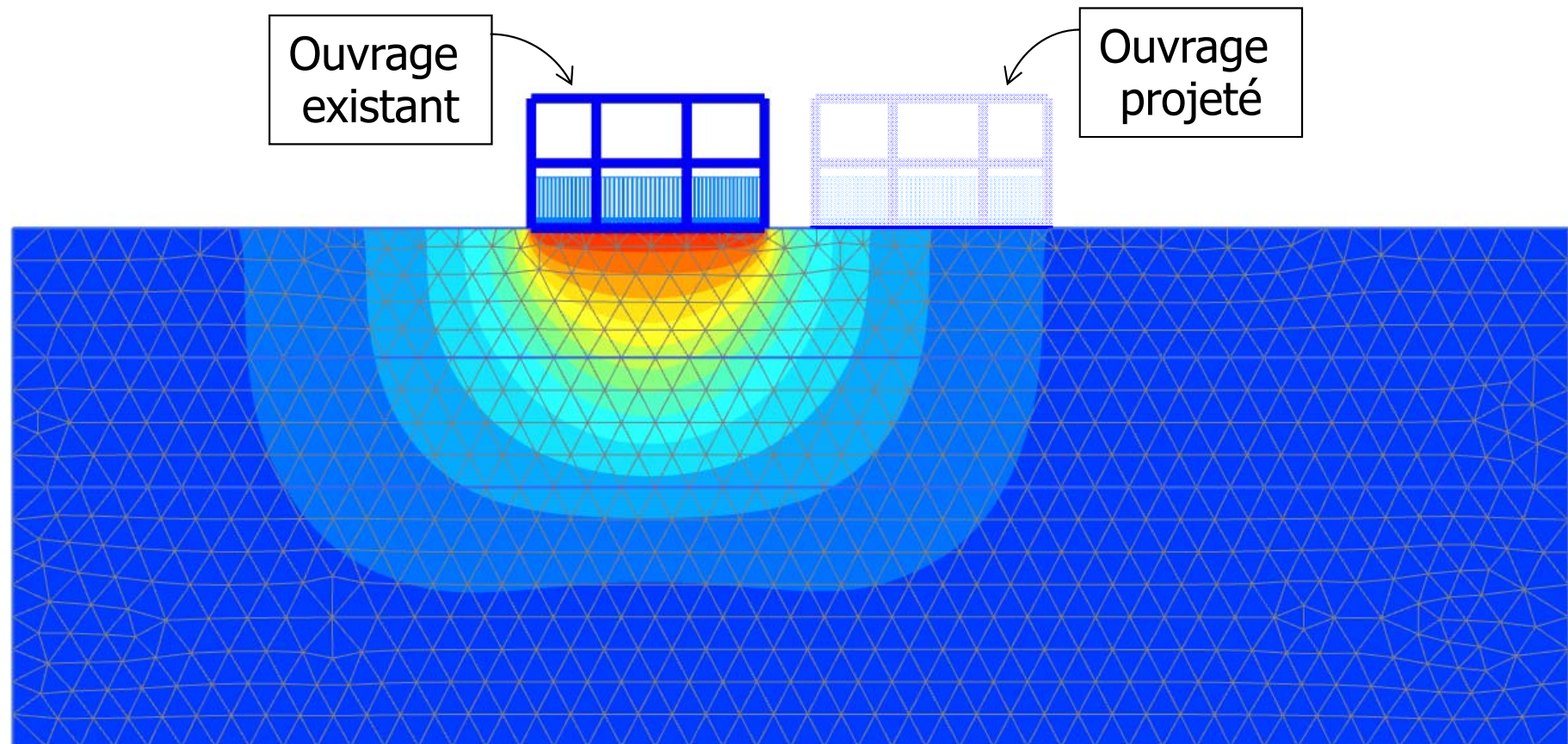


(Cuir et Brulé 2017)

Enseignements décisifs pour la justification
de la fondation de l'ouvrage

Interaction entre ouvrages voisins

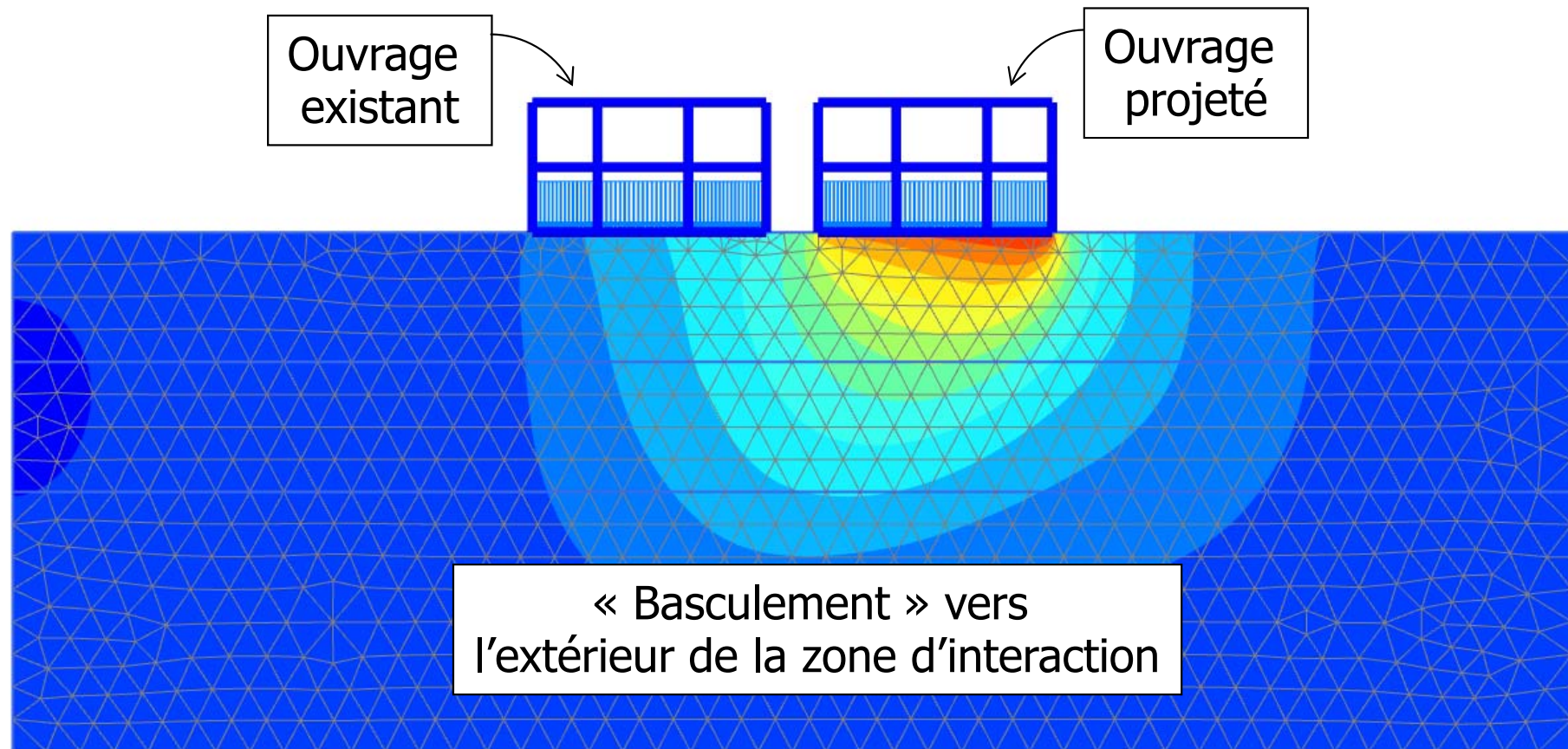
- L'ouvrage de droite est construit après « consolidation » des sols sous la charge de l'ouvrage de gauche



La prise en compte du phasage modifie les mécanismes d'interaction

Interaction entre ouvrages voisins

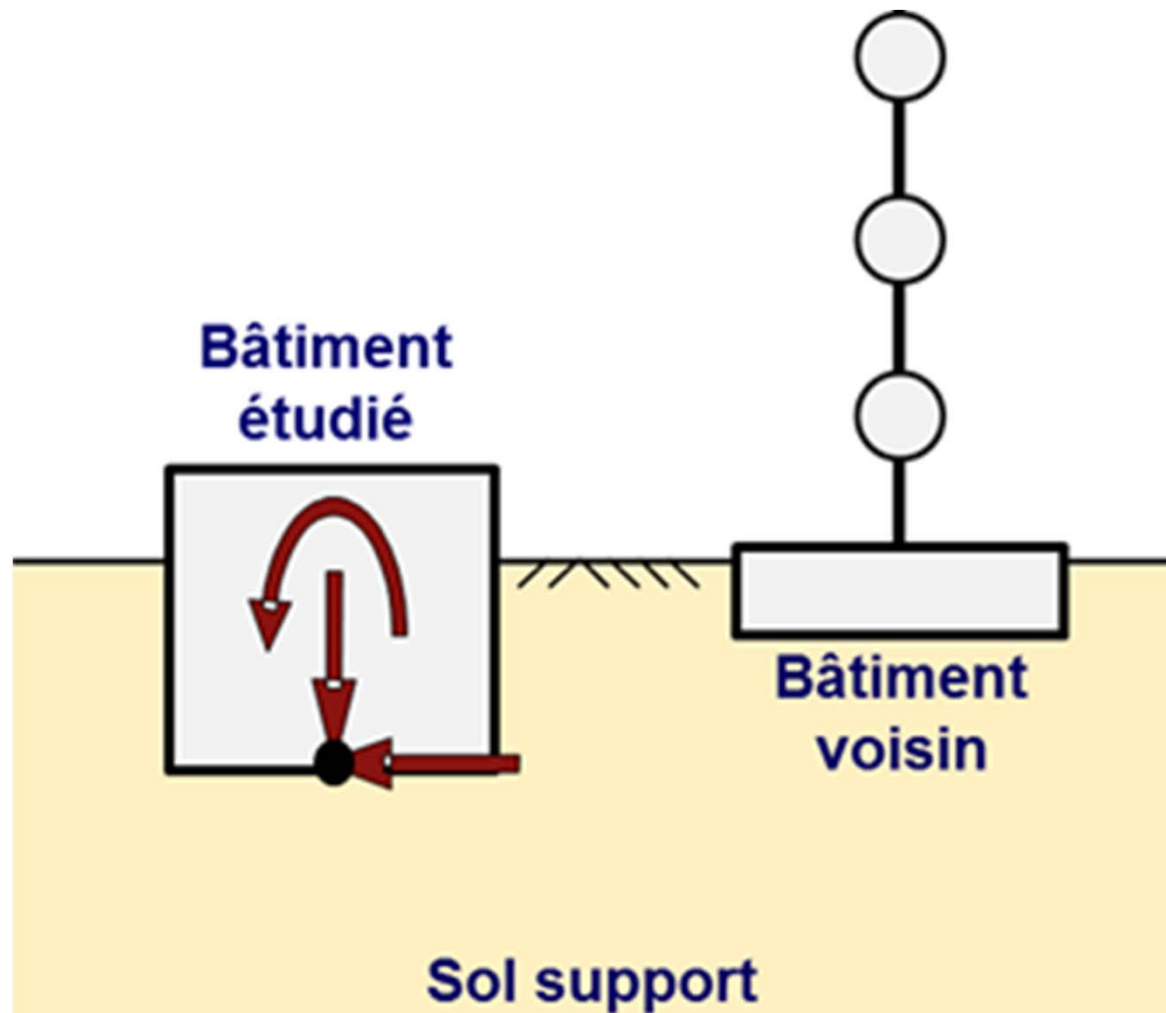
- L'ouvrage de droite est construit après « consolidation » des sols sous la charge de l'ouvrage de gauche



La prise en compte du phasage modifie les mécanismes d'interaction

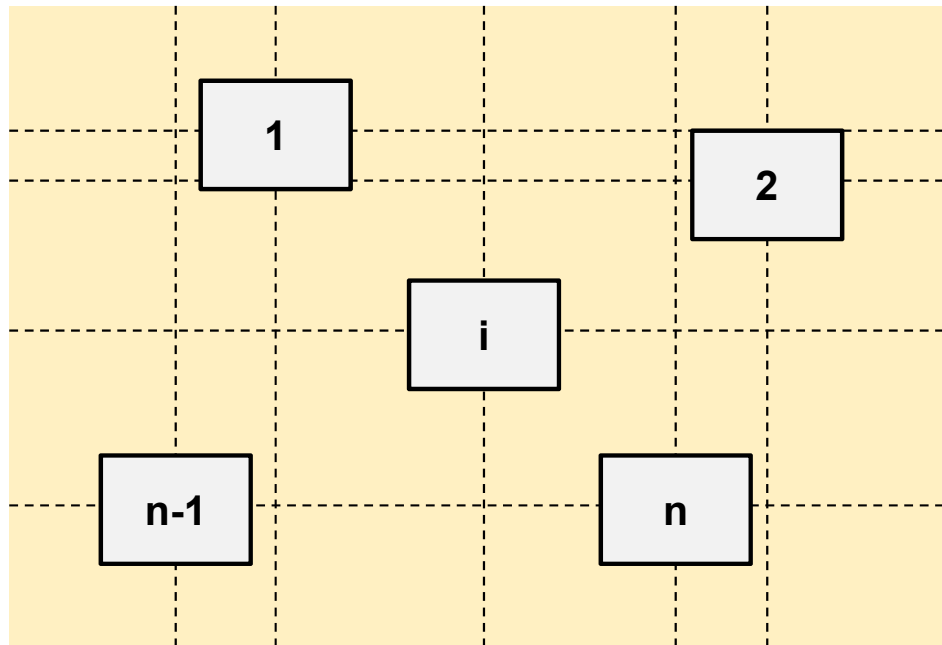
Effets I3S sous chargement dynamique

- Réponse tenant compte de la présence « dynamique » (masse / souplesse) du bâtiment existant (ou voisin)



Effets I3S sous chargement dynamique

- Ou notion de « matrice de souplesse » (admittance) étendue au cas d'un chargement dynamique



Utilisation de coefficients
d'influence « dynamiques »

Modèle
géodynamique

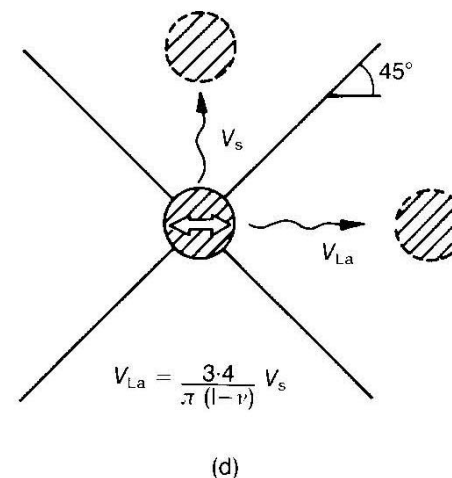
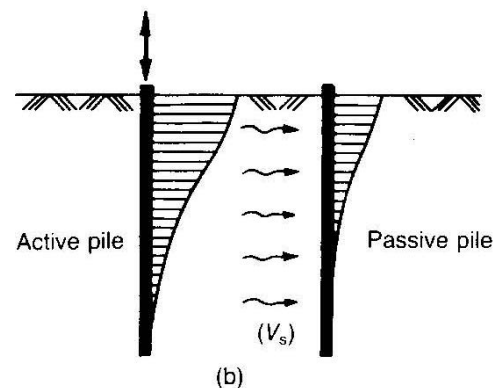
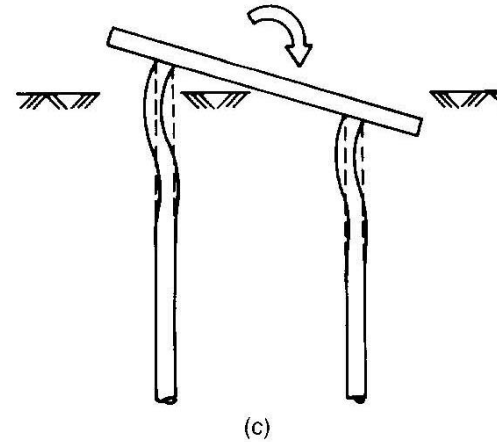
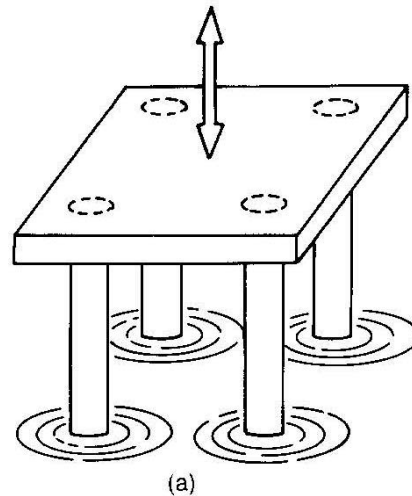
$$\begin{pmatrix} \underline{u}_1 \\ \underline{u}_2 \\ \vdots \\ \underline{u}_{n-1} \\ \underline{u}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \underline{\alpha}_{11} & \underline{\alpha}_{12} & \cdots & \underline{\alpha}_{1n} \\ \underline{\alpha}_{21} & \underline{\alpha}_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ \underline{\alpha}_{n1} & \cdots & & \underline{\alpha}_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{F}_1 \\ \underline{F}_2 \\ \vdots \\ \underline{F}_{n-1} \\ \underline{F}_n \end{pmatrix}$$

$$\underline{Z}_i = \frac{\underline{F}_i}{\underline{u}_i}$$

Modèle
structure

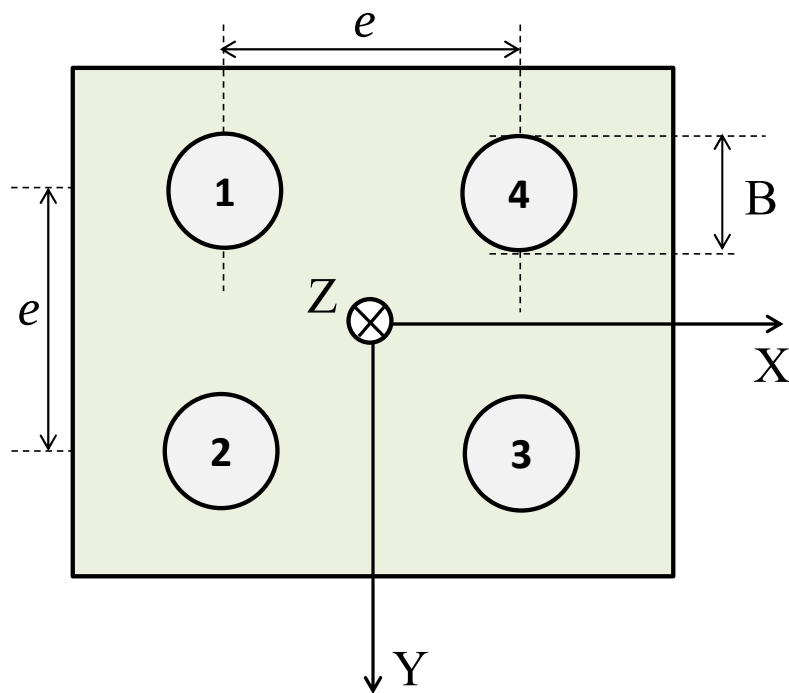
Effets I3S sous chargement dynamique

- Application au cas d'un groupe de pieux : utilisation des coefficients d'interaction dynamique

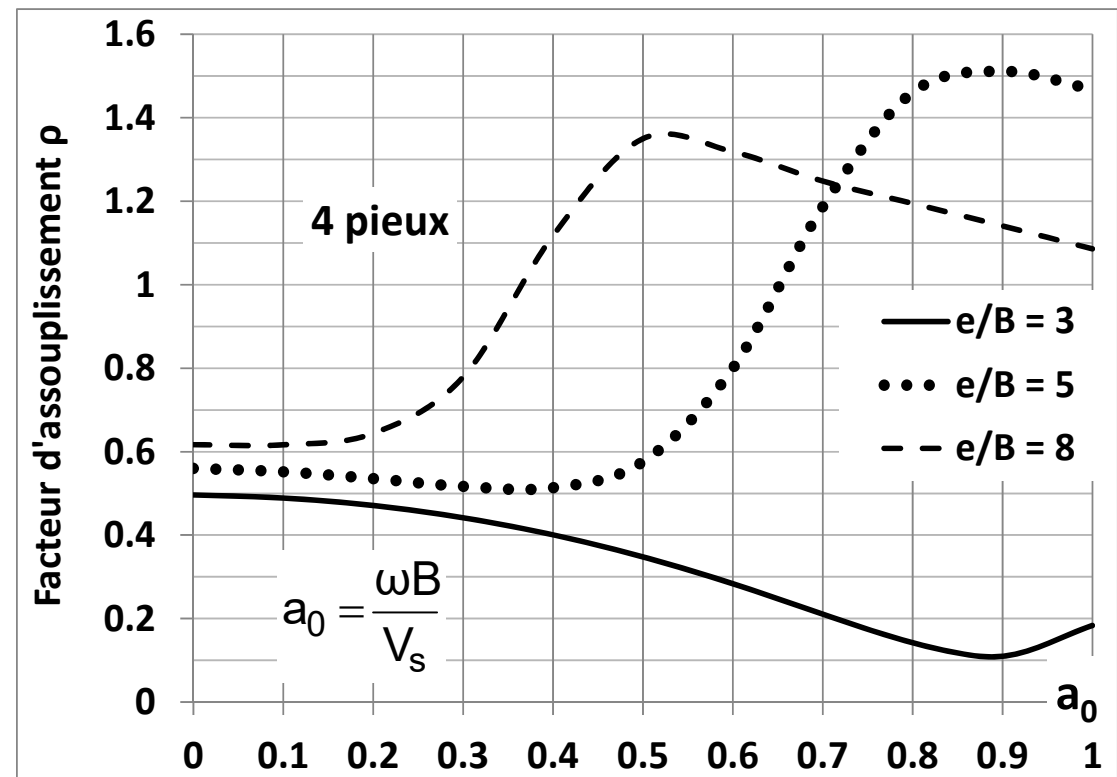


Effets I3S sous chargement dynamique

- Application au cas d'un groupe de pieux : réponse horizontale d'une semelle sur 4 pieux



Effet d'interaction dynamique
entre quatre pieux

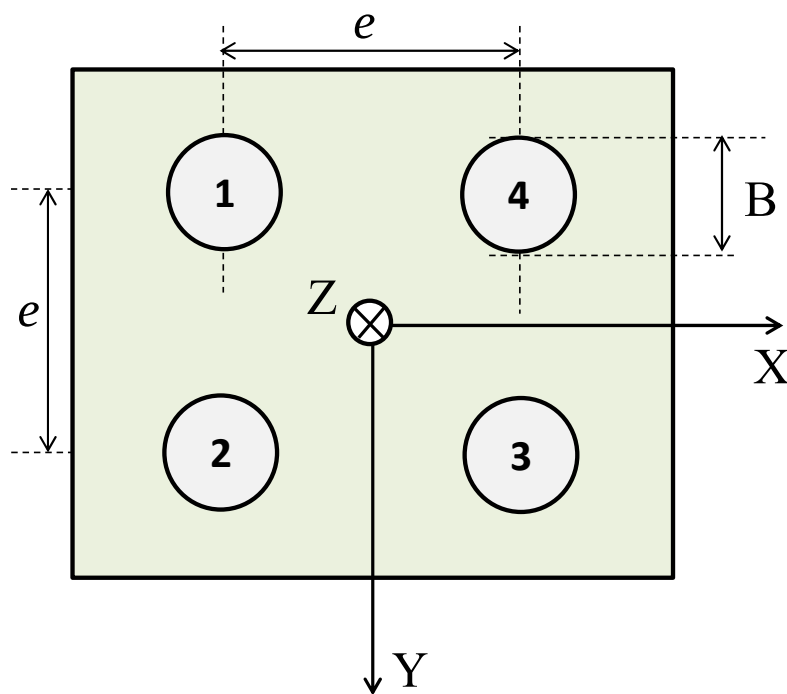


Modification de la raideur horizontale

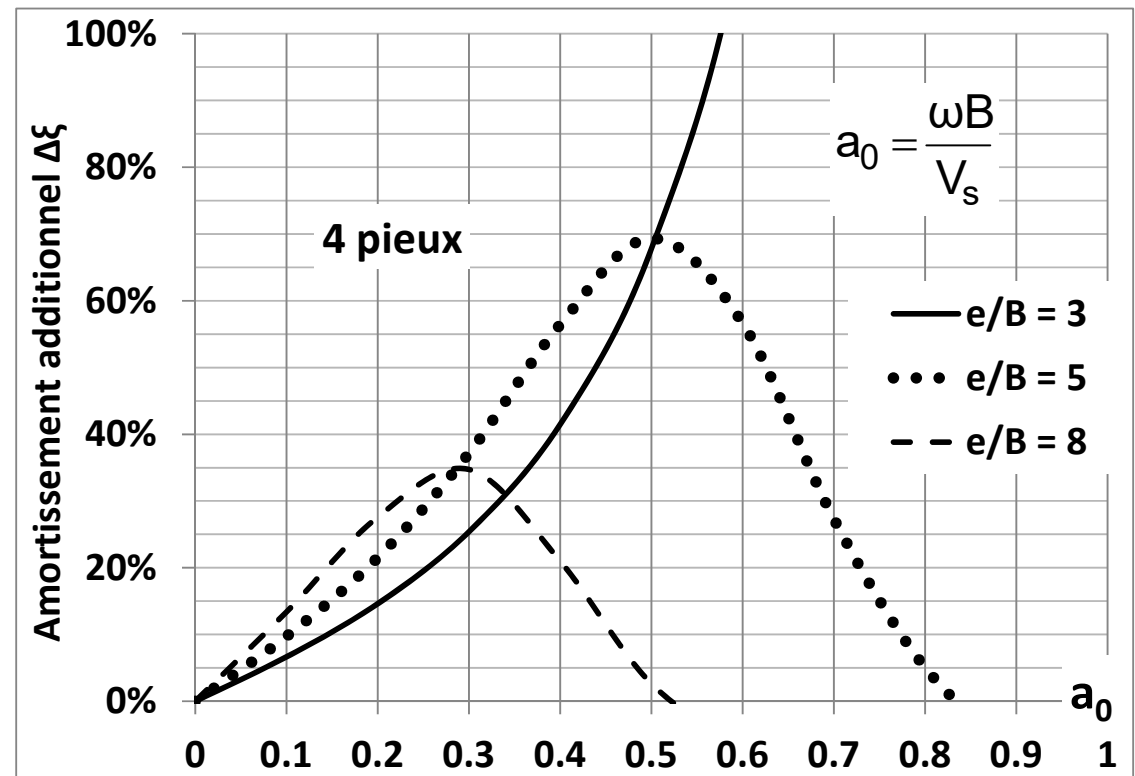
(Cuira et Brulé 2017)

Effets I3S sous chargement dynamique

- Application au cas d'un groupe de pieux : réponse horizontale d'une semelle sur 4 pieux



Effet d'interaction dynamique
entre quatre pieux

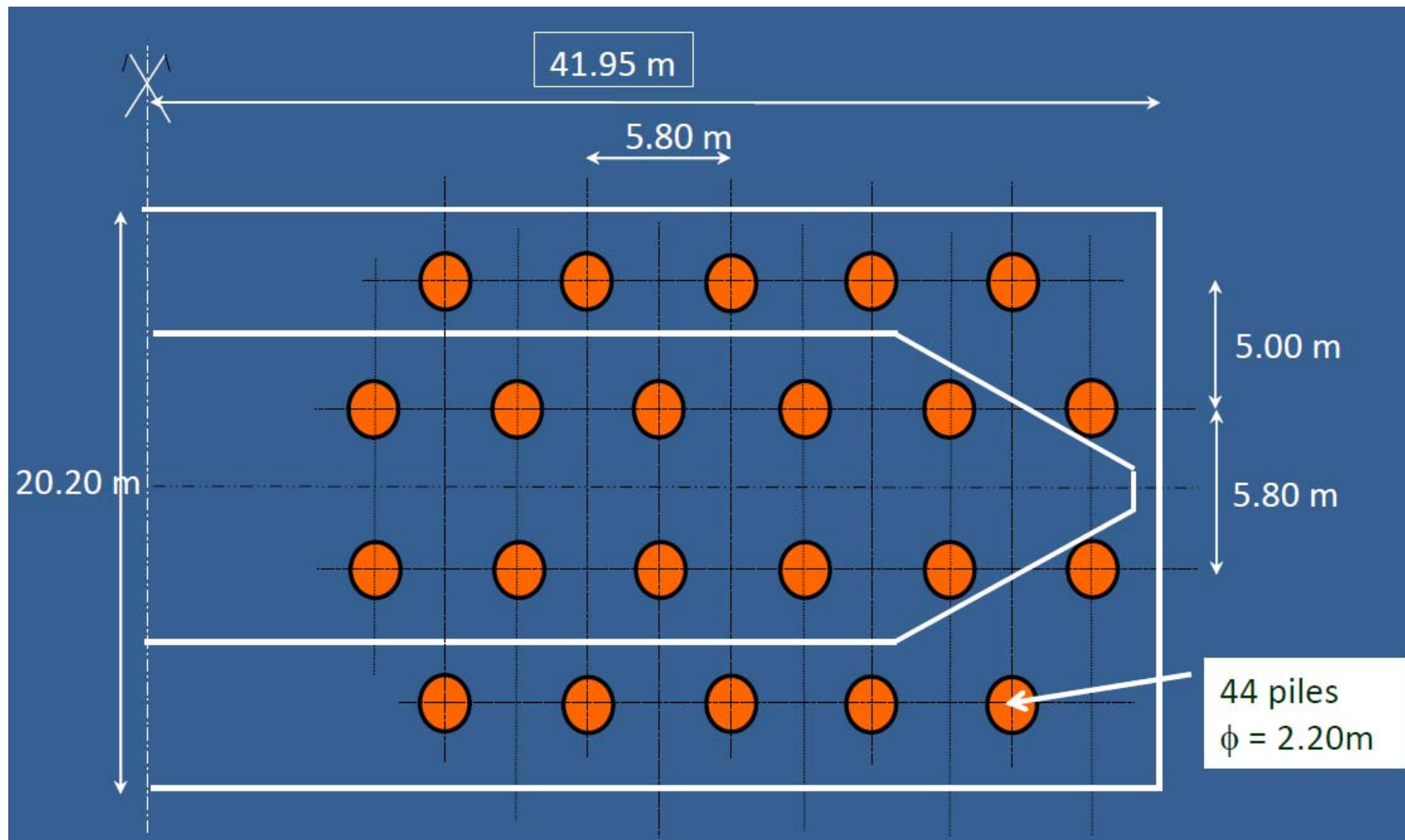


Modification de l'amortissement (radiatif)

(Cuira et Brulé 2017)

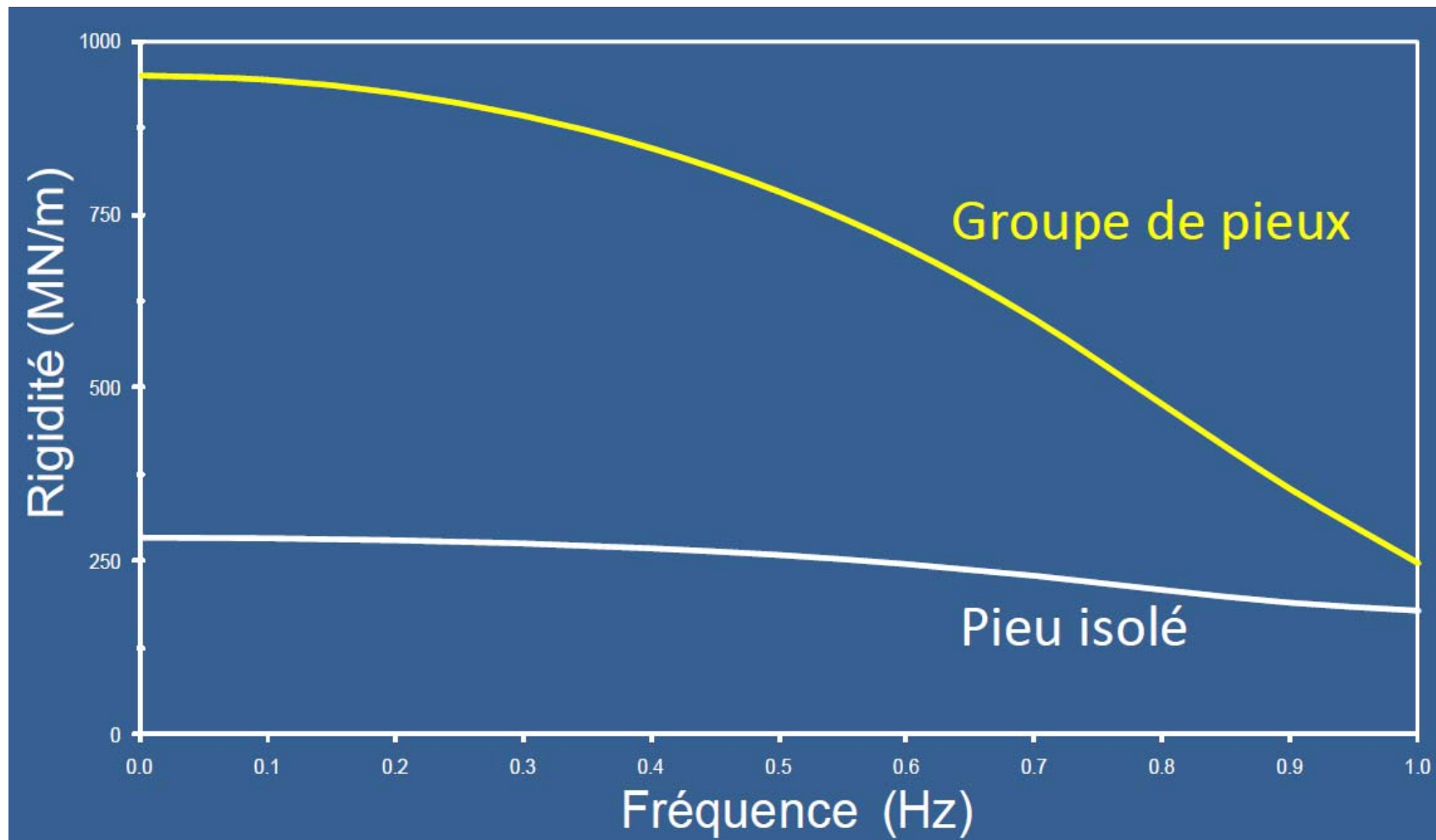
Effets I3S sous chargement dynamique

- Application au cas d'un groupe de pieux : grand nombre de pieux



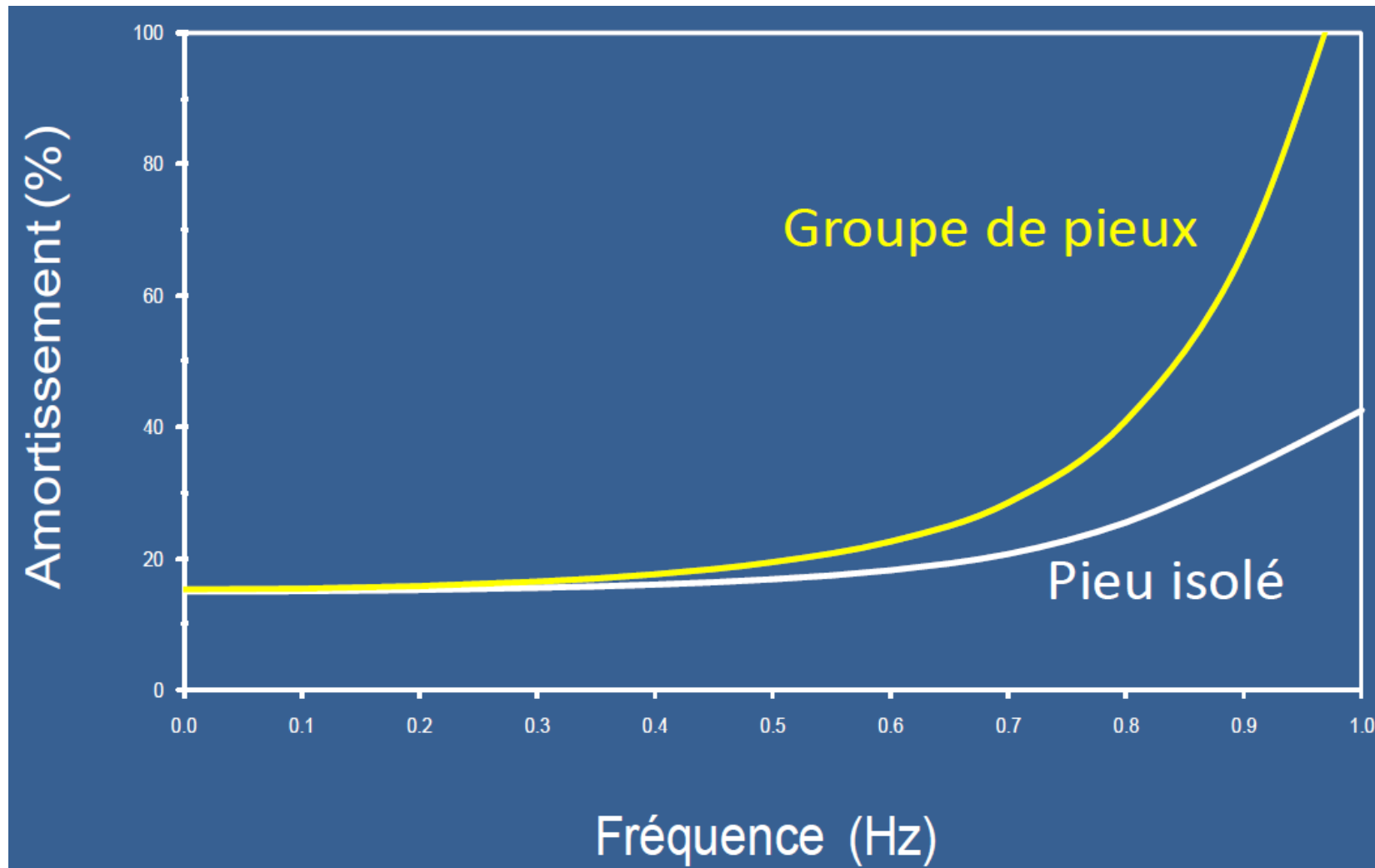
Effets I3S sous chargement dynamique

- Application au cas d'un groupe de pieux : grand nombre de pieux



Effets I3S sous chargement dynamique

- Application au cas d'un groupe de pieux : grand nombre de pieux



Ce qu'il faut retenir

- Contraste de rigidités implicitement introduit par les effets I3S
- Intérêt pratique de la notion de matrice de souplesse pour un groupe de fondations en interaction : s'affranchir des itérations et la dépendance à la DDC
- Influence du phasage sur les mécanismes I3S
- Importance des effets d'interaction dynamique pour un groupe de pieux