

Modélisation analyse et apprentissage statistique du comportement dynamique des structures pour le suivi des conditions aux limites

Mohamed BELMOKHTAR (Université Gustave Eiffel/EMGCU), Franziska SCHMIDT (Université Gustave Eiffel /EMGCU),
Christophe CHEVALIER (Université Gustave Eiffel /SRO),
Alireza TURE SAVADKOOHI (ENTPE/LTDS), Claude Henri LAMARQUE (ENTPE/LTDS)

Suivi des conditions aux limites: cas de l'affouillement

L'affouillement est l'abaissement du fond d'un cours d'eau sous l'effet de l'écoulement hydraulique.

Pour les gestionnaires d'infrastructures ce phénomène est perçu comme une défaillance structurelle et il est souvent localisé au niveau des fondations : C'est l'une des principales causes d'effondrement des ponts.

Affouillement autour d'une pile
(Source : <https://www.usgs.gov/>)

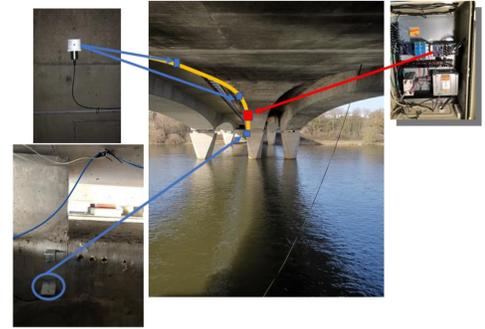


Photo de l'effondrement du pont Wilson à Tours le 9 Avril 1978
(Source : la Nouvelle République)



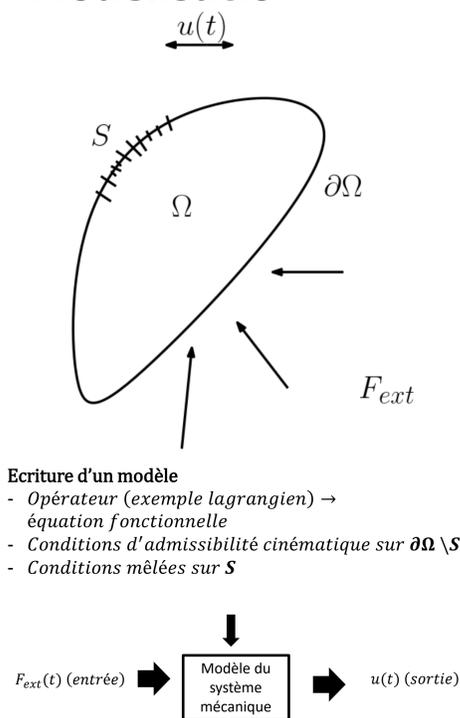
Instrumentation d'un ouvrage sur l'A71

- ✘ **Mesures d'entrées pour le modèle:** Relevés de la bathymétrie, du niveau d'eau, de la vitesse d'écoulement et de la température
- ✘ **Mesures de sorties pour le modèle :** Réponse vibratoire de l'ouvrage sous le tablier et en haut de pile dans la direction de l'écoulement hydraulique et de celle du champ de pesanteur



Modélisation

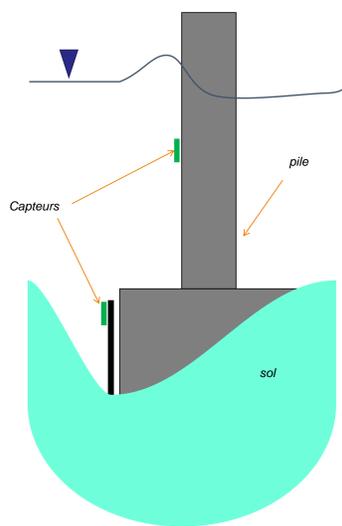
Principe de la modélisation



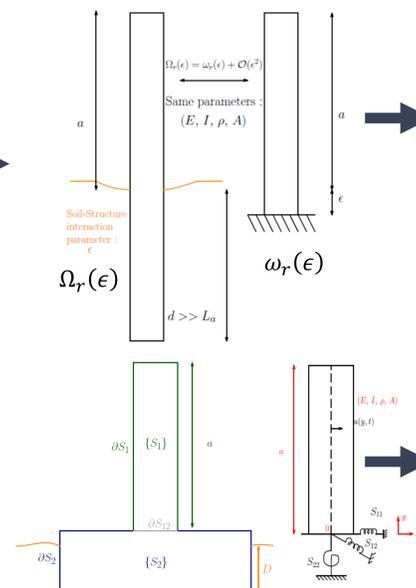
Objectif

- ✘ Comment détecter un changement de conditions aux limites avec des mesures de vibrations ?

Suivi du phénomène structurel



Modèles d'interaction sol-structure pour le suivi



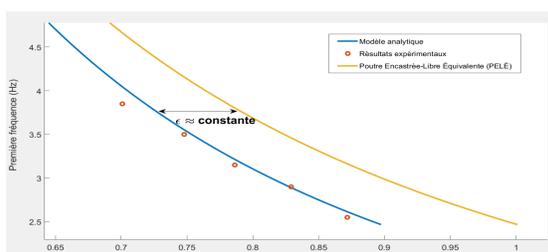
Suivi d'une variation de longueur pour un élément de type poutre partiellement enfoui dans un sol élastique:

- $\epsilon \approx \left(\frac{k}{EI}\right)^{\frac{1}{4}}$ pour les premiers modes (avec k le module de réaction du sol, et EI la rigidité en flexion de la poutre).
- L_a est la longueur en dessous de laquelle les déplacements sont négligeables.

Suivi de l'endommagement des paramètres S_{11} , S_{12} et S_{22} :

- La frontière ∂S_2 est soumise à l'action latérale d'un sol de Kelvin-Voigt.
- Le solide $\{S_2\}$ a un mouvement de corps rigide.

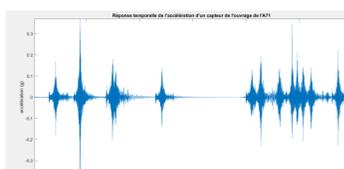
Travaux et Résultats



Recherche de la variation du niveau du sol par le modèle de Poutre Encastree-Libre Equivalente (PELE)

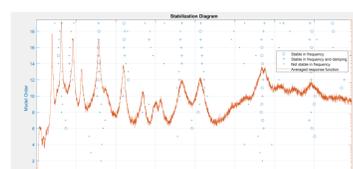


Suivi d'une variation de longueur via le développement du « scour depth sensor ».



Réponse temporelle d'un capteur mesurant l'accélération selon la direction du champ de pesanteur (solllicitations extérieures issues du trafic routier) et analyse dans le domaine fréquentiel afin d'en extraire les paramètres modaux de la structure.

Identification des fréquences propres de l'ouvrage comme paramètres de sorties



Campagne expérimentale d'essais vibratoires sur modèles réduits de piles de pont

Méthodes d'analyses

- ✘ **Analyse fréquentielle:** Transformée de Fourier discrète des signaux filtrés et fenêtrés via l'algorithme de la « Fast Fourier Transform ».
- ✘ **Identification:** Régressions entre la réponse des signaux (moyennés au préalable) et les fonctions de transfert supposées à estimer (analyse modale).
- ✘ **Détection d'anomalies:** Par des méthodes d'apprentissage non supervisées (Analyse factorielle ou Typologique) .

Références

- Wardhana, K. and H., F. C. (2003). "Analysis of recent bridge failures in the united states." Journal of Performance of Constructed Facilities, 17(3).
- Winker, E. (1867). "Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit (on elasticity and fixity) dominicus.", Prague
- S.P Timoshenko and J.N Goodier (1963) , "Theory of elasticity stability." International Student Third edition.
- George Gazetas (1983) "Analysis of machine foundation vibrations: State of the art." 2(1):2-42.
- W.Heylen, S.Lammens and P.Sas (2013), Modal Analysis Theory and Testing, KU Leuven, Department of mechanical engineering.
- Box, G. E. P., G. M. Jenkins, and G. C. Reinsel. (1994) Time Series Analysis: Forecasting and Control. 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.3.