

Solution S-lynks d'analyse dynamique de structures

SHM France

Matthieu PERRAULT, Sercel Nantes, 31 mars 2022



- 1. Dynamique des structures
- 2. Analyse modale opérationnelle (OMA)
- 3. Use cases: indoor & outdoor
- 4. Vers le monitoring continu
- 5. Conclusion



1. Dynamique des structures



Introduction à la dynamique des structures

Single-Degree-of-Freedom: SDOF

Equation du mouvement $m\ddot{u} + c\ddot{u} + ku = -m\ddot{u}_{\alpha}$

Force d'inertie + Force d'amortissement + Force de rappel

Exemple

$$u = e^{-\xi\omega_0 t} (C\cos\omega_D t + D\sin\omega_D t)$$

$$f_o = \frac{\omega_o}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$
 natural frequency

$$f_o=rac{\omega_o}{2\pi}~=~rac{1}{2\pi}\sqrt{rac{k}{m}}$$
 natural frequency $\zeta_o=rac{c}{2\omega_o m}~=~rac{c}{2\sqrt{km}}$ % of critical damping

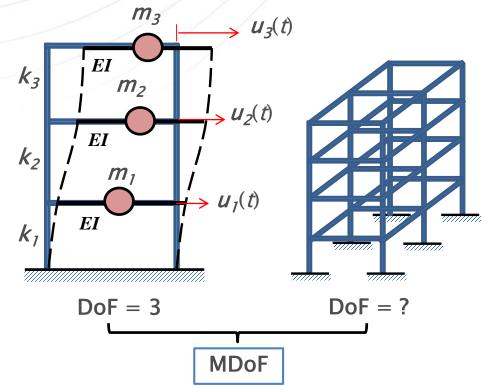
 $(k, \zeta) = f(E, I, L, conditions aux limites)$



 $\ddot{u} = f(T)$

Introduction à la dynamique des structures

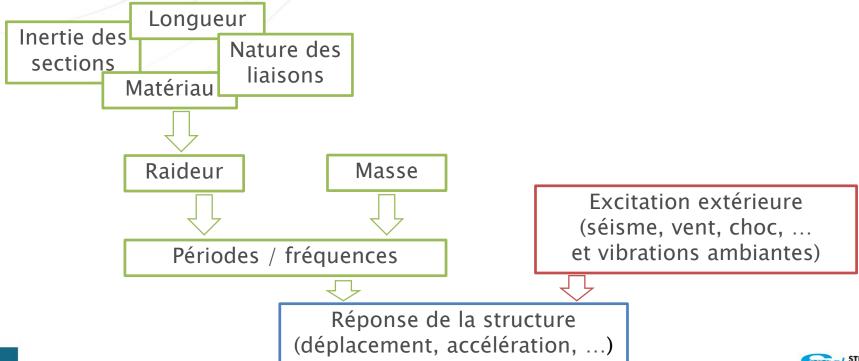
Multi-Degree-of-Freedom : MDOF





Introduction à la dynamique des structures

Résumé des différentes grandeurs physiques

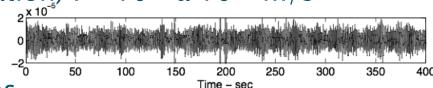


2. Analyse modale opérationnelle



Vibrations ambiantes

- Sources
 - Bruit de fond sismique : marées, petits séismes, ... < 1 Hz
 - Vent, pluie, ... ~ 1 Hz
 - Activités anthropiques (machines, trafic, ...) > 1 Hz
- Amplitudes des VA (en accélération) : ~ 10⁻⁶ à 10⁻⁴ m/s²

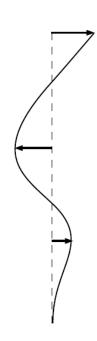


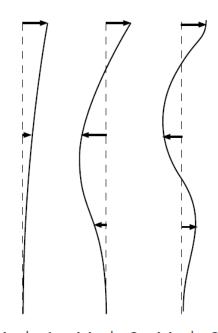
- Nature des vibrations ambiantes
 - Contenu fréquentiel plat sur une large gamme de fréquences
 - Stationnarité : n'évolue pas dans le temps



Paramètres dynamiques à partir des mesures de vibrations ambiantes

- Que mesure-t-on ? (1ère phase : mesures)
 - Vibrations ambiantes
 - Plusieurs points de mesures simultanées
 - "Output Only": excitation inconnue
 - On ne mesure que la réponse de la structure
- > 2ème phase : data processing
 - Analyse modale
 - Décomposition de la réponse de la structure en modes indépendants
 - Plusieurs méthodes existent
 - » S-lynks : SSI (Inria)





Mode 1 Mode 2 Mode 3



3. Use cases S-lynks



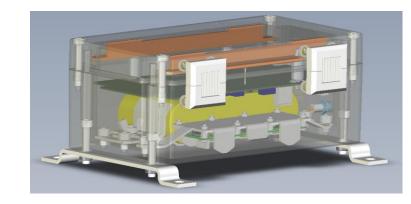
S-lynks

Capteur

- Sans fil: Wifi Mesh, LoRa, LTE-m
- Autonome (fonctionne avec pile)
- 2 modes de synchronisation : GPS (outdoor) ou LoRa (indoor)
- 3 accéléromètres orthogonaux

Accéléromètre MEMS QuietSeis (Sercel)

- Capteur MEMS le plus sensible du marché
- Niveau de bruit extrêmement bas (15 ng/ $\sqrt{\text{Hz}}$ au-delà de 10Hz)
- Pas besoin d'excitation extérieure (vibrations ambiantes): des mesures de 20 minutes sans trafic sont suffisantes pour un pont





Cas outdoor

- Communication Wifi
 - PC > gateway > nodes
- Synchronisation GPS







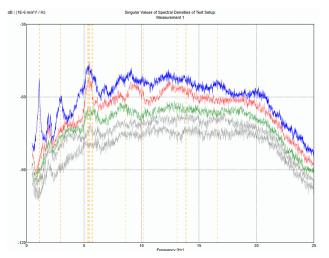


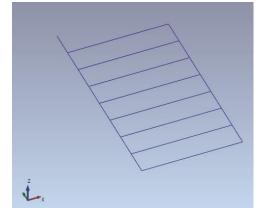
Pont : Auscultation de 2 travées successives





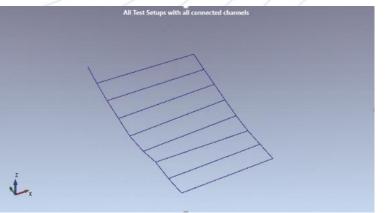


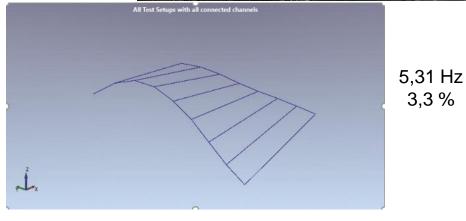






Pont : Auscultation de 2 travées successives

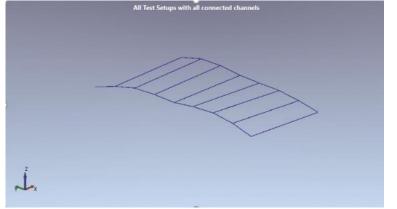


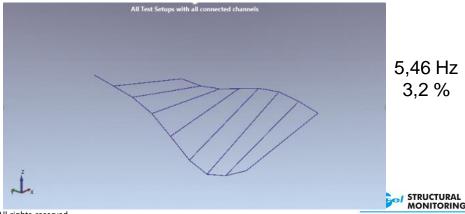


5,36 Hz 2,5 %

1,10 Hz

5,4 %





Pont : Auscultation de 2 travées successives

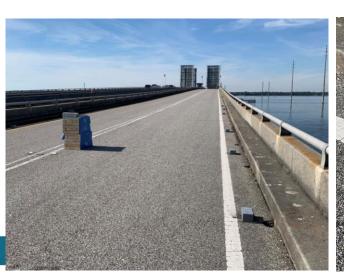
- Temps de mesure
 - 2 heures
 - Généralement ½ journée à 1 journée de mesures pour un ouvrage complet
- > Temps de traitement
 - < 2 heures</p>



Pont : auscultation de 3 travées successives

- Fermé à la circulation
 - Peu d'excitation extérieure
- Localisation autour des joints
- 20 minutes de mesure par point





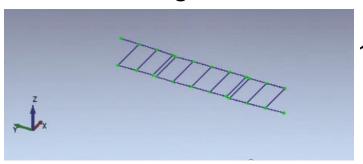




Pont : auscultation de 3 travées successives

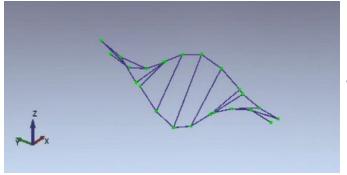
- Fermé à la circulation
 - Peu d'excitation extérieure
- Localisation autour des joints
- 20 minutes de mesure par point

Mode longitudinal



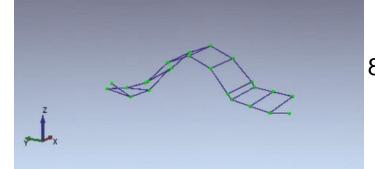
1,41 Hz

Torsion



10,18 Hz



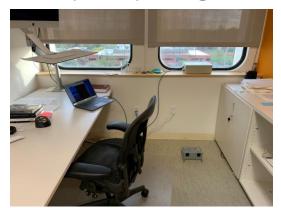


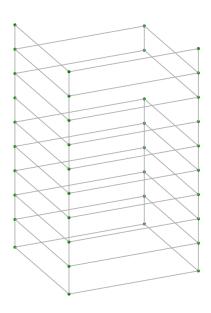
8,81 Hz



Bâtiment

- Problématiques
 - Distances plus grandes entre capteurs
 - » Déclenchement LoRa
 - Indoor => pas de GPS
 - » Synchronisation LoRa
 - Bureaux occupés
- 10 étages
 - 4 points par étage



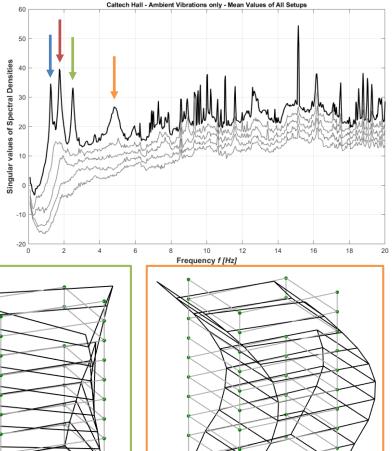


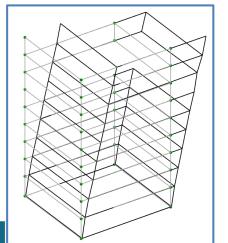


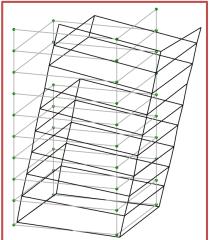


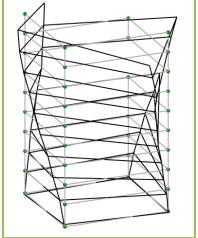
Bâtiment

Analyse modale, vibrations ambiantes



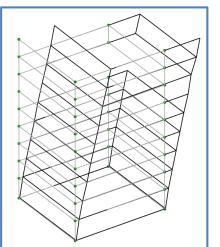


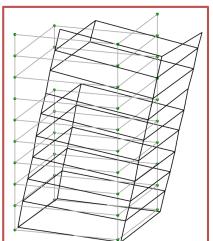


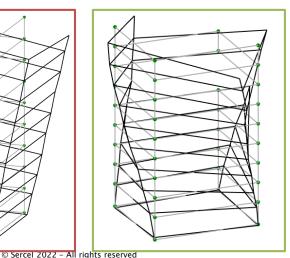


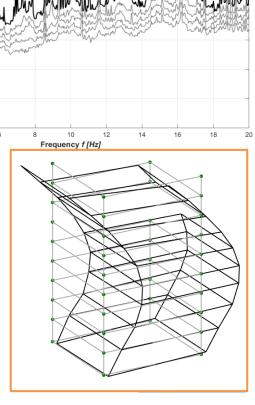
Bâtiment

- Analyse modale, vibrations ambiantes
- Shaker (vibrations forcées) :
 - Fréquences identifiées plus basses qu'en vibrations ambiantes
 - Le bâtiment est déjà dans le domaine non-linéaire sous vibrations forcées









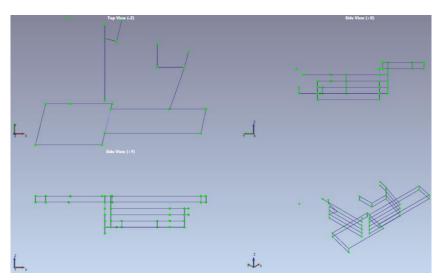
Caltech Hall - Ambient Vibrations only - Mean Values of All Setups

S-lynks en indoor

47 points (8 nodes mobiles, 6 acquisitions)









4. Vers le monitoring continu



Une solution pour le monitoring permanent



> Surveillance continue des paramètres dynamiques des structures

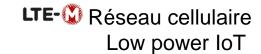


LoRa





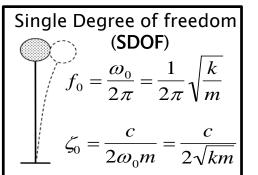




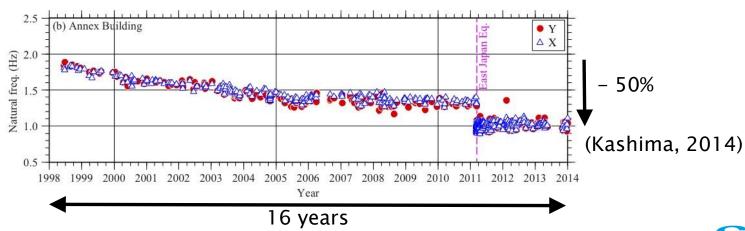


Changement des paramètres dynamiques

- Dégradation des propriétés élastiques dans le temps
 - Sécurité de la structure
 - La vulnérabilité de la structure est modifiée



Steel-frame RC Japanese building



Mécanismes de dégradation qui peuvent modifier les paramètres dynamiques

- **Affouillement**
- > Conditions d'appuis
- Joints de dilatation
-) Impact
- > Fissure de fatigue
- **Erosion**
- Modification de la tension des haubans et des câbles de précontrainte



5. Conclusions



Conclusions

- > S-lynks : mesure ponctuelle ou monitoring permanent
 - Validation d'une construction / Calibration de modèles
 - Suivi dans le temps, avec des données traitées mises à disposition
- Contrôle dynamique des ouvrages
 - Evaluer l'intégrité, la santé et le maintien dans le temps
 - Surveillance en temps réel et maintenance prédictive des structures
 - A l'inverse des CND, cette surveillance analyse le comportement global de la structure.
 - Premier niveau d'informations avant les CND



Contact

Matthieu PERRAULT matthieu.perrault@sercel.com



