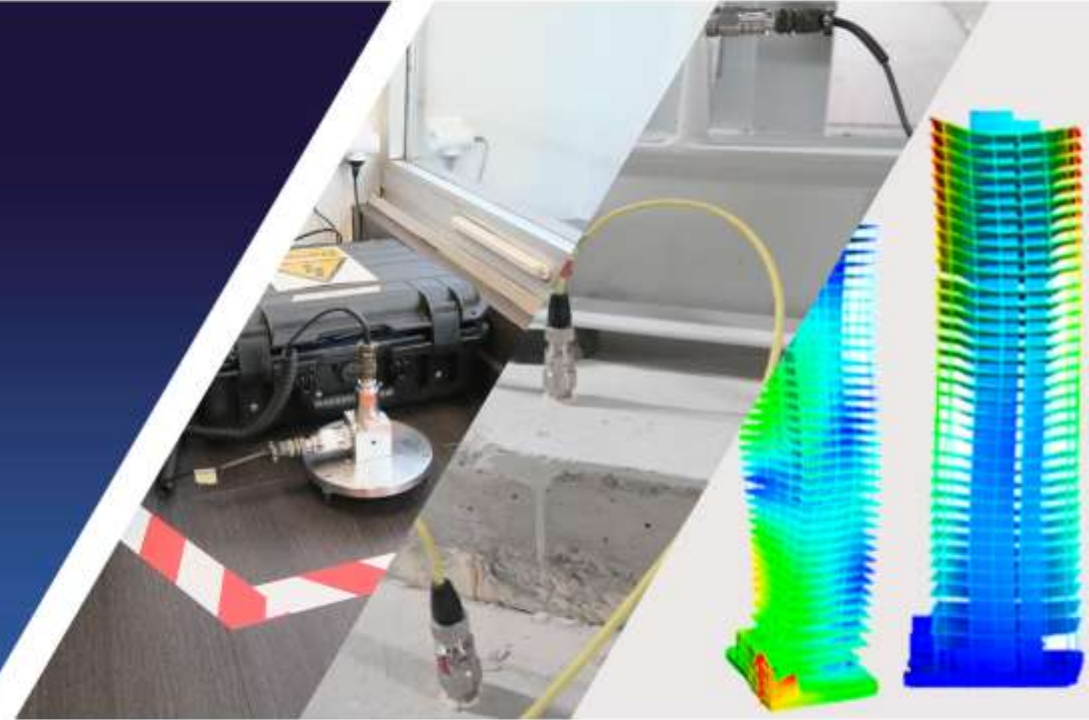




L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1978

Mesures et études vibratoires

Modélisations FEM

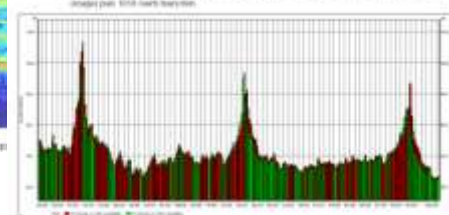
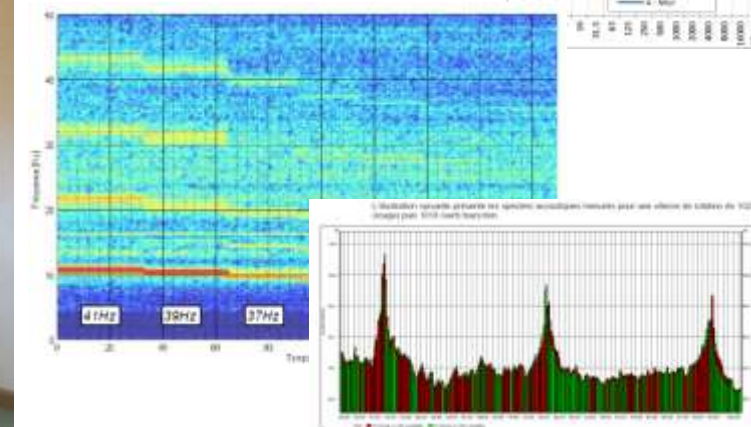
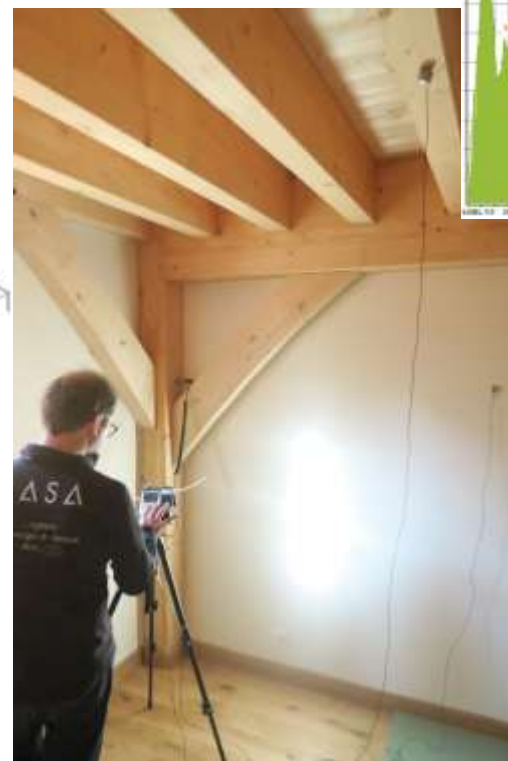
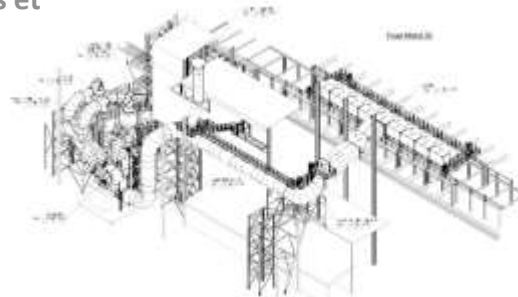
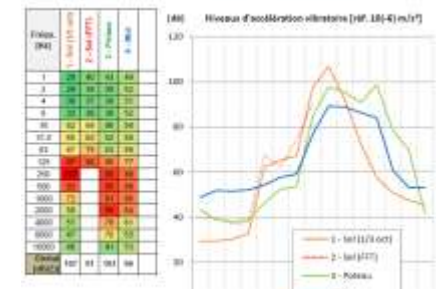
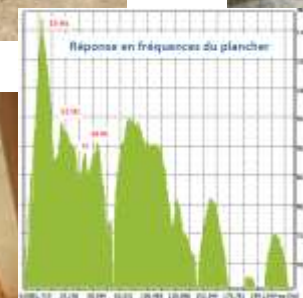


Mesures et études vibratoires: diagnostic initial – caractérisation des sources d'émission

Diagnostic vibratoire initial :

- ✓ Campagnes de mesures vibratoires sur site
- ✓ Relevé et identification des phénomènes vibratoires dans les sols, structures, bâtiments, équipements industriels,...
- ✓ Mesures des caractéristiques temporelles et fréquentielles, amplitudes, résonnances, etc.
- ✓ Mesures sur site de fréquences propres de parois, planchers béton, planchers mixtes, ...

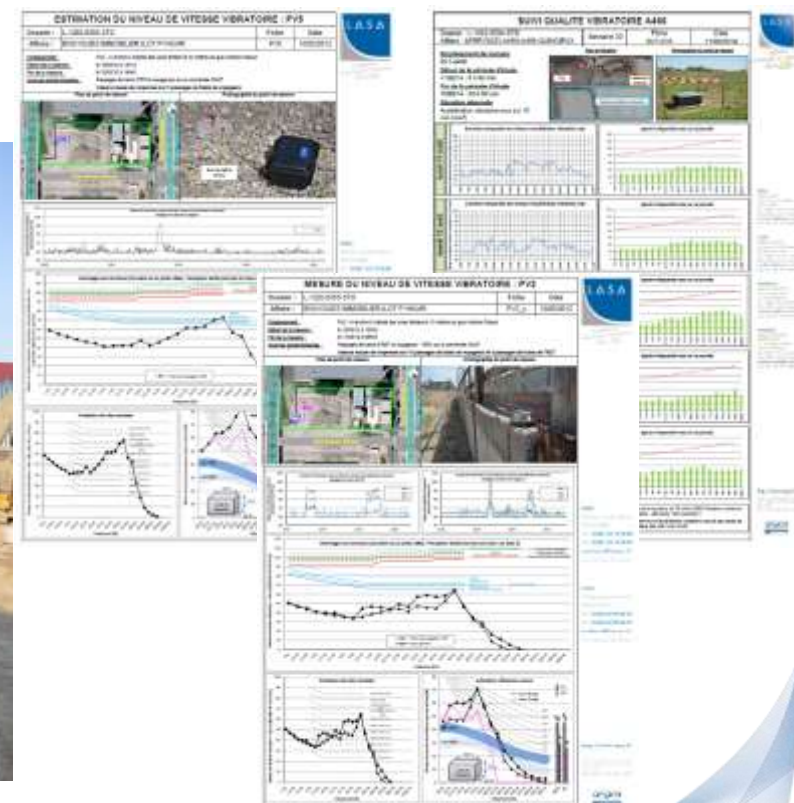
Rédaction d'un rapport des mesures vibratoires initiales et comparaison aux normes, standards et référentiels en vigueur.



Mesures et études vibratoires : caractérisation des sources d'émission - chantiers



- ✓ Diagnostic vibratoire initial, essais de convenance engins
- ✓ Mesures d'accélération ou vitesse Tri axes ou mono axes
- ✓ Bandes de 1/3 octaves 1 à 1000 Hz ou bandes fines
- ✓ Mesure sur pieux ou dalles enterrées.
- ✓ Mesures courtes ou longue durée, connectées ou autonomes
- ✓ Fiches de mesures avec analyse des niveaux vibratoires
- ✓ Comparaison aux normes et seuils admissibles



Vibrations chantiers : essais de convenance engins – méthode traditionnelle

Avantages:

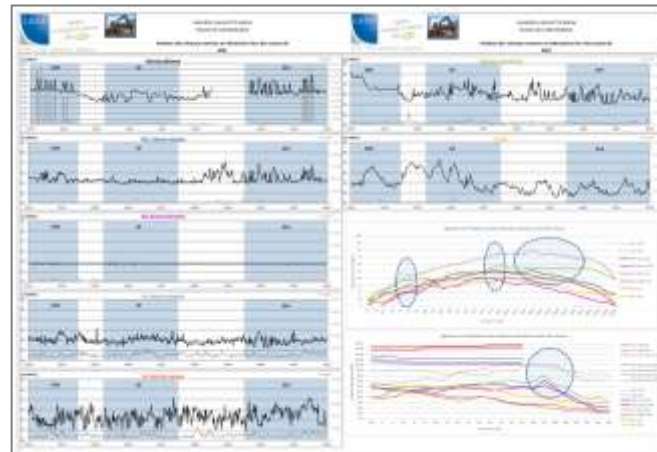
Conditions réelles de chantier

- ✓ Peu d'incertitudes
- ✓ Représentativité
- ✓ Robustesse

Inconvénients :

Faible anticipation

- ✗ Planning (peu de temps avant le début de chantier)
- ✗ Coût (engins, personnel, ...)
- ✗ Limitation du nombre de configurations de tests
- ✗ Impossibilité d'anticiper des futures constructions



Méthodologie :

- Protocole d'intervention
- Campagnes de mesures
- Dépouillement et analyse avec comparaison aux seuils réglementaires et contractuels

Livrables :

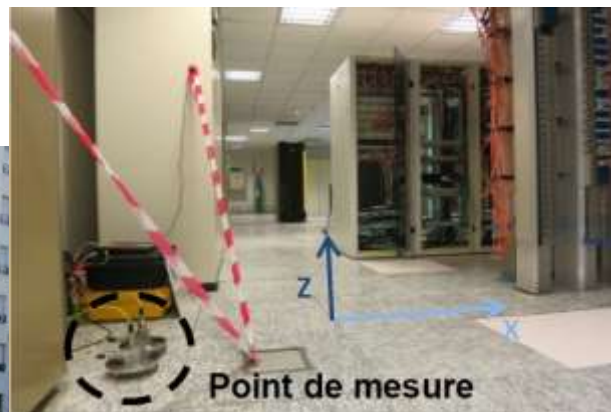
Rapport de synthèse incluant :

- Analyse de l'impact acoustique et/ou vibratoire des travaux
- Préconisations de principes d'atténuation du bruit et/ou des vibrations
- Proposition d'optimisation des éventuelles surveillances suivantes



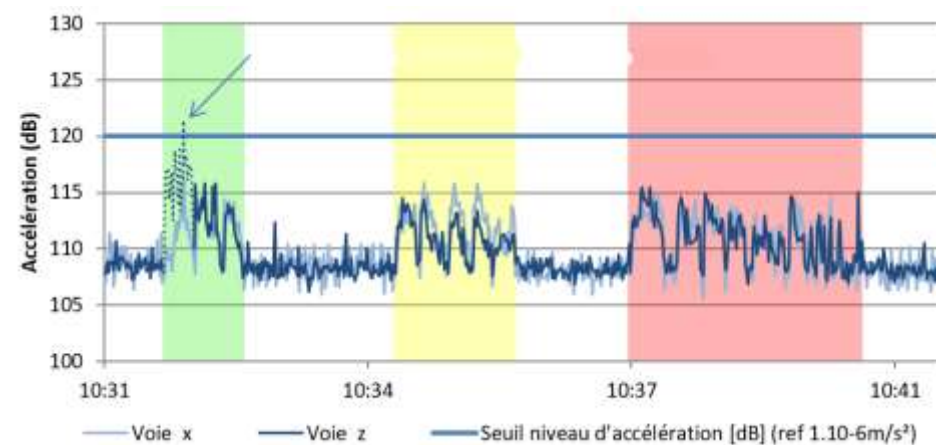
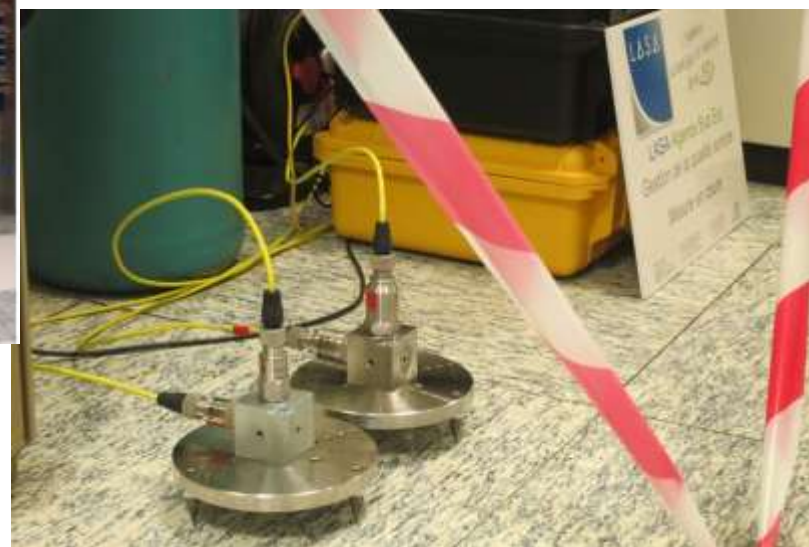
Vibrations chantiers : essais de convenance engins – méthode traditionnelle

L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1975



Cas concret :

Démolition à proximité d'un
Data Center très sensible



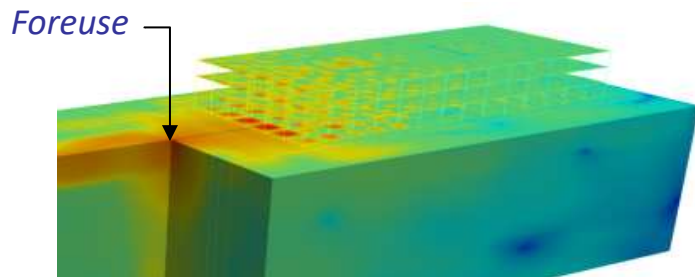
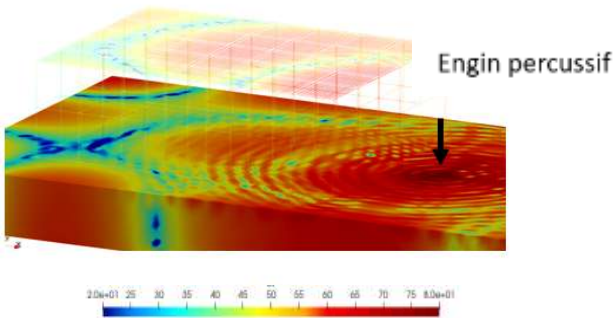
Modélisations prévisionnelles de l'impact vibratoire des chantiers

Modélisations FEM

- Données d'entrée à collecter
 - Détermination des **caractéristiques de sources et/ou de sol** si nécessaire
 - **Vérification** du modèle et recalage des sources
 - **Études** de scénarios
 - **Hiérarchisation des solutions**
- Etape préparatoire aux surveillances permettant une optimisation des monitorings

✓ Anticipation de la propagation des vibrations

- **Etudes de la propagation** des vibrations
 - Dans l'environnement, dans les sols
 - Dans les structures
- **Etudes de dispositifs d'atténuation**
 - Réduction des vibrations à la source (changement engin,...)
 - Ecrans vibratoires (paroi moulée, tranchée de désolidarisation, JD, ...)
 - Dispositifs de désolidarisations de bâtiments...
- **Optimisation des systèmes de monitoring des vibrations**



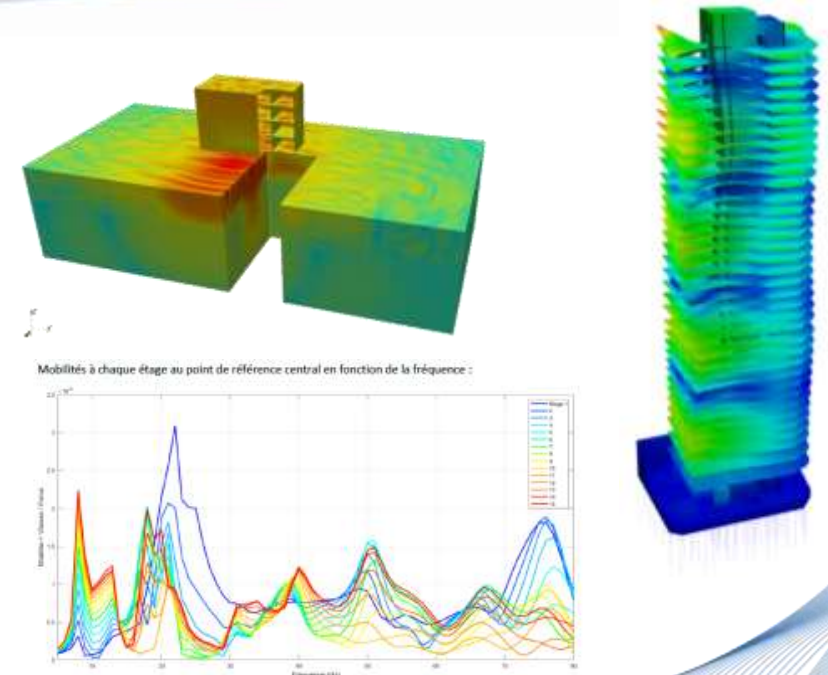
Avantages:

Forte anticipation

- ✓ Ne nécessite pas d'accès et de déplacement d'engins sur site en amont
- ✓ Facilité pour tester de nombreux scénarios
- ✓ Calculs multizones (bien plus de visibilité globale que lors de mesures en quelques points)

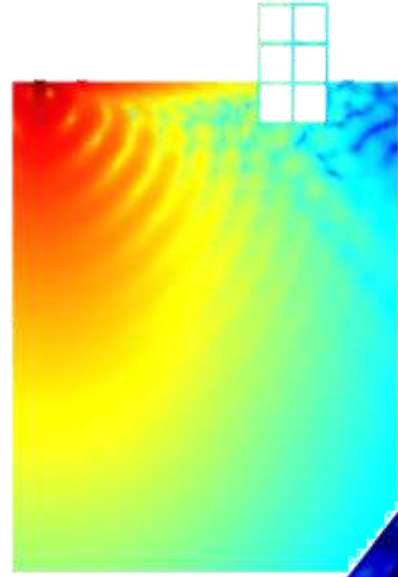
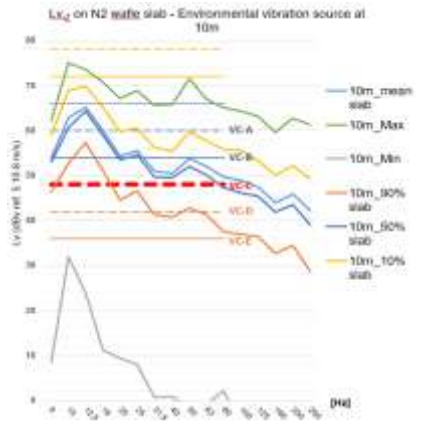
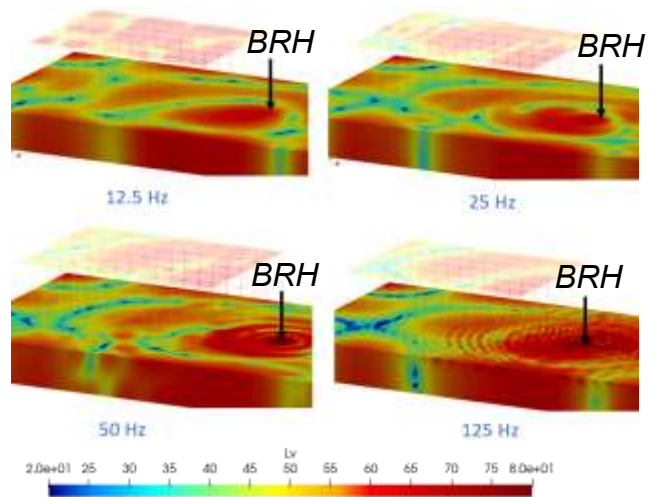
Inconvénients :

- ✗ Incertitudes sur les valeurs absolues liées aux hypothèses de sol et d'émissions .
- ✗ Nécessite des données d'entrée d'émission vibratoire sur les engins

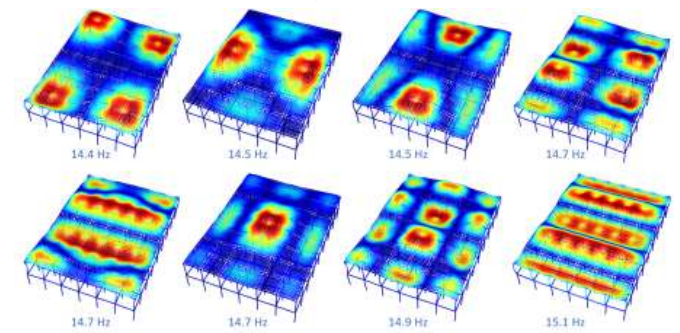
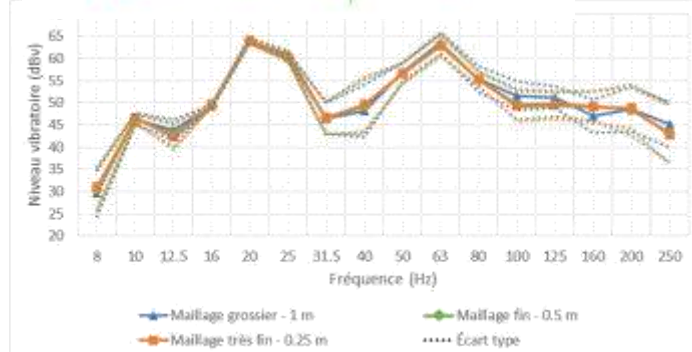
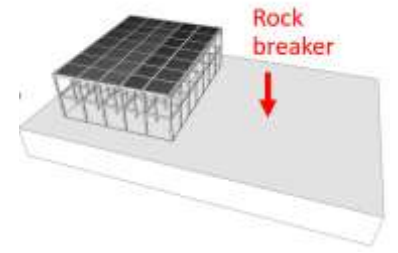
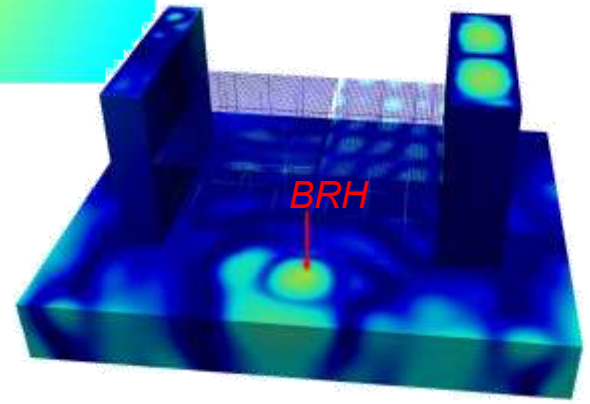
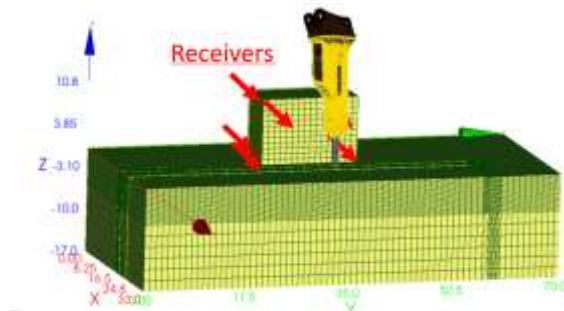
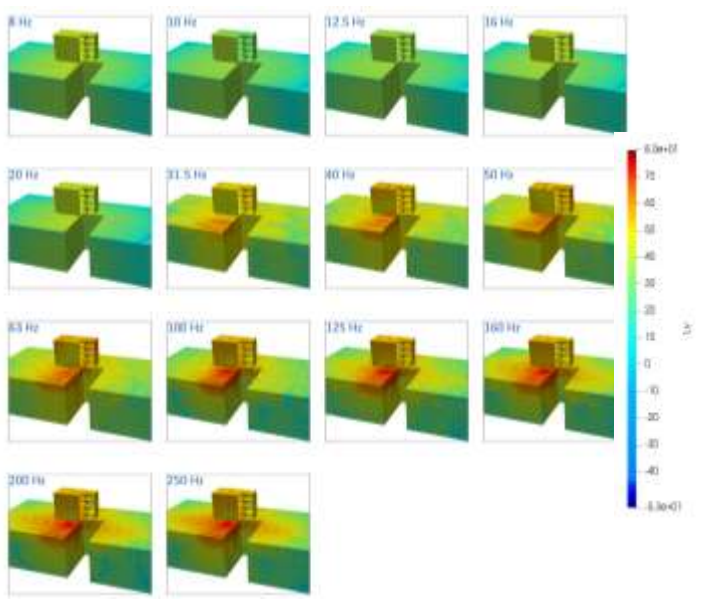
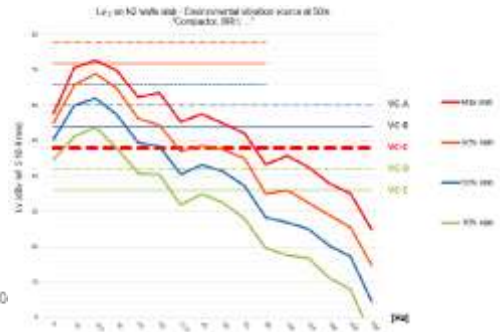


Modélisations prévisionnelles de l'impact vibratoire des chantiers – méthodes FEM

Etude de la propagation dans les sols et les structures

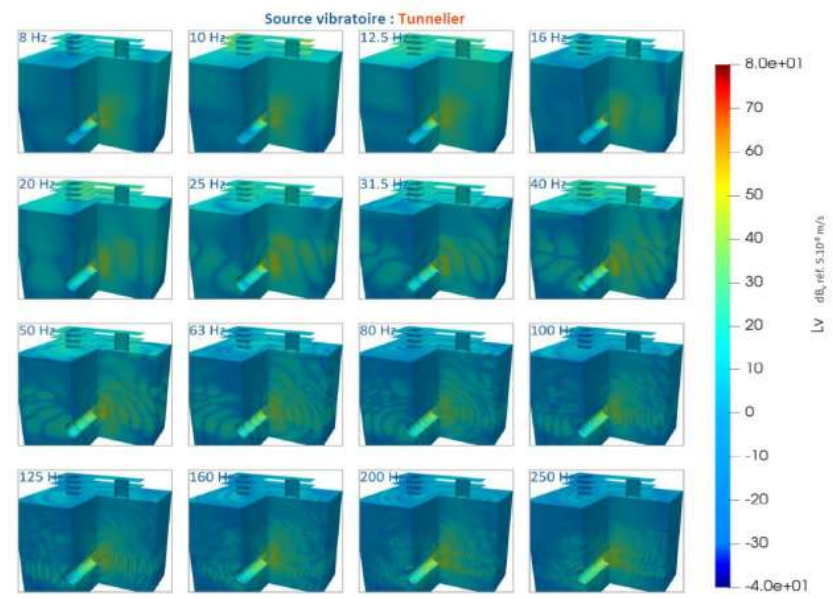
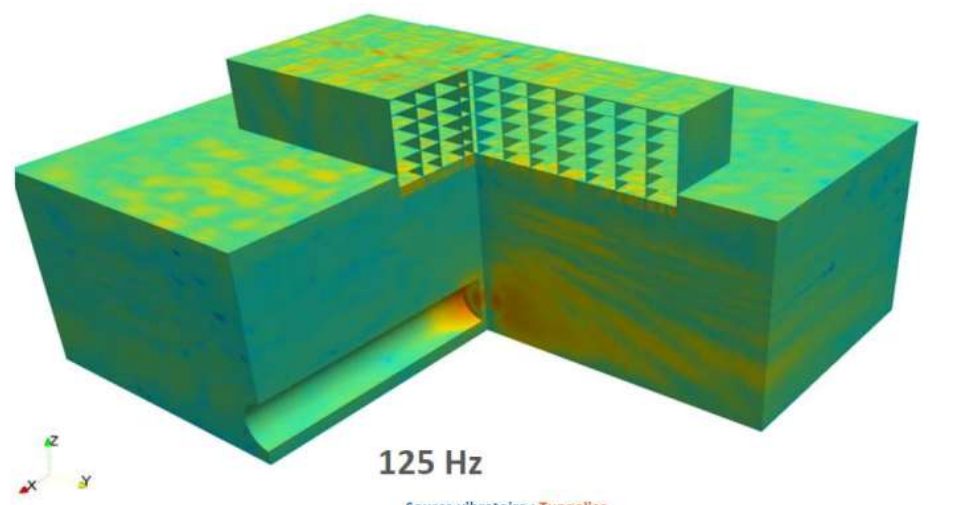


- ✓ Modélisations 2D, 2.5D, 3D
- ✓ Calculs des niveaux vibratoires en des points récepteurs spécifiques
- ✓ Cartographie des niveaux vibratoires
- ✓ Calculs des niveaux sonores réémis

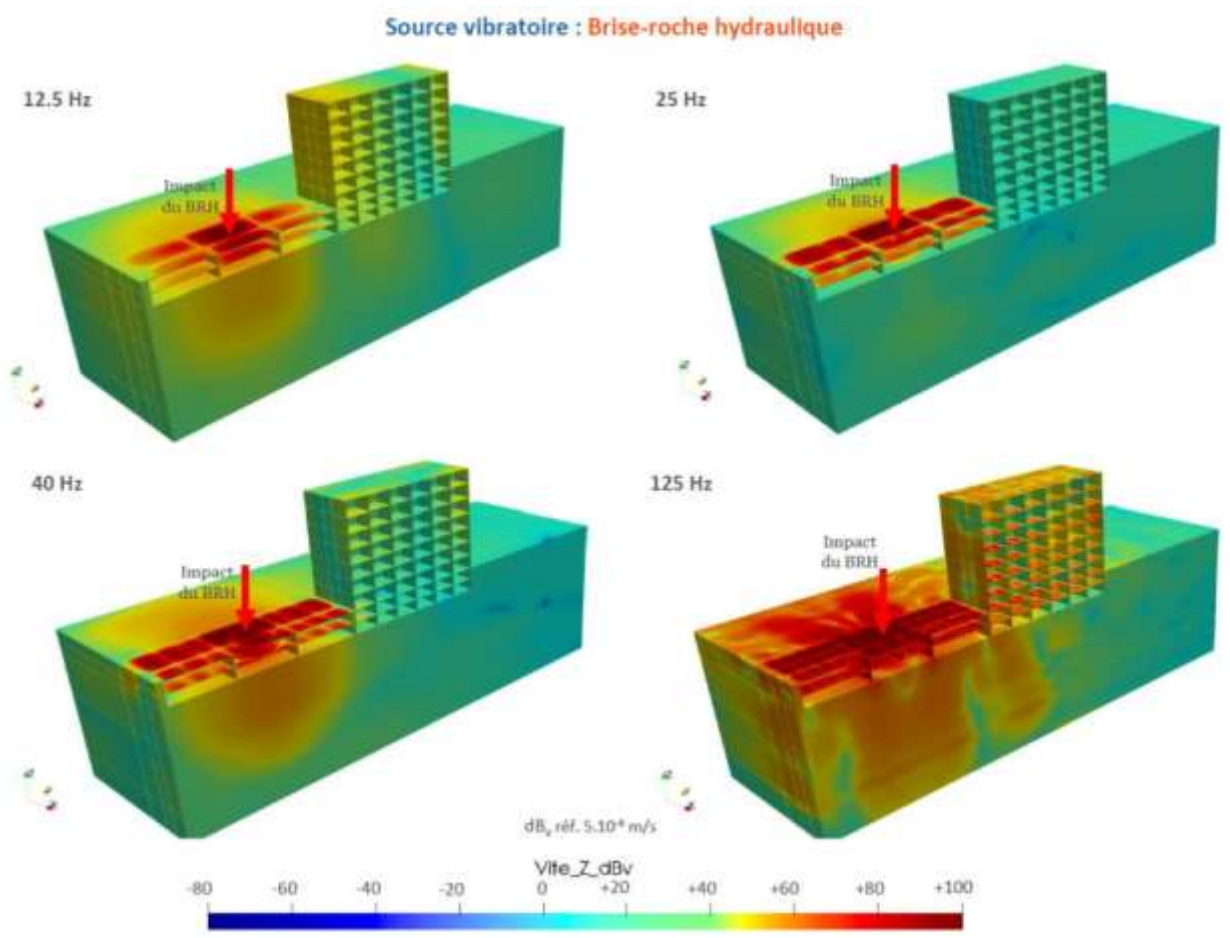


Modélisations prévisionnelles de l'impact vibratoire des chantiers – méthodes FEM

Modélisation de la propagation des vibrations émises par un **tunnelier**



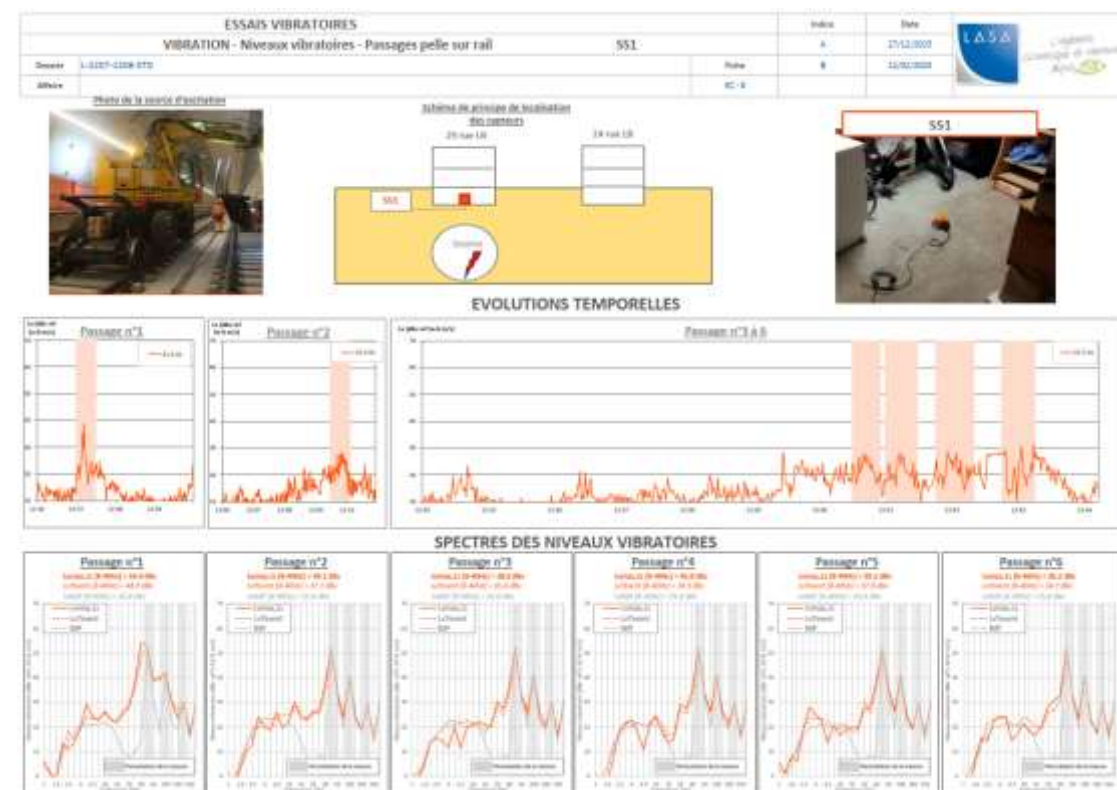
Modélisation de la propagation des vibrations émises par un **BRH (Brise Roche Hydraulique)**



Mesures et études vibratoires : caractérisation sources d'émission en tunnel ferroviaire

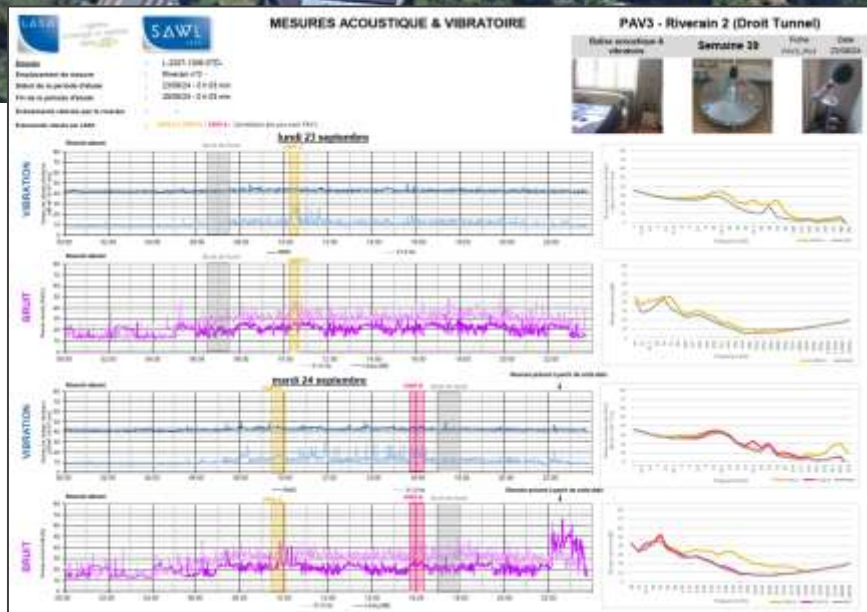
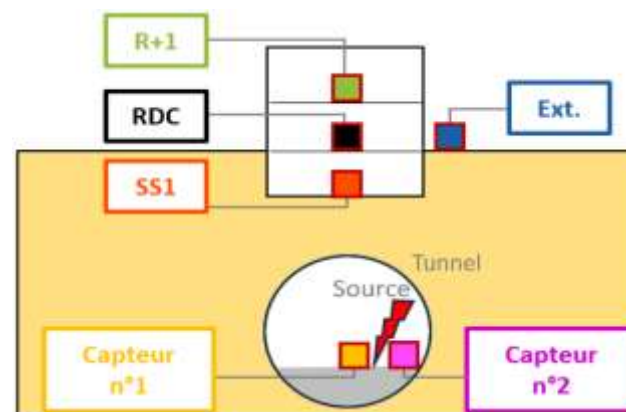
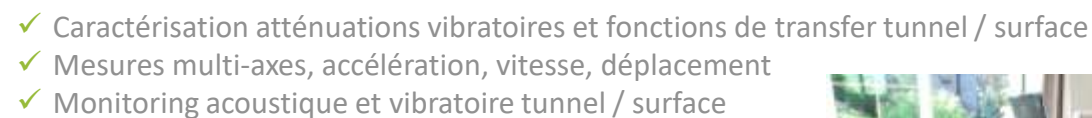


- ✓ Diagnostic vibratoire initial : caractérisation des émissions pour un matériel donné
- ✓ Caractérisation atténuations tunnel – surface
- ✓ Mesures multi-axes, accélération, vitesse, déplacement
- ✓ Evolutions temporelles, analyses fréquentielles (1 – 250Hz)
- ✓ Fiches de post-traitement et analyse comparative bases de données (RIVAS, FTA,...)



Fiches type de résultats de mesures

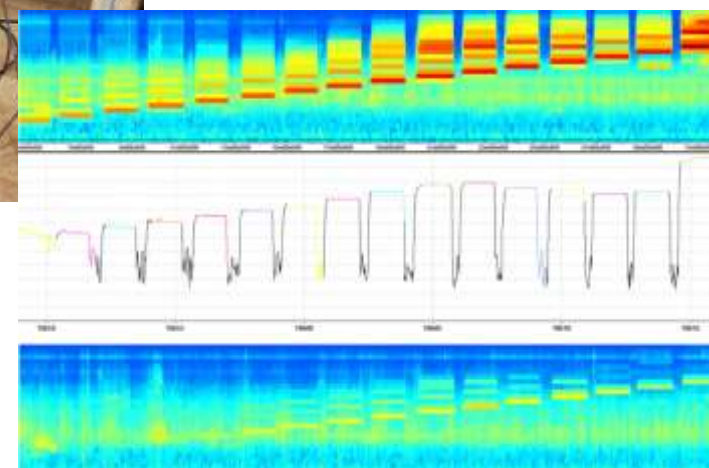
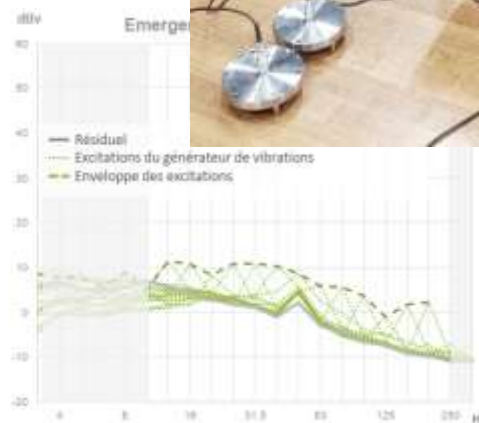
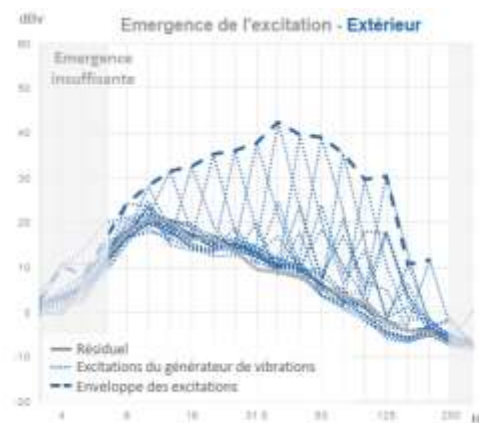
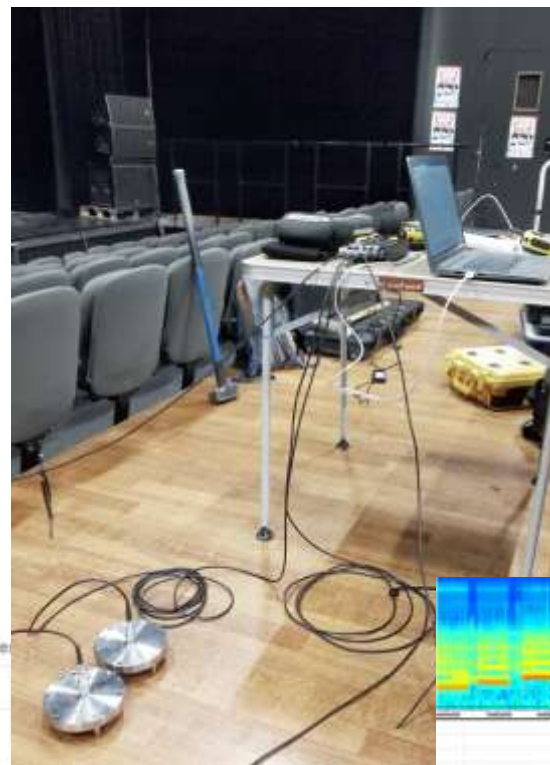
L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1975



Mesures et études vibratoires : caractérisation de fonctions de transfert sol / bâtiment

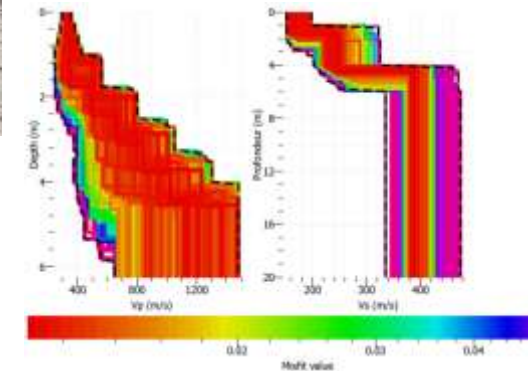
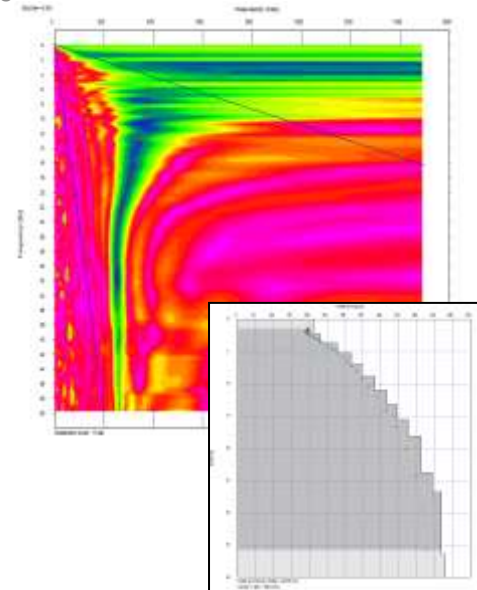


- ✓ Excitateur electro-dynamique : émission de vibrations basses fréquences maîtrisées
- ✓ Mesure de fonctions de transfert sol / fondations bâtiment / plancher salle sensible
- ✓ Balayage des fréquences avec excitation entretenue.



Mesures vibratoires : caractérisation des paramètres géophysiques des sols - MASW

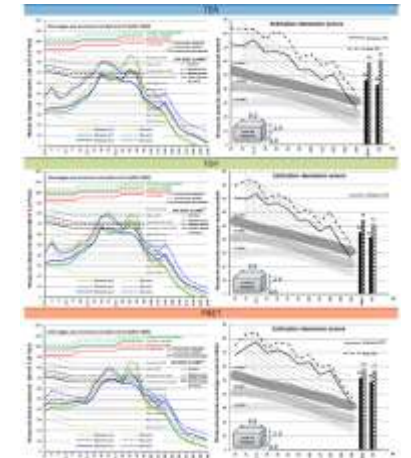
- ✓ Caractérisation des sols méthode MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)
- ✓ Frontal 24 voies + flute sismique 24 géophones
- ✓ Analyse non-destructive des couches de sols jusqu'à 30 à 40m de profondeur
- ✓ Evaluation Module Young E , amortissement η , coeff poisson ν , masse vol ρ ,...
- ✓ Mapping multipoints (24 points géophones simultanés)
- ✓ Mapping 8 points géophones tri-axes simultanés



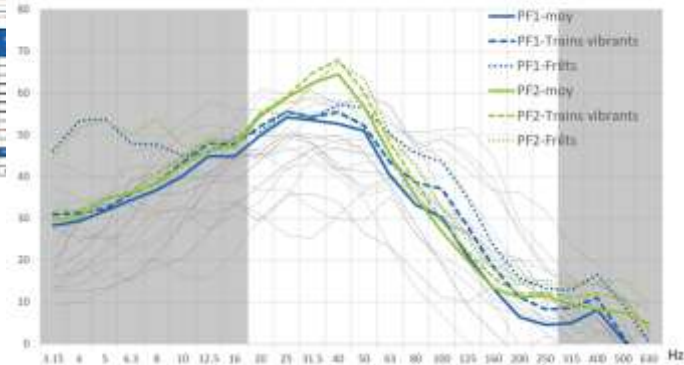
L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1975



- [illegible]



Mesure à 15m des voies - comparaison avec 27 autres sites similaires issus de la base de donnée LASA



Benchmarking base de donnée LASA mesures sites similaires

Fiches type de résultats de mesures

Mesures et études vibratoires : caractérisation des sources d'émission - ferroviaire

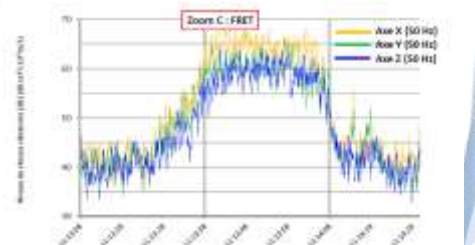
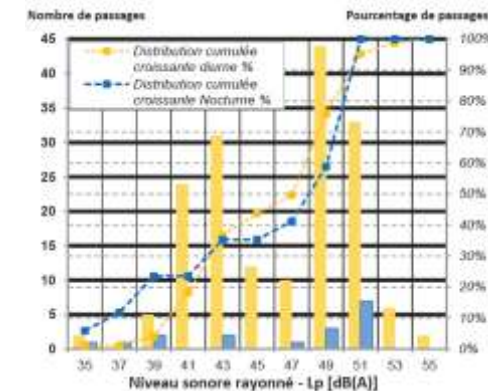
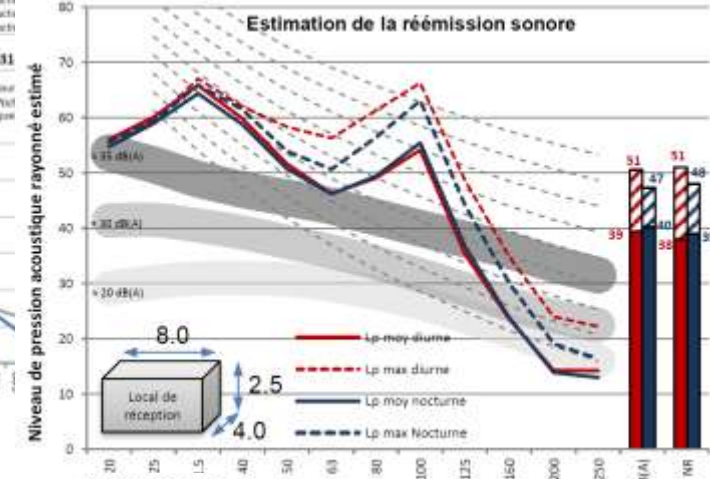
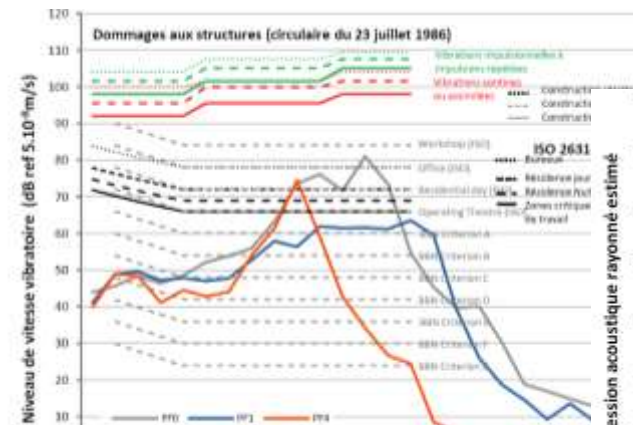


Repérages sur plan des points de mesures vibratoires

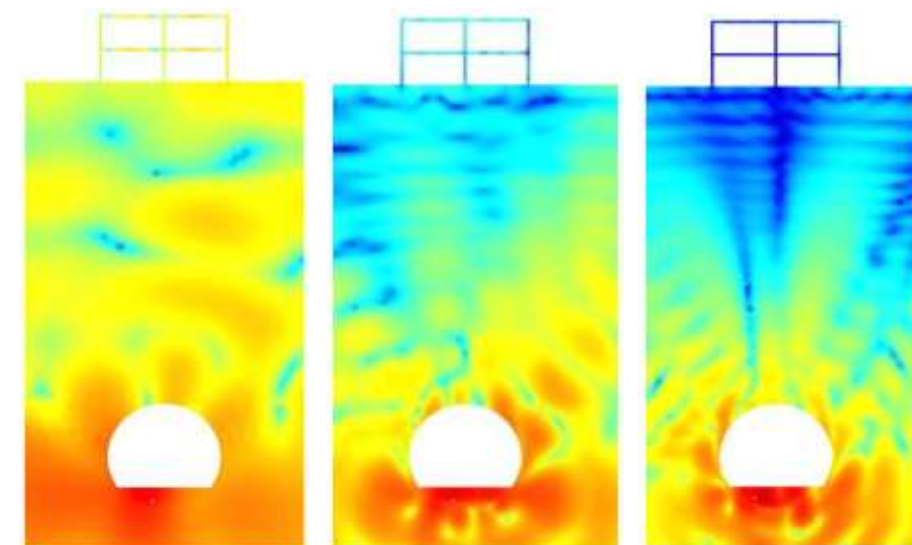
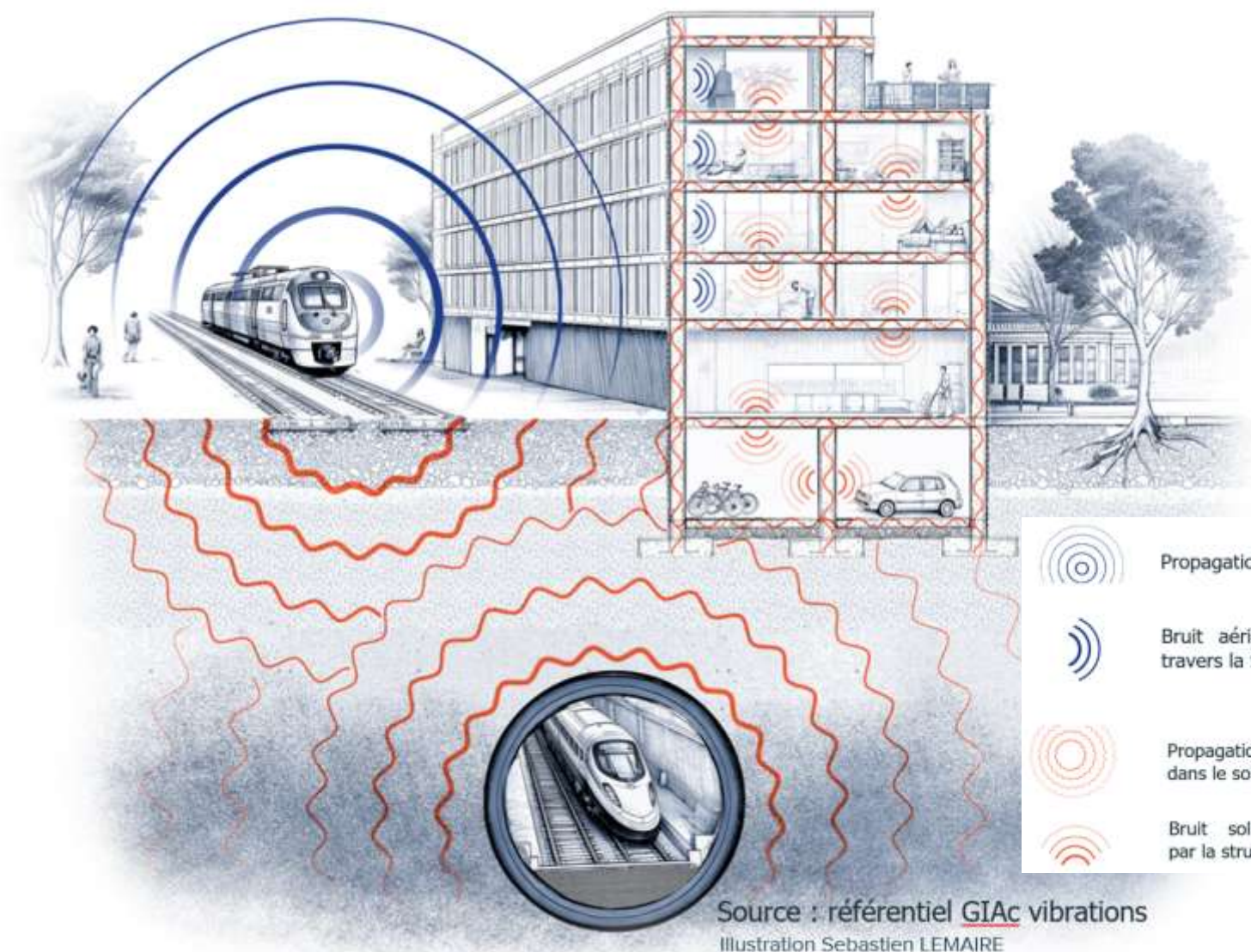


Capteurs vibratoires

- ✓ Diagnostic vibratoire initial : caractérisation des émissions
- ✓ Mesures multi-axes, accélération, vitesse, déplacement
- ✓ Analyses fréquentielles, comparaisons seuils multi référentiel
- ✓ Analyses statistiques et fiches spécifiques de mise en évidence des phénomènes
- ✓ Evaluation de la réémission sonore (bruit de grondement) dans les futurs bâtiments
- ✓ Méthode RIVAS, méthode LASA, ...



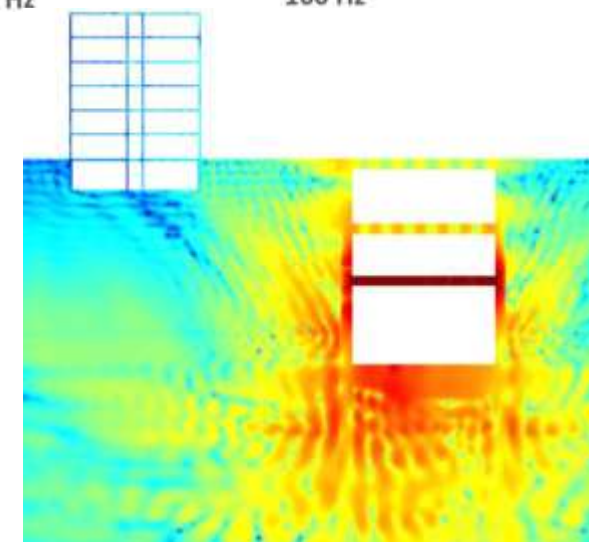
Mesures et études vibratoires de la propagation des sources ferroviaires



40 Hz

160 Hz

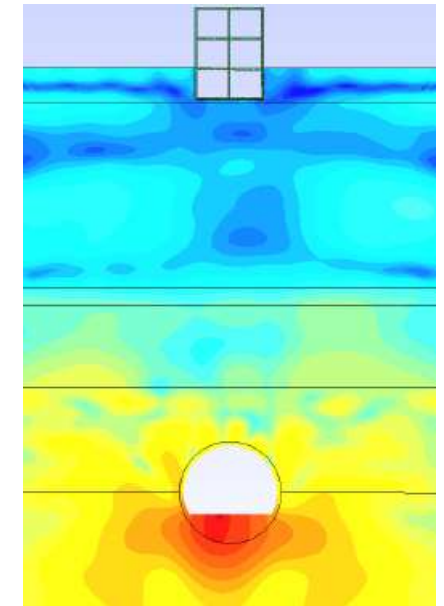
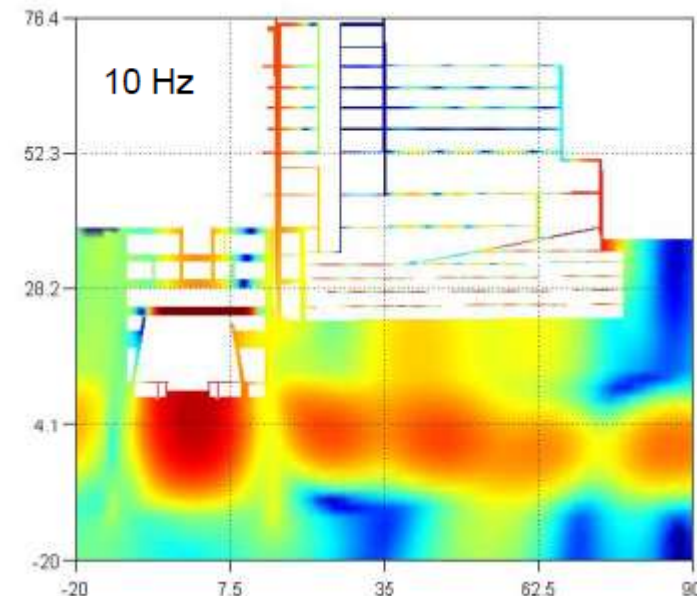
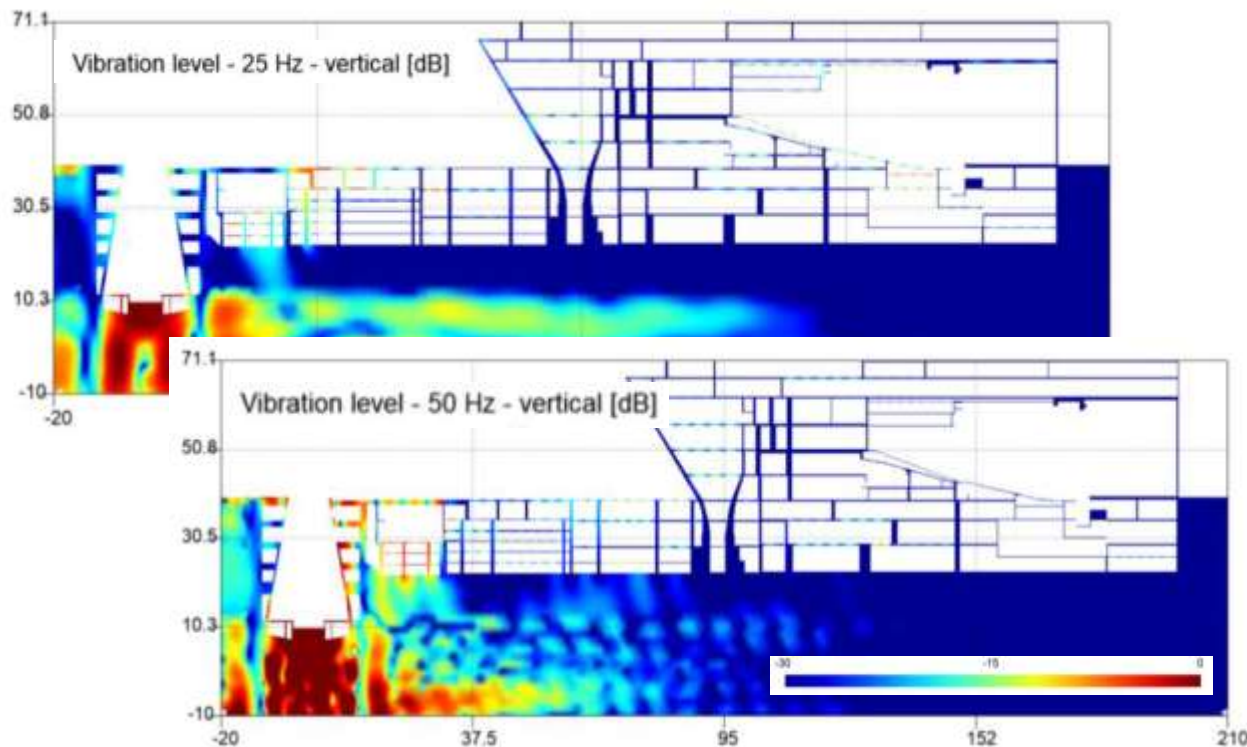
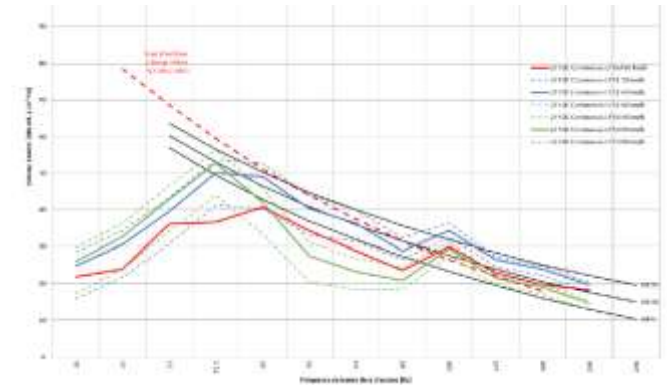
250 Hz



Modélisation FEM 2D de la propagation vibratoire dans les sols et les structures

Evaluation de la propagation des vibrations dans les sols et les structures

- ✓ Evaluation en première approche par méthodes de pré-étude, de la propagation des vibrations dans les sols et les structures existantes ou futures (méthodes LASA, RIVAS, benchmarking base de donnée de mesures vibratoires LASA,...). Permet une analyse de risques et une estimation en première approche des amplitudes/fréquences attendues.
- ✓ Evaluations détaillées avec modélisations numériques FEM- BEM 2D ou 3D (calculs méthodes éléments finis) de la propagation des vibrations dans les sols et structures (MEFFISTO, Code Aster,...). Permet une quantification plus affinée des niveaux vibratoires futurs, avec prise en compte de la composition et géométrie réelle de la structure et des phénomènes d'atténuation/amplification associés. Prise en compte affinée des atténuations dans le sol.
- ✓ Evaluation de la réémission de bruits solidiens d'origine vibratoire dans les locaux, comparaison aux seuils d'audibilité.



Exemples de cartographies de la propagation des niveaux vibratoires, engendrés par des voies ferrées souterraine, dans le sol et les structures des bâtiments



Modélisations FEM3D de la p

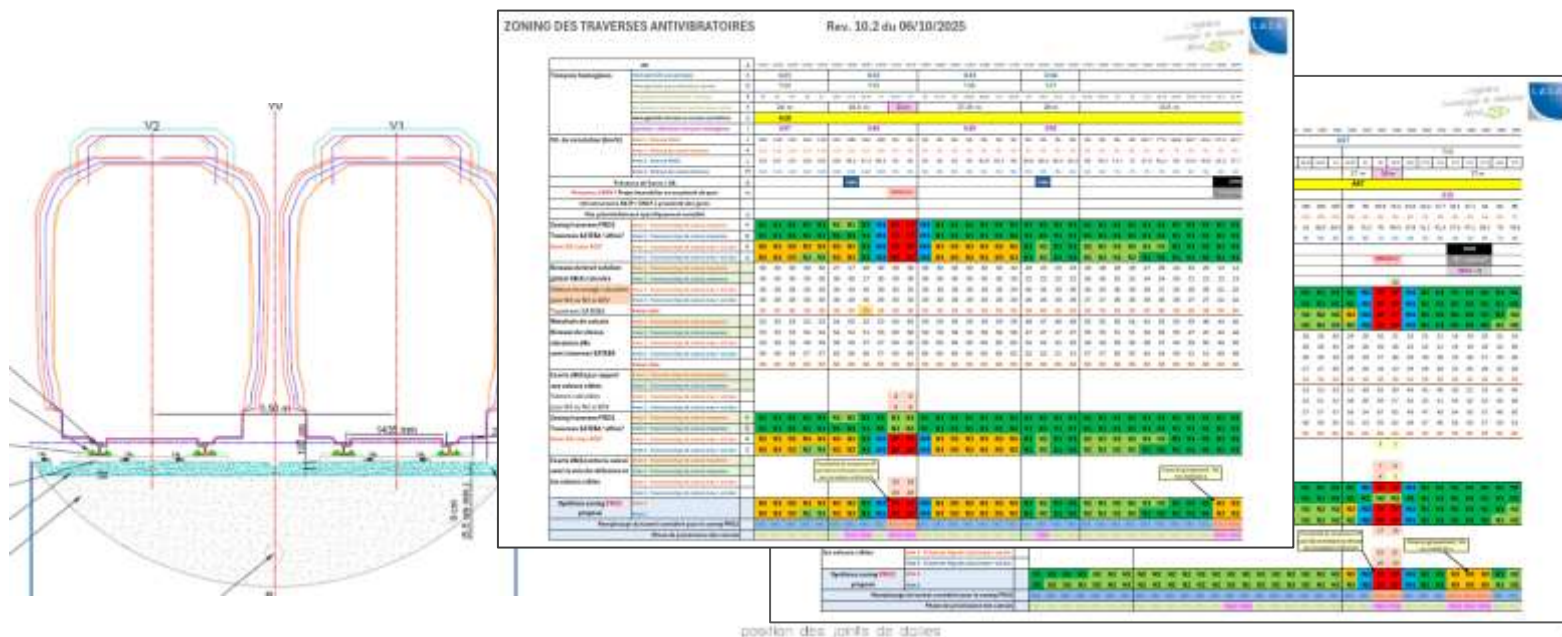
L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1975

LASA



Mesures et études vibratoires : étude du type de traverses anti vibratiles sous voies

Modélisations numériques FEM 2,5D ou 3D des transmissions vibratoires entre les futures voies ferrées et les bâtiments existants, et proposition du type de voies le plus adapté (courantes, traverses antivibratiles N1, traverses antivibratiles hautes performances N2 N3, ...) pour limiter la transmission des vibrations. Ceci en fonction des types de sols, distances, et types de bâtiments (méthodes statistiques RIVAS ou équivalent). Détermination des atténuations vibratoires sous voies requises (dalles flottantes ...). Mise au point du zoning de recommandation de types de poses de voies.

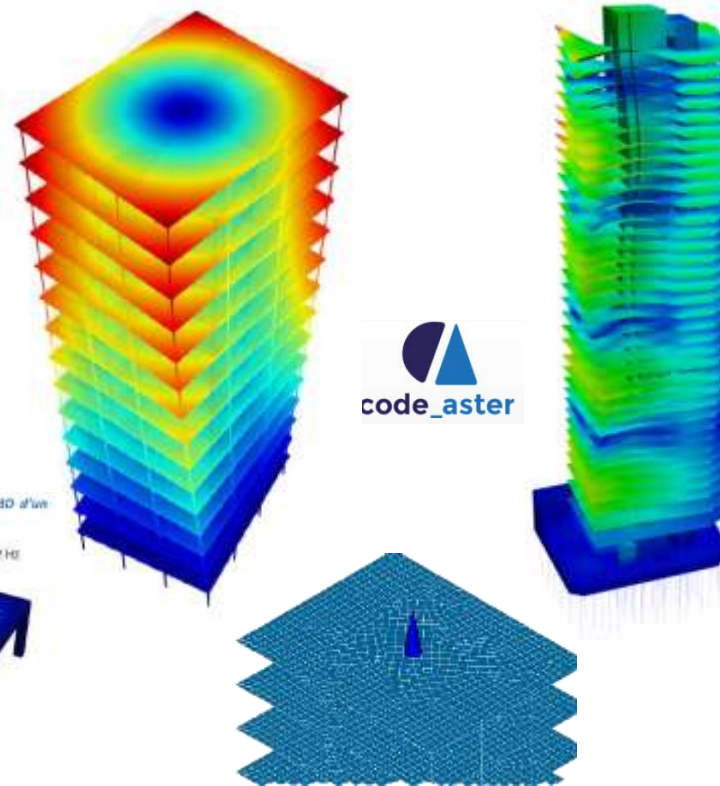


Mesures et études vibratoires: étude de la propagation dans les structures

Modélisation vibratoires dynamiques FEM 3D

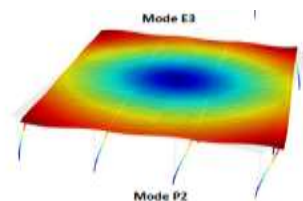
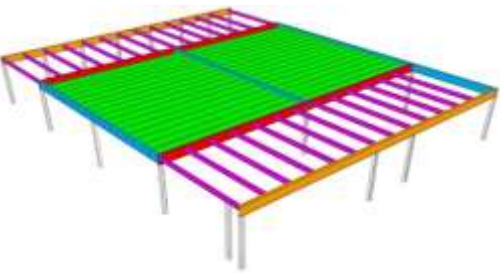
Prise en compte des spécificités de la structure

- ✓ Structures béton, métal ou bois, types d'assemblages, ...
- ✓ Prise en compte des conditions d'exploitations : charges statiques en situation d'usage réelle, sollicitations dynamiques, etc, ...
- ✓ Calage du modèle sur les mesures initiales (lorsque le bâtiment est existant).
- ✓ Calculs avec méthodes éléments finis (Code Aster), modélisations filaires, ou volumiques selon problématiques.

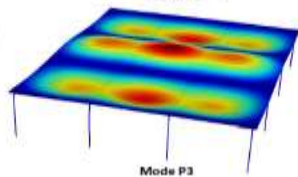


Déformée modale d'un mode de plaque sur la modélisation 3D d'un étage du bâtiment bois

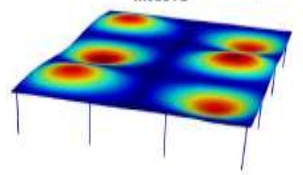
Mode 1: 14.4622 Hz



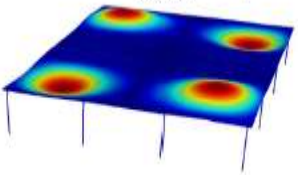
Mode E3



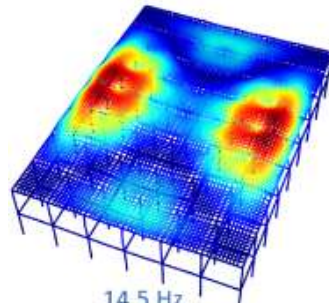
Mode P1



Mode P2

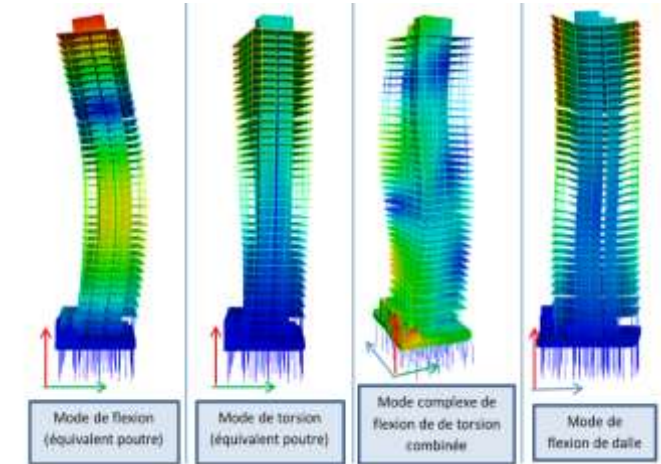
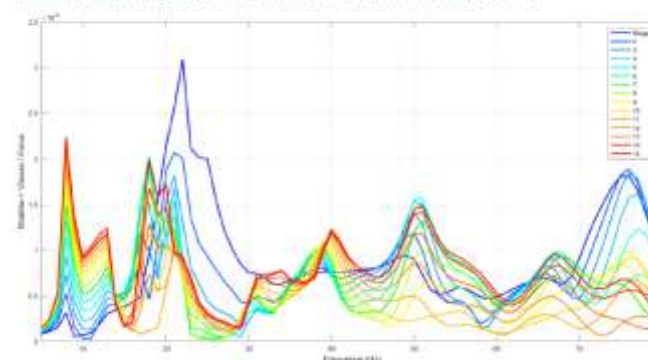


Mode P3



14.5 Hz

Mobilités à chaque étage au point de référence central en fonction de la fréquence :



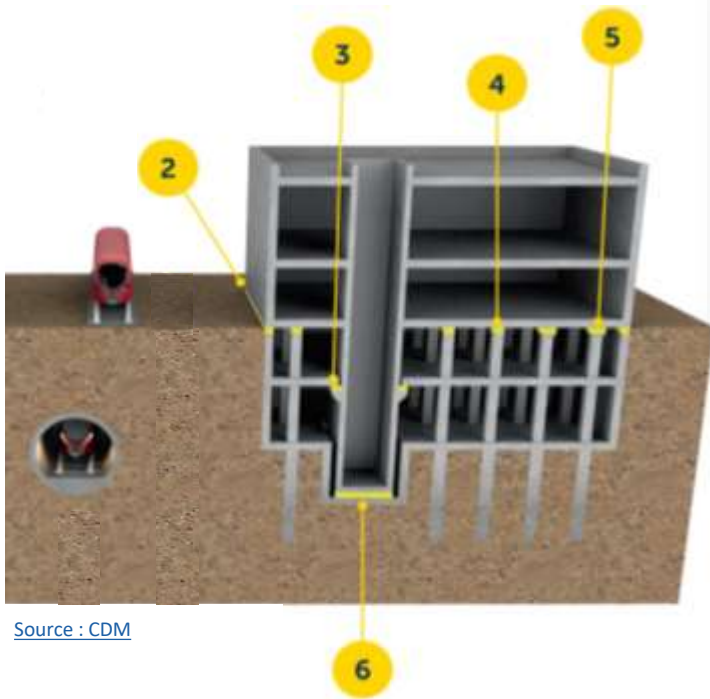
Optimisations de solutions de protection

- Solution « éco » : solution économique en essayant néanmoins de se rapprocher des standards de confort en réduisant l'impact vibratoire.
- Solution recommandée : correspond au meilleur rapport gain de confort / coût solution
- Solution « confort » : correspond au meilleur apport de gain de confort en restant dans un périmètre de travaux réaliste.

Mesures et études vibratoires: étude de solutions de désolidarisations de bâtiments

Etude et optimisation de solutions de désolidarisation de bâtiments : coupures horizontales

- ✓ Etude et définition des solutions les plus adaptées aux objectifs de confort, au contexte, et aux diverses contraintes (économiques, architecturales, sismiques, ...).
- ✓ Coupures vibratoires horizontales : boîtes à ressorts, plots élastomères, tapis élastomères, amortisseurs viscoélastiques, dispositifs compatibles antisismique, ...
- ✓ Evaluation des gains envisageables avec les différentes solutions, optimisation des traitements,
- ✓ Assistance pour la mise au point des détails d'intégration permettant d'assurer la continuité et le bon fonctionnement de la désolidarisation (noyaux, cages ascenseurs, escaliers, façades, etc...),
- ✓ Accompagnement du BE structure pour la mise au point des adaptations, et rédaction d'une notice de désolidarisation vibratoire à joindre aux CCTP,...



Source : CDM



Source : Getzner

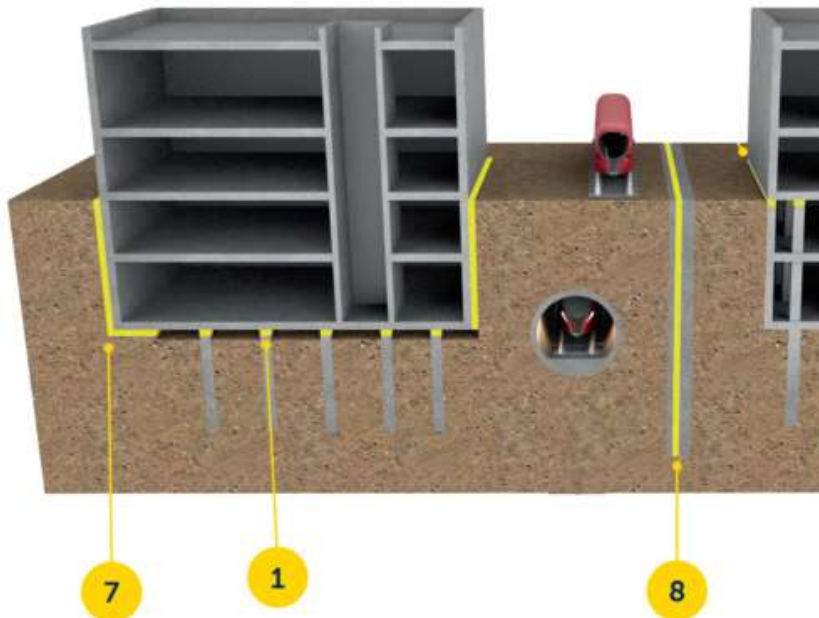


Source : Gerb

Mesures et études vibratoires: étude de solutions de désolidarisations de bâtiments

Etude et optimisation de solutions de désolidarisation de bâtiments : coupures verticales

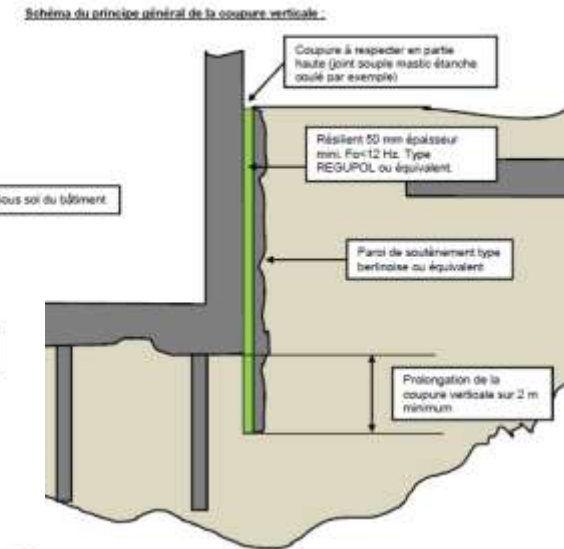
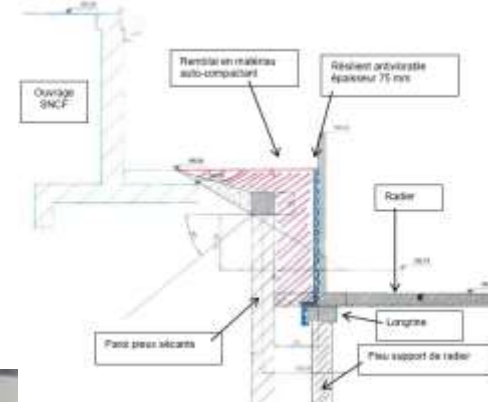
- ✓ Etude et définition des solutions les plus adaptées aux objectifs de confort, au contexte, et aux diverses contraintes (économiques, architecturales, sismiques, ...).
- ✓ Coupures vibratoires verticales : tapis élastomère contre parois infrastructure, tranchées-écran de protection vibratoire, ...
- ✓ Evaluation des gains envisageables avec les différentes solutions, optimisation des traitements,
- ✓ Assistance pour la mise au point des détails permettant d'assurer la continuité et le bon fonctionnement de la désolidarisation (continuité, revêtements de surface, ...),
- ✓ Accompagnement du BE structure pour la mise au point des adaptations, et rédaction d'une notice de désolidarisation vibratoire à joindre aux CCTP,...



Source : CDM



Source : Getzner

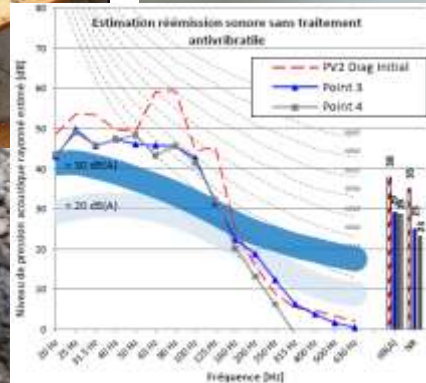
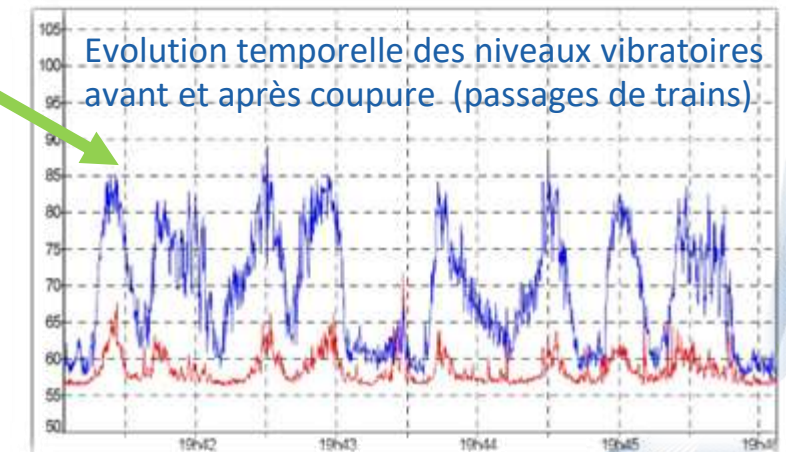
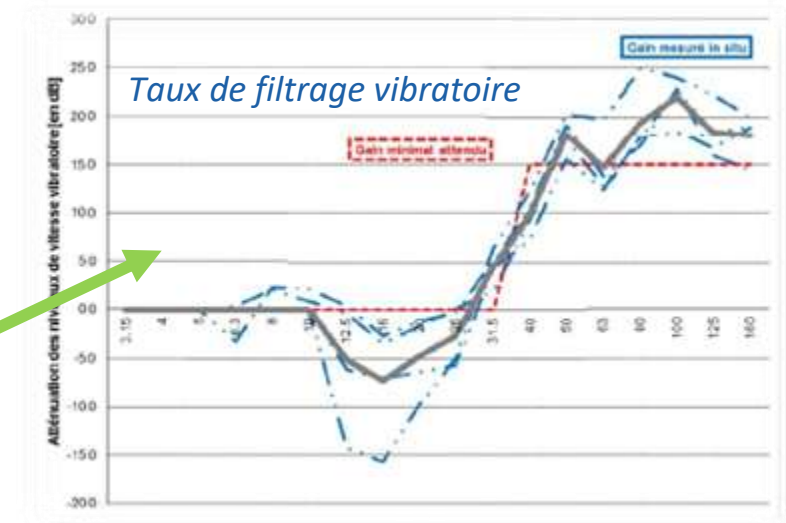


Source : BSW

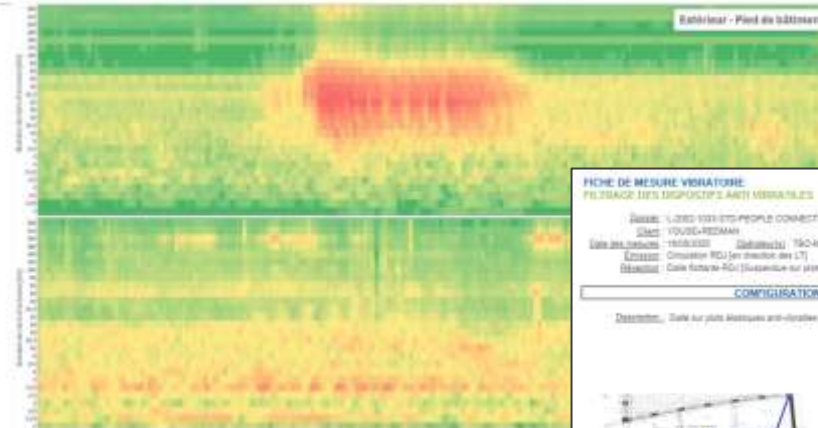
Mesures et études vibratoires: suivi et vérification des désolidarisations de bâtiments

Mesures en cours de chantier, suivi des travaux, vérification de l'efficacité des coupures

- ✓ Mesures vibratoires complémentaires après réalisation des fondations (tête de pieux,...) ou des niveaux d'infrastructure, pour vérification des niveaux vibratoires mesurés lors du diagnostic initial et confirmation/optimisation éventuelles des solutions de désolidarisation.
- ✓ Assistance technique à l'entreprise de gros œuvre pour la bonne réalisation de la coupure (mise au point / validation détails d'EXE, choix des systèmes adaptés, vérification des propositions des fournisseurs,...)
- ✓ Vérification des bonnes mises en œuvre et de la continuité de la désolidarisation durant le chantier
- ✓ Mesures de vérification finales du fonctionnement de la coupure vibratoire (filtrage, niveaux vibratoires résiduels,)

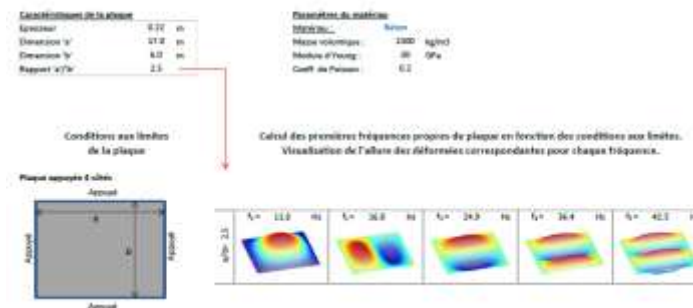
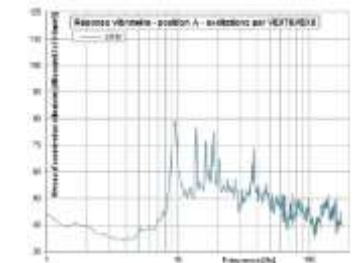
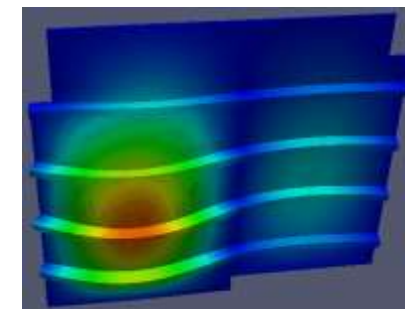
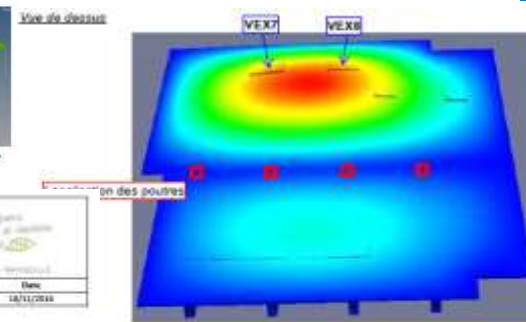
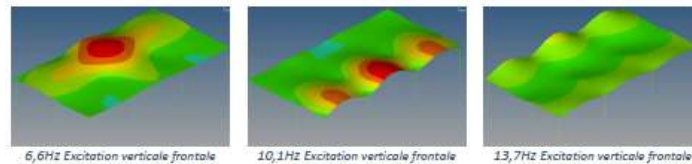
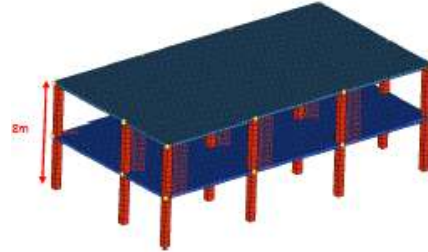


L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1975

[illegible]

L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1975

Analyses dynamiques

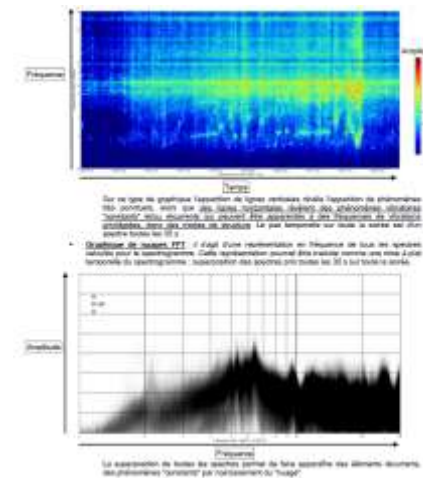


NX
NASTRAN

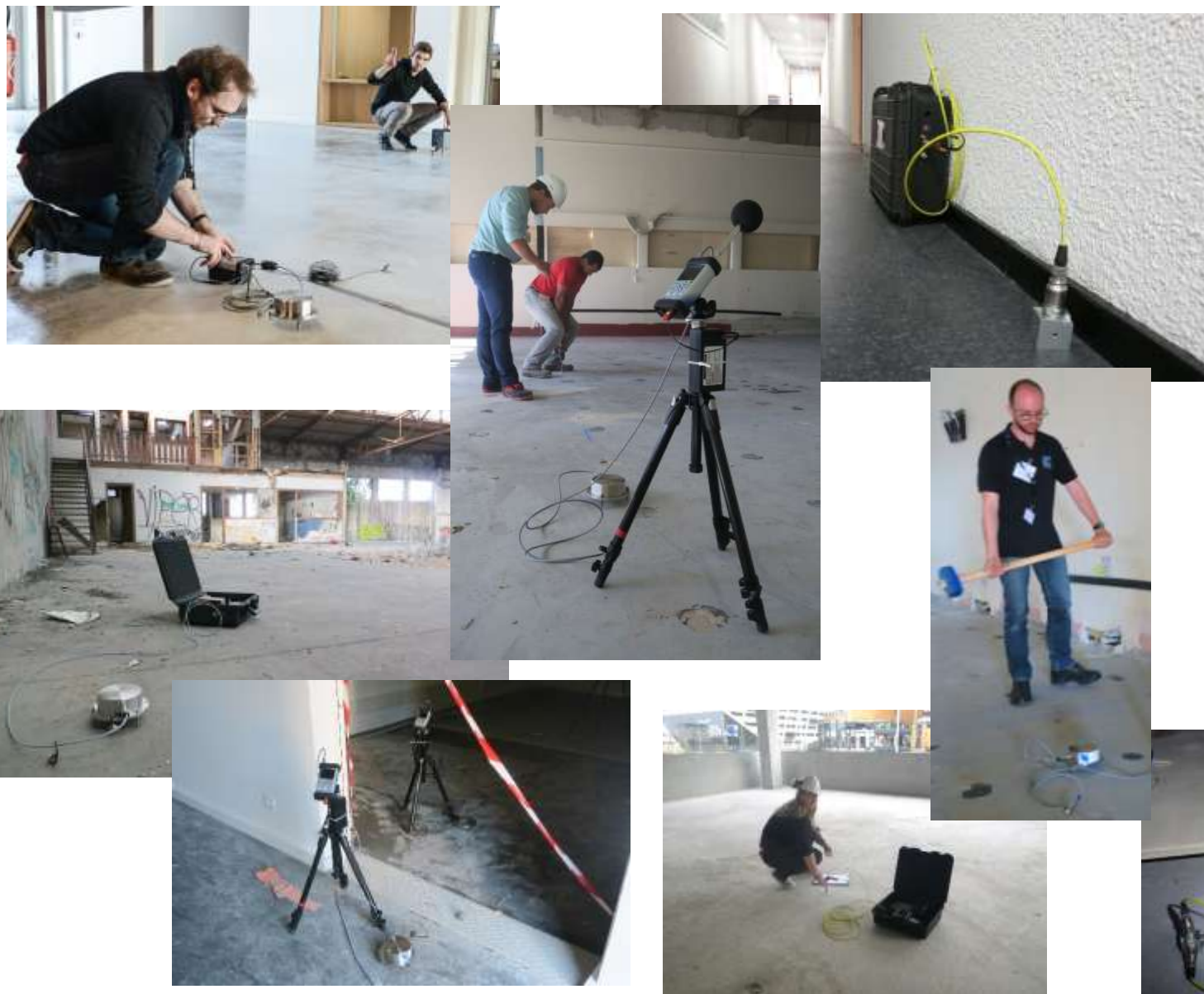


Capteur vibratoire

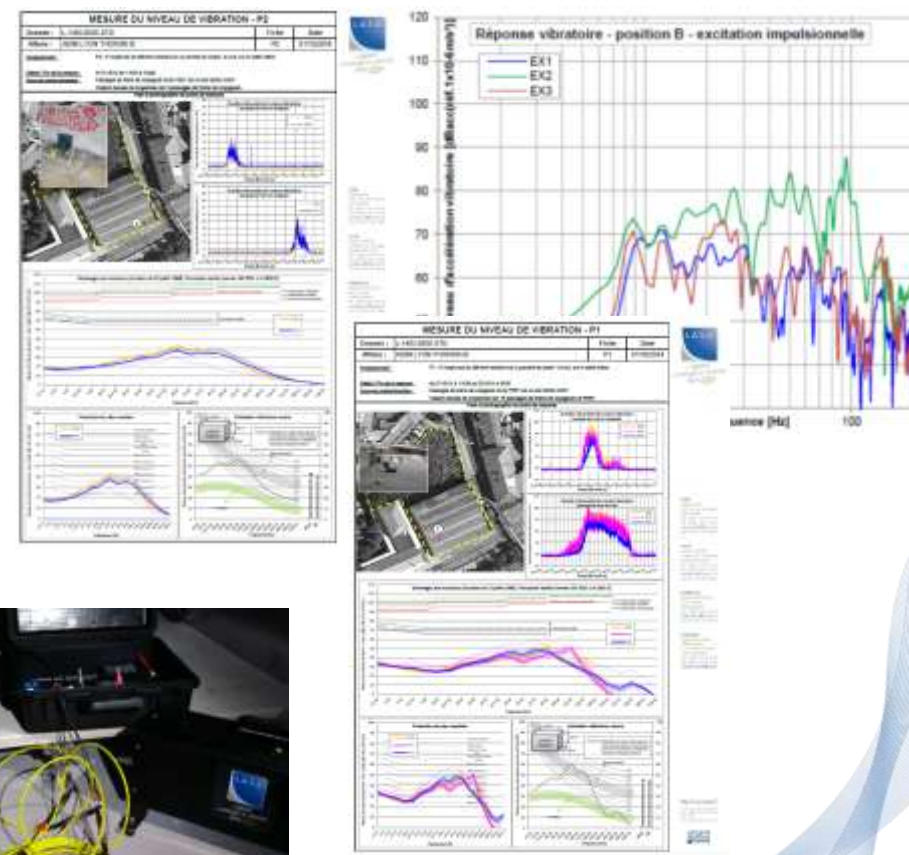
-
- MEASURES VIBRATION OF FUNCTION OF RESPONSE IN FREQUENCY (FRF) - MOBILITY
- File Edit View Settings Help
- Project: C:\Users\user\Documents\Project1\Project1.rtf
- Measure: Mobility (m/s^2/g)
- Frequency: 0.1 to 10.0 Hz
- Amplitude: 0.0 to 1.8 m/s^2/g
- Phase: 0 to 360 degrees
- Coherence: 0.0 to 1.0
- Mobility: 0.0 to 1.0 m/s^2/g
- FRF (m/s^2/g)
- Frequency [Hz]
- Amplitude [m/s^2/g]
- Amplitude [m/s^2/g]
- Phase [degrees]
- Coherence
- Mobility [m/s^2/g]
- Legend: Amplitude, Phase, Coherence, Mobility
- Notes: The values shown in the table are the average values of the measured FRF. The values shown in the graph are the individual values of the measured FRF.



Mesures et études vibratoires : mesures de la propagation dans les bâtiments existants

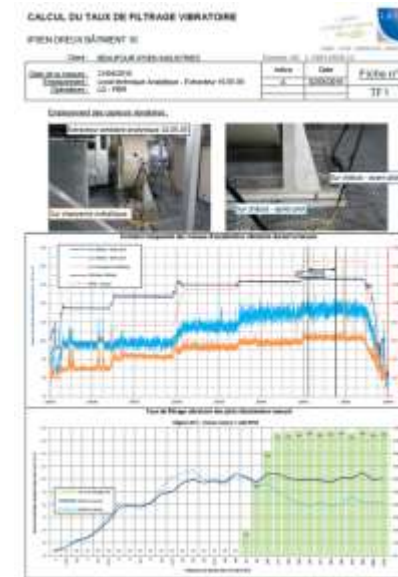
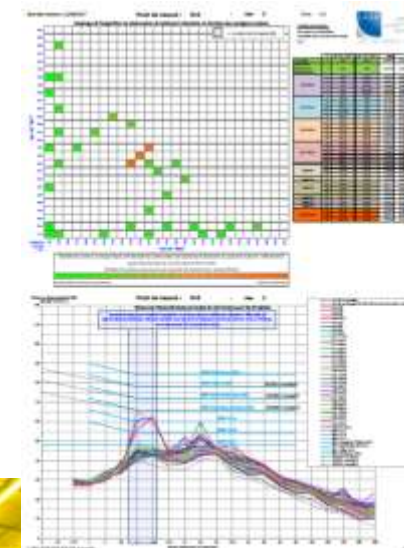
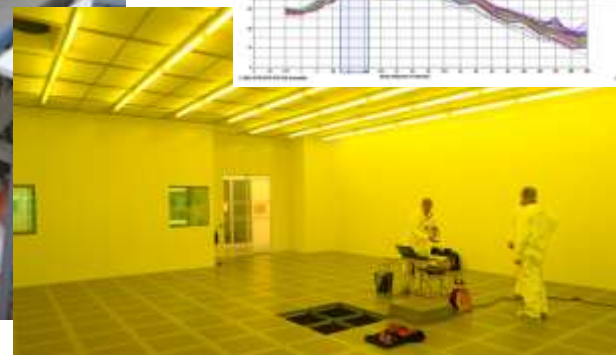


- ✓ Diagnostic vibratoire initial – simulation de travaux en site occupé
- ✓ Mesures d'efficacité de découplage de joints de désolidarisation
- ✓ Mesures de fréquences propres et modes de planchers
- ✓ Mesures de la transmission dans les étages
- ✓ Modélisation vibratoire FEM – 2D ou 3D si nécessaire
- ✓ Analyse de la compatibilité des structures avec les travaux prévus

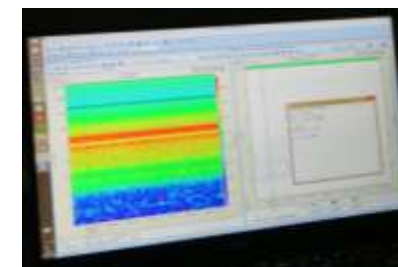


Mesures et études vibratoires : protection des matériels médicaux ou de laboratoires

- ✓ Diagnostic vibratoire initial, essais de convenance travaux en site occupé, engins de démolition, installations de ventilation, vibrations extérieures, vibrations intérieures ...
- ✓ Essais de détermination des conditions opérationnelles des systèmes métrologiques
- ✓ Modélisation vibratoire FEM – 2D ou 3D si nécessaire
- ✓ Optimisation de la rigidité dynamique des structures
- ✓ Optimisation des solutions de désolidarisation
- ✓ Description des solutions préconisées – notice vibratoire
- ✓ Mesures en cours de chantier et mesures finales de validation (si prévues)

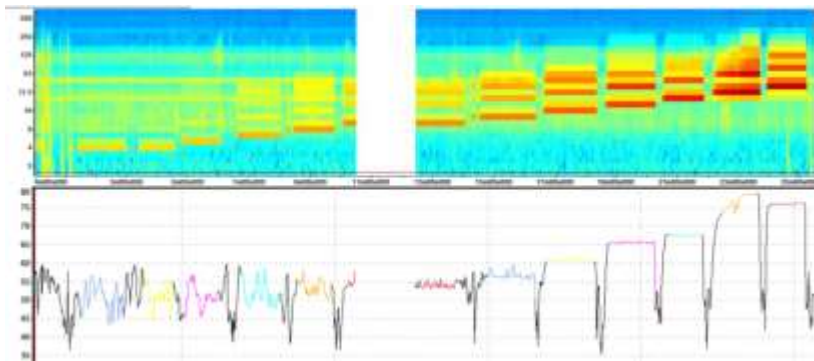


Fiches type de résultats de mesures

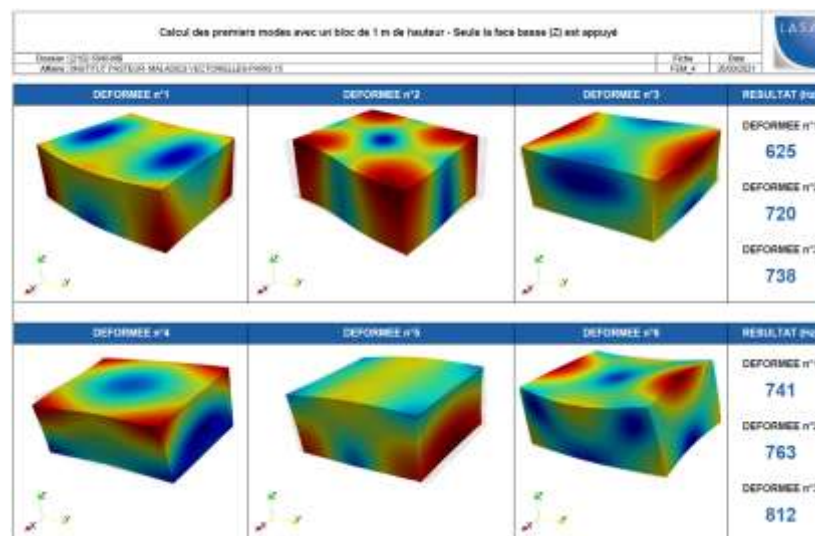


Mesures et études vibratoires : caractérisation seuil de perturbation équipement sensible

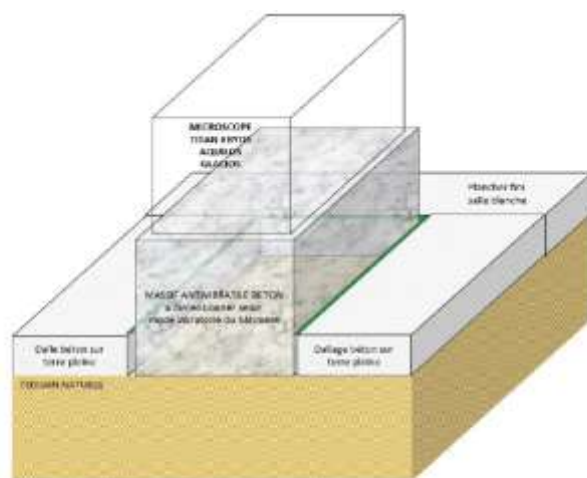
- ✓ Excitateur electro-dynamique : émission de vibrations basses fréquences maîtrisées
- ✓ Caractérisation seuil de perturbation vibratoire d'équipements sensibles
- ✓ Mesure de fonctions de transfert fondations / pied de l'appareil sensible



Mesures et études vibratoires : protection des matériels de métrologie très sensibles

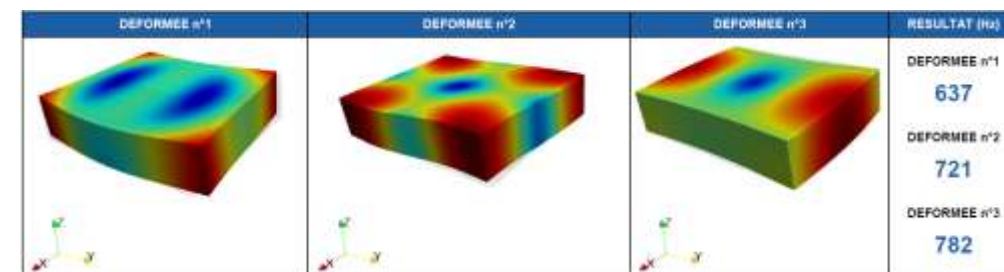


- ✓ Dimensionnement de massifs béton désolidarisés
- ✓ Calcul FEM des modes propres et déformées
- ✓ Calculs FEM de mobilités
- ✓ Mesures finales de validation

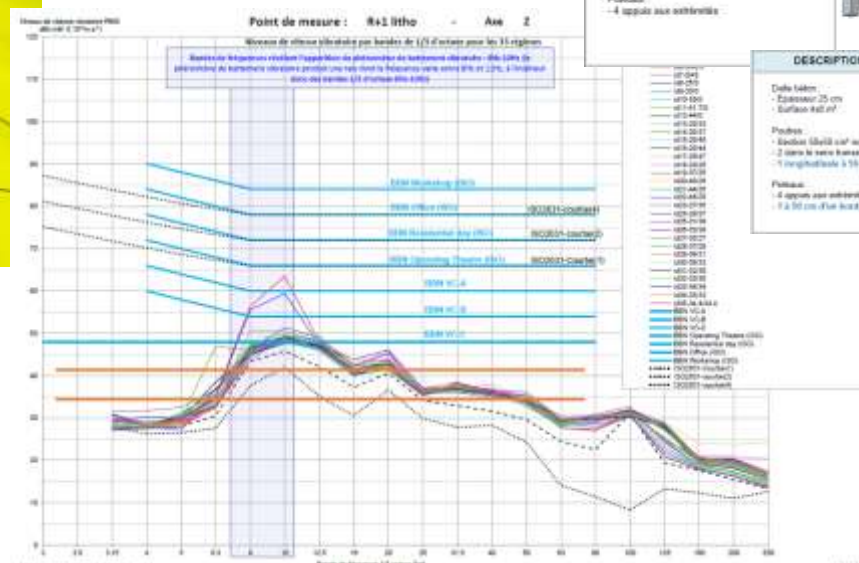
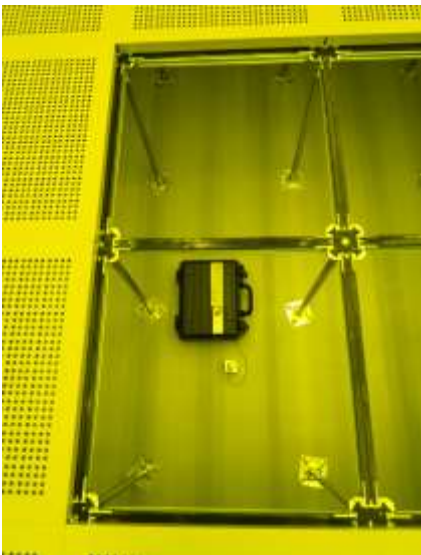



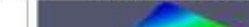
Modélisation 3D du massif antivibratile pour détermination des fréquences propres des premiers modes, deux hauteurs modélisées :

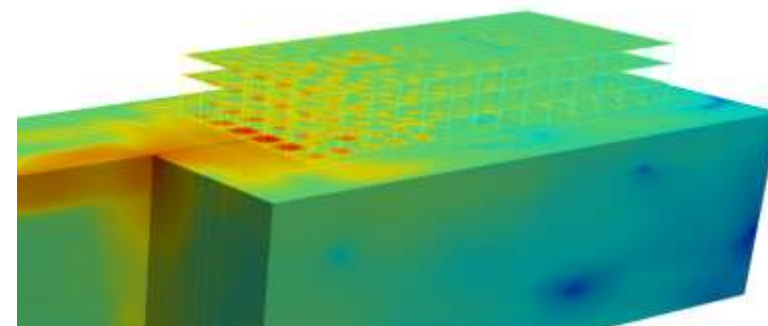
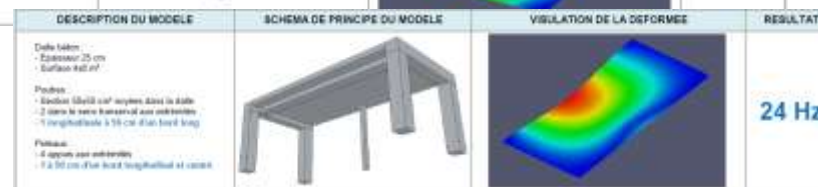
- 0.6 mètre
- 1 mètre



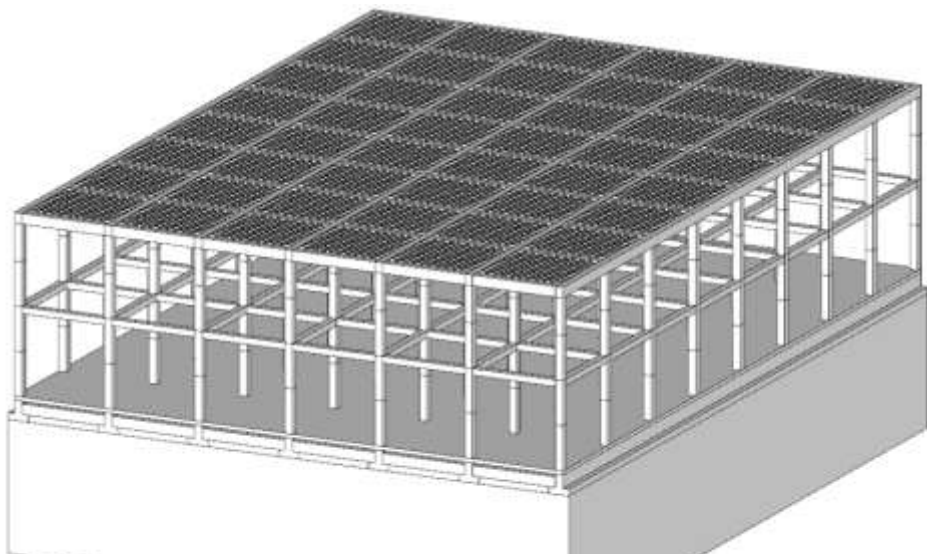
L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1975



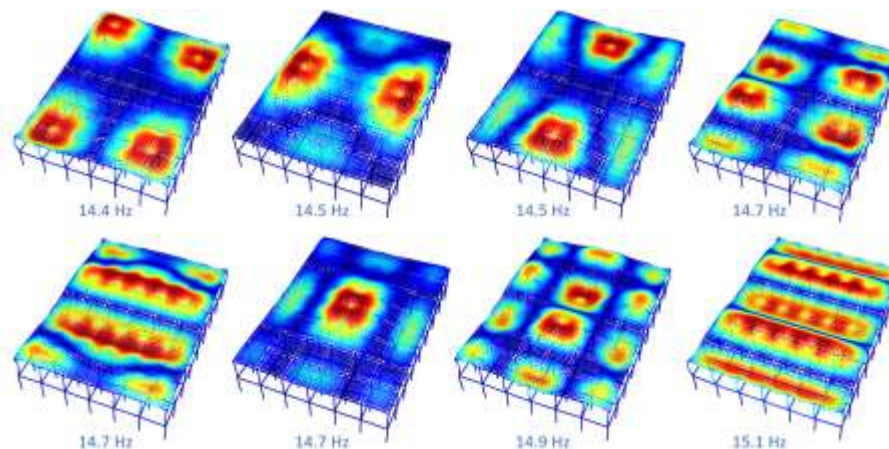
- | DESCRIPTION DU MODELE | SCHEMA DE PRINCIPE DU MODELE | VISUALISATION DE LA DEFORMEE | RESULTAT |
|---|---|---|---------------------|
| <p>Dalle béton :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Epaisseur: 25 cm - Surface: 8x8 m² <p>Poutres :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Section 50x50 cm² repoussées dans la dalle - 2 sur 2 bords parallèles <p>Poteaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 appuis aux extrémités |  |  | <p>11 Hz</p> |



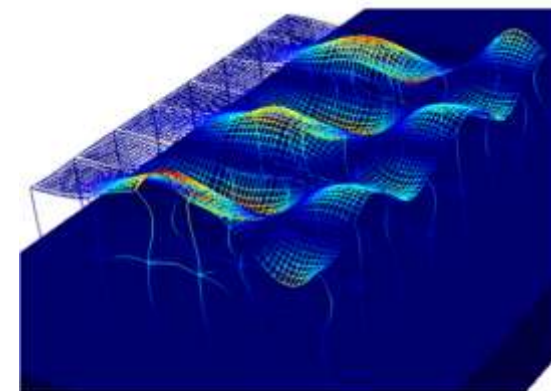
Mesures et études vibratoires : protection des systèmes de production de semi-conducteurs



Premières estimations du plancher gaufre

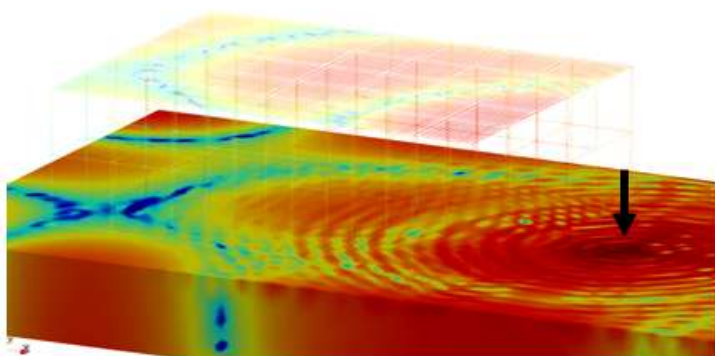


- ✓ Calcul FEM des modes propres et déformées de superstructures, optimisation de rigidité dynamique,
- ✓ Calcul FEM des mobilités vibratoires



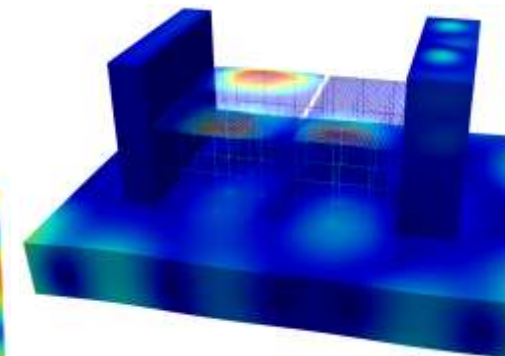
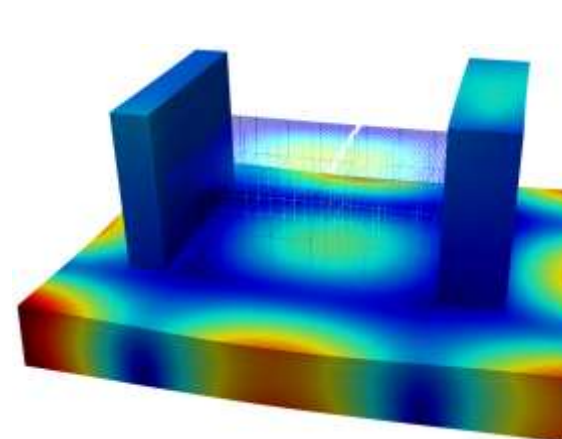
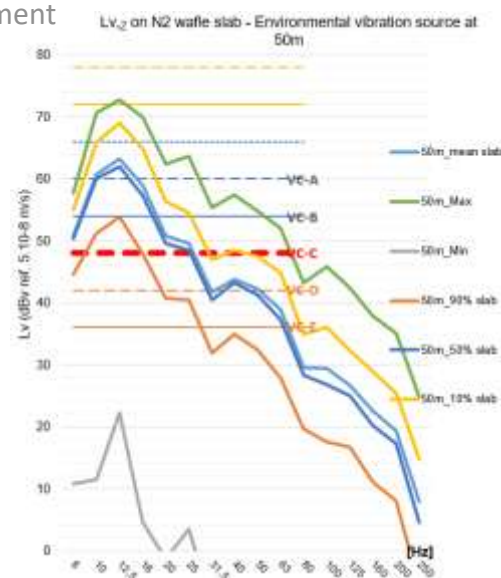
16.71 Hz

- ✓ Evaluation FEM de la propagation dans la structure des vibrations environnementales ou engendrées dans le bâtiment



125 Hz

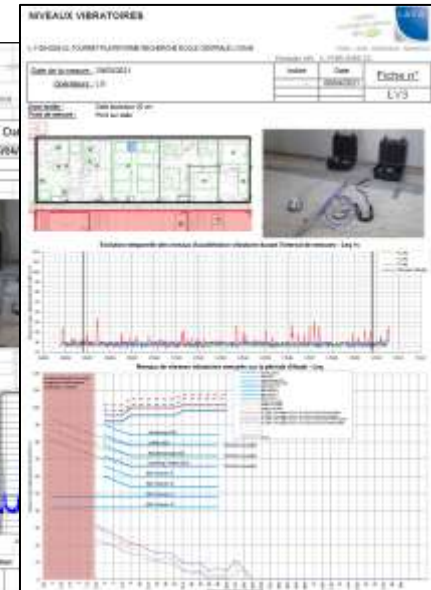
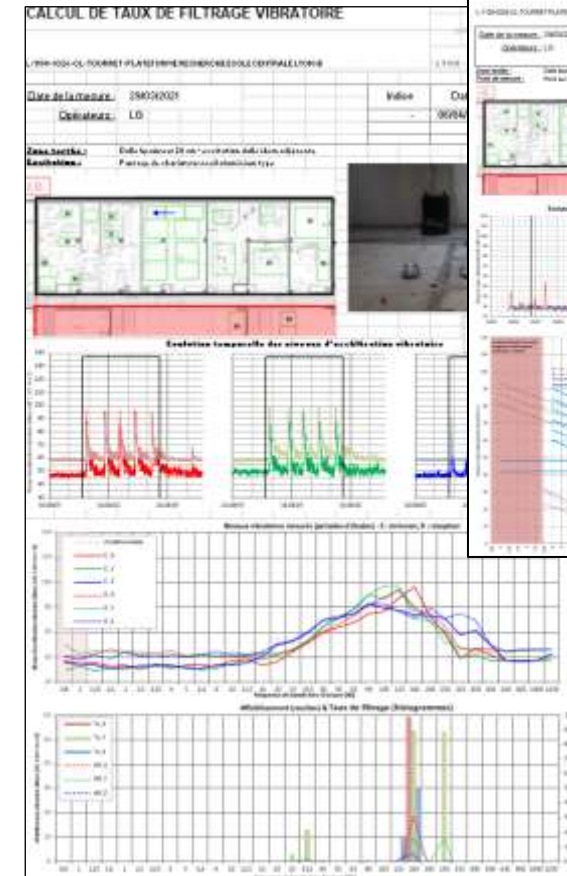
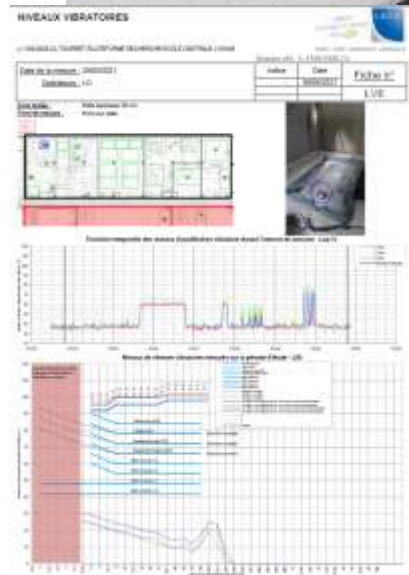
↓ Engin percussif



Mesures et études vibratoires : protection de matériels sensibles de laboratoires



- ✓ Diagnostic vibratoire initial, essais de détermination des conditions opérationnelles des systèmes métrologiques.
- ✓ Optimisation des solutions de désolidarisation
- ✓ Modélisation vibratoire FEM – 2D ou 3D si nécessaire
- ✓ Description des solutions préconisées, notice vibrations.
- ✓ Essais vibratoires de désolidarisation de dalles en cours de chantier
- ✓ Mesures finales de validation (si prévues)

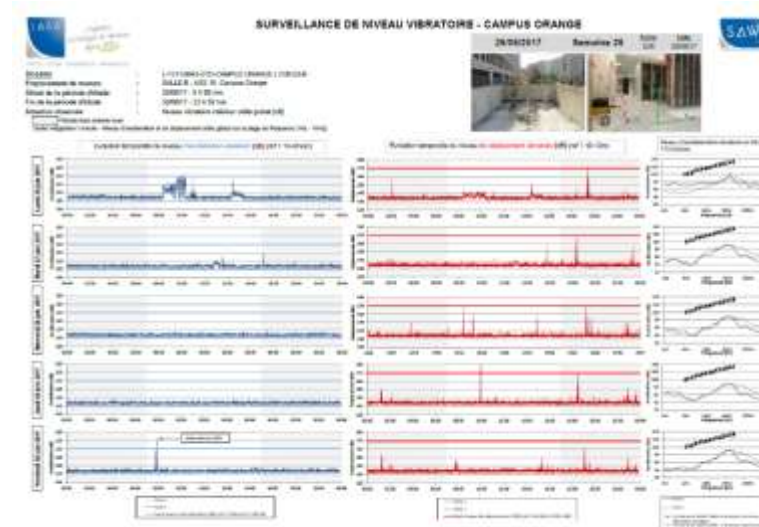


Mesures et études vibratoires : protection des datacenters et installation de télécommunications



- ✓ Diagnostic vibratoire initial, essais de convenance travaux en site occupé, engins de démolition, vibrofonçage,...
- ✓ Monitoring continu pour les chantiers environnants ou en site occupé, vérification des seuils ETSI,...
- ✓ Aide à la détermination des modes opératoires les plus adaptés pour la protection des installations,
- ✓ Systèmes avec alerting temps réel sur seuils, et reporting hebdomadaires

Fiches type de résultats de mesures

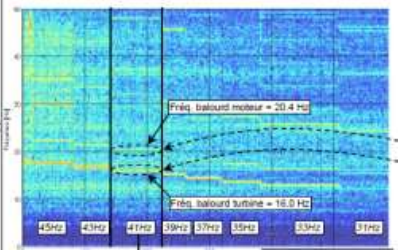
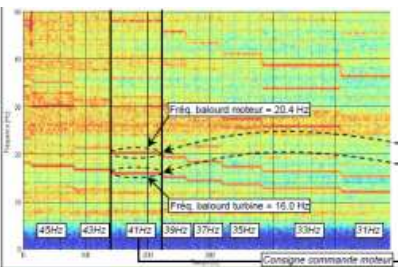


Mesures et études vibratoires : vibrations et découplage de machines industrielles

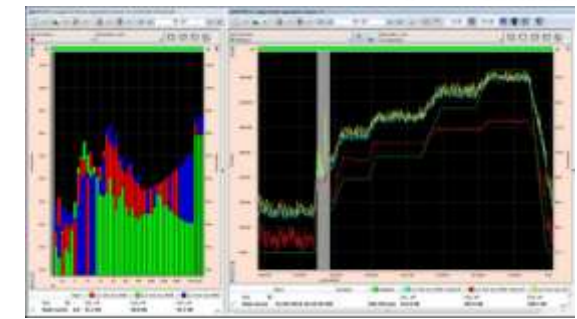
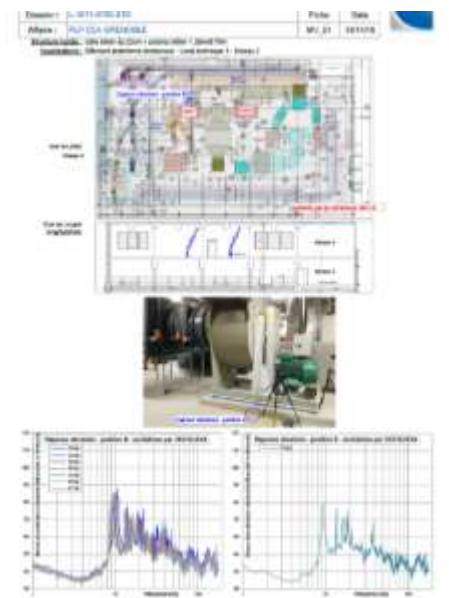
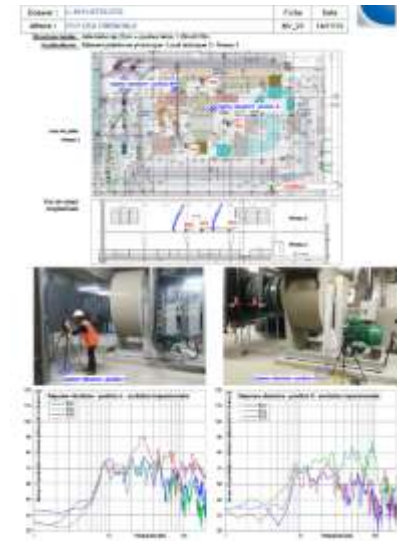


V4 : Châssis
métallique
(support
moteur et
turbine)

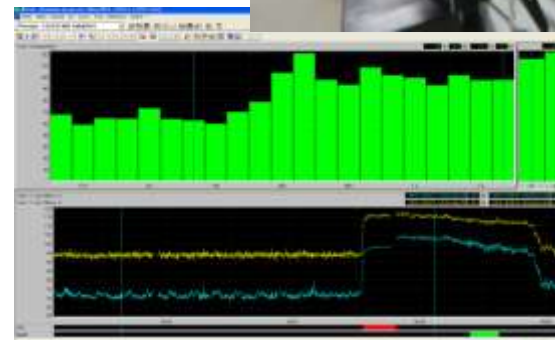
V2 : Massif
béton support
(sous plots
caoutchouc)



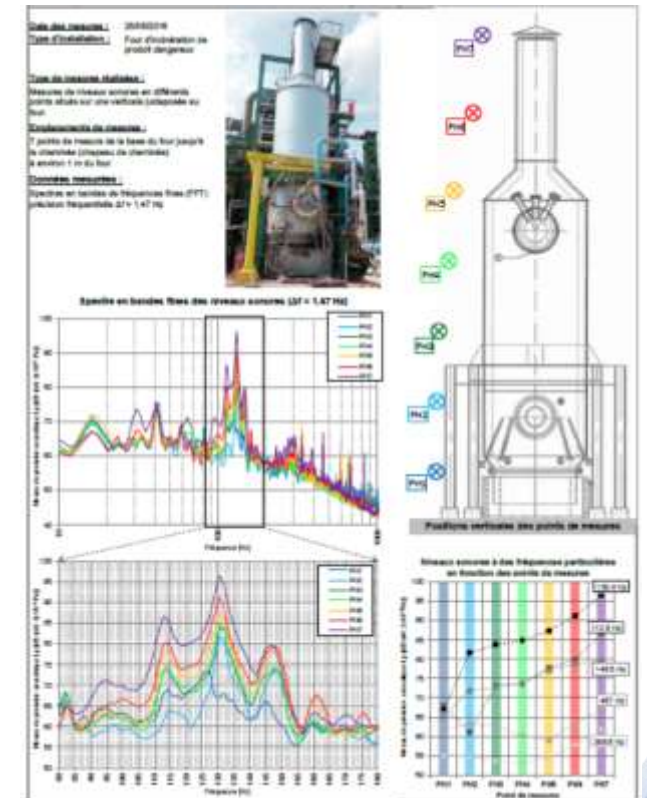
- ✓ Diagnostic vibratoire initial
- ✓ Modélisation vibratoire FEM – 2D ou 3D si nécessaire
- ✓ Détermination et optimisation de solutions de désolidarisation
- ✓ Calcul des filtrages et amortissement nécessaires
- ✓ Description des solutions préconisées dans un rapport
- ✓ Mesures finales de validation (si prévues)



Mesures et études vibratoires : vibrations et découplage de machines industrielles

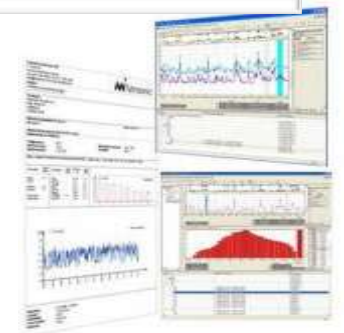
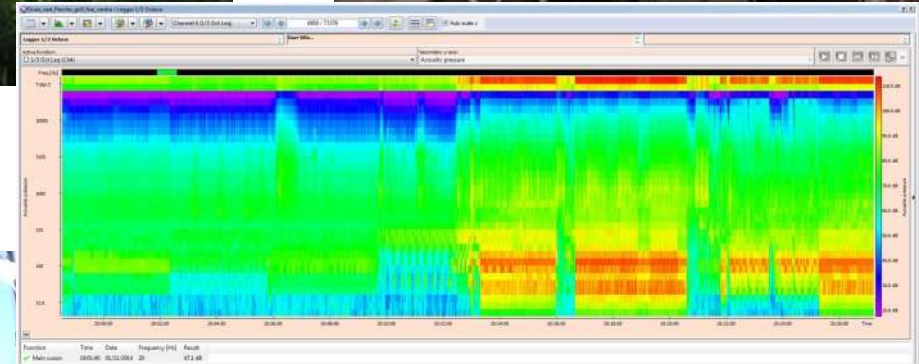


- ✓ Diagnostic vibratoire initial
- ✓ Modélisation vibratoire FEM – 2D ou 3D si nécessaire
- ✓ Détermination et optimisation de solutions de désolidarisation
- ✓ Calcul des filtrages et amortissement nécessaires
- ✓ Description des solutions préconisées dans un rapport
- ✓ Mesures finales de validation (si prévues)



Fiches type de résultats de mesures

Mesures et études vibratoires : vibrations des ouvrages d'art et de transport



Mesures et études vibratoires – méthodologie générale

Présentation des résultats

Outils de prise de décision : quantification des gains avec garantie de résultats

- ✓ Gains chiffrés,
- ✓ Prérequis et conditions de fonctionnement
- ✓ Estimation des risques de gêne résiduelle,
- ✓

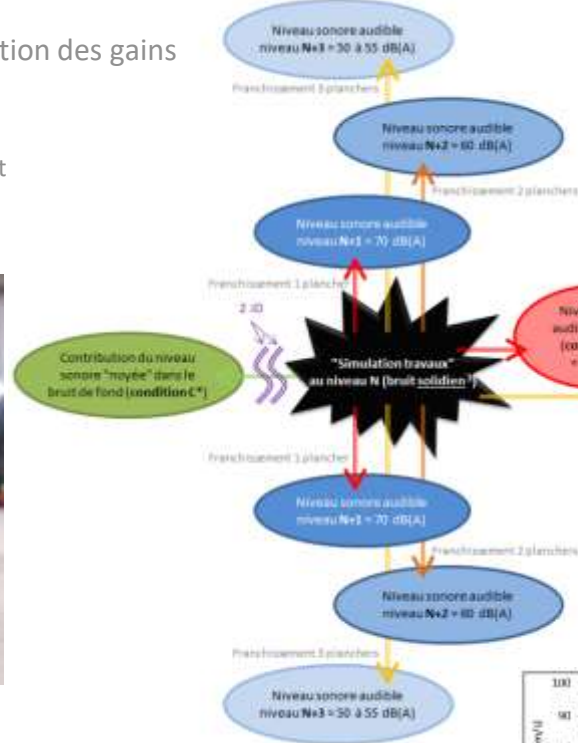


Description des solutions préconisées dans un rapport

Description pouvant être utilisée comme base pour les CCTP

Les descriptions comprennent notamment :

- ✓ Des schémas et plans de principe si nécessaire
- ✓ les performances vibratoires des produits et systèmes (si pertinent)
- ✓ Les éventuelles sujétions de mise en œuvre (emplacement, assemblage, ...)
- ✓ Des exemples de systèmes disponibles sur le marché si nécessaire



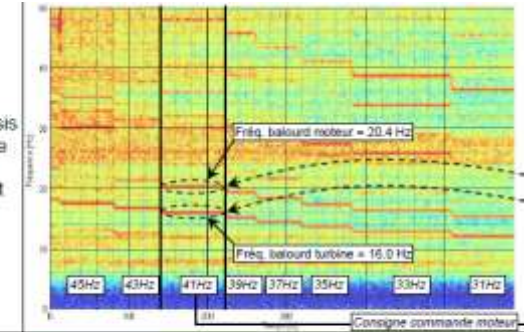
Mesures finales de validation (si prévues)

Vérification de l'obtention des objectifs

- ✓ Campagne de mesure vibratoire de réception
- ✓ Vérification des gains
- ✓ Réglage des systèmes si nécessaire



V4 : Châssis
métallique
(support
moteur et
turbine)



Massif
support
plots
chouc)

