

Bruits et vibrations au voisinage des infrastructures ferroviaires

Quelles perspectives ?

Journée organisée par le Centre d'information sur le bruit (CidB)
sous l'égide du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires

Pics de bruit, vibrations : l'apport de l'ingénierie acoustique

Céline BOUTIN

Directrice du Pôle Environnement – Sixense Engineering
Administratrice CINOV Giac

Samuel TOCHON-DANGUY

Directeur – LASA ingénierie acoustique et vibratoire
Administrateur CINOV Giac



L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1978



Cité Internationale
Universitaire, Paris

**Jeudi
16 novembre
2023**

de 9h00 à 17h30

CidB

Centre d'information
sur le **Bruit**

Introduction

Pics de bruits

- ✓ La Loi d'Orientation des Mobilités n°2019-1428 (notamment l'article 90) introduit la prise en compte d'indicateurs événementiels visant à mieux caractériser la gêne des riverains aux abords des voies ferrées, au-delà des indicateurs existants.
- ✓ Quelles incidences sur l'analyse des mesures et de l'existant ?
- ✓ Quelles techniques de prévisions ou d'évaluation avons-nous à proposer ?
- ✓ Quelles difficultés et quelles perspectives ?



sixense
Engineering

L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1976



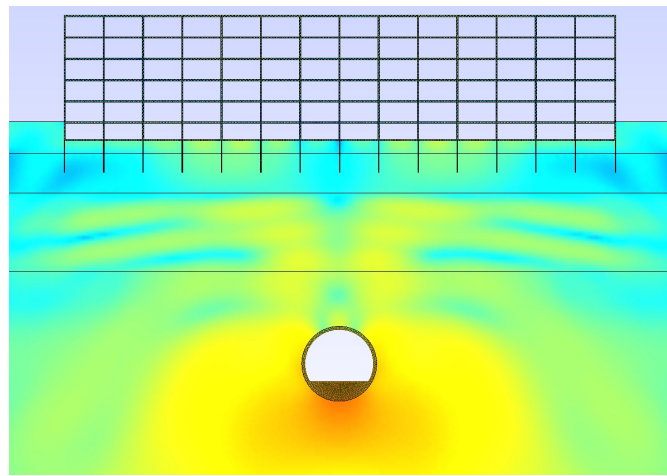
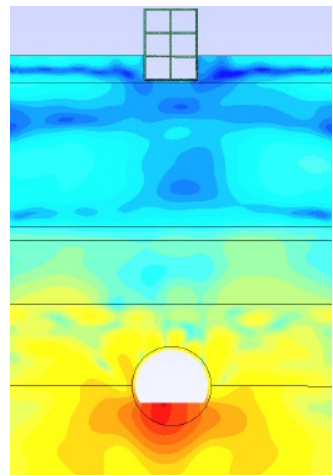
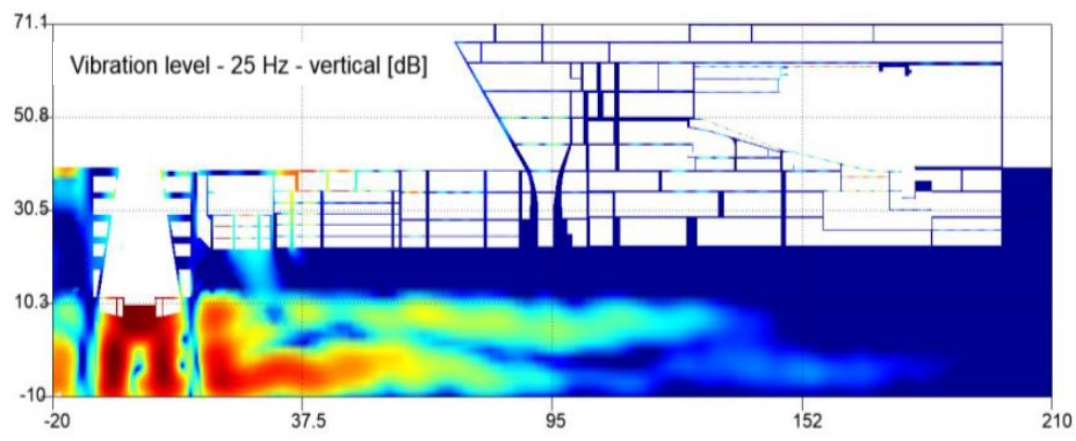
cinov
GIAC ACOUSTIQUE

Vibrations

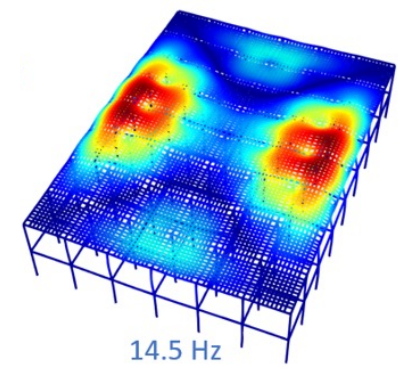
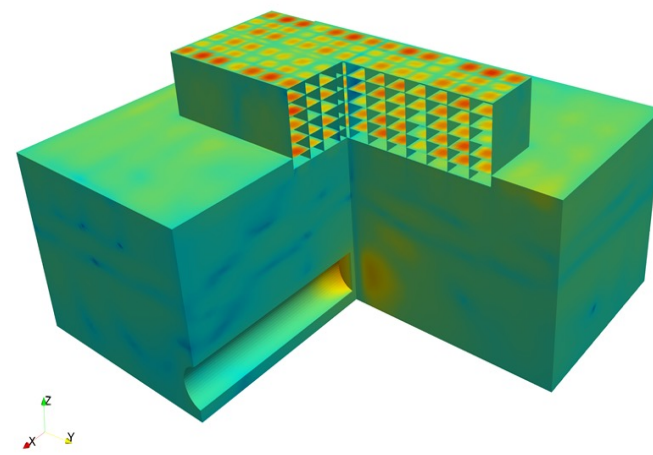
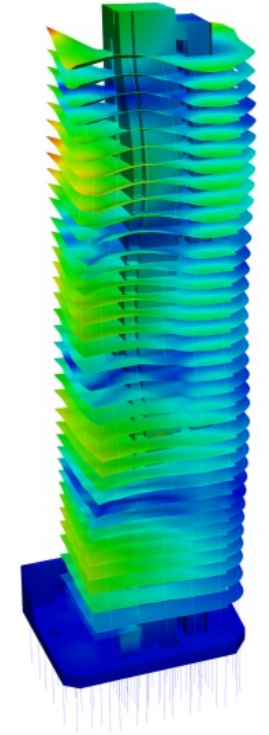
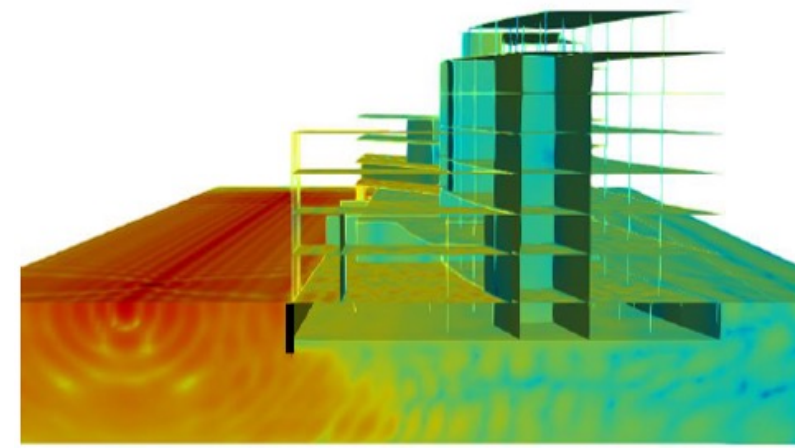
- ✓ L'évaluation de la propagation vibratoire dans les sols et les bâtiments s'affine depuis de nombreuses années.
- ✓ Différents outils de mesures et modélisation numérique sont à notre disposition pour :
 - Effectuer des constats en pied de bâtiments, analyser les paramètres influents/dimensionnants, mieux évaluer les interactions sol-structures, et caractériser des fonctions de transfert entre la source et le récepteur
 - Réaliser des simulations numériques et des évaluations pour de futures constructions
- ✓ En cas d'absence de données précises sur le sol, le bâti, et la source (paramètres de force injectée selon le matériel roulant, et l'infrastructure), ces retours d'expériences et outils permettent néanmoins « d'encadrer » les résultats attendus.
- ✓ Il est également possible de simuler différentes solutions de réduction des impacts vibratoires, y compris complémentaires aux solutions usuelles de désolidarisation des bâtiments.

Des outils de modélisation numérique : 2D / 2.5D / 3D

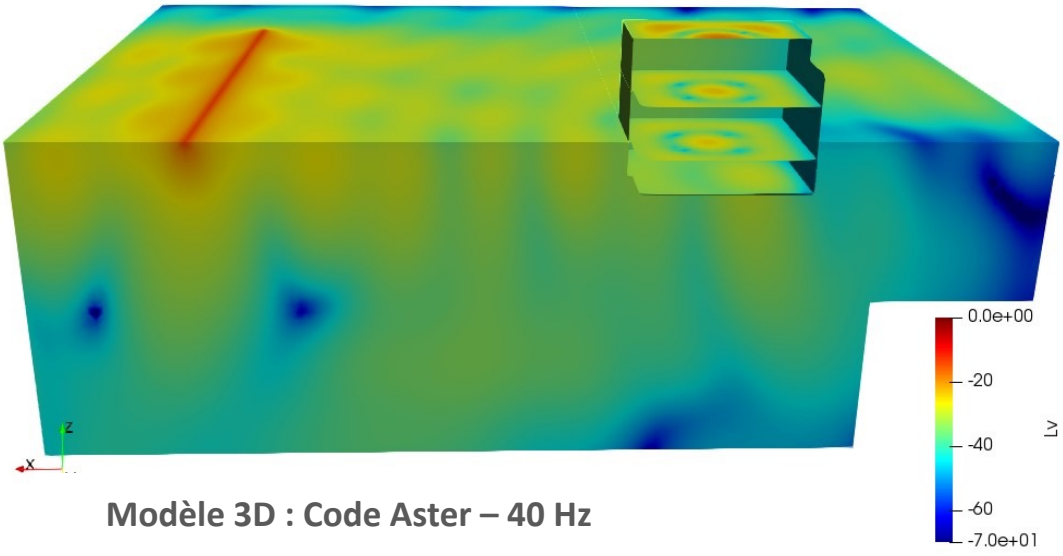
FEM - BEM 2,5 D: MEFFISTO,...
source : exemples études LASA



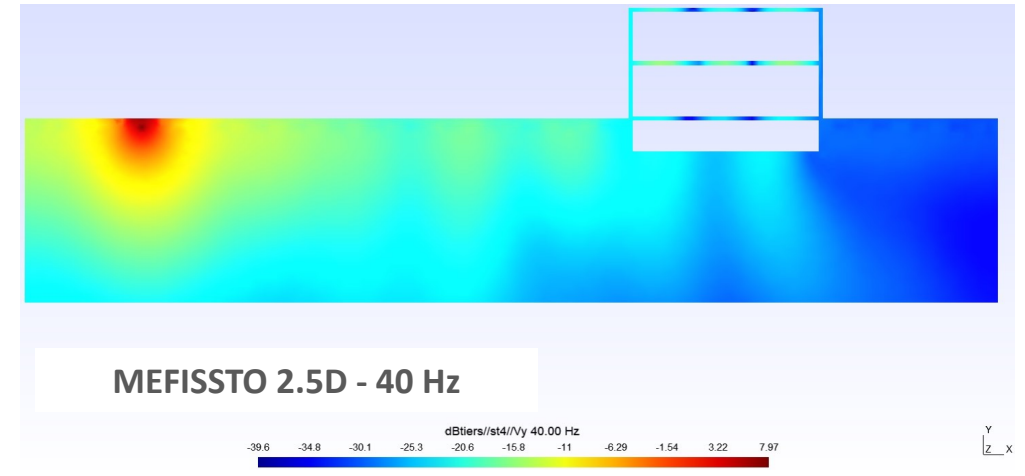
FEM 3D: ANSYS, ASTER, MISS3D, NASTRAN, COMSOL,...
source : exemples études LASA



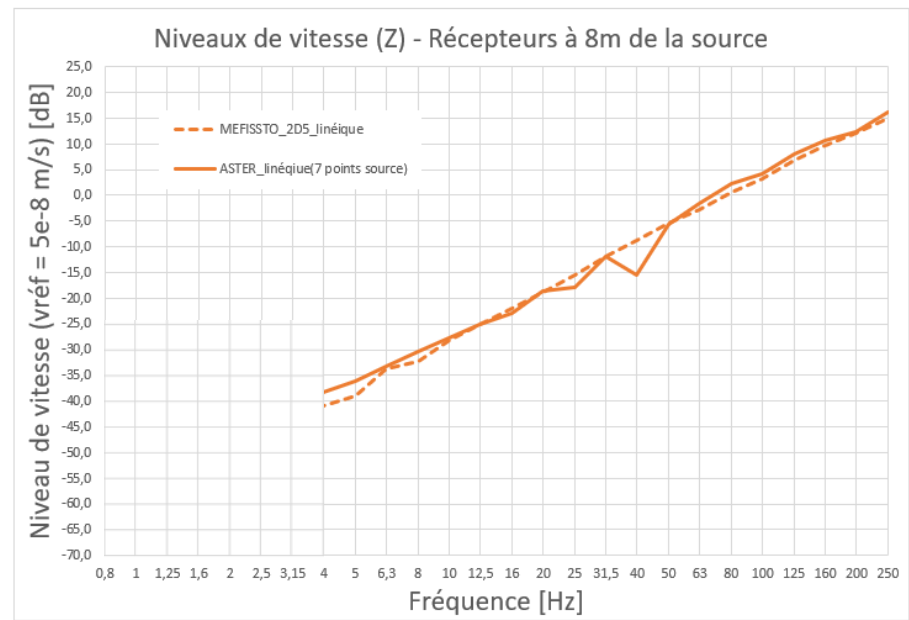
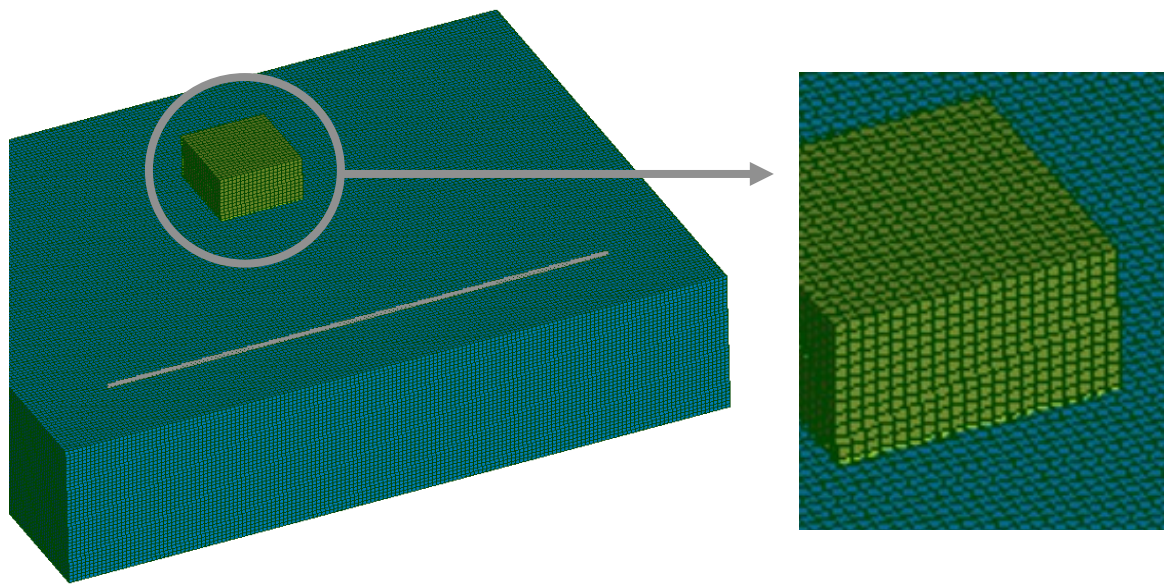
Exemple de comparaison de modèles 3D et 2,5D



Modèle 3D : Code Aster – 40 Hz

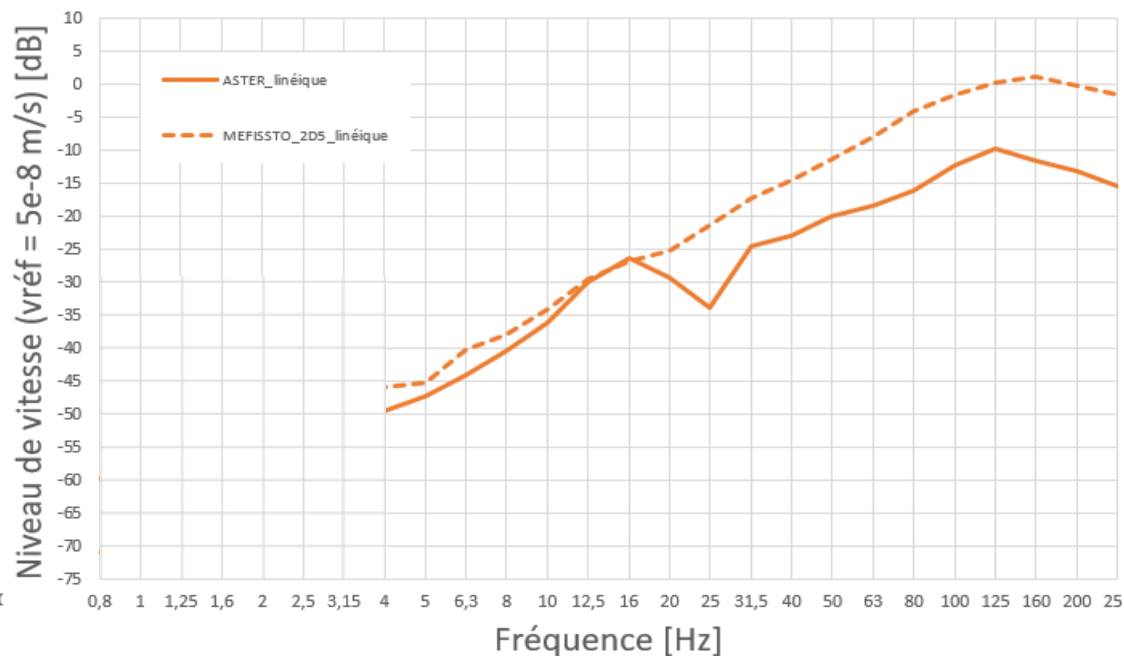


MEFISSTO 2.5D - 40 Hz

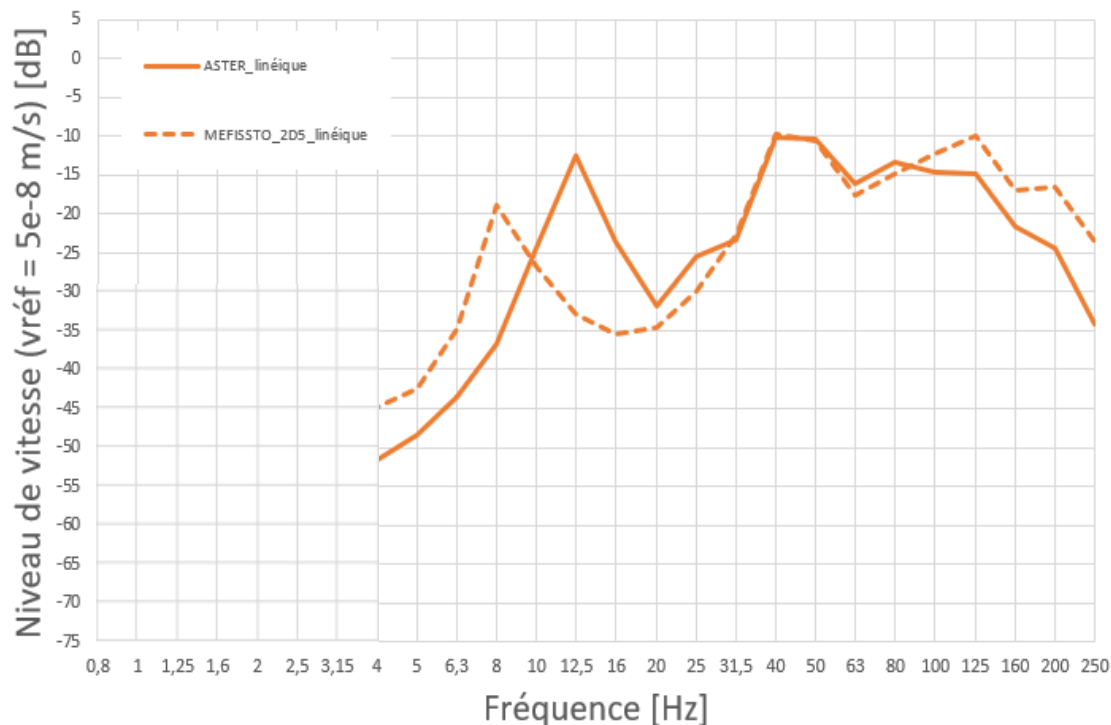


Exemple de comparaison des méthodes avec modèles 3D et 2,5D

LvZ - Récepteur pied de bâtiment

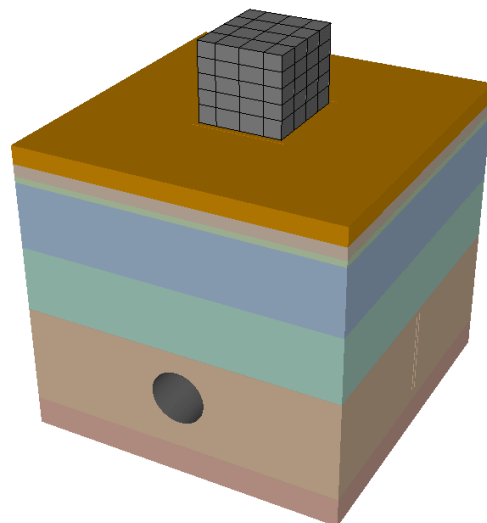
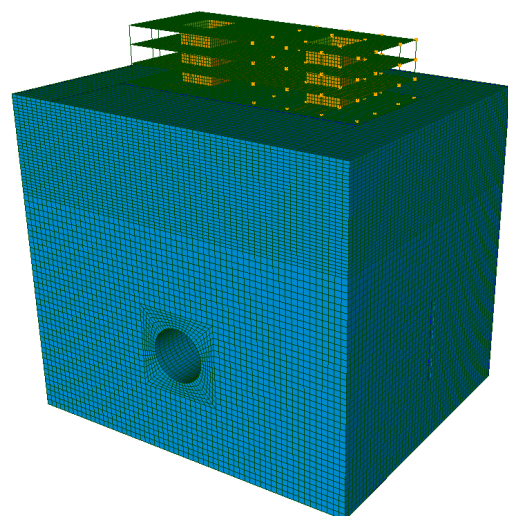
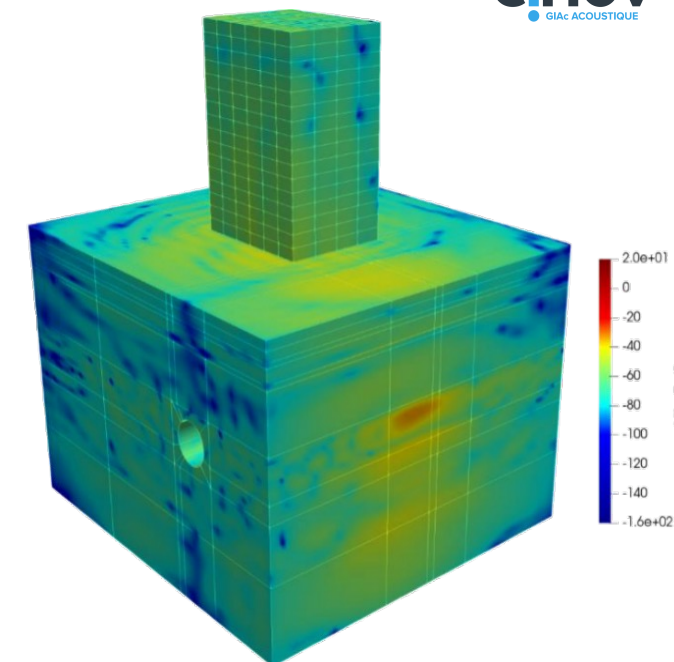
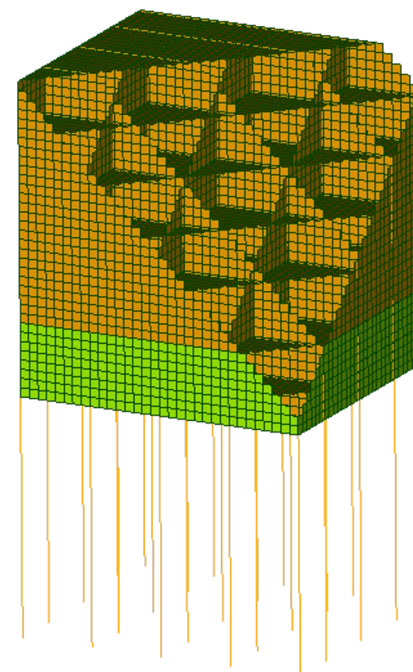
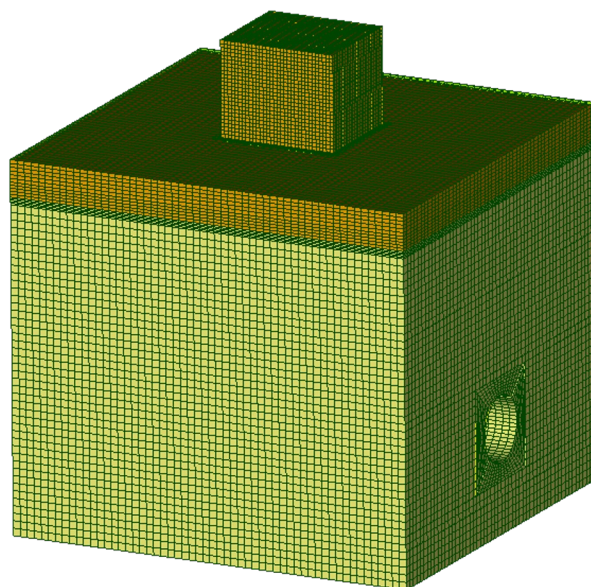
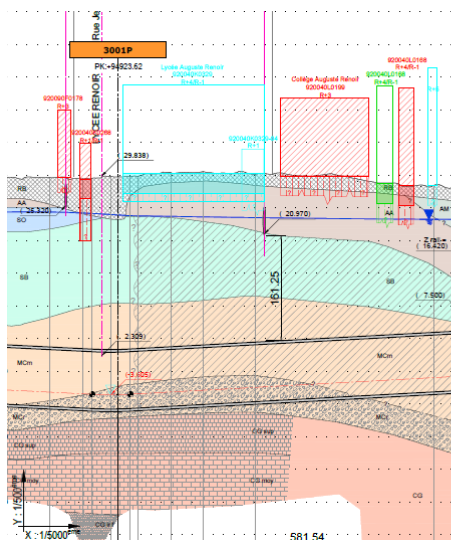


LvZ - Récepteur R1



- ✓ Plus grande rapidité de mise en œuvre et de calcul des modèles 2,5D
- ✓ Meilleure prise en compte des caractéristiques structurelles réelles des bâtiments, et de leurs modes propres avec les modèles 3D
- ✓ résultats cohérents

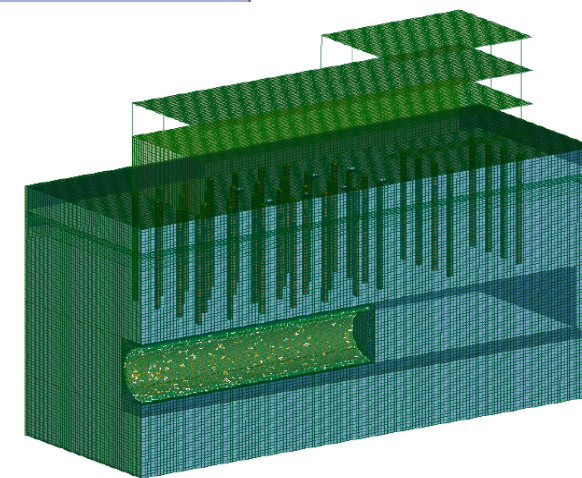
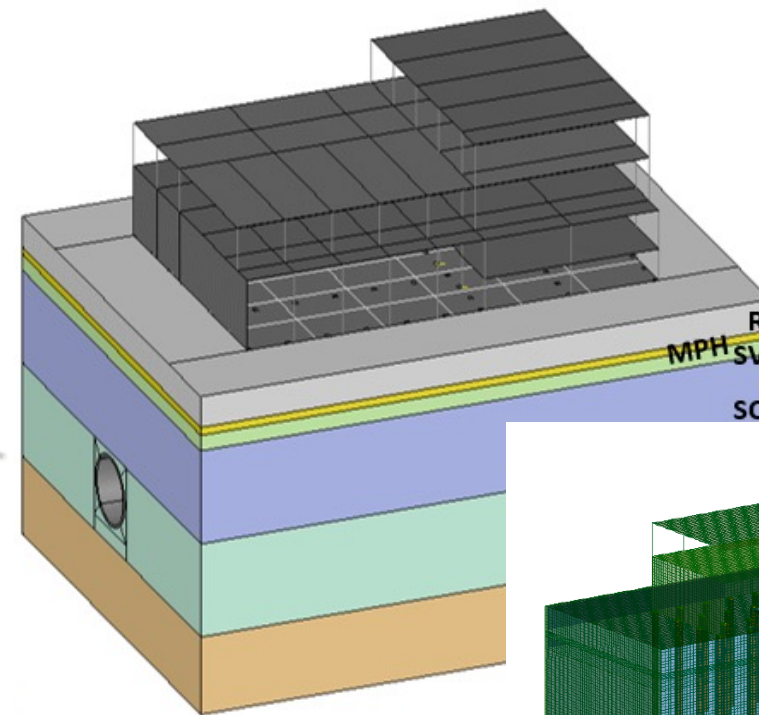
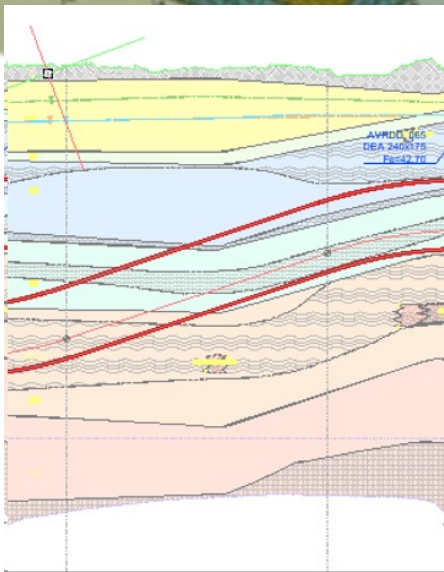
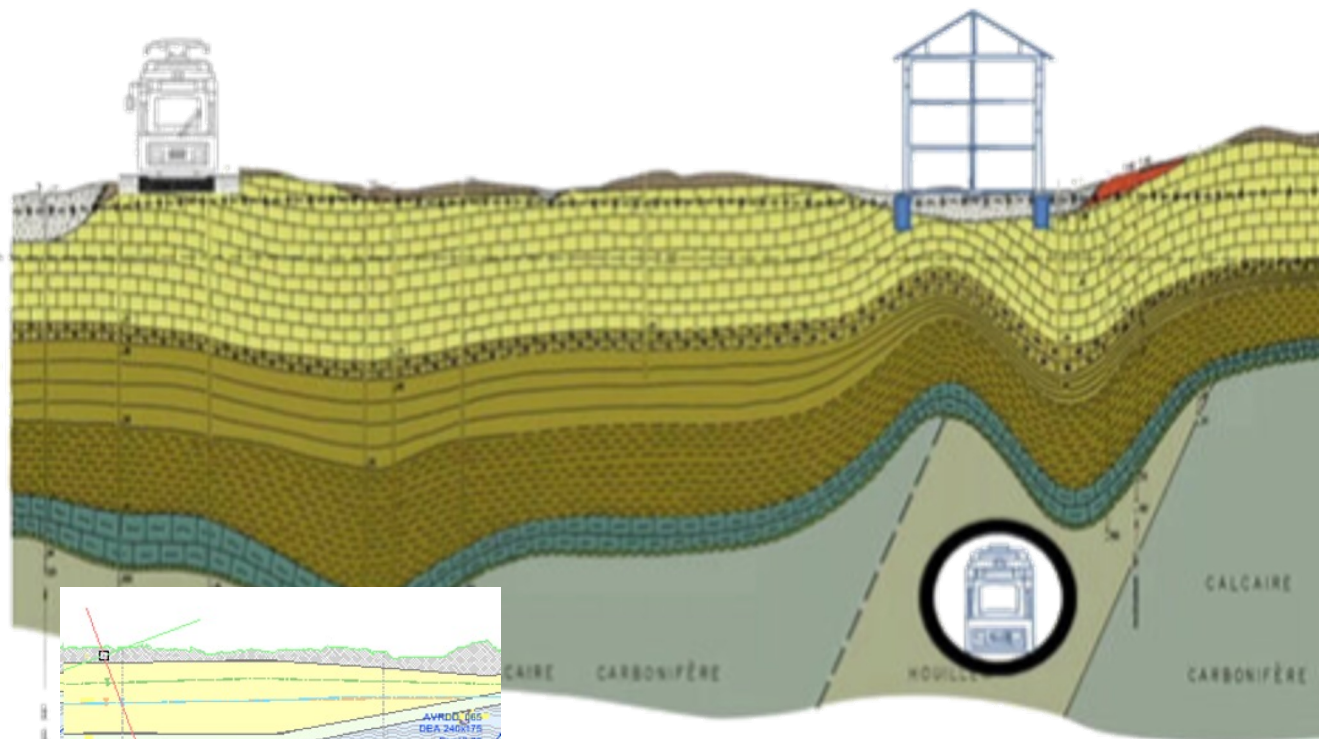
Des calculs qui fonctionnent bien, mais des hypothèses et des simplifications



Des hypothèses sur :

- ✓ la source rail (matériel, voies, ...)
- ✓ Le sol (couches homogènes, planes,...)
- ✓ Les fondations et structures des bâtiments

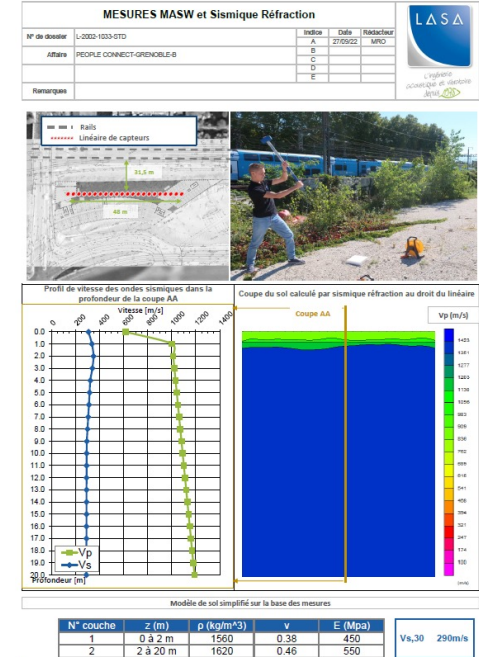
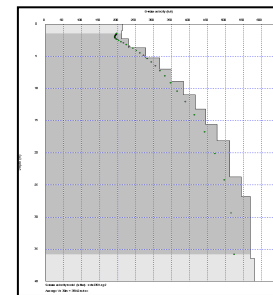
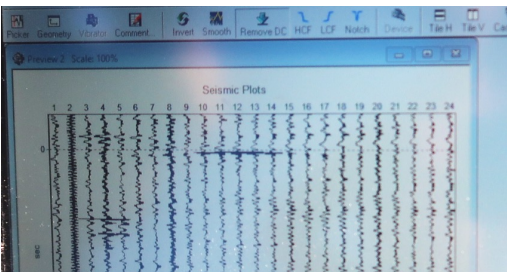
Les outils de modélisation numérique : la complexité du sol



Sources : exemples études LASA

- ✓ Des simplifications qui permettent d'obtenir des évaluations satisfaisantes (« plage de confiance ») sous réserve de disposer de certaines données sur les couches et leurs caractéristiques.
- ✓ Sondages, méthodes par mesures MASW, cross holes, etc...
- ✓ Sans doute généralement moins d'influence au final que les incertitudes sur les données d'excitation à la source

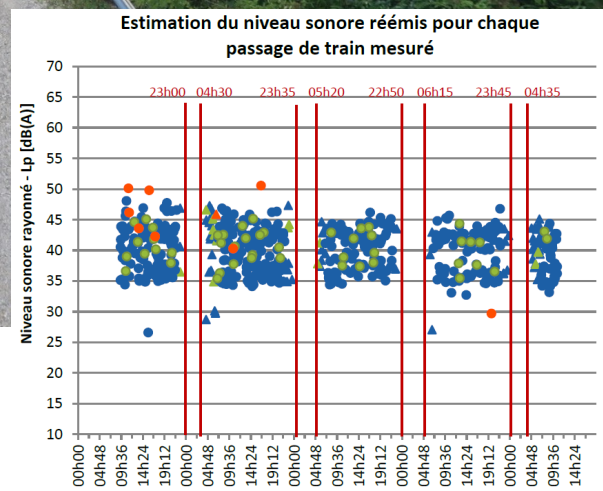
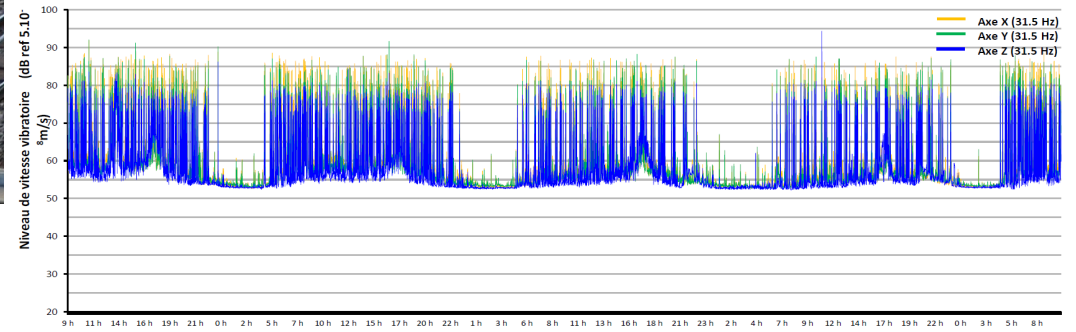
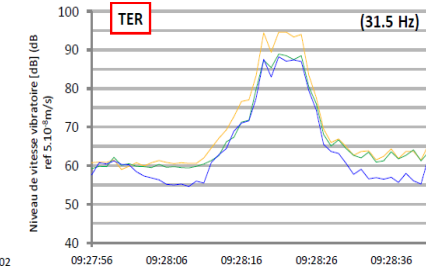
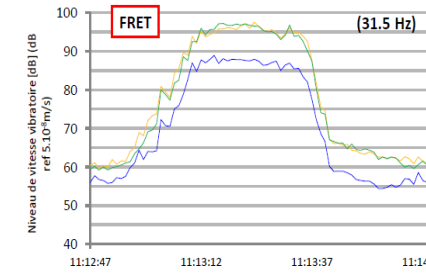
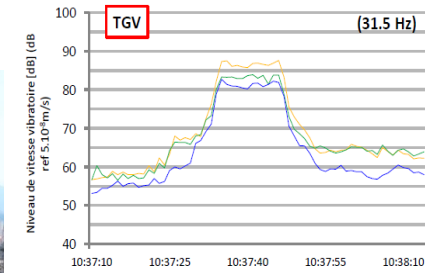
Données d'entrée – caractérisation des paramètres du sol – méthodes MASW



Différentes méthodes :

- ✓ MASW
- ✓ Cross holes
- ✓ Down holes

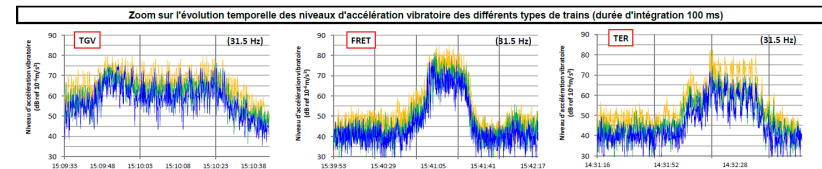
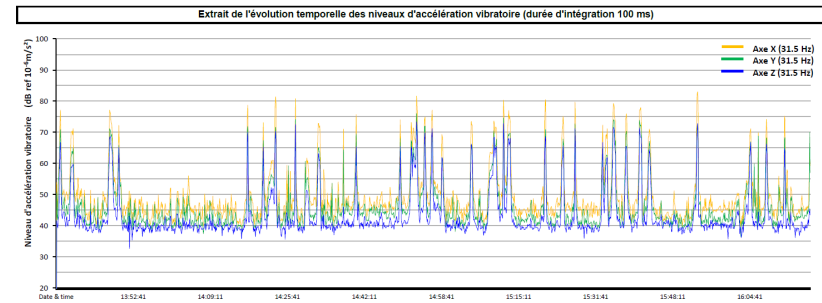
Exemple cas concret d'un modèle numérique : voie existante de surface et futur bâtiment



Mesures vibratoires
longue durée :

- ✓ Sur 5 jours
- ✓ En 4 points

Exemple cas concret d'un modèle numérique : mesures vibratoires multipoints pour recalage

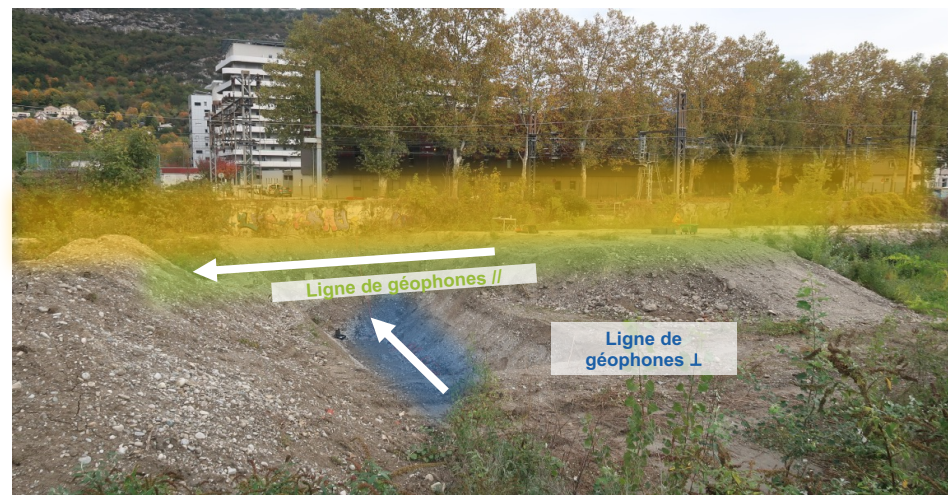
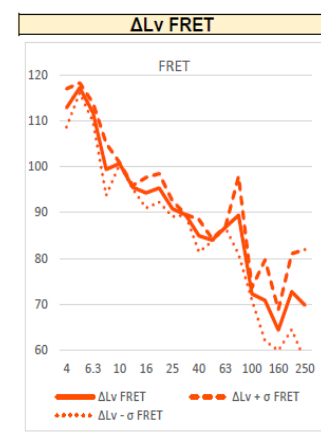
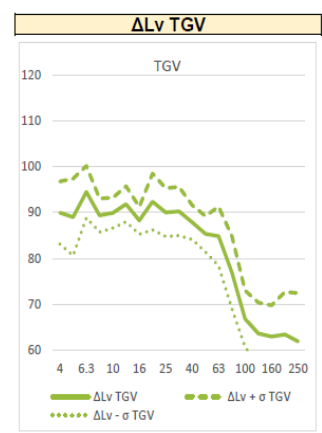
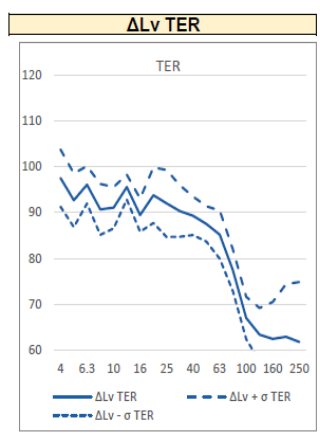
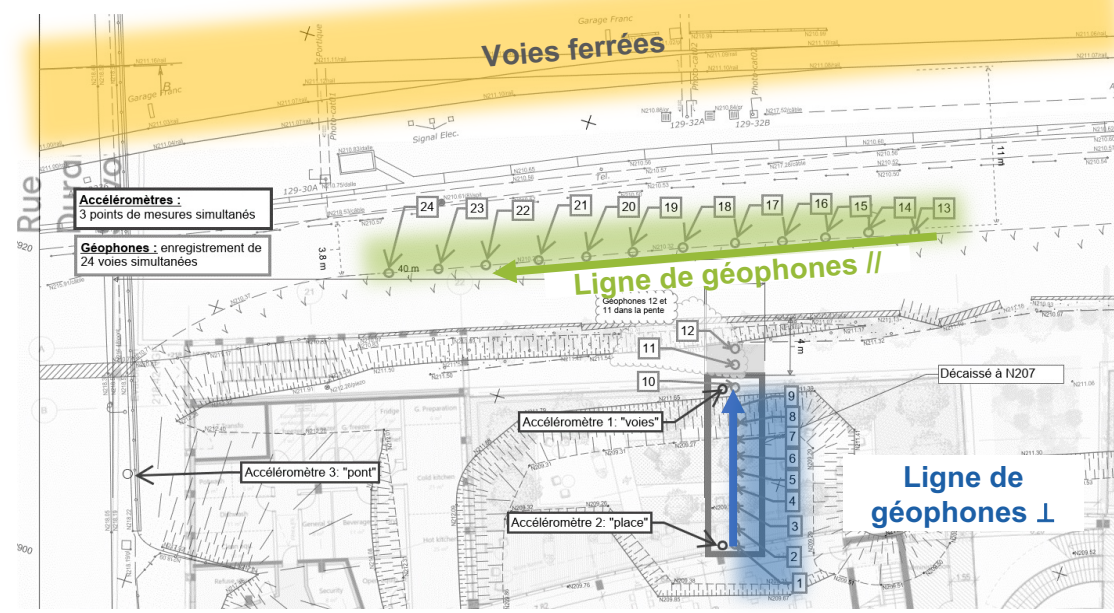
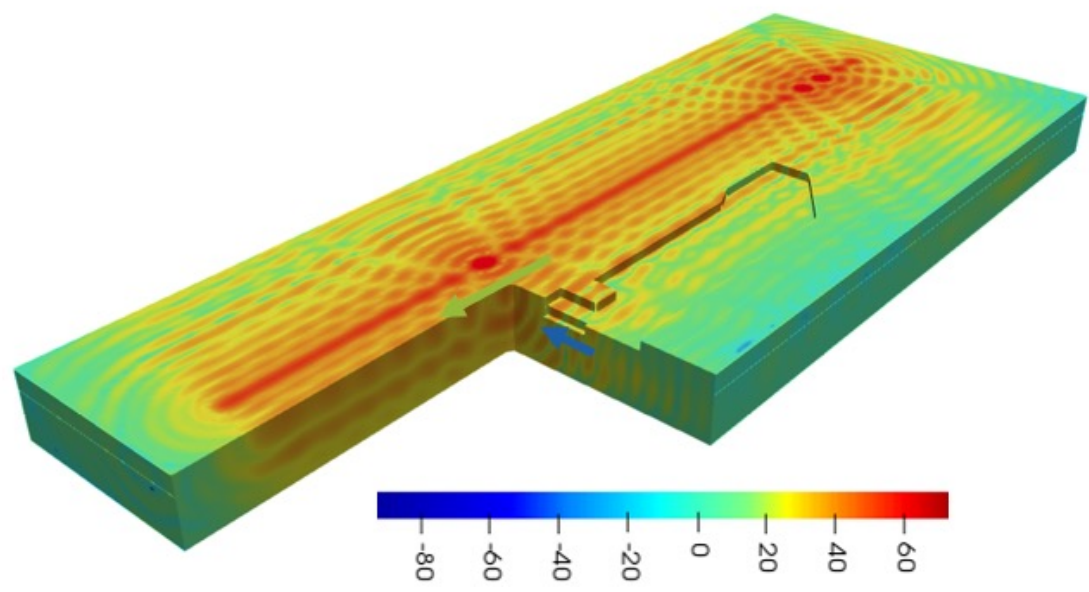


Mesures vibratoires multipoints

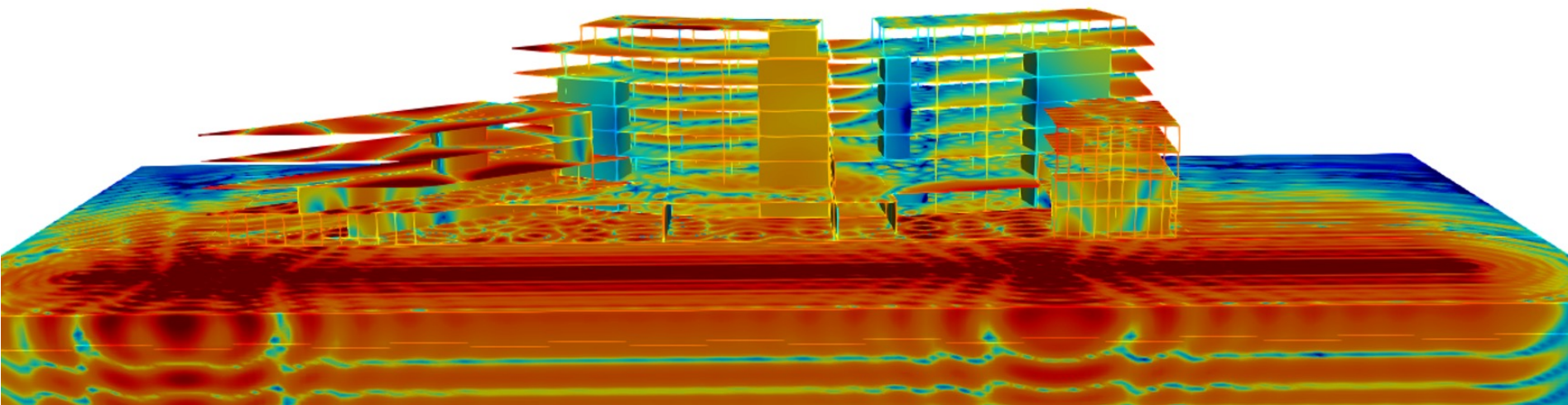
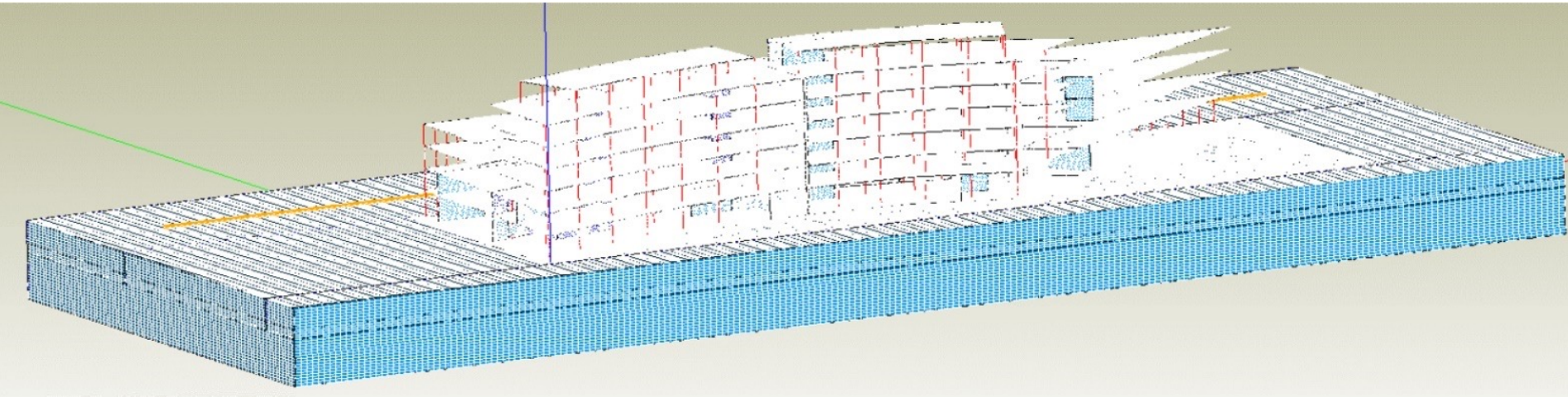
- ✓ Lignes 24 voies géophone simultanées



Exemple cas concret : recalage de la source ferroviaire : modélisation / mesures



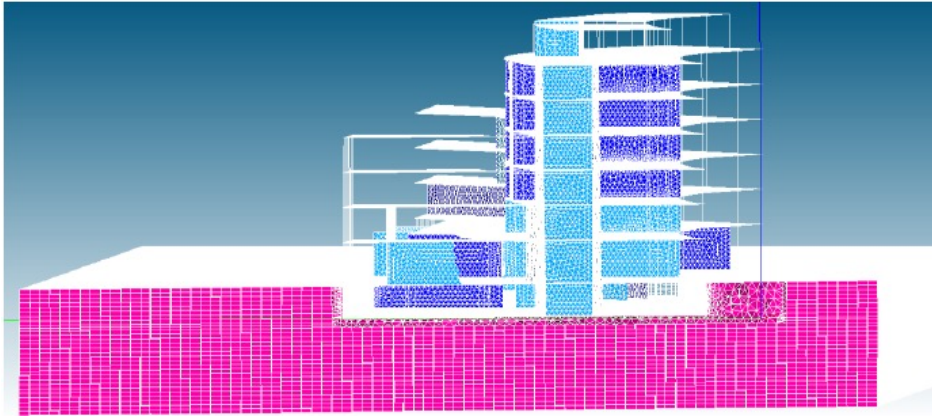
Exemple cas concret : implémentation du modèle bâtiment, maillage, et calculs.



Démarche :

- ✓ Recalage source rail
- ✓ Implémentation modèle bâtiment
- ✓ Optimisation maillage
- ✓ Vérification convergence calculs
- ✓ Calculs sur récepteurs
- ✓ Cartographies vibratoires
- ✓ Analyse et exploitation des résultats
- ✓ Étude de pistes de solutions et modélisation des scénarii
- ✓ Analyse

Exemple cas concret : recherches et modélisation / évaluation de pistes de solutions

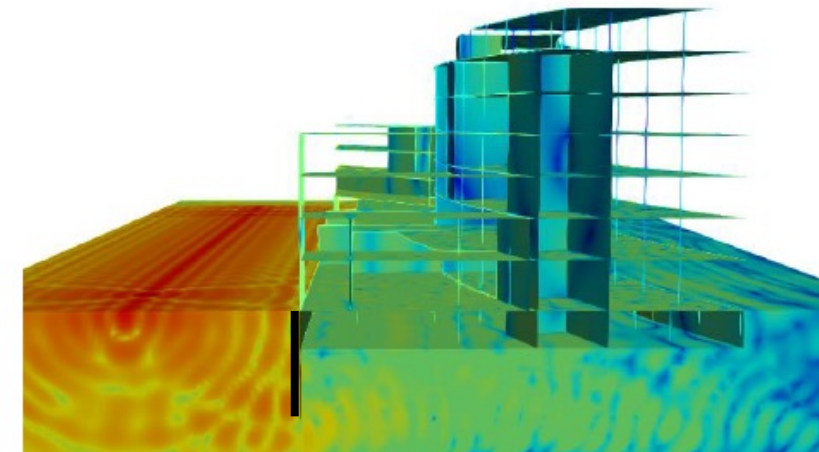
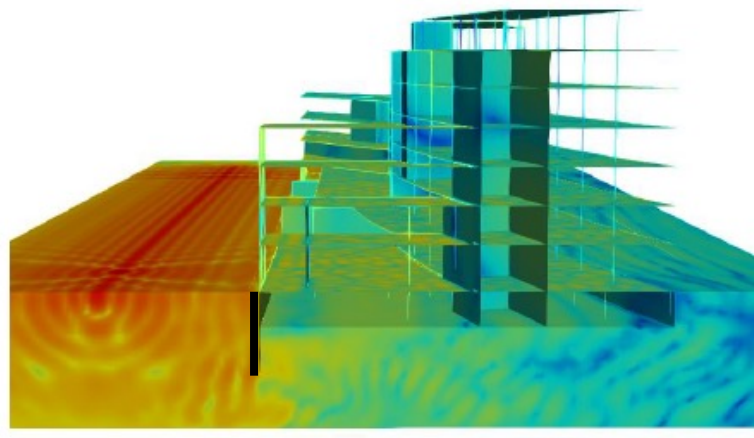
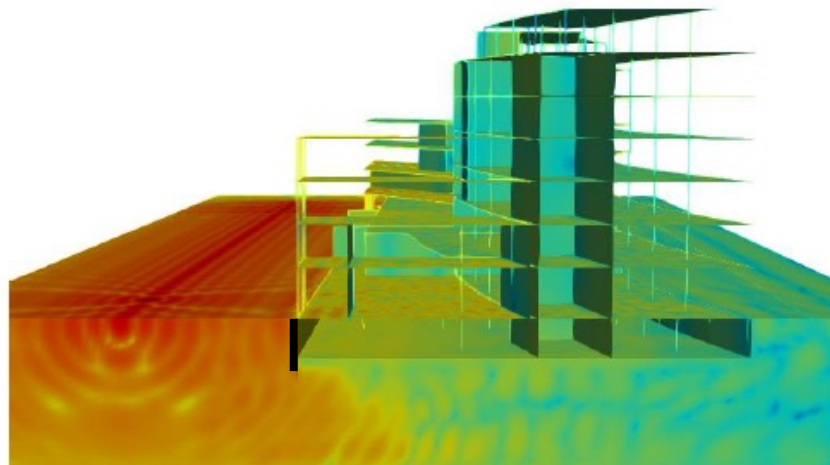


- ✓ Coupure ressorts ou élastomères complexe du fait de l'architecture du bâtiment et zone sismicité 4
- ✓ MOA souhaite pouvoir évaluer le gain potentiel de solutions de type écrans enterrés, JD de recoupement, radier épais, etc...
- ✓ Et évaluer le besoin de désolidarisation complémentaire au plus juste.

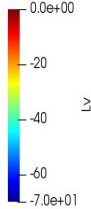
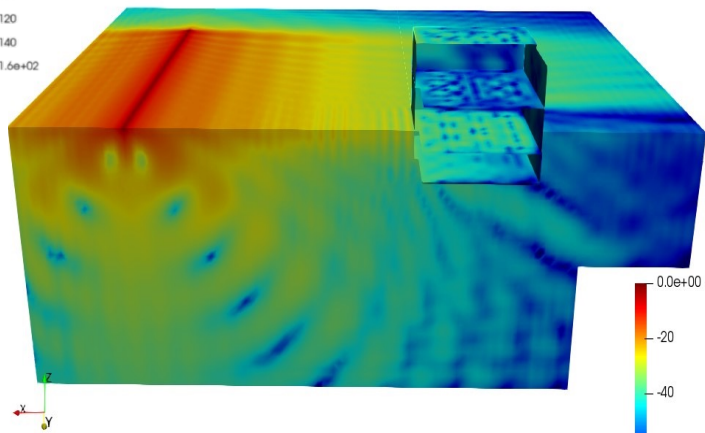
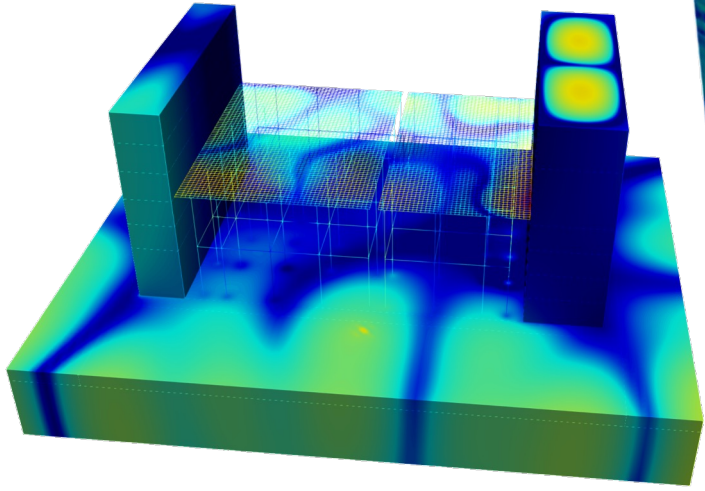
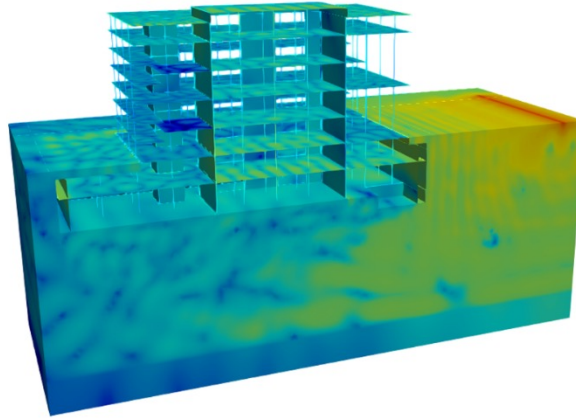
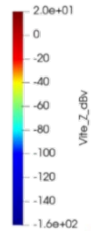
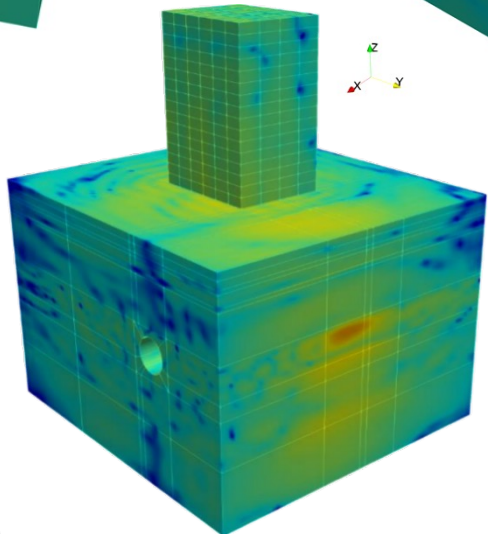
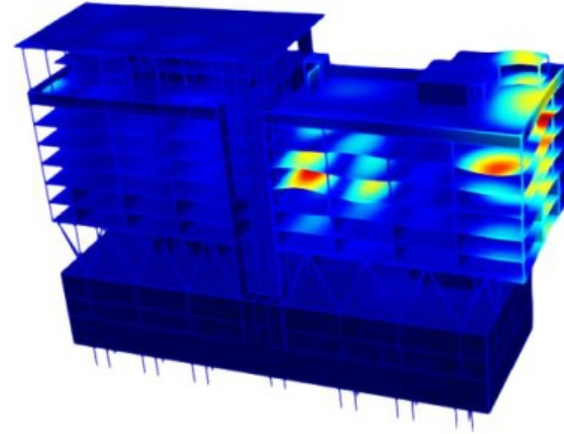
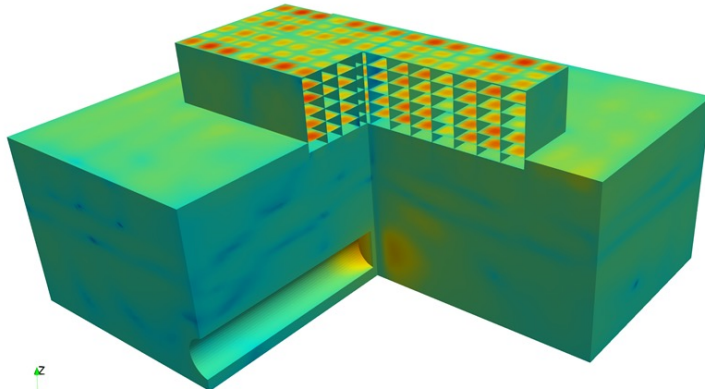
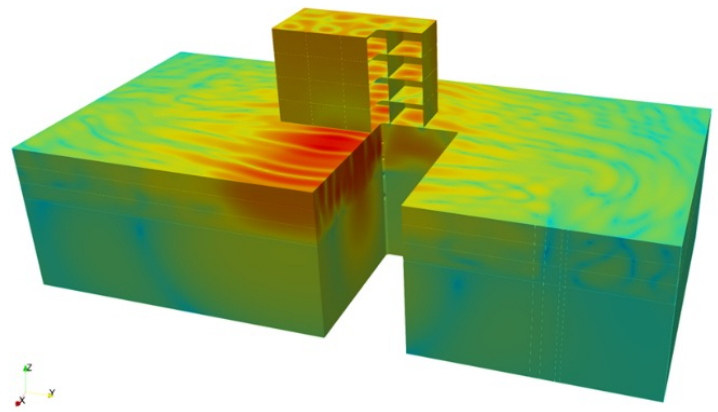
Prof. Fiche écran D = 2 m

Prof. Fiche écran D = 5 m

Prof. Fiche écran D = 7 m



Exemples de différentes modélisations vibratoires 3D



Pics de bruit – Quels outils d'analyse de mesures ?

Les indicateurs introduits par la loi LOM portent sur :

✓ L'amplitude des niveaux de bruit : **LAeq, Tevt, LAmx, SEL_A**

Les écarts entre chacun de ces indicateurs vont varier selon la distance à la voie, le type de trains, leur composition, la vitesse de circulation, la configuration géométrique (déblai, remblai, écran, plat...).

✓ + Le caractère événementiel : dénombrement **NAX** d'événements au-delà de seuils. Les seuils "pertinents" restent à définir.

Le comportement des NAX est "similaire" selon le type d'indicateur visé.

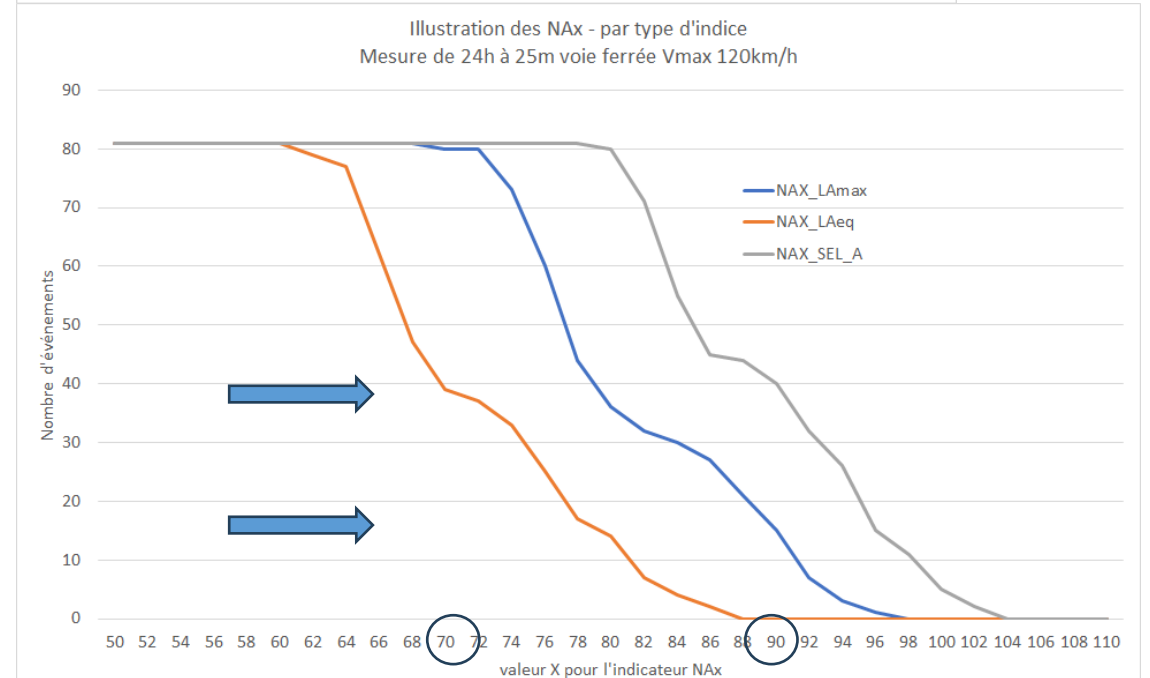
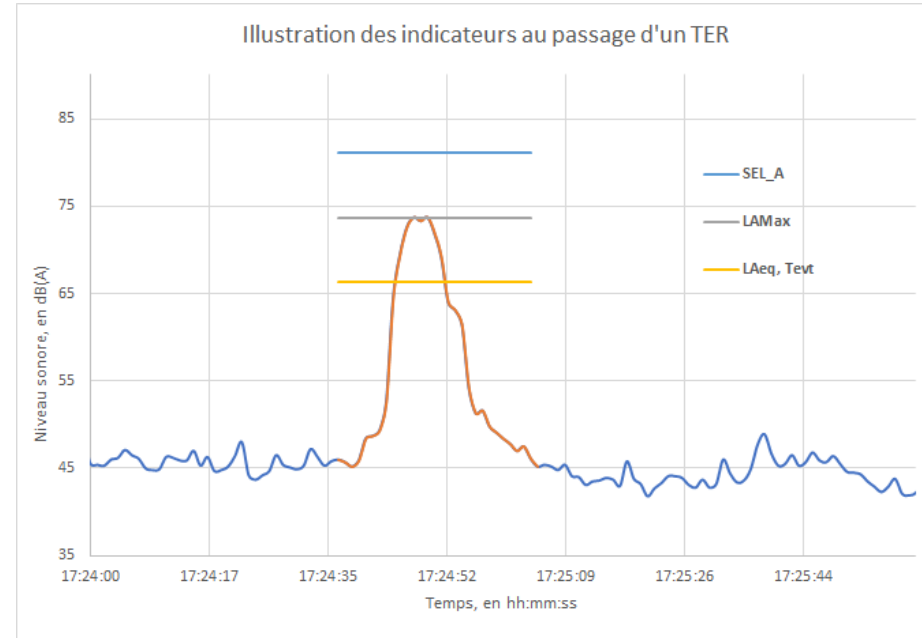
Quels seuils retenir pour quels indicateurs ?

A quel moment la gêne est considérée comme effective ?

Le point essentiel reste de "coder" correctement le passage de trains; ce point est maîtrisé par la profession, depuis des dizaines d'année.

Ainsi, il existe, au sein des BE, une base de données conséquente de mesures à analyser avec ces nouveaux indicateurs.

Quels enseignements en tirer ? Quelles tendances ?



Pics de bruit – Quels outils d'analyse de mesures ?

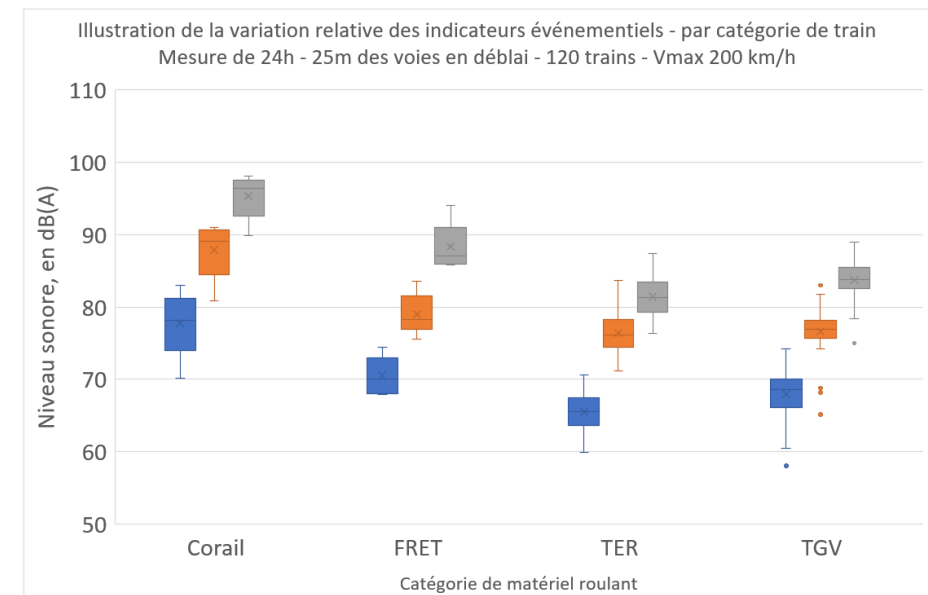
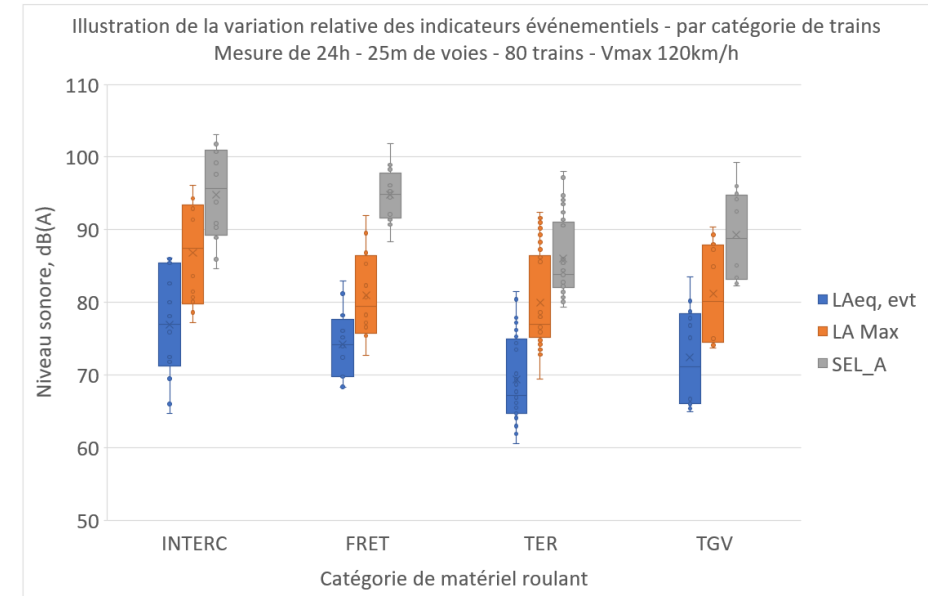
Les mesures sont systématiquement corrélées au type de train, quelle que soit la durée de la mesure, ou l'envergure de la campagne.

Des analyses différenciées par type de train peuvent être conduites pour hiérarchiser les impacts, définir les points critiques.

Est-il possible d'en sortir des tendances ?

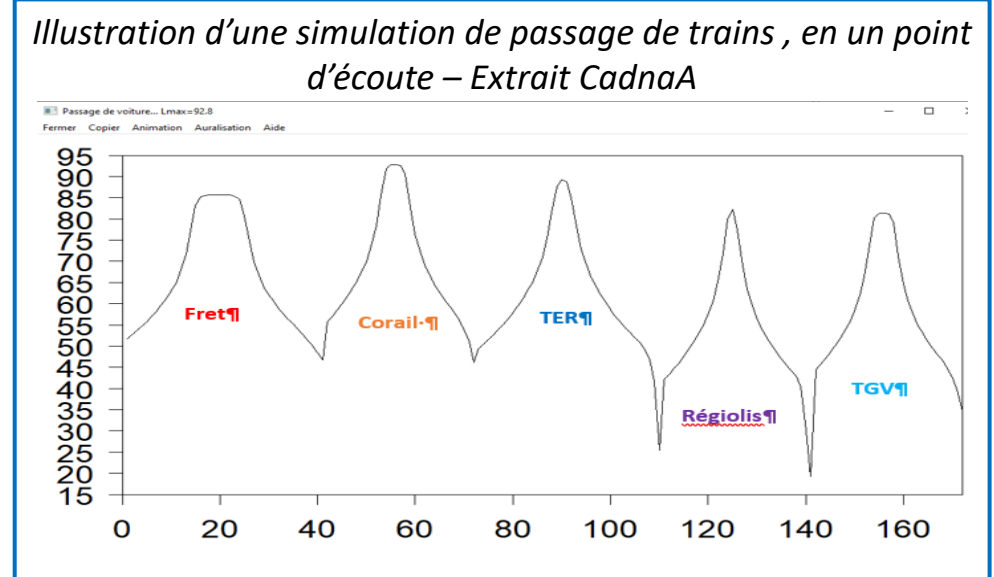
Quelles difficultés ? Ou quelles limites d'interprétation ?

- ✓ Les écarts entre indicateurs sont très variables.
- ✓ La plage de variation d'un même indicateur peut atteindre 20 dB(A) pour une même catégorie de train, ou au contraire être relativement réduite.
- ✓ Sur une même ligne, selon la distance à la voie, la géométrie, les obstacles, les vitesses de circulations ... les impacts relatifs peuvent être assez différents.

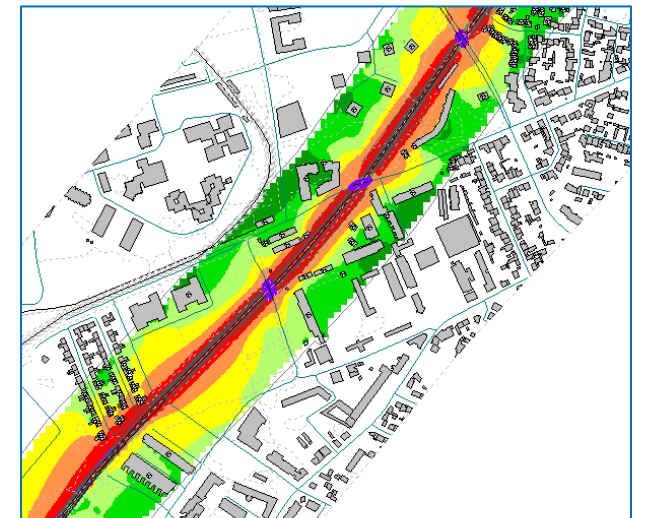


Pics de bruit – Quels outils d'évaluation dans le cadre de projets ?

- ✓ La plupart des logiciels actuels n'intègre pas, de façon systématique, le calcul et l'évaluation des nouveaux indicateurs.
- ✓ On a toutefois la possibilité de simulations ponctuelles de **"signatures acoustiques" de passages de train** : visuel ci-contre
 - ➔ Possibilité de calculer les indicateurs événementiels à développer.
 - ➔ Besoin de recalibrer avec les mesures de terrain pour consolider les simulations
- ✓ Quelles perspectives avec ces outils ?
 - Peut être suffisamment pour hiérarchiser des situations d'expositions
 - Pouvoir identifier / repérer des zones à risques, des secteurs à enjeux
 - Peut-on extrapoler facilement ? Quelles limites ?
- ✓ Dans quelles conditions on pourrait les utiliser pour répondre aux enjeux majeurs ?
 - Des situations sur des secteurs peu étendu
 - Des zones ciblées à partir de l'analyse des cartes de bruit étendues sur les indicateurs courants
- ✓ L'analyse de la gêne et des pics de bruit est complémentaire des études d'impact acoustique telles qu'elles sont faites aujourd'hui.



Illustrations - Cartes de bruit étendues LAeq jour



Conclusions – perspectives

Pics de bruits

- ✓ Une base de données de mesures solide, et des années d'expertise au sein des BE.
- ✓ A travers les GT, le GIAC contribue à la réflexion sur les indicateurs et valeurs cibles à retenir pour la suite.
- ✓ Les logiciels de modélisation n'intègrent pas aujourd'hui le calcul des indicateurs événementiels pour des cartographies à grande échelle. Les éditeurs peuvent contribuer à l'amélioration et la mise à jour de ces outils
- ✓ Il est possible de définir des méthodologies pour une évaluation simplifiée ou ciblée sur des secteurs limités, ou à risque.
- ✓ Il est possible de répondre aux enjeux soulevés par la loi LOM relative à l'évaluation de la gêne vis-à-vis des pics de bruit, y compris dans le cadre de projets.

Vibrations

- ✓ Une base de données de mesures solide, et des années d'expertise au sein des BE spécialisés.
- ✓ A travers les GT, le GIAC contribue à la réflexion sur les indicateurs et valeurs cibles à retenir pour la suite.
- ✓ Les modèles 2 ou 2,5D sont plus rapides, et les modèles full 3D plus gourmands en temps de calcul, mais plus précis et adaptés pour certains cas et structures d'ouvrages.
- ✓ L'augmentation constante des capacités de calcul rend leur utilisation de plus en plus viable sur les projets, mais ces modélisations vibratoires 3D nécessitent des stations de calculs ou cluster dédiés très forte puissance (CPU rapide, RAM,...).
- ✓ L'utilisation de ces modèles, bien que complexe et soumise aux incertitudes liées aux données d'entrée (source d'excitation), et hypothèses sur les milieux de propagation (sol, structures,...) permet d'encadrer les résultats attendus, et d'évaluer et de comparer la pertinence de différents scénarii de limitation des effets des vibrations entre eux.
- ✓ Ils peuvent aider à prendre les « bonnes décisions ».

Bruits et vibrations au voisinage des infrastructures ferroviaires

Quelles perspectives ?

Journée organisée par le Centre d'information sur le bruit (CidB)
sous l'égide du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires

Merci pour votre attention !

Céline BOUTIN

Directrice du Pôle Environnement – Sixense Engineering
Administratrice CINOV Giac

Samuel TOCHON-DANGUY

Directeur – LASA ingénierie acoustique et vibratoire
Administrateur CINOV Giac



*L'ingénierie
acoustique et vibratoire
depuis 1978*



sixense
Engineering