Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

CSTB
le futur en construction

ACOUPHEN
ingénierie en acoustique et vibrations

COMMENT GÉRER LES RISQUES ACOUSTIQUES ET VIBRATOIRES DANS L'ENVIRONNEMENT

Normalisation et études d'impact infrastructure ferroviaire

Alexandre JOLIBOIS (CSTB) – Loïc GRAU (Acouphen)

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

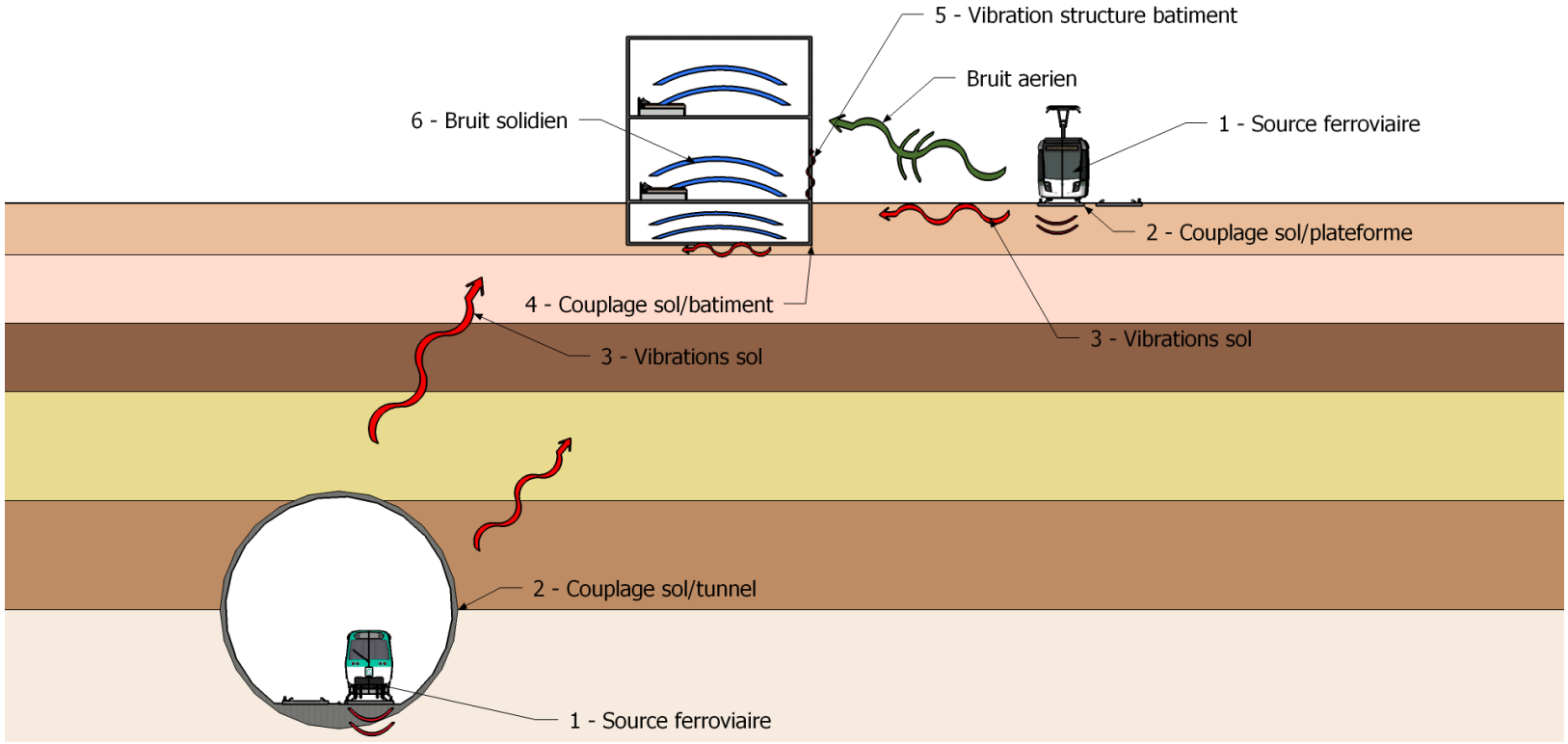
Sommaire

- Contexte
- Etat de l'art normatif
  - ISO 14837
  - Etude d'impact
- Modélisation et étude impact
  - Evaluation environnementale
  - Evaluation détaillée
- Développement en cours
- Conclusion

Les vibrations en pleine évolution

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations
Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Contexte



Les vibrations en pleine évolution

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Contexte

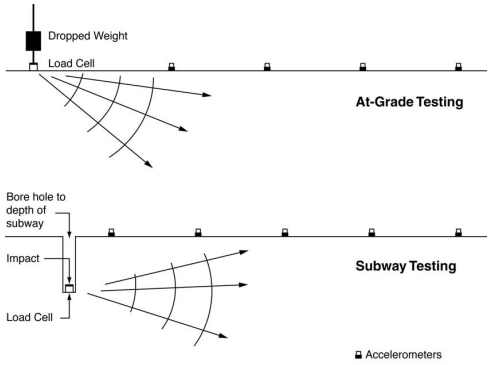
- Apport du projet de recherche RIVAS
  - Décomposition du problème en fonction de transfert (modèle)
  - Définition de critères d'étude (L_{vSmax}, V_{crete}, VDV, KB)
  - Etude de solutions type barrière vibratoire
- Apport du projet de recherche CARGOVIBES
  - Problématique FRET
  - Source et récepteur (méthodes de mesures et modèles)
- Les avis de l'AE

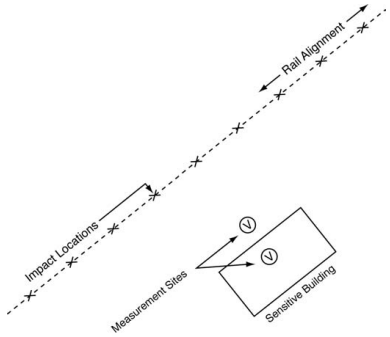
Les vibrations en pleine évolution

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations
Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Contexte

- Apport du guide FTA
  - Description méthodologique de la réalisation d'une étude d'impact vibratoire
  - Caractérisation expérimentale de la source, propagation et bâtiment
  - Définition de seuils adaptés à ≠ configurations
  - Prise en compte de la problématique « bruit solidien »





Les vibrations en pleine évolution

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Etat de l'art normatif

- Normes ISO 14837 « Vibrations et bruits initiés au sol dus à des lignes ferroviaires »
  - **-1: Directives générales**
  - -2: Modèles prédictibles
  - -3: Mesurage
  - -4: Critères d'évaluation
  - -5: Mesures d'atténuation
  - -6: Gestion des actifs

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Etat de l'art normatif

- ISO 14837-**1**
  - Aperçu général
  - Effets et grandeurs métriques associées
    - Vibrations perçues (ISO 2631, L_v , …)
    - Bruit perçu (L_{pAeq} , L_{pASmax} , …)
    - Effets sur bâtiments (ISO 4866)
    - Équipements (ISO 8969)
  - Mesurages
  - **Modèles**
    - Simplifié (étude d'impact)
    - **Intermédiaire (évaluation environnementale)**
    - **Détaillé (conception)**

Les vibrations en pleine évolution

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Etat de l'art normatif

- Intérêt et utilisation des modèles (ISO 14837-1)
  - Nouvelle ligne ferroviaire
    - Simplifié : orienter les **principes** et identifier les **points chauds**
    - Intermédiaire : évaluer la **gravité des points chauds** et le **besoin en atténuation**
    - Détaillé : **dimensionner les solutions d'atténuation** (voie)
  - Ligne existante (modification ou nouveau bâtiment)
    - Simplifié : **évaluer s'il y a risque ou non**
    - Intermédiaire : évaluer la **gravité du risque** et le **besoin en atténuation**
    - Détaillé : **dimensionner la structure** et **les solutions d'atténuation** (bâtiment)

Les vibrations en pleine évolution

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Etat de l'art normatif

- ISO 14837-1 : les modèles
  - Doivent décrire les effets au niveau de la **source**, de la **propagation** et du **récepteur**
  - Analytique ou numérique (FEM, FDM, BEM, …)
  - Les modèles ont nécessairement une **exactitude** et une **incertitude**

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Etat de l'art normatif

- ISO 14837-32 : Caractérisation dynamique des sols
  - Description des paramètres mécaniques pertinents
  - Différentes méthodes existent:
    - Surface Wave Methods : In-situ non destructive
    - Seismic CPT : In-situ destructive
    - Down-hole / Cross-hole : In-situ destructive
    - Colonne de résonance : Laboratoire
    - …

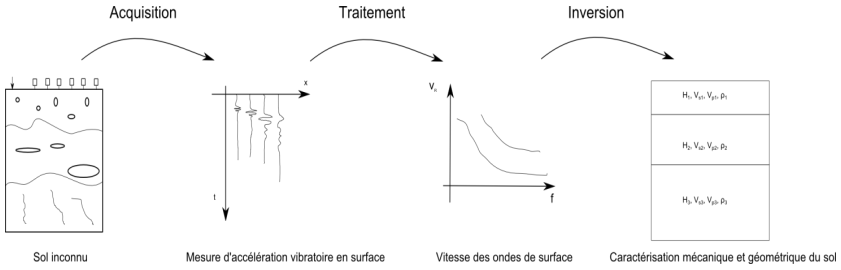
Les vibrations en pleine évolution

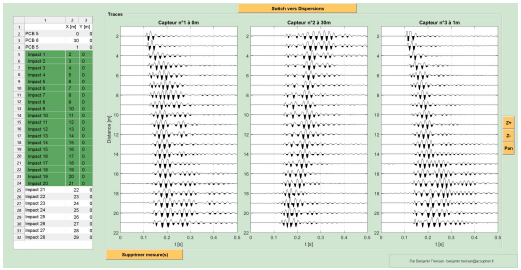
Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

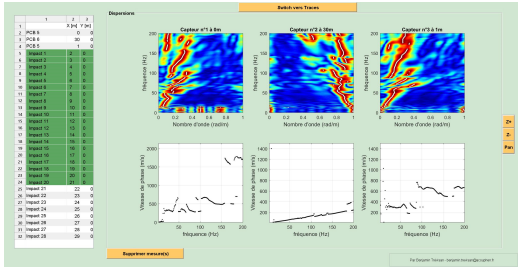
#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations
Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Etat de l'art normatif

- ISO 14837-32 : Caractérisation dynamique des sols
  - Projet R&D JORD pour la mesure et caractérisation in-situ des propriétés dynamiques de sol







Les vibrations en pleine évolution

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Etat de l'art normatif

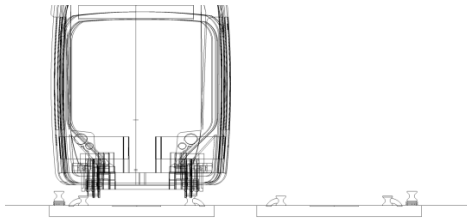
- ISO 14837-31 – Mesures bâtiment
  - Nouvelle version concernant la **caractérisation vibratoire des bâtiments** : **14837-31**
  - Mesures selon deux niveaux de détails
    - Scope 1: Minimum
      - Basique
      - Réduction incertitude
    - Scope 2: Etendu
  - Evaluation du transfert vibratoire sol/fondations, fondation/ plancher et plancher/bruit solidien

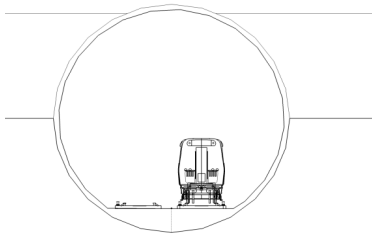
Les vibrations en pleine évolution

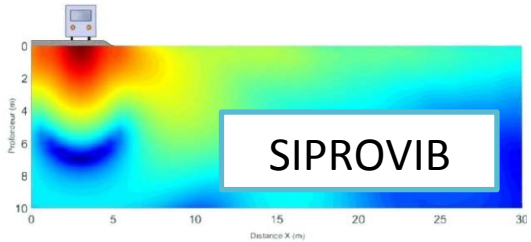
#ANQES

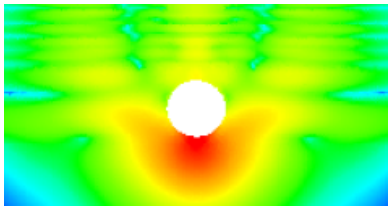
Modélisation et étude d'impact

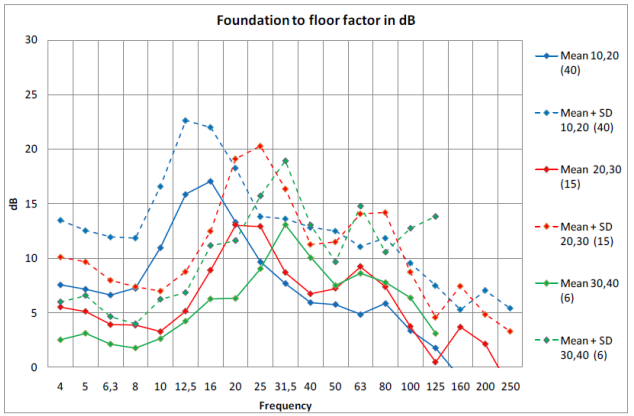
- Evaluation environnementale
  - Simulation source / Propagation sol +
  - Fonction transfert bâtiment type











Les vibrations qui impactent

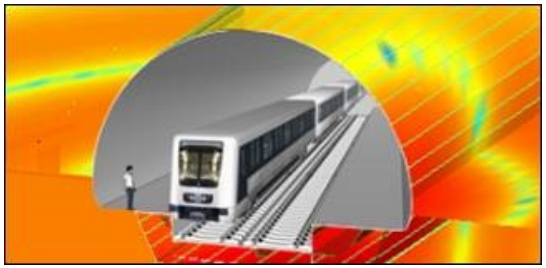
Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

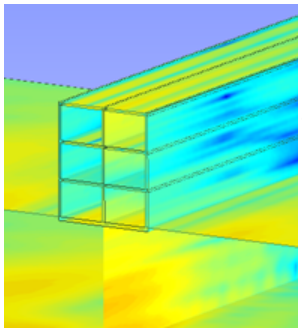
#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations
Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

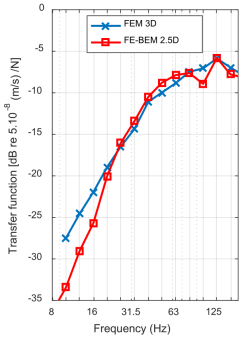
Modélisation et étude d'impact

MEFISSTO

- Evaluation détaillée







- Mefissto : le logiciel du CSTB dédié aux vibrations
  - Prévision des **vibrations** et du **bruit solidien**
  - **Bâtiments, tunnels** et **sols multicouches**
  - Interaction **sol-structure**
- Méthode de calcul hybride BEM/FEM en 2.5D
- Calcul de cartes ou de spectres
  - Atténuation entre un **tunnel** et la **surface**
  - Transfert entre **sol** et **structure**
  - Niveaux vibratoires dans la structure
  - Niveau de bruit solidien dans les locaux…

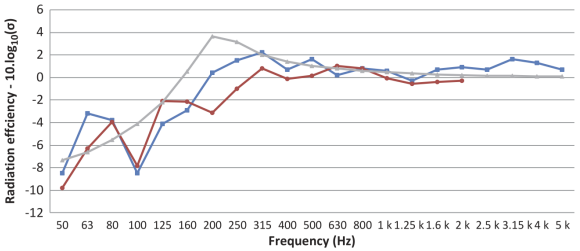
Les vibrations qui impactent

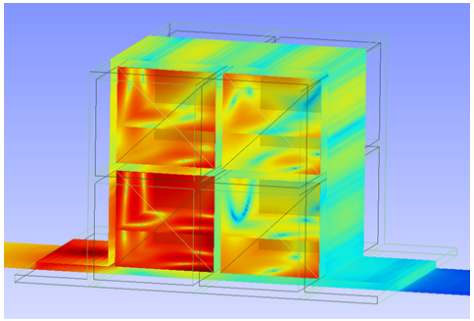
#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Modélisation et étude d'impact

- Calcul du bruit solidien : plusieurs approches
  - **Méthode simple** :
    - utilisation d'un **facteur constant** entre niveau de bruit et de vitesse **moyens**
  - **Radiation des parois (SEA)**
    - **Radiation** énergétique des **parois**
    - Prise en compte du **local** (RT…)
  - **Modale**
    - Couplage rigoureux entre champ de vitesse et champ de pression (**énergie** et **phase**)
    - Limitée aux **volumes simples**





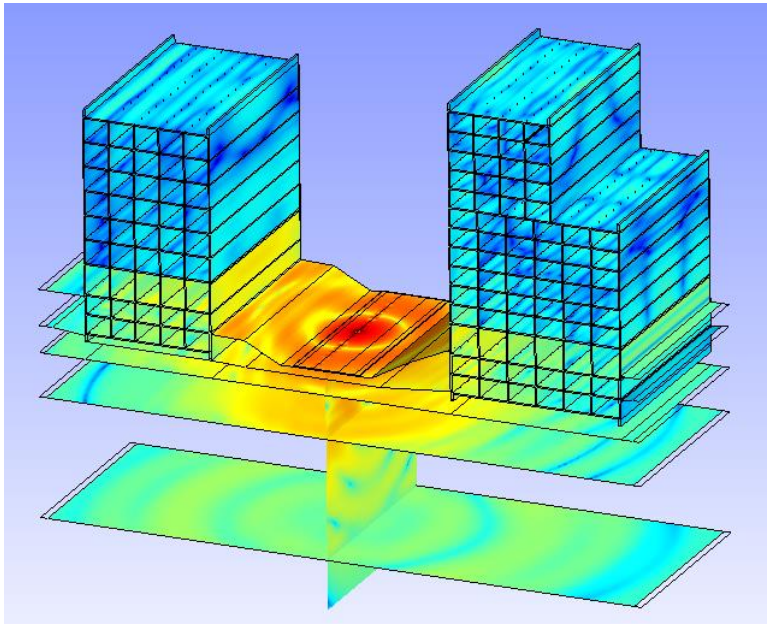
Les vibrations qui impactent

#ANQES

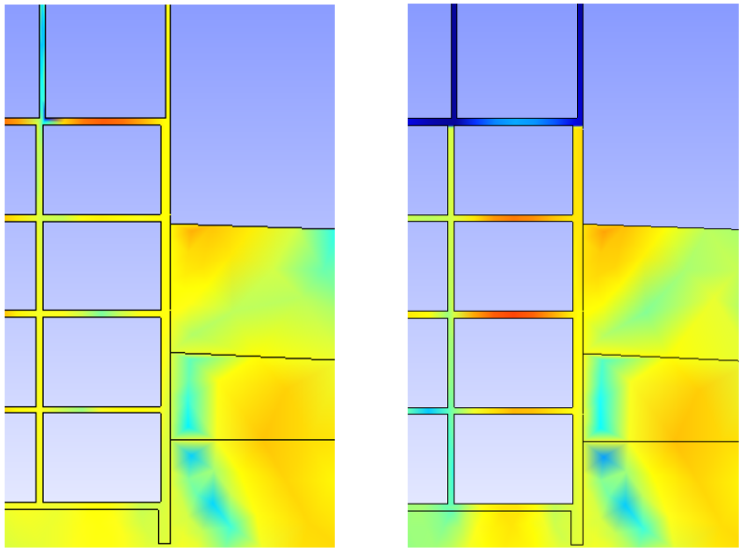
Modélisation et étude impact

CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations
MEFISSTO

- Exemple de désolidarisation



Cartographie 3D des niveaux vibratoires



Comparaison de niveaux vibratoires avec et sans dispositif de désolidarisation

Les vibrations qui impactent

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

#ANQES

CSTB le futur en construction

ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

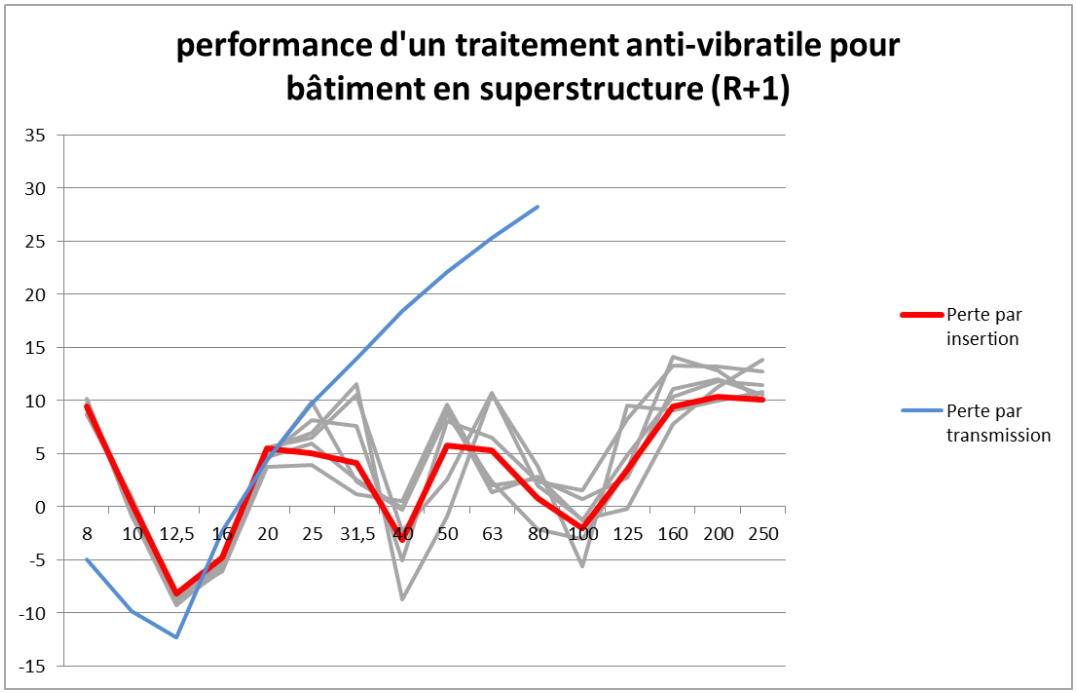
Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore 8es
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS

CidB Centre d'information sur le Bruit

Ministère de la Transition écologique et solidaire

Modélisation et étude impact

- Exemple de désolidarisation d'un bâtiment



Les vibrations qui impactent

#ANQES

CSTB
le futur en construction

ACOUPHEN
ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS

CidB
Centre d'information sur le Bruit

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Développement en cours

- Désolidarisation
  - Nécessité de dimensionner des systèmes anti-vibratile également vis-à-vis du bruit solidien
  - Projet R&D - BIOVIB : Conception d'un indicateur de performance au bruit solidien BILI + Modèle de dimensionnement de systèmes anti-vibratiles dédié au bâtiment
  - Caractérisation des produits élastomères vis-à-vis de la problématique du bruit soldien – Prise en compte des mobilités source (fondations) et récepteur (superstructure)

Les vibrations qui impactent

#ANQES

CSTB
le futur en construction

ACOUPHEN
ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS

CidB
Centre d'information sur le Bruit

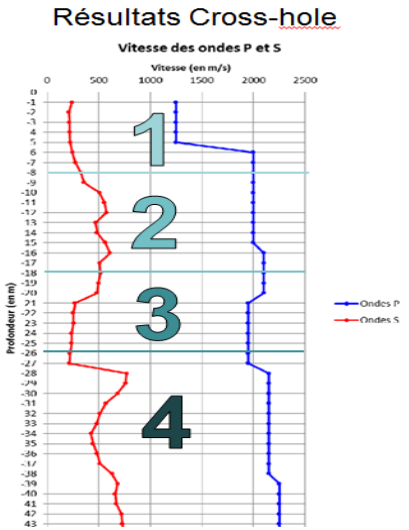
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Modélisation et étude impact

- Etude de cas
  - Caractérisation source ferroviaire
  - Caractérisation du sol – MASW
  - Deux catégories d'études souvent rencontrées:
    - Voie existante => Bâtiment nouveau
    - Bâtiment existant => Voie nouvelle

Résultats MASW

Caractéristiques mécaniques du milieu de propagation				
4 Couches	1	2	3	4
Profondeur des couches (m)	8	18	26	∞
Onde de dilatation Cp ($m.s^{-1}$)	1530	2000	1960	2100
Amortissement des ondes de dilatation ηp	5%	3%	3%	3%
Onde de cisaillement Cs ($m.s^{-1}$)	240	510	270	650
Amortissement des ondes de cisaillement ηs	5%	3%	3%	3%
Masse volumique ($Kg.m^{-3}$)	2000	2000	2250	2200



Les vibrations qui impactent

#ANQES

CSTB
le futur en construction

ACOUPHEN
ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS

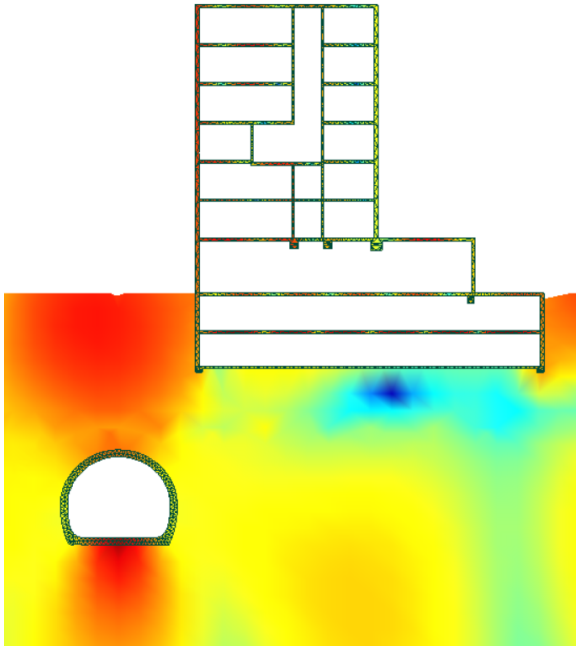
CidB
Centre d'information sur le Bruit

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Modélisation et étude impact

- Etude de cas

Locaux		L_{vSmax} (dBv) Réf - $5.10^{-8}\ m.s^{-1}$
Habitations	Jour	72,0 dBv - 0.25mm/s
	Nuit	69,0 dBv - 0.15mm/s
Santé, bâtiments culturels	Quelle que soit la période	66,0dBv - 0.10mm/s
Bureaux	Jour	78,0* dBv - 0.40mm/s



Type de locaux	Perception auditive au passage L_{pAsmax}		
	>70 trains	30 - 70	<30
Salle de spectacles Auditorium	30 dB(A)	30 dB(A)	38 dB(A)
Logements nuit	35 dB(A)	38 dB(A)	43 dB(A)
Logements jour	40 dB(A)	43 dB(A)	48 dB(A)
Bureaux	45 dB(A)	48 dB(A)	53 dB(A)

Les vibrations qui impactent

#ANQES
CSTB le futur en construction
ACOUPHEN ingénierie en acoustique et vibrations

Assises nationales de la qualité de l'environnement sonore
27 - 28 - 29 novembre 2017 / Cité des Sciences et de l'Industrie - PARIS
CidB Centre d'information sur le Bruit
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Conclusion

- Etude d'impact vibratoire accessible à un **niveau ingénierie avec les nouveaux outils de simulation** adaptés au contexte des études
- Le cadre normatif crédibilise les études
- l'AE donne une impulsion à l'étude vibratoire
- Des études d'impact vibratoire à « grande échelle » sont réalisées pour SNCF Réseau, RATP et SGP