Amélioration des méthodes de caractérisation des émissions de bruit ferroviaire

Olivier CHIELLO, Marie-Agnès PALLAS, Adrien LE BELLEC,
Anna-Rita TUFANO, Ghislain DUVAL, Annabelle CAURA, Tian BO

Séminaire COP / JTAV – 7 juin 2021

Plan de l'exposé

- Enjeux et objectifs de la thématique
- Des **modèles d'émission** de plus en plus élaborés : comment les alimenter ?
  - Exemple du **tramway** : identification expérimentale par recalage
  - Caractérisation acoustique des voies en embarqué : le projet **MEEQUAI**
- Conclusions et perspectives

Enjeux sociétaux

- Un mode de transport à **faible impact environnemental**
  - Moins d'énergie
  - Moins de CO2

IEA. The Future of Rail – Opportunities for energy and the environment. 2019

- Le **bruit émis** reste un problème important
  - Effets sanitaires démontrés
  - Impacts récemment révisés à la hausse pour le ferroviaire

WHO. Environmental Noise Guidelines for the European Region. 2018

Enjeux scientifiques

- Une source complexe : des émissions à **évaluer** plus finement
  - Véhicules longs – Sources multiples et variées
  - Interaction forte voie/véhicule

- Des mécanismes de **génération** à approfondir
  - Crissements / Impacts / Bruits aérodynamiques

- Des moyens de **réduction** plus ou moins maîtrisés
  - Changement des systèmes de freinage
  - Maintenance acoustique des voies ?

Objectifs UMRAE

- Comprendre la génération des bruits de **crissement**

Modélisation des instabilités et des vibrations auto-entretenues liées au frottement

Application aux bruits de crissement ferroviaires

- Améliorer les méthodes de **caractérisation** des émissions

COP

Physique des sources

Développement de méthodes multi-capteurs pour la caractérisation expérimentale

Développement de modèles de véhicules multi-sources

Modèle d'émission NMPB-08

- Modèle **mono-source**
  - Pas de distinction en fonction du mécanisme
  - Source à 4 m non activée
  - Répartition fréquentielle prédéfinie sur les deux sources basses
- Données d'émission **réduites**
  - Spectre de puissance acoustique à une vitesse de référence V_0
  - Variation en $+\,30\log_{10} V_0$
  - Terme correctif forfaitaire voie

Nouveau modèle CNOSSOS-EU

- Modèle **multi-sources**

	Roulement	Traction	Aérodynamique
Entrée	**Modèle spécifique** (par essieu)	Spectre de puissance par véhicule	Spectre de puissance à $V = V_0$ par véhicule
Corr. vitesse	Implicite	aucune	$+\,\alpha \log_{10} V_0$
Hauteur	basse	basse/haute	basse/haute

- Autres sources
  - Données supplémentaires pour les bruits d'impacts, de ponts et de crissement

Bruit de roulement : mécanisme

Excitation à

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Rugosités roue et rails $r(\lambda)$

3 mm < λ < 50 cm

0.1 µm < r < 1 mm

- Variation avec la vitesse liée aux rugosités roue/rails
- Contributions croisées véhicule/voie

Nouveau modèle CNOSSOS-EU

- **Modèle « physique » pour le bruit de roulement**
  - Distinction entre excitation et efficacité vibro-acoustique
  - Distinction des contributions voie et véhicule

- Problématique des **données d'entrées**
  - Quelle procédure pour les obtenir ?
  - Comment qualifier les voies sur un réseau entier ?

CNOSSOS-EU : cas des tramways

- Données spécifiques rail urbain ≠ RFN ← SNCF-Réseau

→ Etude sur le **réseau lyonnais de tramway** en collaboration avec Acoucité, Keolis Lyon et le Sytral

Mesure directe des rugosités roue/rail

Modèle

Mesures de bruit au passage

Recalage

Autres données d'entrée

CBS éch. 4

Campagne expérimentale

- 2 types de rames
- 4 section de voies

- 60 passages de 15 à 60 km/h
- Mesures de bruit au passage selon ISO 3095
  - 2 hauteurs : 1.20 m et 3.5 m
- Mesures de rugosités roue et rails selon EN 15610

Résultats bruts (T3)

Niveaux de **bruit** au passage

Rugosités rail

Modèle de bruit au passage

- Emission multi-source

- Traction haute
- Traction basse
- Roulement

- Propagation $L_{p,s} = L_{W,s} = A_{div,s} + A_{atm,s} + A_{sol,s}$
- Intégration sur le passage du véhicule

Données identifiées (T3)

Puissance bruit de **traction**

Transfert bruit de **roulement**

Validation (T3)

Variation avec la **vitesse**

Ecarts mesure/modèle

Caractérisation des voies

- Principales caractéristiques « **acoustiques** »
  - Rugosités des rails
  - Atténuation vibratoire le long de la voie
  - Défauts localisés (joints, squats etc…)
- Mesures **directes**

  - Normes NF EN 15610 / NF EN 15461

→ **Localisé** / Couteux / Interruption de trafic

Projet MEEQUAI

- Projet **FUI** 2018-2021
  - Financement : BPI / région AURA via FEDER
  - Partenaires : **Vibratec** / SNCF/I&R / UMRAE
- Système **embarqué** pour la mesure indirecte des caractéristiques acoustiques de la voie

WP2 – Etat de l'art Spécifications

WP3 – Simulations

WP4 – Test sur véhicules d'essais

WP5 – Démonstrateur industriel

Avancement

Méthode de mesure indirecte

- Mesure de grandeurs liées à l'**interaction roue/rail**

125 – 1250 Hz	Accéléromètres sur boites d'essieu
400 – 2000 Hz	Microphones champ proche rail
250 – 5000 Hz	Microphones en zone bogie
1500 – 5000 Hz	Microphones champ proche roue

- Déduction des rugosités par **méthode inverse**

Estimation des transferts

- **Modèles** vibro-acoustiques numériques
  - Essieu test
  - Panel de voies

  - Contact roue/rail

- **Calibration** à poste fixe
- **Calibration** en roulage

Tests sur véhicule d'essai

- Voiture d'essai SNCF/AEF

- Instrumentation

- Roulage sur différentes voies
  - CEF2 à ≠ vitesses
  - Autres voies sur RFN

Conclusions – Perspectives

- Développement de **modèles d'émission**
  - Distinction des sources
  - Distinction voie/véhicule
  - Pris en en compte des rugosités roue/rail

- Développement de **méthodes expérimentales**
  - Identification des émissions tramway
  - Système embarqué MEEQUAI

- En **projet**
  - Amélioration des méthodes d'identification
  - Etude/suivi de la qualité acoustique des voies
  - Calculs d'indicateurs spécifiques ferroviaires

Merci de votre attention

- Contact
  - olivier.chiello@univ-eiffel.fr
  - marie-agnes.pallas@univ-eiffel.fr

- Liens
  - http://www.umrae.fr/

Références UMRAE (2017-2021)

- Caractérisation des **émissions**
  - A.-R. Tufano, O. Chiello, M.-A. Pallas, B. Faure, C. Chaufour, E. Reynaud, N. Vincent, Numerical and Experimental Analysis of Transfer Functions for On-Board Indirect Measurements of Rail Acoustic Roughness, in: *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, Springer, Cham, **2021**: p. 295–302.
  - A.R. Tufano, O. Chiello, M.A. Pallas, B. Faure, C. Chaufour, E. Reynaud, N. Vincent, Calibration of transfer functions on a standstill vehicle for on-board indirect measurements of rail acoustic roughness, in: *Proc. 9th Forum Acusticum*, Lyon, France, **2020**.
  - M.-A. Pallas, A.R. Tufano, O. Chiello, Separation of rail and wheel roughness from on-board vibroacoustic measurements, in: *Proc. 9th Forum Acusticum*, Lyon, France, **2020**.
  - O. Chiello, A. Caura, M.-A. Pallas, B. Faure, C. Chaufour, R. Augez, E. Reynaud, N. Vincent, Parameter identification of tram acoustic models for noise mapping from pass-by measurements, in: *Proc. 9th Forum Acusticum*, Lyon, France, **2020**.
  - A.-R. Tufano, O. Chiello, M.-A. Pallas, B. Faure, C. Chaufour, E. Reynaud, N. Vincent, On-board indirect measurements of the acoustic quality of railway track: state-of-the art and simulations, in: *Proc. of Inter-Noise 2019*, Madrid, Spain, **2019**.
  - O. Chiello, A. Le Bellec, M.-A. Pallas, P. Muñoz, V. Janillon, Characterisation of wheel/rail roughness and track decay rates on a tram network, in: *Proc. of Inter-Noise 2019*, Madrid, Spain, **2019**.
  - B. Faure, C. Chaufour, O. Chiello, A.R. Tufano, M.-A. Pallas, N. Vincent, E. Reynaud, Mesure embarquée de la qualité acoustique de l'infrastructure ferroviaire, *Acoustique & Techniques*. **90 (2019)** 15–21.
  - P. Munoz, V. Janillon, O. Chiello, A. Le Bellec, M.-A. Pallas, Identification des données d'émission sonore des tramways lyonnais pour les modèles NMPB2008 et CNOSSOS-EU, in: *Journées Techniques Acoustique et Vibrations 2019*, Strasbourg, France, **2019**.
  - O. Chiello, A.R. Tufano, M.-A. Pallas, E. Reynaud, N. Vincent, B. Faure, C. Chaufour, Mesure embarquée de la qualité acoustique de l'infrastructure ferroviaire-Projet MEEQUAI, in: *Journées Techniques Acoustique et Vibrations 2019*, Strasbourg, France, **2019**.
  - O. Chiello, G. Duval, M.-A. Pallas, Données d'émission sonore ferroviaire pour les cartes de bruit : les enjeux du passage de NMPB08 à CNOSSOS-EU, in: *Journées Techniques Acoustique et Vibrations 2017*, Clères (Rouen), France, **2017**.

Références UMRAE (2017-2021)

- Bruits de **crissement**

  - V.-V. Lai, M. Anciant, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, A nonlinear FE model for wheel/rail curve squeal in the time-domain including acoustic predictions, *Applied Acoustics*. **179 (2021)** 108031. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108031.
  - L. Charroyer, O. Chiello, J.-. J. Sinou, Estimation of self-sustained vibration for a finite element brake model based on the shooting method with a reduced basis approximation of initial conditions, *Journal of Sound and Vibration*. **468 (2020)** 115050. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.115050.
  - V.-V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, The critical effect of rail vertical phase response in railway curve squeal generation, *International Journal of Mechanical Sciences*. **167 (2020)** 105281. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105281.
  - J.-J. Sinou, O. Chiello, L. Charroyer, Non Smooth Contact Dynamics Approach for Mechanical Systems Subjected to Friction-Induced Vibration, *Lubricants*. **7 (2019)** 59. https://doi.org/10.3390/lubricants7070059.
  - V.-V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, Full finite element models and reduction strategies for the simulation of friction-induced vibrations of rolling contact systems, *Journal of Sound and Vibration*. **444 (2019)** 197–215. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.12.024.
  - L. Charroyer, O. Chiello, J.-J. Sinou, Self-excited vibrations of a non-smooth contact dynamical system with planar friction based on the shooting method, *International Journal of Mechanical Sciences*. **144 (2018)** 90–101. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.05.045.
  - V.V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, A Full Finite Element Model for the Simulation of Friction-Induced Vibrations of Wheel/Rail Systems: Application to Curve Squeal Noise, in: *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems, Springer*, Cham, **2021**: pp. 339–347. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-70289-2_35.
  - V.-V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, Identification of instability mechanisms involved in the generation of railway curve squeal by point-contact models and modal bases, in: *Proc. 9th Forum Acusticum*, Lyon, France, **2020**.
  - V.-V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, FEM modeling of wheel-rail rolling contact with friction in an Eulerian frame: results and validation, in: *Proc. of the 11th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems (CM2018)*, Delft, The Netherlands, **2018**.

Références UMRAE (2017-2021)

- Bruits de **crissement** (suite)

  - V.-V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, Dynamic FEM simulation of wheel-rail rolling contact with friction in an Eulerian frame - Application to curve squeal, in: *Proc. of the 28th International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA2018)*, Leuven, Belgium, **2018**.
  - L. Charroyer, O. Chiello, J.-J. Sinou, Shooting method for predicting the self-excited vibrations of nonlinear systems with planar friction, in: *Proceedings of IMAC-XXXV : A Conference and Exposition on Structural Dynamics*, Garden Grove, California, USA, **2017**.
  - O. Chiello, V.-V. Lai, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, Modélisation par éléments finis du contact roue/rail non stationnaire dans un repère Eulérien : application au crissement en courbe, in: *14ème Congrès Français d'Acoustique*, Le Havre, France, **2018**.
  - V.-V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, Modélisation par éléments finis du contact roue/rail non stationnaire dans un repère Eulérien : résultats et validation, in: *Actes du 24ème Congrès Français de Mécanique*, Lille, France, **2017**.
  - V.-V. Lai, O. Chiello, J.-F. Brunel, P. Dufrénoy, Calcul quasi-statique et dynamique par éléments finis du contact roue/rail en présence de frottement, in: *Actes du 13ème Colloque National En Calcul Des Structures*, Giens, France, **2017**.
  - L. Charroyer, O. Chiello, J.-J. Sinou, Méthode de tir adaptée pour le calcul des vibrations auto-entretenues d'un modèle éléments finis de frein, in: *Actes du 13ème Colloque National En Calcul Des Structures*, Giens, France, **2017**.
  - L. Charroyer, O. Chiello, J.-J. Sinou, Approche énergétique et méthode de tir pour la détermination des vibrations auto-entretenues d'un système à trois degrés de liberté en contact frottant, in: *Actes du 13ème Congrès Français d'Acoustique*, Le Mans, France, **2016**: pp. 1857–1864.
  - V.-V. Lai, Dynamic model of wheel-rail contact for curve squeal simulation, *Thèse de doctorat*, Université de Lille 1 Sciences et Technologies, **2018**. http://www.theses.fr/2018LIL1I088.
  - L. Charroyer, Méthodes numériques pour le calcul des vibrations auto-entretenues liées au frottement : Application au bruit de crissement ferroviaire, *Thèse de doctorat*, Ecole Centrale de Lyon, Université de Lyon, **2017**. http://www.theses.fr/2017LYSEC065.