Environmental Acoustics research unit
(Université Gustave Eiffel – Cerema)
Division of Applied Acoustics
(Chalmers University of Technology)

INTERNSHIP PROPOSAL
2027

Sujet de stage

Estimation indirecte des rugosités roue/rail à partir de capteurs vibro-acoustiques embarqués : performances réelles des méthodes de séparation

Niveau recommandé

☒Master (M2) ☐Master (M1) ☒Ingénieur ☐Licence ☐Bac + 2

Compétences recquises

Traitement du signal (analyse spectrale, signaux aléatoires), vibrations, acoustique, programmation scientifique (Python ou Matlab) - Connaissances en acoustique ferroviaire

Description

Contexte. *Le bruit de roulement constitue la source principale de bruit ferroviaire dans une large gamme de vitesses. Il provient de la rugosité des surfaces de roulement des roues et des rails (voir fig. 1). La rugosité des rails relève de la responsabilité des gestionnaires d'infrastructure, mais sa surveillance sur l'ensemble d'un réseau représente un véritable défi : les mesures directes à l'aide d'équipements spécialisés, dispositifs de mesure fixes ou chariots manuels, ne peuvent pas être déployées à cet échelle. Les méthodes indirectes pallient cette difficulté en utilisant des capteurs acoustiques ou vibratoires embarqués et en inversant le transfert vibro-acoustique entre la rugosité combinée et les signaux des capteurs. Une difficulté majeure consiste alors à séparer les contributions de la roue et du rail (voir fig. 1).*

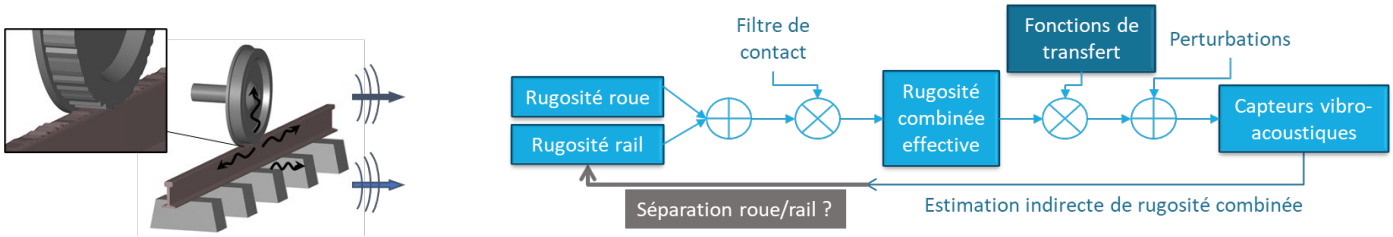

Figure 1 : Mécanisme de génération du bruit de roulement (à gauche) et principe d'estimation indirecte de la rugosité (à droite)

État de l'art et problématique scientifique. *Il existe plusieurs approches pour la séparation :*

- *L'utilisation de roues peu usées est simple à mettre en œuvre, mais nécessite un reprofilage fréquent.*
- *Les méthodes de soustraction de la rugosité des roues utilisent un spectre de roue mesuré directement. Elles assouplissent la contrainte de rugosité des roues, mais exigent tout de même un assez bon état.*
- *L'estimation indirecte de la rugosité des roues à partir des signaux embarqués constitue l'option la plus prometteuse, car elle évite les inspections régulières des roues et permet un suivi continu de leur état. Ces méthodes exploitent la périodicité spatiale de la rugosité des roues et nécessitent un tachymètre pour synchroniser les signaux avec la rotation des roues. Il existe deux variantes :*

- *Moyenne spatiale synchrone (domaine spatial) : le signal est divisé en segments d'une révolution de roue et moyenné, ce qui met en évidence la contribution déterministe de la roue tout en faisant disparaître, par moyennage, la rugosité aléatoire du rail.*
- *Filtrage par suivi d'ordre (domaine fréquentiel) : la rugosité de la roue est extraite du spectre multi-révolution, en supposant qu'elle soit concentrée sur les harmoniques spatiales discrètes, tandis que la rugosité du rail s'étend sur toute la gamme de fréquences.*

Ces deux variantes donnent d'excellents résultats dans des conditions parfaitement périodiques mais leurs performances dans des conditions réelles sont largement inconnues. En particulier, les variations latérales du point de contact roue/rail modifient au fil du temps la trace de rugosité réelle échantillonnée sur la roue. Cela remet en cause l'hypothèse de périodicité et peut transférer une partie de la rugosité de la roue dans l'estimation de la rugosité du rail. L'impact d'un rééchantillonnage spatial imparfait à partir des données du tachymètre est également inconnu.

Objectifs. *Ce stage a pour objectif de quantifier ces effets et d'évaluer les performances des méthodes de séparation dans des conditions réelles. Leur faisabilité sera évaluée à l'aide de caractéristiques de rugosité et de défauts de périodicité réalistes, notamment le décalage latéral des points de contact et les imperfections de rééchantillonnage. L'étudiant formulera des recommandations sur la robustesse des méthodes et, le cas échéant, proposera des paramètres optimaux, des améliorations ou des alternatives.*

Méthodologie. *Trois étapes sont prévues :*

1. *État de l'art : revue des méthodes de séparation existantes, de leurs variantes et de leurs performances.*
2. *Simulation : mise en œuvre des méthodes et test sur des signaux synthétiques, d'abord dans des conditions de périodicité parfaite, puis dans des conditions réalistes. En première approximation, le filtre de contact et le filtre vibro-acoustique entre les signaux de rugosité et ceux du capteur sont négligés ; les méthodes sont donc testées directement sur une rugosité combinée synthétique dans le domaine temporel ou spatial. Des défauts de périodicité (variation latérale des points de contact, erreurs de rééchantillonnage) sont introduits dans la synthèse, avec des caractéristiques spatiales réalistes, avec ou sans corrélation entre les signaux de rugosité à différentes positions latérales.*
3. *Validation expérimentale : application des méthodes à des mesures réelles de vibrations des boîtes d'essieux déjà disponibles. La validation repose sur le rapport de rugosité roue/rail dans le domaine fréquentiel, qui est théoriquement indépendant du filtre vibro-acoustique. Le rapport estimé par les méthodes de séparation indirecte est comparé au rapport obtenu à partir de mesures directes de rugosité.*

Lieu du stage

☒ **Uni Eiffel, Campus Lyon** (25, avenue François Mitterrand, Case24, Cité des mobilités, F-69675 Bron Cedex)
☐ **Uni Eiffel, Campus Nantes** (route de Bouaye, CS4, F-44344 Bouguenais Cedex)
☐ **Cerema – Strasbourg** (11, rue Jean Mentelin, Strasbourg-Koenigshoffen, F-67035 Strasbourg)

Durée du stage *(les dates et durée peuvent être adaptées)*

Date de début: 1er semestre 2027
Date de fin :
Durée : 5 à 6 mois

Encadrement et contact

Olivier CHIELLO
Univ. Eiffel/UMRAE
Email: olivier.chiello@univ-eiffel.fr

Astrid PIERINGER
Chalmers/Applied Acoustics
Email: astrid.pieringer@chalmers.se

Gratification

Indemnité équivalente à 15% du plafond horaire de la Sécurité Sociale, pour un organisme public (Salaire horaire net en 2026 : 4,50 €)– https://www.service-public.fr/simulateur/calcul/gratification-stagiaire