

**Titre de la thèse**

---

Méthode d'imagerie avancée pour la caractérisation du bruit ferroviaire

**Niveau recommandé**

---

Master recherche (M2)

**Compétences requises**

---

Disciplines principales : Acoustique, Vibrations

Autres disciplines abordées : Traitement du signal, Analyse de données

**Description**

---

Contexte

Le bruit émis dans l'environnement constitue une externalité majeure du transport ferroviaire, susceptible de freiner les actions en faveur du report modal de la route vers le rail. Les effets du bruit ferroviaire sont en grande majorité négatifs, comme l'incidence sur la santé, les conséquences socio-économiques ou l'impact sur la biodiversité. Les preuves de ces effets s'accumulent et, en réponse, les réglementations se durcissent progressivement au niveau national et européen. Dans ce contexte, les recherches semblent plus que jamais nécessaires pour lever les verrous scientifiques qui bloquent parfois l'action des différents acteurs impliqués dans la lutte contre le bruit ferroviaire. La caractérisation expérimentale des émissions en conditions réelles constitue un axe important d'amélioration. La complexité des émissions ferroviaires [1] (véhicules de grandes longueurs, sources multiples, contributions de la voie) nécessite en effet de développer des méthodes avancées telles que l'inversion de modèle ou l'imagerie acoustique pour identifier au mieux les différents paramètres d'émission. Les applications sont nombreuses, comme le diagnostic et la surveillance de véhicules ou d'infrastructures, l'estimation du potentiel d'amélioration apporté par une solution ou l'alimentation de modèles de prévision permettant d'estimer l'exposition des populations.

Problématique

Les méthodes de caractérisation expérimentales du bruit ferroviaire ont fait et font toujours l'objet de recherches actives au sein de la communauté scientifique internationale. Parmi les diverses approches possibles, les méthodes d'imagerie basées sur des réseaux de microphones ou antennes microphoniques sont particulièrement intéressantes puisqu'elles permettent en théorie une caractérisation des sources en matière de localisation spatiale, de niveau de bruit et de contenu fréquentiel. Depuis les premiers développements spécifiques au ferroviaire au début des années 1990 [2], les antennes microphoniques sont utilisées de façon opérationnelle par des organismes de recherche ou des bureaux d'études spécialisés pour identifier et caractériser les sources de bruit sur divers types de matériels roulants [3,4]. Les traitements associés dérivent généralement du principe de formation de voies<sup>1</sup>, adaptés d'une part au contexte d'un diagnostic en champ proche (focalisation), et d'autre part au caractère instationnaire lié au mouvement du véhicule (suivi des sources et dé-dopplérisation).

---

<sup>1</sup> beamforming en anglais

Ces méthodes souffrent cependant de plusieurs limitations dans le cas du bruit ferroviaire, notamment pour caractériser le bruit lié au contact roue/rail. Optimales pour des sources ponctuelles bien distinctes, omnidirectionnelles et décorréélées, elles ne sont en effet pas adaptées à la caractérisation du champ rayonné par la voie qui a les propriétés d'une source de nature étendue et cohérente dans une large gamme de fréquences en raison d'ondes vibratoires se propageant sur de grandes distances à partir des contact roue/rail [5–7]. Elles peinent par ailleurs à distinguer les champs rayonnés par la voie et les roues, non seulement à cause de la proximité des sources mais aussi du fait de leur directivités.

Plusieurs techniques ont été proposées pour surmonter ces difficultés mais sans jamais épuiser complètement la problématique. Dans [3] le rail est considéré comme un ensemble de petites sections non corrélées. Bien que cette approche tienne compte de la nature étendue de la source, elle reste limitée par la nature cohérente de la source et donc par sa directivité. Les méthodes basées sur la focalisation en ondes planes [5,6], en particulier la technique de filtrage par nombre d'ondes (WSE) [8] ont prouvé leurs performances dans le cas de mesures au passage mais ne permettent une bonne quantification du bruit rayonné par le rail qu'aux bandes de fréquences pour lesquelles l'atténuation des ondes dans le rail est faible et la contribution des roues n'est pas dominante. La méthode SWEAM [6] qui vise justement à adapter le traitement en fonction de l'atténuation des ondes est prometteuse mais n'a été formulée et testée expérimentalement que pour des excitations verticales fixes du rail et sans contribution de la roue. La séparation des contributions du rail et de la roue au bruit au passage à l'aide de méthodes de régularisation parcimonieuse a également été testée [9].

### Objectifs

L'objectif de la thèse est de développer une technique d'imagerie performante pour la caractérisation du bruit ferroviaire en particulier du bruit de contact roue/rail, en allant au-delà des méthodes existantes. Sont visées expressément la caractérisation des contributions de la voie (bruits liés aux ondes vibratoires verticales et latérales dans le rail et à la vibration des traverses) et la séparation des contributions de la voie et des roues dans toutes les bandes fréquences.

### Méthodologie

Un *état de l'art* permettra d'abord au doctorant de se familiariser d'une part avec les mécanismes de génération des bruits de contact roue/rail, en particulier le bruit de roulement, et d'autre part avec les méthodes d'imagerie existantes. Le travail se décomposera ensuite en trois axes principaux.

La première étape consistera à *simuler le champ sonore rayonné au passage d'un véhicule guidé sur rail dans le domaine temporel*. Pour cela, l'étudiant implémentera des méthodes existantes et/ou utilisera des outils mis à sa disposition, en particulier des modèles vibro-acoustiques numériques avancés pour rendre compte de la complexité des champs rayonnés par les roues et la voie dans une large gamme fréquentielle.

La deuxième étape sera consacrée au test et au *développement de méthodes d'imagerie sur la base des simulations*. L'objectif est d'améliorer les performances des méthodes existantes pour l'identification des contributions des roues et de la voie au passage d'un véhicule. La caractérisation du champ rayonné par la voie seule sera abordée en premier. Pour ce cas, une piste possible est l'extension de la méthode SWEAM aux cas d'excitations mobiles et d'ondes multiples. En ce qui concerne le champ rayonné par les roues des méthodes classiques ou plus élaborées tels que CLEAN [10] pourront ensuite être testées, puis le problème de la séparation des contributions des roues et de la voie sera traité.

La dernière étape sera dédiée à la *validation expérimentale* de la méthode. Des essais sur les tramways lyonnais sont envisagés. Les performances de la méthode seront analysées par comparaison avec des simulations utilisant les paramètres réels de l'infrastructure et des véhicules.

## Bibliographie

- [1] D.J. Thompson, *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, Elsevier, 2009. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045147-3.X0023-0>.
- [2] B. Barsikow, W.F. King, On removing the Doppler frequency shift from array measurements of railway noise, *Journal of Sound and Vibration* 120 (1988) 190–196. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(88\)90344-6](https://doi.org/10.1016/0022-460X(88)90344-6).
- [3] M.-A. Pallas, J. Lelong, R. Chatagnon, Characterisation of tram noise emission and contribution of the noise sources, *Applied Acoustics* 72 (2011) 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.01.008>.
- [4] C. Mellet, F. Létourneaux, F. Poisson, C. Talotte, High speed train noise emission: Latest investigation of the aerodynamic/rolling noise contribution, *Journal of Sound and Vibration* 293 (2006) 535–546. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.08.069>.
- [5] T. Kitagawa, D.J. Thompson, The horizontal directivity of noise radiated by a rail and implications for the use of microphone arrays, *Journal of Sound and Vibration* 329 (2010) 202–220. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.09.002>.
- [6] B. Faure, O. Chiello, M.-A. Pallas, C. Servièrre, Characterisation of the acoustic field radiated by a rail with a microphone array: The SWEAM method, *Journal of Sound and Vibration* 346 (2015) 165–190. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.02.022>.
- [7] J. Zhang, G. Squicciarini, D.J. Thompson, Implications of the directivity of railway noise sources for their quantification using conventional beamforming, *Journal of Sound and Vibration* 459 (2019) 114841. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.07.007>.
- [8] E. Zea, L. Manzari, G. Squicciarini, L. Feng, D.J. Thompson, I.L. Arteaga, Wavenumber–domain separation of rail contribution to pass-by noise, *Journal of Sound and Vibration* 409 (2017) 24–42. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.07.040>.
- [9] E. Zea, E. Fernandez-Grande, I. Lopez Arteaga, Separation of rail and wheel contributions to pass-by noise with sparse regularization methods, *Journal of Sound and Vibration* 487 (2020) 115627. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2020.115627>.
- [10] R. Cousson, Q. Leclère, M.-A. Pallas, M. Bérengier, A time domain CLEAN approach for the identification of acoustic moving sources, *Journal of Sound and Vibration* 443 (2019) 47–62. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.11.026>.

## **Profil recherché**

---

### Compétences requises :

- Master recherche en acoustique et/ou mécanique
- Solides connaissances en dynamique des structures, rayonnement acoustique et traitement du signal
- Maîtrise de la programmation
- Bonnes compétences en communication en anglais, tant à l'écrit qu'à l'oral
- Capacité à travailler de manière autonome, à faire preuve d'initiative et à assumer des responsabilités
- Capacités d'analyse et de résolution de problèmes, ainsi qu'un intérêt sincère pour la recherche

### Atouts :

- Expérience avec Matlab et/ou Python
- Cours ou expérience de projet antérieurs en acoustique ferroviaire ou imagerie acoustique
- Communication en français appréciée
- Capacité à diffuser les résultats et à interagir avec les réseaux universitaires, industriels et sociétaux

## **École Doctorale et université d'inscription**

---

- ED Mécanique, Énergétique, Génie-Civil, Acoustique (MEGA, <https://edmega.universite-lyon.fr/>)
- Université Gustave Eiffel (<https://www.univ-gustave-eiffel.fr/>)

## Lieu de la thèse

---

- 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)

## Encadrement

---

- Directeur de thèse : Olivier CHIELLO (Université Gustave Eiffel/UMRAE)
- Co-encadrant : Raphaël LEIBA (Université Gustave Eiffel/UMRAE)

## Financement

---

Financement Université Gustave Eiffel via contrat doctoral soumis au concours de l'ED MEGA de juin 2026

## Informations complémentaires

---

Pour candidater, faire parvenir par mail à Olivier Chiello et Raphaël Leiba (cf. contact ci-dessous) les documents suivants :

- CV
- Lettre de motivation
- Relevés de notes de Master 2 ou équivalent (avec son rang de sortie)
- Éventuellement une ou plusieurs lettre(s) de recommandation

Une candidature incomplète ne sera pas considérée.

***Date limite : 29/05/2026***

## Contacts

---

### **M. Olivier CHIELLO**

Tel. +33 (0)4 72 14 24 05

Email : [olivier.chiello@univ-eiffel.fr](mailto:olivier.chiello@univ-eiffel.fr)

[www.umrae.fr](http://www.umrae.fr)

### **M. Raphaël LEIBA**

Tel. +33 (0)4 72 14 24 02

Email : [raphael.leiba@univ-eiffel.fr](mailto:raphael.leiba@univ-eiffel.fr)

[www.umrae.fr](http://www.umrae.fr)