

Offre de thèse 2025, Université Gustave Eiffel, Campus de Nantes, France

## Imagerie des guides d'ondes élastiques 3D – Application aux rails

**Début :** rentrée universitaire 2025, 1er octobre 2025

**Financement :** 3 ans (1858€ bruts mensuels les deux premières années puis 2165€ la troisième)

**Domaine(s) disciplinaire(s) de rattachement et spécialité(s) :** Acoustique, Mécanique, Génie Civil

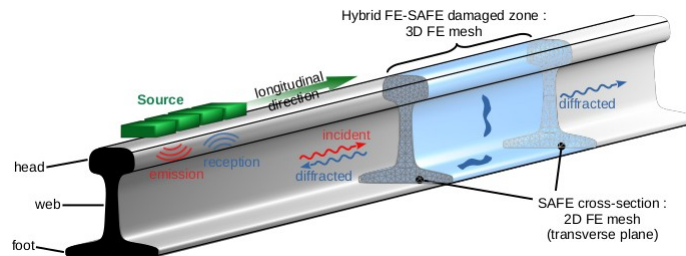
**Mots clés :** acoustique, onde, guide, mode, éléments finis, modélisation, simulation, imagerie, expérimental, problème inverse, état adjoint, retournement temporel

**Encadrement :** Fabien Treyssède (DR UGE, HDR), directeur de thèse

Laurent Laguerre (DR UGE, HDR), co-directeur de thèse

**École Doctorale :** SIS (Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes)

**Établissement de rattachement :** Centrale Nantes



Jumeau numérique pour l'imagerie par ondes guidées de défauts dans un rail

### Contexte :

Les ondes guidées présentent l'avantage de se propager sur de longues distances avec peu de perte d'énergie. Elles constituent une voie prometteuse pour le contrôle non destructif (CND) et la surveillance de santé des structures élancées. Dans le domaine ferroviaire, la détection et la localisation des défauts dans les rails, en particulier ceux situés au niveau du pied (patin), sont des enjeux majeurs pour garantir la sécurité et optimiser la maintenance des réseaux de transport. Ce sujet de thèse s'inscrit dans le cadre du projet **ANR Ultratrail**, en partenariat entre **l'Université Gustave Eiffel (UGE)**, **l'Université de Bordeaux** et **la SNCF**, et dans lequel le doctorant sera impliqué.

Toutefois, le développement de méthodes robustes de CND se heurte à plusieurs défis :

- des **contraintes d'instrumentation** : le nombre de capteurs doit être limité pour des raisons de coût et d'accessibilité ;
- une **propagation complexe des ondes** : la nature multimodale et dispersive des ondes guidées complique l'interprétation des mesures, nécessitant l'appui de modèles de propagation avancés.

Dans le domaine de la modélisation, l'UGE a développé des outils numériques de pointe [1], basés sur les méthodes d'éléments finis dédiées aux ondes guidées 3D suivantes :

- **SAFE** (Semi-Analytical Finite Element), pour les structures saines [2-4]
- **hybride FE-SAFE** (Finite Element – SAFE) pour les structures endommagées [5-6]

### Projet :

L'objectif de cette thèse est de développer et d'optimiser des **méthodes d'imagerie innovantes** adaptées aux guides d'ondes élastiques 3D, avec une application spécifique aux rails, prenant en compte les contraintes d'instrumentation (nombre restreint de transducteurs) et les spécificités des ondes guidées (dispersion, multimodalité).

Partant du cadre mathématique des **problèmes inverses en élastodynamique**, l'approche suivie reposera sur l'évaluation d'un gradient révélant la **sensibilité** d'une fonctionnelle de coût à des paramètres du milieu. Cette approche, exploitant l'**état adjoint** et le **formalisme modal** des guides d'ondes, permettra une reconstruction rapide de la position des défauts (image) sans nécessiter d'itérations.

Déjà appliquée aux guides élastiques 2D (plaques) [7], cette méthodologie devra être étendue aux **guides 3D** (rails), soulevant plusieurs questions quant à :

- l'influence des configurations de mesure et d'excitation (fréquences, position et nombre de capteurs...);
- la sensibilité aux incertitudes dans des conditions réalistes (bruit, sources...);
- la sélection d'un gradient approprié (fonction d'imagerie) selon la nature des défauts recherchés.

Le doctorant s'appuiera sur les outils de modélisation développés à l'UGE [1] pour :

- développer des **jumeaux numériques** permettant de simuler la propagation des ondes élastiques dans les rails, avec ou sans défauts, afin d'implémenter et tester différents algorithmes d'imagerie ;
- expérimenter ces algorithmes sur des **données synthétiques** ;
- valider les résultats sur des **mesures expérimentales** en laboratoire.

## Lieu de travail :

La thèse se déroulera au **Laboratoire GeoEND (Géophysique et Évaluation Non Destructive)** de l'**Université Gustave Eiffel**, situé à **Nantes, France**. Le doctorant bénéficiera d'un encadrement pluridisciplinaire et aura accès à des moyens expérimentaux et de calcul de pointe.

## Profil recherché :

Nous recherchons un(e) **ingénieur(e)** ou **diplômé(e) d'un Master** en **acoustique, mécanique** ou **mathématiques appliquées**.

Compétences requises :

- ✓ **Modélisation numérique et éléments finis**
- ✓ **Propagation des ondes ou dynamique des structures**
- ✓ **Programmation (Python, Matlab ou C++)**

Compétences appréciées :

- x **Problèmes inverses et traitement du signal**

## Candidature :

Les candidats intéressés sont invités à envoyer les documents suivants avant le 15 mai 2025 si possible :

- ✓ CV détaillé
- ✓ lettre de motivation
- ✓ relevés de notes du Master 2 ou de la 3ème année d'école d'ingénieurs (avec, si possible, le classement de sortie)
- ✓ lettre(s) de recommandation (facultatif mais recommandé)

Dépôt des candidatures :

Fabien TREYSSÈDE – fabien.treysse@univ-eiffel.fr | +33 (0)2 40 84 59 32

Laurent LAGUERRE – laurent.laguerre@univ-eiffel.fr | +33 (0)2 40 84 59 10

## Références :

[1] F. Treyssède, waveguicsx (a python library for solving complex waveguides problems), 2023; software available at <https://github.com/Universite-Gustave-Eiffel/waveguicsx>.

[2] F. Treyssède, L. Laguerre, "Numerical and analytical calculations of the modal excitability for elastic wave generation in lossy waveguides", Journal of the Acoustical Society of America 133, 3827-3837 (2013).

[3] M. Gallezot, F. Treyssède, L. Laguerre, "A modal approach based on perfectly matched layers for the forced response of elastic open waveguides", Journal of Computational Physics 356, 391-409 (2018).

[4] F. Treyssède, "A model reduction method for fast finite element analysis of continuously symmetric waveguides", Journal of Sound and Vibration 508, 116204 (2021).

[5] F. Benmeddour, F. Treyssède and L. Laguerre, "Numerical modeling of guided wave interaction with non-axisymmetric cracks in elastic cylinders", International Journal of Solids and Structures 48, 764-774 (2011).

[6] M. Gallezot, F. Treyssède, L. Laguerre, "Numerical modelling of wave scattering by local inhomogeneities in elastic waveguides embedded into infinite media", Journal of Sound and Vibration 443, 310-327 (2019).

[7] S. Rodriguez, M. Deschamps, M. Castaings, and E. Ducasse, "Guided wave topological imaging of isotropic plates", Ultrasonics 54, 1880-1890 (2014).