



Sujet : évaluation et classification des caractéristiques des couches de ballast pollué dans les voies ferroviaires – Traitement hybride par intelligence artificielle / FWFI (Full WaveForm Inversion).

Laboratoire d'accueil

Laboratoire Auscultation, Modélisation et Expérimentation sur les infraStructures de transport – Dépt. Matériaux et Structures (LAMES – MAST)

Université Gustave Eiffel, Campus de Nantes, Allée des ponts et chaussées - CS 5004 44344 Bouguenais Cedex • FRANCE

<http://www.univ-gustave-eiffel.fr>

École doctorale : MathSTIC – Nantes Université

Directeur de thèse :

A. IHAMOUTEN

Tél : 02 40 84 56 39

amine.ihamouten@univ-eiffel.fr

Co-directeur de thèse :

Y. FARGIER

Tél. : 04 72 14 26 83

yannick.fargier@univ-eiffel.fr

Co-encadrant :

J. TISSIER

Tél. : 02 41 86 67 13

jerome.tissier@eseo.fr

Co-encadrant :

A. MARTIN

Tél. : 02 40 95 73 50

antoine.martin@etf.fr

Au sein d'Eurovia (Groupe Vinci), ETF est un acteur majeur de la conception, de la construction, du développement et de la maintenance d'infrastructures ferroviaires au service des citoyens en France et à l'international. La mission d'ETF est d'œuvrer en faveur d'une mobilité ferroviaire sûre, rapide et respectueuse de l'environnement. Pour cela, les équipes d'ETF interviennent sur tous les types de réseaux ferrés : ligne à grande vitesse, ligne régionale, réseau portuaire et site industriel, réseau ferré urbain (tramway, métro).

En lien avec la régénération du réseau ferroviaire, SNCF-Réseau élabore, en fonction des besoins identifiés sur la base de diverses investigations in situ, des projets de Renouvellement de Voie et Ballast (RVB) des lignes existantes dans le but de leur redonner leurs performances nominales. Dans le cadre de ces projets, un certain nombre de prescriptions techniques relatives aux travaux à réaliser sont ainsi prescrites par SNCF-Réseau qui confie ensuite la réalisation de ces derniers aux entreprises habilitées tel ETF.

Parmi ces prescriptions, celles relatives au renouvellement de la couche de ballast - opération consistant à dégarnir (*i.e.* excaver) les granulats anciens, « usés et pollués », puis à les remplacer par des granulats neufs, « anguleux et sains » - peuvent poser un certain nombre de difficultés opérationnelles (respect de la profondeur de dégarnissage, respect de l'épaisseur de ballast sain, optimisation de l'apport de matériau neuf et de réemploi (à hauteur de 30 à 40%), etc.) Ces différents écueils, dont l'origine apparait multiple (qualité et quantité des données d'entrée, temporalité des investigations par rapport aux travaux, présence d'objets enfouis, etc.), conduit in fine à des coûts directs et indirects importants pour ETF pouvant s'élever à plusieurs centaines de milliers d'euros (perte de rendement, usure / casse matérielle prématurée, immobilisation des ressources, pénalité de retard, etc).

Dans ce contexte, la problématique d'ETF est donc relative à l'identification et à l'anticipation de ces désagréments sur les futurs chantiers de RVB en vue de pouvoir, idéalement, s'en affranchir afin de limiter / maîtriser les coûts associés. C'est avec ce dessein qu'ETF et l'Université Gustave Eiffel proposent conjointement ce sujet de thèse via une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE).

Sur la base d'un état de l'art préalablement réalisé, et de divers travaux antérieurs menés en interne au sein d'ETF, la technologie radar (à sauts de fréquence) a rapidement été identifiée comme une solution propice à répondre aux attentes d'ETF (diagnostic non-destructif, vitesse d'auscultation, facilité d'intégration à l'environnement ferroviaire, etc.) ; en particulier lorsque cette technologie est couplée à des méthodes automatiques de traitement et d'analyse répondant aux exigences de délais et de rendements opérationnels. Cependant, dans son utilisation actuelle, cette méthode ne permet pas de répondre de manière optimisée à la problématique et nécessite un effort de recherche pour développer à une solution opérationnelle pour les équipes d'ETF.



Programme de recherche envisagé :

Dans cette thèse, on se propose d'évaluer et de classifier les caractéristiques des couches de ballast par une analyse phénoménologique extra-fine du signal radar issu du Radar à Sauts de Fréquence (RSF) développé par le laboratoire Lames de l'université Gustave Eiffel. Cet objectif impliquera un investissement expérimental avec la réalisation de campagnes de mesures sur banc d'essais contrôlés. Cette thèse aura pour objectif en parallèle d'optimiser une approche croisée innovante basée sur le couplage entre la méthode d'inversion de formes d'onde et des méthodes d'apprentissage supervisé appliquées en approche globale aux signaux RSF. Ces travaux seront enfin appliqués à l'étude de plusieurs sites tests permettant d'évaluer à l'aveugle la pertinence des développements. L'objectif final consistera à développer une méthodologie complète basés sur les développements précédents intégrable aux activités opérationnelles d'ETF. Les différents points suivants seront abordés au cours de cette thèse :

1. Études bibliographique et paramétrique numérique :
 - Méthodologies et techniques radar envisagées (état de l'art sur la physique et la propagation des ondes EM dans les milieux stratifiés, techniques d'Evaluation Non Destructives, modèles directs, problèmes inverses, FWHI, FDTD et antennes),
 - Classification par techniques d'apprentissages supervisées.
2. Mise en œuvre d'un plan d'expérience conséquent en laboratoire de caractérisation de colmatage du ballast pour obtenir les premiers résultats en faisant varier certains paramètres (nombre de couches, densité/granulométrie, épaisseur...). Confrontation des résultats obtenus sur des sites extérieurs tests.
3. Classification par méthodes d'apprentissages (semi-automatiques) :
 - Binaire dans un premier temps : présence de couche de ballast pollué ou pas,
 - Classification plus évoluée au regard de la nomenclature définie plus en amont dans la thèse (inférieur, dans l'intervalle ou supérieur au seuil/taux de colmatage préconisé et fixé entre autres par ETF).
4. Validation *in situ* des travaux par le développement d'un démonstrateur permettant de fournir une classification précise des couches de ballast et de pouvoir valider les exigences de normes.
5. Production d'un mémoire de thèse et valorisation des travaux dans le cadre de publications dans des journaux et conférences.

Date de démarrage envisagée : 01 octobre 2022

Profil recherché : Bac+5 (Ecole d'ingénieur/Master Universitaire) :

- Il est attendu que les candidat(e)s à ce sujet de thèse aient des compétences en propagation des ondes électromagnétiques, en traitement du signal et en utilisation des méthodes de Machine Learning.
- Des compétences en génie civil et/ou en géophysique seront nécessaires pour une meilleure compréhension physique des phénomènes mis en jeu et des choix des modèles à hybrider.

Financement : le doctorant sera employé par l'entreprise ETF du groupe Vinci/Eurovia dans le cadre d'un contrat CDD de 36 mois avec une rémunération annuelle brute de 24 k€.

Mots-clés : voies ferroviaires, ballast colmaté, électromagnétisme, radar à sauts de fréquence, Machine Learning.
