Abstract

In the maintenance of highly loaded structures framework, this work focuses on the Channel Tunnel slab track. Slab tracks are well suited for environments with limited accessibility, such as tunnels, since they require less maintenance than ballasted tracks. In the Channel Tunnel, the track is equipped with LVT (*Low Vibration Track*) supports. However, due to the intense traffic, signs of damage have been observed for more than a decade. Replacement-based maintenance strategies have been considered, and Getlink has invested in developing new maintenance expertise. In this context, this thesis aims to investigate and exploit an alternative strategy for dealing with degraded sections, the reinforcement.

To better understand the railway track structural response under loading, two modeling approaches were developed. The first is an analytical model of a beam on discrete supports, allowing the introduction of different loading scenarios, including dynamic ones, at low computational cost. This tool proves particularly suitable for parametric studies. The second is a numerical approach combining finite element and WFE methods, capable of representing both the periodicity of the track and local discontinuities.

These models were used to dimension a reinforcement system. Numerical studies show that reinforcement improves load distribution in degraded section without compromising the regular sections. A prototype was then installed in the Channel Tunnel, where an experimental campaign was conducted. Strain measurements in the rails and concrete blocks, both in reinforced and non-reinforced zones, confirmed the feasibility and effectiveness of the solution. Recommendations for reinforcement implementation were also established.

Finally, a fatigue-based approach was proposed to estimate the service life of slab track sections. Using in-situ measurements of real loading conditions, support reactions and stresses in the concrete blocks were computed. Based on fatigue laws for concrete in bending and Miner's cumulative damage rule, service life estimations were obtained.

In conclusion, this thesis highlights the relevance of reinforcement as a maintenance strategy. The analytical, numerical, and experimental results confirm its effectiveness and provide guidelines for extending the durability of slab track infrastructures.

Résumé

Dans le cadre de la maintenance des structures fortement sollicitées, nous nous intéressons à la voie ferrée sur dalle du tunnel sous la Manche. Adaptées aux environnements difficiles d'accès tels que les tunnels, les voies sur dalle présentent l'avantage de nécessiter peu de maintenance par rapport aux voies ballastées. Dans le tunnel sous la Manche, la voie est équipée de supports utilisant la technologie LVT (*Low Vibration Track*). Toutefois, en raison du trafic intense, des signes d'endommagement sont apparus depuis une dizaine d'années. Des stratégies de maintenance par remplacement ont été envisagées, et la société Getlink a investi pour développer de nouvelles compétences en maintenance. Dans ce contexte, cette thèse cherche à explorer et exploiter une stratégie alternative pour traiter les sections dégradées, le renforcement.

Afin de mieux comprendre la réponse de la voie sous sollicitation, deux approches de modélisation ont été développées. La première repose sur un modèle analytique de poutre sur appuis discrets, permettant d'introduire différents scénarios de chargement, y compris dynamiques, à faible coût de calcul. Cet outil est particulièrement adapté aux études paramétriques. La seconde est une approche numérique couplant éléments finis et WFE, capable de représenter à la fois la périodicité de la voie et les discontinuités locales.

Ces modèles ont permis de dimensionner un système de renforcement. Les études numériques montrent que le renfort améliore la répartition des charges dans les zones dégradées, sans compromettre la section courante. Un prototype a ensuite été installé dans le tunnel sous la Manche, où une campagne expérimentale a permis de mesurer les déformations du rail et des blochets, en zones renforcées et non renforcées. Les résultats confirment la faisabilité et l'efficacité de la solution, et des recommandations de mise en œuvre ont été établies.

Enfin, une approche par fatigue a été proposée pour estimer la durée de vie des sections de voie. À partir de mesures in situ caractérisant le chargement réel, les réactions d'appuis et contraintes dans les blochets sont calculées. En utilisant des lois de fatigue du béton sollicité en flexion et la loi de Miner, des estimations de durée de vie ont été obtenues.

En conclusion, cette thèse met en évidence l'intérêt du renforcement comme stratégie de maintenance. Les résultats numériques, analytiques et expérimentaux confirment son efficacité et ouvrent la voie à une amélioration durable des performances des voies ferrées sur dalle.