**Cross-industry digital innovation in asset maintenance**

A phenomenon-based exploratory case study

## Abstract

This thesis captures, describes, documents, and conceptualize an unexplored yet significant phenomenon, cross-industry digital innovation, by cross-fertilizing the asset maintenance in aviation and rail freight industries. Rail is the most energy-efficient and low-emitting freight transport mode. However, the status quo of rail freight wagon maintenance in Europe presents a state of inefficiency and lack of intelligence. With the rapid development of digital technologies, condition-based and predictive maintenance represent an excellent opportunity to yield a big efficiency leap in wagon maintenance, thus potentially making rail freight transport competitive and sustainable. This thesis argues that how to leverage digital technologies to benefit rail freight wagon maintenance is not only a technical problem of how to make good use of digital technology to improve maintenance efficiency, but also a strategic problem of how to innovate business model to generate value growth for rail freight industry.

When solving such complex practical problems, sometimes the best ideas come from outside your industry. As initiated by the Aero-Ferro Benchmark project, learning the best practice from aviation will contribute to rail freight success. Thus, this thesis aims to theoretically conceptualize how to carry out cross-industry digital innovation in asset maintenance, and to practically solve the problem of what rail freight can learn from the aviation industry. In this respect, this thesis reviews relevant theories in the field of innovation and strategy aiming to find theoretical support. However, based on the knowledge gaining from literature, it is found that cross-industry digital innovation is such an infant field that no well-established and well-fitting theory could directly help define, analyze and address this complex issue. This motivates us to conceptualize a new theoretical framework to explain this emerging phenomenon.

To achieve this purpose, this thesis conducts an exploratory case study on digital innovation in asset maintenance in aviation and rail freight industries. We start from determining a preliminary asset maintenance system framework from two sub-system (technical system and business system) to guide the phenomenon-based theorizing. Then, an abductive reasoning and system combing approach is followed, together with literature review and case study as the main research methods. Findings from case study on the technical system argue that the maintenance strategy of rail freight wagons will undergo an imperative paradigm shift from preventive to predictive, especially in terms of utilizing digital technology and data management. Thus, a technical architecture of condition monitoring based predictive maintenance for rail freight wagons is proposed in this thesis. For the business system, this thesis analyzes the changing roles of main actors in this emerging digital maintenance landscape and the evolution of their business models in wagon maintenance ecosystem, forecasting the potential business model innovation of rolling stock(wagon) OEMs, cargo rail operators and wagon keepers.

In doing so, this thesis offers insightful theoretical and practical contributions. First, this thesis contributes to advancing the theory building in cross-industry digital innovation. A phenomenon-based cross-industry digital innovation strategy framework is developed. Second, this thesis contributes to guiding the problem-solving strategy of digital innovation in wagon maintenance in rail freight industry.

**Keywords**

Asset maintenance; digital innovation; cross-industry innovation; phenomenon-based research; aviation; rail freight

**Innovation numérique intersectorielle dans la maintenance des actifs**

Une étude de cas exploratoire basée sur des phénomènes

## Résumé

Cette thèse capture, décrit, documente et conceptualise un phénomène inexploré mais important, l'innovation numérique intersectorielle, en fertilisant de manière croisée la maintenance des actifs dans les secteurs de l'aviation et du fret ferroviaire. Le rail est le mode de transport de marchandises le plus économe en énergie et le moins polluant. Cependant, le statu quo en matière de maintenance des wagons de fret ferroviaire en Europe présente un état d'inefficacité et un manque d'intelligence. Avec le développement rapide des technologies numériques, la maintenance conditionnelle et prédictive représente une excellente opportunité de réaliser un grand gain d’efficacité dans la maintenance des wagons, rendant ainsi potentiellement le transport ferroviaire de marchandises compétitif et durable. Cette thèse soutient que la manière de tirer parti des technologies numériques au profit de la maintenance des wagons de fret ferroviaire n'est pas seulement un problème technique sur la façon de bien utiliser la technologie numérique pour améliorer l'efficacité de la maintenance, mais aussi un problème stratégique sur la manière d'innover dans un modèle économique pour générer une croissance de la valeur. pour l'industrie du fret ferroviaire.

Lorsqu’il s’agit de résoudre des problèmes pratiques aussi complexes, les meilleures idées viennent parfois de l’extérieur de votre secteur. Comme initié par le projet Aero-Ferro Benchmark, l’apprentissage des meilleures pratiques de l’aviation contribuera au succès du fret ferroviaire. Ainsi, cette thèse vise à conceptualiser théoriquement comment réaliser une innovation numérique intersectorielle dans la maintenance des actifs, et à résoudre pratiquement le problème de ce que le fret ferroviaire peut apprendre de l'industrie aéronautique. À cet égard, cette thèse passe en revue les théories pertinentes dans le domaine de l’innovation et de la stratégie dans le but de trouver un soutien théorique. Cependant, sur la base des connaissances acquises dans la littérature, il apparaît que l’innovation numérique intersectorielle est un domaine tellement naissant qu’aucune théorie bien établie et adaptée ne pourrait directement aider à définir, analyser et aborder cette question complexe. Cela nous motive à conceptualiser un nouveau cadre théorique pour expliquer ce phénomène émergent.

Pour atteindre cet objectif, cette thèse mène une étude de cas exploratoire sur l’innovation numérique dans la maintenance des actifs dans les secteurs du fret aérien et ferroviaire. Nous commençons par déterminer un cadre préliminaire de système de maintenance des actifs à partir de deux sous-systèmes (système technique et système commercial) pour guider la théorisation basée sur les phénomènes. Ensuite, une approche de raisonnement abductif et de peignage des systèmes est suivie, ainsi qu'une revue de la littérature et une étude de cas comme principales méthodes de recherche. Les résultats d’une étude de cas sur le système technique suggèrent que la stratégie de maintenance des wagons de fret ferroviaire subira un changement de paradigme impératif, passant du préventif au prédictif, notamment en termes d’utilisation de la technologie numérique et de gestion des données. Ainsi, une architecture technique de maintenance prédictive basée sur la surveillance de l’état des wagons de fret ferroviaire est proposée dans cette thèse. Pour le système d'affaires, cette thèse analyse l'évolution des rôles des principaux acteurs dans ce paysage émergent de la maintenance numérique et l'évolution de leurs modèles économiques dans l'écosystème de la maintenance des wagons, prévoyant l'innovation potentielle des modèles économiques des équipementiers de matériel roulant (wagons), des opérateurs ferroviaires de fret et gardiens de wagons.

Ce faisant, cette thèse offre des contributions théoriques et pratiques perspicaces. Premièrement, cette thèse contribue à faire progresser la construction théorique de l’innovation numérique intersectorielle. Un cadre stratégique d’innovation numérique intersectorielle basé sur des phénomènes est élaboré. Deuxièmement, cette thèse contribue à orienter la stratégie de résolution de problèmes d’innovation numérique dans la maintenance des wagons dans l’industrie du fret ferroviaire.

**Mots clés**

Entretien des actifs; innovation numérique; innovation intersectorielle; recherche basée sur les phénomènes; aviation; fret ferroviaire