



Soutenance de thèse de Benjamin Cottreau

Benjmain Cottreau soutiendra sa thèse intitulée *"La résilience des transports publics urbains. Améliorer la gestion des incidents à travers une analyse orientée-données"*, préparée au LAET sous la direction de Louafi Bouzouina.

/// Résumé de la thèse

Le modèle économique urbain, issu de la révolution industrielle, incite les individus et les entreprises à se localiser en ville, entraînant une croissance économique importante. Cependant, cette croissance provoque des tensions sociales et environnementales, appelées "externalités négatives" en économie. Pour résoudre ce paradoxe, la résilience est devenue un concept central des politiques urbaines, visant à construire des villes capables de résister et de se remettre des défaillances de marché induites. Les systèmes de transport sont un composant essentiel de l'économie urbaine, et les transports publics apparaissent comme les nouveaux

piliers de ces politiques urbaines résilientes. Ils contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre, éviter la congestion routière et améliorer l'accessibilité et l'inclusion sociale. Cet attrait pour les transports publics s'accompagne d'enjeux économiques et sécuritaires, qui exercent une pression croissante sur les opérateurs de mobilité et entraînent, dans certains cas, des incidents. Dans ce contexte, mesurer la résilience est une compétence cruciale pour y faire face. Au niveau stratégique, la plupart des travaux se concentrent sur l'amélioration de la conception des réseaux et l'étude des variables qui influencent leur capacité à résister aux perturbations. Au niveau tactique, les plans de gestion des perturbations sont préventifs, basés sur des refontes temporaires de l'offre telles que la planification horaire et la substitution d'offre. Au niveau opérationnel, la mission des opérateurs est de rétablir le service et contenir les effets des incidents sur l'exploitation. A ce dernier niveau, les solutions influençant la demande sont précieuses pour la gestion et la réaffectation des flux de voyageurs.

Au cours des dernières années, la gestion des perturbations a été renforcée par l'augmentation de la capacité de calcul informatique et une disponibilité accrue des données. Les données détaillées issues de la billettique (AFC), la localisation des véhicules (AVL) et l'enregistrement des incidents (SD-logs) peuvent être utilisées pour suivre en temps réel les performances des systèmes de transport public. Par conséquent, le paradigme de la gestion opérationnelle des perturbations est passé de l'utilisation de solutions fondées sur l'offre, comme les bus de remplacement par exemple, à l'intégration de solutions plus axées sur la demande. L'émergence de l'intelligence artificielle contribue à atteindre les objectifs de gestion de la demande en temps réel.

La thèse vise à caractériser différentes formes d'incidents et leurs impacts sur la demande, à évaluer la résilience des systèmes de transport public et les plans de gestion existants, et à développer de nouveaux outils pour améliorer l'exploitation en cas d'incident. Les données utilisées dans cette étude sont fournies par Keolis et concernent le réseau de transport public de Lyon. La méthodologie de la thèse se concentre sur des techniques de machine learning à des fins de clustering, de détection et de prédiction. Les résultats montrent l'impact du COVID-19, en tant que perturbation à grande échelle et de longue durée, sur la demande de transport public. Ce travail est une étape nécessaire pour comprendre comment les historiques de données ont été affectés par la pandémie et comment ces ensembles de données « corrompues » peuvent être utilisés à des fins analytiques. Les incidents d'exploitation sont également évalués et regroupés selon leurs causes et leurs caractéristiques spatiotemporelles. Différents niveaux d'intensité des incidents

sont mis en avant, pour lesquels différents plans de gestion opérationnels sont proposés. La thèse fournit des perspectives pour détecter les incidents, mieux prédire la demande lorsqu'ils surviennent, et évaluer les plans de gestion les plus courants. Cette thèse constitue une contribution précieuse pour caractériser et améliorer la résilience des systèmes de transport public.

The contemporary urban economic model, emerging from the Industrial Revolution, has attracted people and firms to cities and led to significant growth. However, this growth also causes social and environmental tensions, referred to as “negative externalities” in economic terms. To address these challenges, the concept of resilience has emerged as a key urban policy focus, aiming to build cities that can withstand and recover from market failures. Transportation systems are an essential component of the urban economy, and urban public transport is the backbone of resilient public policies. They contribute to reducing greenhouse gas emissions, avoiding traffic congestion, and improving social inclusion. This appeal for public transport comes with economic and security issues, which put increasing pressure on public transport operators to handle various unplanned disruptions. Disruptions cause frequency reduction, service closure, and demand discrepancy that disturb operations. In this context, measuring resilience is crucial to understanding how public transport reacts to disruptions and adapting disruption management plans. At the strategic level, most of the work focuses on improving the design of public transport networks and studying the variables that influence their ability to withstand disruptions. At the tactical level, disruption management plans are preventive, and based on service-oriented approaches such as rescheduling and substitution. At the operational level, actions taken during disruptions aim to restore the service and contain their effects on operations. At the latter level, demand-oriented solutions are valuable for crowd management and flow reallocation. In recent years, disruption management has been boosted by growing computing capacity and increasing data availability. More specifically, the fine-grained data collected by operators through Automatic Fare Collection (AFC), Automatic Vehicle Location (AVL), and Service Disruptions logs (SD-logs) can be used to track the performance of public transport systems in real-time. Consequently, the operational disruption management paradigm has moved from using service-based solutions such as bridging buses to integrating more data-driven and demand-based solutions. Furthermore, the emergence of Artificial Intelligence aligns with demand

management's objectives for real-time purposes. For instance, it allows the implementation of solutions such as short-term forecasting or disruption detection algorithms in the operators' toolboxes.

The thesis aims to characterize different forms of disruptions and their impacts on demand, assess the resilience of public transport systems and existing management plans, and develop new tools to enhance operations in case of disruptions. The data used in this study are provided by Keolis and focus on the public transport network of Lyon, France. The methodology of the thesis uses Machine Learning techniques for clustering, detection, and prediction purposes. Results show the effect of COVID-19, as a large-scale and long-lasting disruption, on public transport demand. This work is a necessary step to understand how historical data have been impacted by the pandemic and how these ``corrupted" sets of data can be used for analytic or modeling purposes. Service disruptions are also analyzed and clustered according to their cause, space, and time features. In this work, different levels of disruption intensity emerge, for which different operational management plans are proposed. In addition, the thesis provides insights to detect disruptions, better predict demand when they occur, and assess the most common disruption management plans. This study is a valuable contribution to characterizing the resilience of public transport systems and improving resilience through demand-oriented solutions.

/// Composition du jury

M. Louafi BOUZOUINA, LAET : Directeur de thèse

Mme Latifa OUKHELLOU, Université Gustave Eiffel : Rapporteure

Mme Julie LE GALLO, Agro Dijon : Rapporteure

M. Silvio NOCERA, Università luav di Venezia : Examineur

M. Ouassim MANOUT, LAET : Examineur