



N° d'ordre NNT : 2024LYO20011

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 486

Sciences économiques et de gestion

Discipline : Sciences économiques

Soutenue publiquement le 23 mai 2024 par :

Léa FABRE

Contributions and Opportunities of Wi-Fi Data to Improve Transport Demand Knowledge.

Devant le jury composé de :

Thierry BLAYAC, Professeur, Université Montpellier, Président

Trude TØRSET, Professeure, The Norwegian University of Science, Rapporteuse

Francesco VITI, Professeur associé, Université du Luxembourg, Rapporteur

Catherine MORENCY, Professeure titulaire, École Polytechnique de Montréal, Examinatrice

Patrick BONNEL, Directeur de recherche, École Nationale des Travaux Publics de l'État, Directeur de thèse

Caroline BAYART, Maîtresse de conférences, Université Claude Bernard Lyon 1, Co-Directrice de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer ni l'adapter.

La mobilité joue un rôle clé dans les paysages urbains du fait de son importance pour l'économie des villes, de son impact social, mais également de son lien avec les enjeux environnementaux. Le domaine des transports contribue significativement à l'économie d'un pays par son apport au produit intérieur brut ou encore par les emplois qu'il crée. Le domaine des transports est aussi central à l'économie des individus et des ménages car il occupe une place importante dans leur budget, mais également car il permet l'accès au travail, aux loisirs et aux activités sociales, et constitue un élément fondamental de notre vie quotidienne. En particulier, les systèmes de transport collectifs sont un des moyens dont disposent les individus pour se déplacer. Les transports en commun génèrent des avantages évidents pour ces derniers ainsi que pour les communautés, en termes politiques, économiques et environnementaux. Les transports en commun sont également essentiels au bon fonctionnement des villes. Par conséquent, il est nécessaire de planifier les systèmes de transport en commun afin de leur garantir un fonctionnement efficace. Cette planification a pour principal objectif de faire en sorte que l'offre de transport en commun réponde à la demande, afin d'éviter les pertes économiques et d'assurer la satisfaction des utilisateurs. Pour cela, il est important d'avoir une bonne connaissance de la demande de transport en commun, d'autant plus dans un monde en constante évolution.

Actuellement, nous observons une forte croissance démographique mondiale ainsi qu'un important étalement urbain, deux facteurs qui sont les principales causes de l'augmentation de la demande de transport urbain. À cela, il faut ajouter une forte tendance à la diversification des comportements de mobilité, principalement due à l'émergence de nouveaux modes de transport. Ces transformations compliquent grandement la prédiction de la demande de transport.

Les données traditionnellement utilisées pour prévoir cette demande, et pour la planification des transports de manière générale, ne sont plus à même de refléter ces changements dans les comportements de mobilité. Étant donné que la prévision de la demande de transport, et par conséquent la planification, repose sur des modèles et leurs données d'entrée, l'évolution de ces modèles et des données devient nécessaire.

Le développement des technologies de l'information, la digitalisation et le boom de la science des données sont autant de nouvelles opportunités pour la prévision de la demande de transport. Le développement de nouveaux outils et algorithmes, notamment issus de l'intelligence artificielle, contribuent à la diversification et participent à complexifier les modèles pour améliorer la prévision des comportements de mobilité. En parallèle, nous observons également une grande diversification des données utilisées dans la recherche en transport. Parmi ces nouvelles sources de données, les données Wi-Fi sont très prometteuses. Ces données présentent des avantages significatifs lorsqu'elles sont utilisées pour la planification des transports : en plus des volumes de passagers, elles permettent d'obtenir des informations sur les trajets Origine-Destination effectués sur un réseau ; elles sont collectées en continu sur de longues périodes, permettant des études longitudinales sur plusieurs mois ou années ; elles sont collectées de manière passive, ce qui les rend financièrement très intéressantes pour la planification des transports. Cependant, les données Wi-Fi présentent aussi quelques inconvénients : une grande partie des signaux détectés sont des signaux parasites qui doivent être éliminés avant de reconstruire la matrice Origine-Destination, aussi, cette source de données est non exhaustive. Ainsi les données Wi-Fi doivent être traitées avant d'être utilisées dans des modèles de prévision de la demande. En tant que nouvelle méthode de collecte de données sur la mobilité, des questions subsistent quant à la qualité des données, à leur contribution dans le domaine et à la manière dont elles peuvent être utilisées.

L'objectif de cette thèse est de fournir une approche clé en main de l'utilisation des données Wi-Fi pour la connaissance des comportements de mobilité. À cette fin, la thèse évalue la contribution de cette nouvelle technologie de collecte de données passive et des méthodologies qui y sont associées pour améliorer la connaissance des comportements de mobilité et pour optimiser la prévision de la demande de transport. Malgré les inconvénients que présentent les données Wi-Fi dans leur utilisation pour l'analyse de la mobilité, elles contiennent de riches informations spatio-temporelles qui peuvent avoir diverses utilités en planification des transports. Dans cette thèse, nous proposons donc des solutions pour traiter ces données au fort potentiel.

Nous présentons tout d'abord une méthodologie pour filtrer les signaux parasites détectés par les capteurs Wi-Fi de manière à ne construire la matrice Origine-Destination qu'avec les signaux provenant de passagers. Cette étape est basée sur des méthodes d'apprentissage machine, ce qui permet un traitement complet, puissant et reproductible. La méthodologie est dans un premier temps appliquée à un petit échantillon de données, puis elle est reproduite sur un échantillon de données bien plus conséquent. Cela permet de valider la pertinence de la méthode ainsi que sa répliquabilité. Le redressement des données Wi-Fi pour pallier les erreurs de prédiction des volumes de passagers du fait de signaux non détectés est également traité à l'aide de méthodes d'apprentissage machine. Plusieurs algorithmes sont testés et comparés afin de déterminer l'algorithme le plus à même de redresser les données Wi-Fi. Au final, ces méthodes permettent d'obtenir des matrices Origine-Destination à la fois pertinentes pour la structure des déplacements et complètes dans les volumes de déplacements. Ces matrices peuvent être utilisées comme données d'entrée pour les modèles de prévision de la demande de transport ainsi que pour des analyses de la mobilité en continu du fait de la disponibilité des données. Dans cette thèse, nous proposons également un modèle pour quantifier l'erreur entre la matrice Origine-Destination produite par les données Wi-Fi et les déplacements Origine-Destination réels, malgré la rare disponibilité de ces derniers. Il s'agit d'un outil pour mieux comprendre la précision des résultats obtenus avec les données Wi-Fi. Nous utilisons pour cela l'implémentation de bruits aléatoires afin d'obtenir une modélisation de l'erreur faite lors de l'estimation des matrices Origine-Destination à partir de données Wi-Fi. Enfin, quelques applications pour l'utilisation des données Wi-Fi et les analyses de la mobilité qui peuvent être faites à partir de ces dernières sont également présentées.

Dans ces travaux de thèse, des contributions théoriques sont donc apportées à l'utilisation des données Wi-Fi pour représenter les comportements de mobilité, via l'utilisation de nouveaux algorithmes issus du développement de la science des données, ainsi qu'en s'inspirant d'autres disciplines.

Les méthodologies proposées permettent de reconstruire des matrices Origine-Destination complètes, représentant à la fois la structure et les volumes des déplacements sur un réseau, de manière continue. Les travaux permettent également d'évaluer avec précision l'erreur faite lors de l'estimation de ces matrices.

Par conséquent, les données Wi-Fi apparaissent comme une solution intéressante pour enrichir le système de collecte de données de mobilité, ce dernier étant principalement basé sur des enquêtes qui présentent certaines lacunes. Ceci répond à une des objectifs de cette thèse, qui est d'identifier le potentiel des données Wi-Fi pour modéliser les comportements de mobilité. En particulier, nous avons montré que les données Wi-Fi peuvent fournir des matrices Origine-Destination précises, ce qui est un avantage par rapport à d'autres sources de données. D'autres qualités des données Wi-Fi sont mises en évidence, telles que leur pertinence et leur facilité d'utilisation avec des méthodes adaptables. Enfin, la capacité des données Wi-Fi à prévoir en continu la demande de transport est démontrée dans

cette thèse. En effet, les données Wi-Fi pourraient être utilisées pour une analyse spatiale et temporelle continue de la mobilité, ce qui n'est pas possible avec les enquêtes.

Appliqués à la gestion de la mobilité, ces résultats pourraient aider les responsables de la planification des transports, les opérateurs et les chercheurs à améliorer la prévision de la demande de transport et à avoir une vision précise de la demande. Avec une bonne connaissance de cette demande, les opérateurs peuvent proposer des restructurations de réseau afin de fournir un système de transport en commun attrayant, garantissant une bonne utilisation de la part des usagers. Cette bonne connaissance de la demande peut également être un moyen de justifier les moyens déployés par les autorités locales pour les transports en commun, et enfin un moyen de justifier la pertinence de ces systèmes. En effet, les systèmes de transport en commun sont au cœur du paysage urbain, pour des raisons économiques, sociales et environnementales, et leur efficacité est donc d'une importance cruciale.

Pour conclure, les résultats de cette thèse montrent que les données Wi-Fi peuvent enrichir la connaissance des comportements de mobilité, de manière continue et à faible coût. Cet enrichissement potentiel du système de collecte de données apporte de nouveaux moyens d'améliorer la planification des réseaux de transport en commun et de nouvelles opportunités pour la recherche en transports. Étant donnée l'importance des systèmes de transport en commun dans l'écosystème urbain, l'utilisation des données Wi-Fi, avec les méthodologies développées dans cette thèse, pourrait donc contribuer au développement économique, social et environnemental d'une ville.