

Acteurs du transport et de la mobilité en ville : nouveaux enjeux

Etienne Thuillier

*Aix Marseille Univ, Université de Toulon, CNRS, LIS,
DIAMS, Marseille, France
etienne.thuillier@lis-lab.fr*

Laurent Moalic

*Institut de recherche IRIMAS
Université de Haute-Alsace
laurent.moalic@uha.fr*

Sid Lamrous

*Institut FEMTO-ST, Univ. Bourgogne Franche-Comté, CNRS
UTBM, Belfort, France
sid.lamrous@utbm.fr*

Oumaya Baala

*Institut FEMTO-ST, Univ. Bourgogne Franche-Comté, CNRS
UTBM, Belfort, France
oumaya.baala@utbm.fr*

Résumé

De nos jours, la mobilité urbaine de biens et de personnes évolue très rapidement. Place à la mobilité douce (tramway, vélo, marche à pied, etc.), aux usages raisonnés de la voiture (covoiturage, véhicules en libre-service...) et aux véhicules électriques. Et si l'avenir de la mobilité urbaine était un nouveau mode de consommation des transports ? Il s'agirait alors de rassembler tous les moyens de transport à disposition dans une seule offre, avec la garantie d'avoir la meilleure solution pour aller partout, à n'importe quel moment, et en associant différents modes. Ce sont les nouveaux défis du déplacement en ville.

1. Introduction

La mobilité est un facteur d'analyse en amont de tout déploiement de service (réseau de transport, réseau de téléphonie mobile, etc.) qui permet de modéliser le plus fidèlement possible un profil de déplacement dans un espace spatio-temporel afin de comprendre les dynamiques d'un territoire. Dans ce contexte, modéliser la mobilité passe d'abord par une analyse statistique conjuguée de données provenant de différentes sources : des données de sol, des données socio-économiques, des traces de déplacement, etc. Actuellement, une grande quantité de données de mobilité est disponible et qui peut être exploitées, le principal problème n'étant souvent pas la quantité, mais bien de trouver les bonnes données pour la bonne application.

Dans cet article, nous allons passer en revue une variété de projets exploitant différents types de données et ayant des objectifs applicatifs différents. Dans la suite de cette introduction, nous commençons par décrire différents types de données de mobilité, en opérant une distinction entre les données dites historiques, et les nouvelles sources de données. Cette présentation est importante car tout l'enjeu des différents projets que nous présentons réside dans l'utilisation simultanée de ces différentes sources de données. C'est cette alliance de données multi-source, multi-échelle et multimodale qui est à souligner. Dans les sections suivantes, nous décrivons brièvement les projets en rappelant le contexte, l'objectif et les résultats obtenus. La présentation de ces projets se fera d'abord sur la base de l'utilisation multisource des données, puis de leur aptitude à fournir un outil d'aide à la décision.

Données de mobilité historiques

Une première source de données traditionnelles sont les données issues de l'usage du réseau routier (croisements, péages, passages, etc.). Depuis les années 50, ces données ont été utilisées par les services de voirie et d'urbanisme pour construire des modèles de régulation de la circulation. Aujourd'hui encore, de nombreux capteurs, dispositifs télémétriques et outils de collecte en ligne sont utilisés pour l'ingénierie et la surveillance du trafic routier, la détection automatique d'incidents, les prévisions de trafic ou les informations aux voyageurs [1].

Une autre source de données traditionnelles sont les enquêtes sur la mobilité des ménages (Enquête Ménage-Déplacement ou EMD). Les EMD permettent de définir les tendances générales de la mobilité et de suivre les changements de comportement. Ce type d'enquête présente de nombreux avantages, comme la qualité des réponses, la représentativité des données collectées et la grande variété de données complémentaires sur les comportements de mobilité. Cependant, le déploiement d'une EMD est difficile, long et coûteux, ce qui explique le taux de mise à jour relativement faible des EMD (tous les 10 ans environ).

Enfin, depuis l'apparition des premières infrastructures de billetterie magnétique dans les transports publics à la fin des années 70, les opérateurs de transport ont régulièrement utilisé la validation des tickets de transport afin de redimensionner leur réseau et d'adapter leurs offres. De nos jours, de nombreux titres de transport magnétisés permettent des déplacements intermodaux au sein d'une même ville, et l'interprétation de la billetterie d'un réseau offre une solide compréhension des déplacements quotidiens en transports partagés.

Nouvelles sources de données

Bien que les données de mobilité soient traditionnellement collectées à l'aide d'installations statiques (capteurs, bornes de validation, etc.), cette capture a radicalement changé avec la démocratisation de dispositifs de positionnement embarqués tels que le GPS ou le déploiement de réseaux de télécommunication (2G, 3G, etc.). Aujourd'hui, de nouvelles sources de données de mobilité peuvent être trouvées ou créées afin d'affiner la connaissance des flux de mobilité [2].

Les systèmes de positionnement par satellite (GPS, Galileo, Glonass, etc.), par exemple, furent l'une des premières "nouvelles" sources de données à être utilisées. En effet, grâce à l'amélioration constante (taille, autonomie de la batterie) au cours de ces dernières décennies, les capteurs GPS sont désormais embarqués dans presque tous les types d'appareils. Aussi bien les navires, les avions, les voitures, les transports publics, que les smartphones. Et très rapidement, des appareils basés sur le GPS avec une diffusion à l'échelle mondiale, tels que les PDA et les smartphones, ont été utilisés pour étudier les modèles de mobilité humaine [3].

Puis, avec les évolutions technologiques et la mise en place de réglementations internationales, les réseaux mobiles ont permis l'émergence de nouveaux services tels que la géolocalisation. De plus, l'utilisation croissante des téléphones mobiles et les déplacements quotidiens d'utilisateurs font des réseaux mobiles un candidat idéal pour le développement d'une large gamme d'applications d'aide à la décision, notamment dans le domaine des transports [4].

Comme pour les réseaux mobiles, les technologies de communication sans fil, tels que le Wi-Fi, le Bluetooth ou le suivi par RFID, offrent de nouvelles possibilités de géolocalisation. Les cellules virtuelles créées par ces points d'accès constituent des zones de positionnement géographique, souvent de l'ordre de quelques mètres, qui peuvent être utilisées pour suivre la mobilité en milieu urbain [5].

Sur un autre plan, les interactions sociales extraites des appels vidéo, e-mails, tweets, ou du partage d'objets tels que des photos et des vidéos, et les commentaires permettent une nouvelle approche de la mobilité, notamment en modélisant les effets des interactions sociales (domicile, travail, loisirs, etc.) dans des modèles de mobilité [6][7][8].

Enfin, une dernière source d'étude de la mobilité humaine est l'observation des effets des mouvements humains. Un bon exemple est donné par le LIVE! Projet de Singapour [9] où les auteurs comparent les données de consommation du réseau électrique aux comportements de mobilité dans la ville de Singapour.

Représentativité des sources de données

Notons également que chaque source de données peut être caractérisée par sa représentativité et sa précision. Ainsi, des données issues de la téléphonie mobile auront une très bonne représentativité (>100% de pénétration en France) mais une très mauvaise précision (limitée à la taille de la cellule bornée). Inversement des données issues du GPS auront une faible représentativité (de nombreux déplacements sont effectués sans GPS) mais une

meilleure précision géographique. Toutes les données sont affectées dans une certaine mesure par ces limitations. Tout l'enjeu des modèles de mobilité sera de combler au plus juste les éléments manquant dans les données.

2. De nouvelles modélisation de la mobilité

Nous présentons maintenant quatre projets qui illustrent la manière de combiner différents jeux de données multi-sources et multimodales. Nous axons notre présentation en suivant une évolution tout d'abord technologique de l'accès et de l'utilisation des données, mais également avec une évolution des usages de la mobilité, et notamment avec l'utilisation de plus en plus croissante des mobilités douces.

2.1. Les apports de la téléphonie mobile

Les téléphones mobiles sont à l'origine de nouvelles formes de connexion, tant entre les personnes qu'avec les lieux et les infrastructures urbaines. L'objectif est d'utiliser ces nouvelles technologies pour étudier le Paysage Mobile [4], le comportement dans l'espace et dans le temps des sociétés urbaines. Plusieurs travaux de recherche ont ainsi été initiés pour exploiter les informations qui transitent en permanence par les réseaux de télécommunication afin d'observer les mouvements de la ville à différents moments de la journée [10][11][12], ou de la semaine [13]. Bien que la localisation obtenue soit moins précise qu'avec un GPS, la forte présence des relais téléphoniques ainsi que le nombre important d'utilisateurs fournissent une information de masse particulièrement significative.

Territoire Mobile est un projet de 2009 soutenu par l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM), le syndicat en charge des transports publics de Belfort et l'opérateur de téléphonie mobile Orange. Il vise à comprendre la mobilité urbaine et les flux de mobilité à l'intérieur de la ville de Belfort pour ajuster l'offre des transports en commun. Ce projet utilise des données issues des télécommunications pour calculer les flux de mobilité afin de les comparer aux données publiques socio-démographiques.

La phase de collecte de données a permis de récupérer des milliers de traces utilisateurs (Call Detail Records, CDR), qui ont ensuite pu être corrélées à une classification du sol. Le modèle de mobilité utilisé est principalement basé sur le modèle Masked-Based qui définit plusieurs classes de sol et découpe l'environnement en plusieurs mailles plus ou moins attractives en fonction de l'heure de la journée et de leurs classifications au sol. La localisation du CDR (jusqu'alors limité par la couverture d'une antenne radio) est alors répartie en fonction de l'attractivité des mailles. À partir de là, les déplacements des individus sur le territoire sont extraits par tranches de 15 min et mailles de 25 mètres, et ils sont comparés aux données issues des réseaux de bus. Le modèle de mobilité est ajusté avec les données des enquêtes régionales de mobilité, lui donnant ainsi une meilleure représentation de la réalité.

2.2. Fusion de données multi-sources

Norm-Atis (New Standard to develop Advanced Transportation Information Services) est un projet soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-13-TDMO-0007), qui vise à évaluer le déploiement d'outils d'amélioration de la mobilité à travers une plateforme dynamique de visualisation de données de mobilité hétérogène.

Le projet Norm-Atis s'adresse aux autorités et aux décideurs locaux. Il a pour principaux objectifs de proposer un ensemble d'indicateurs de mobilité pertinents afin de donner une vision plus précise des services de mobilité et des comportements de mobilité sur les territoires. Le projet propose d'utiliser des données provenant de multiples fournisseurs nationaux et locaux : capteurs routiers (Mediamobile), données de réseau mobile (Orange), données d'enquêtes (EMD), etc. Ensuite, un modèle de mobilité est utilisé pour fusionner toutes les informations collectées.

Ce modèle utilise une fusion de données hétérogènes pour construire les indicateurs de mobilité définis dans une phase en amont, comme par exemple la répartition des déplacements en trois modes de déplacement, mais également en neuf motifs de déplacement (domicile, travail, loisir, etc.). Pour cela, des comportements de déplacements typiques sont extraits de données traditionnelles de mobilité, puis sont appliqués sur les flux de mobilité dynamique provenant des fournisseurs du projet [14].

D'autres indicateurs sont générés par le modèle et sont ensuite affichés dans un outil en ligne permettant une compréhension rapide des dynamiques de mobilité sur les territoires concernés en laissant à l'utilisateur un contrôle total sur le choix de la temporalité, de l'espace, ou encore des indicateurs de mobilité à afficher.

2.3. Les nouvelles mobilités

Bike-sharing

Ce projet de 2019 vise à analyser les usages du vélo en libre-service dans différentes métropoles américaines. Cette étude suit trois axes principaux : dans un premier temps il s'agit d'enquêter sur les déplacements effectués à l'aide d'un système de partage de vélos (BSS). Dans un deuxième temps une analyse des usages est réalisée, notamment en utilisant des algorithmes d'apprentissage non-supervisé. Enfin, un module de prédiction des déplacements est développé en utilisant un algorithme d'apprentissage supervisé.

Les données de mobilité vélo sont récoltées directement auprès d'opérateurs locaux, puis sont ensuite traitées pour constituer un jeu de données uniformisé sur plus d'un mois. La seconde étape du traitement des données consiste à produire des indicateurs qui permettent de caractériser la dynamique interne des métropoles en analysant les échanges entre le centre-ville et la périphérie de la ville. Dix indicateurs sont ainsi calculés par tranche horaire.

La deuxième étape du projet est de voir s'il existe des similitudes entre les différentes zones de la ville où sont implantées les stations de vélo. Pour cela, des algorithmes d'apprentissage non supervisé sont utilisés pour partitionner les différentes stations de vélo. La particularité de ce projet est que l'on considère une semaine entière de données pour évaluer les similitudes entre les stations de vélo. De manière générale, les métropoles peuvent être réduites à cinq comportements classiques, chacun avec ses spécificités (navetteur depuis la périphérie, usage touristique, usage purement périphérique, etc.).

Enfin, la dernière étape du projet vise à construire un module de prédiction des déplacements (prédiction de l'heure d'arrivée, zone d'arrivée, etc.), basé sur un algorithme de type Random Forest. Nous obtenons des résultats dont la variabilité dépend de la complexité de l'information à prédire, par exemple, 96% de bonne prédiction de l'heure d'arrivée, et moins de 40% de bonne prédiction de la station exacte à l'arrivée.

Car-sharing

L'autopartage, ou le partage d'un véhicule sur un itinéraire précis entre un petit groupe de personnes, émerge comme d'autres options de transport durable. Typiquement, les services d'auto-partage tels que les taxis ou les Sociétés de Réseau de Transport telles que Uber, Lyft, etc. embarquent des terminaux de données mobiles qui donnent des informations sur la nature et la trajectoire d'un trajet, ce qui nous permet d'évaluer le potentiel de plusieurs trajets à être combinés en un seul. Ce projet de 2020 se propose d'étudier le potentiel d'auto-partage appliqué aux taxis de la ville de Porto au Portugal en se basant sur des données réelles de déplacement, avec l'objectif final d'implémenter des méthodes d'optimisation pour l'auto-partage qui minimisent des métriques telles que les temps d'attente, de trajet, etc.

Le jeu de données comporte des relevés de traces de 442 taxis sur une année complète dans la ville de Porto. Une étude préliminaire des trajectoires est menée sur les données réelles dans le but d'optimiser le transport en taxi via l'auto-partage. Pour y parvenir, trois méthodes ont été proposées et implémentées sur l'ensemble des données décrivant les trajectoires. La première méthode détermine les couples origine-destination les plus représentés au moyen d'une matrice, la deuxième détermine le trajet le plus intéressant pour l'autopartage en termes de nombre de trajets intermédiaires, et la troisième identifie la demande potentielle dans le voisinage d'un trajet donné.

Enfin, l'utilisation d'un algorithme de partitionnement a permis de diviser la demande potentielle en un nombre optimal de clusters selon un critère qualitatif. L'analyse finale des résultats indiquent que la première méthode, la troisième méthode, et le Clustering sont toutes des approches pertinentes et efficaces. Cette caractérisation de la mobilité peut ainsi servir de prérequis à l'implémentation d'un algorithme d'optimisation pour un problème de type Problème du Voyageur de Commerce avec profits pour l'auto-partage.

3. Aide à la décision

Les différents projets de mobilité que nous avons menés ont généralement pour objectifs de mieux comprendre la mobilité pour optimiser le déploiement de services. A titre d'exemple le projet **Territoire Mobile** qui s'appuyait sur l'étude du fonctionnement d'un réseau de téléphonie mobile a donné lieu à un outil d'aide à la décision. L'objectif était d'optimiser le positionnement des arrêts de bus, ainsi que le passage des bus. En effet, les Autorités Organisatrices de Transport (AOP) disposent d'informations sur les montées dans les bus mais ne savent pas comment fonctionnerait une ligne si l'arrêt de bus était décalé de 100 mètres. Le projet Territoire Mobile a permis de répondre à ce type de questions.

Présentons à présent deux projets complémentaires qui illustrent comment nous pouvons nous appuyer sur une connaissance fine des besoins en termes de mobilité pour optimiser des services de mobilité.

3.1. PUMDP

PUMDP (Partages, usages et modélisation de la donnée publique) est un des cinq projets de recherche retenus par l'ANR dans le domaine « Ville durable » en 2010. La ville durable appelle une meilleure gestion des ressources et des infrastructures urbaines, ce qui passe par de meilleurs outils de diagnostic, d'évaluation et de planification urbaine. Le cas d'étude de PUMDP se focalise sur la mobilité douce comme le vélo et la marche. Il s'agit de mesurer le niveau de cyclabilité d'un territoire avec l'objectif de représenter et d'analyser dans le temps la fréquentation du réseau cyclable (itinéraires empruntés, itinéraires discontinus, critères de choix, etc.).

Ce projet se base sur deux grands types de données de mobilité : (1) la détection des traces réelles des cyclistes et (2) l'estimation des trajectoires de déplacement des cyclistes à partir de diverses données (EMD, données Vélo STAR, etc.). Le projet intègre aussi bien des données réelles que des données issues de simulations. Le contrôle de la simulation reste entre les mains de l'utilisateur pour intégrer des situations plausibles tout en tenant compte de critères préférés comme la sécurité, la distance, le confort, etc.

3.2. Eco-Taxi

Les modèles de mobilité doivent permettre d'anticiper le déploiement de nouveaux services. A l'heure où il est question de déployer à grande échelle des véhicules électriques se pose la question de la localisation des infrastructures nécessaires. En particulier, la localisation de dispositifs de recharge constitue un élément incontournable pour bénéficier de l'adhésion du plus grand nombre en répondant aux besoins de mobilité de ce nouveau mode de déplacement. Une étude menée dans la région parisienne a permis d'identifier les emplacements stratégiques pour localiser les stations de recharge électriques. Après recueil et analyse des tracés de véhicules thermiques, des indicateurs pertinents sont extraits pour construire le modèle d'optimisation dans ce contexte.

Ce travail a donné lieu à un logiciel d'aide à la décision qui fournit un environnement pour visualiser la mobilité étudiée dans un environnement géographique interactif. Ce logiciel guide l'utilisateur en proposant les emplacements les plus adéquats pour positionner des stations, et fournit une analyse détaillée de l'impact de l'infrastructure mise en place, d'un point de vue des stations en rendant compte de leur taux d'utilisation, mais également d'un point de vue de l'utilisateur en indiquant les déplacements qui ne peuvent se faire en véhicule électrique et en tenant compte de détours à réaliser pour rejoindre une station.

4. Conclusion

Dans cet article nous présentons différents projets de mobilité en suivant une trame technologique, mais également applicative. Nous montrons que l'utilisation de données multisources, multimodales et multiéchelles peut s'appliquer dans de nombreux domaines, depuis la modélisation de la mobilité, jusqu'à la création d'outils d'aide à la décision.

Cet article se veut comme un passage en revue d'un panel de projets à travers lesquels nous avons voulu montrer la variété des données exploitables, et leur potentiel à fournir des informations ou construire de la connaissance sur la mobilité ou à servir de base pour des outils d'aide à la décision, notamment dans le domaine du transport.

Actuellement, beaucoup de données sont disponibles, et chacun de ces projets illustre l'importance du choix des données en termes de sémantique et des processus d'exploitation de ces dernières. Aujourd'hui, la tendance est à la mise en place de projets dont les finalités sont avant tout d'analyser les mobilités douces, d'anticiper les changements de comportements des usagers, et de prévoir les évolutions des mobilités partagées.

5. Références

- [1] V-Traffic. « V-Traffic - L'info trafic en temps réel en France : accidents, bouchons, météo », 2017.
- [2] ASGARI, Fereshteh; GAUTHIER, Vincent; BECKER, Monique. A survey on Human Mobility and its applications. arXiv:1307.0814 [physics], Jul. 2013.
- [3] Projet « Amsterdam Real Time », 2002, Disponible sur : http://realtime.waag.org/en_index.html
- [4] CALABRESE, Francesco; RATTI, Carlo. Real time Rome. Networks and Communication Studies. Vol. 20, 2006.
- [5] CALABRESE, Francesco; READES Jon; RATTI, Carlo. Eigenplaces: Segmenting Space through Digital Signatures. IEEE Pervasive Computing, vol. 9, no. 1, pages 78-84, Jan. 2010.
- [6] GONZALEZ, Marta C.; HIDALGO, César A.; BARABASI, Albert-László. Understanding individual human mobility patterns. Nature, vol. 453, no. 7196, pages 779-782, 2008
- [7] SCHNEIDER, Christian; BELIK, Vitaly; COURONNE, Thomas; SMOREDA, Zbigniew; GONZALEZ, Marta C. Unravelling daily human mobility motifs. Journal of The Royal Society Interface, vol. 10, no. 84, page 213-246, July 2013.
- [8] TOOLE, Jameson L.; ULM, Michael; GONZALEZ, Marta C.; BAUER, Dietmar. Inferring Land Use from Mobile Phone Activity. In Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, UrbComp '12, 2012. ACM
- [9] KANG, Chaogui; SOBOLEVSKY, Stanislav; YU, Liu; RATTI, Carlo. Exploring Human Movements in Singapore A Comparative Analysis Based on Mobile Phone and Taxicab Usages. In Proceedings of the 2Nd ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, UrbComp 13, 2013. ACM.
- [10] CALABRESE, Francesco; COLONNA, M.; LOVISOLO, P; PARATA, D; RATTI, Carlo. Real-Time Urban Monitoring Using Cell Phones: A Case Study in Roma. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 12, no. 1, pages 141-151, March 2011.
- [11] FRIAS-MARTINEZ, Vanessa; SOGUERO, Cristina; FRIAS-MARTINEZ, Enrique. Estimation of Urban Commuting Patterns Using Cellphone Network Data. In Proceedings of the ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing, UrbComp'12, 2012. ACM.
- [12] ARCOLEZI Héber H., COUCHOT, Jean-François; BAALA, Oumaya; CONTENT, Jean-Michel, AL BOUNA B. and XIAO X., Mobility modeling through mobile data: generating an optimized and open dataset respecting privacy, 16th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC), Limassol, Cyprus, 2020.
- [13] THUILLIER, Etienne; MOALIC, Laurent; LAMROUS, Sid; CAMINADA, Alexandre. Clustering weekly patterns of human mobility through mobile phone data. IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. PP, no. 99, 2017
- [14] THUILLIER, Etienne; MOALIC, Laurent; CAMINADA, Alexandre. Dynamic Purpose Decomposition of Mobility Flows Based on Geographical Data. Mons, Belgium, October 2017.