

***Apprentissage automatique et simulation pour l'identification et la prédiction des facteurs déterminants de la qualité de service des transports publics.***

***Application au bus à Haut Niveau de Service de Rennes-Métropole***

## **Contexte**

Densification du maillage, augmentation des fréquences et de la qualité de service sont les facteurs les plus importants pour augmenter l'attractivité des transports publics et leur faire gagner des parts de marché relativement aux véhicules particuliers. La qualité de service englobe différents aspects ; les études montrent cependant qu'à côté de la sécurité, les éléments qui apportent le plus de satisfaction aux usagers sont la vitesse commerciale et la fiabilité [1].

Rennes Métropole possède un réseau de transport en commun attractif qui s'observe par une part modale très significative (Enquête ménages déplacements 2018 : 13,7%) ; et elle poursuit ses investissements pour la densification du réseau (ouverture de la ligne b du métro) et étudie les opportunités de mettre en service un BHNS (Bus à Haut Niveau de Service) pour compléter l'offre de mobilité.

Keolis Rennes, exploitant de Rennes Métropole sur la délégation de service public 2018-2024, a missionné un doctorant CIFRE en 2018 pour modéliser les facteurs influents de la vitesse commerciale bus, en agrégeant des données hétérogènes (fréquentation du réseau, congestion urbaine, éléments de voirie urbaine, cohabitation bus/cyclistes...). Cette thèse a permis en premier lieu d'évaluer la qualité des données disponibles et en second lieu de construire un modèle permettant de prédire les temps de trajet des bus sur des inter-arrêts en fonction de différents facteurs (distance de l'inter-arrêt, type de ligne, heure de la journée, période de vacances ou de week-end). Les prédictions réalisées par ce modèle au niveau inter-arrêt peuvent être combinées pour obtenir les temps de trajet sur des tronçons de ligne comportant plusieurs inter-arrêts [2].

## **Objectif**

L'objectif de cette nouvelle thèse est d'étendre le modèle développé [2] et de l'enrichir afin d'approfondir la connaissance des opérations d'exploitation qui impactent le plus la qualité des transports en commun. Ceci en se concentrant le plus sur la vitesse commerciale et sur la fiabilité du temps de parcours, dans le contexte de la mise en service de nouvelles lignes à haut niveau de service.

La vitesse et la régularité sont les attributs de qualité du service les plus importants pour les usagers [3]. Ils sont tout aussi importants pour les exploitants, leur permettant d'une part, d'augmenter la fréquence, d'attirer de nouveaux voyageurs grâce à l'amélioration du service.

Atteindre une vitesse et une fiabilité plus élevées dépend d'un éventail de variables et de mesures liées à l'infrastructure et à la gestion [4]. Le rapport final de l'action COST [5] donne une analyse

des pratiques de 35 BHNS européens ; alors que (Hensher et Golob, 2008) [6] ont effectué une évaluation comparative sur 44 systèmes BHNS dans le monde sur la base de la conception du système, du nombre des passagers et des coûts. Ces études ont contribué à une meilleure compréhension des principaux facteurs liés au BHNS et à la performance globale du système par rapport à des variables de conception clé telles que la distance entre les arrêts, la longueur de la ligne ou la fréquence en heure de pointe.

Notre objectif dans cette thèse est d'étendre le modèle développé afin de tenir compte d'autres facteurs impactant la vitesse et sa régularité tels que l'environnement de circulation (type de voirie, feux tricolores, conflits avec les autres modes de circulation (voiture, vélo, piétons ...), de lui ajouter de nouvelles fonctionnalités afin d'améliorer ses performances prédictives et de l'étendre à la modélisation d'autres paramètres d'exploitation tels que les emplacements des points de vente, etc.

Vu le manque de données concernant les BHNS dans la Métropole de Rennes, nous aurons recours, au sein de cette thèse, à deux méthodes :

- 1- Utiliser des données provenant d'un autre réseau BHNS dans une autre ville, telle que la ville de Lyon ou Bordeaux.
- 2- Utiliser un modèle de simulation du trafic (par exemple SUMO ou MATSIM) pour générer des données propres au contexte des BHNS de la Métropole de Rennes (situation de cohabitation avec les vélos ou les piétons, simulation de différentes distances des inter-arrêts, nombre de voies, etc.)

Afin d'améliorer les performances du modèle prédictif, nous nous intéresserons aux deux méthodes suivantes :

- 1- Le modèle prédictif pourra également être amélioré en utilisant des techniques de prédiction de type ensembliste dynamique, comme par exemple dans [7]. Le modèle prédictif utilisé jusqu'alors est un modèle ensembliste classique.
- 2- Le modèle prédictif est construit pour faire des prédictions « micro » (c'est-à-dire à l'échelle de l'inter-arrêt). On peut néanmoins obtenir des prédictions sur des tronçons par une opération simple de combinaison (somme des différents temps de trajet estimés sur chaque tronçon). Les informations de temps de trajet sur des tronçons sont disponibles dans les données d'apprentissage, mais ne sont pas utilisées pour créer le modèle. Nous envisagerons d'utiliser des techniques dites de « réconciliation de prédiction » afin de prendre en compte à la fois les informations au niveau inter-arrêt et au niveau des tronçons, comme par exemple dans [8].

Ce modèle serait par la suite utilisé pour étudier les performances attendues et comparer différentes variantes de tracés / équipements pour des lignes non encore réalisées afin de pouvoir optimiser le fonctionnement de celles-ci.

## **Organisation des travaux de recherche**

- Etape 1 : Bibliographie et appropriation du modèle prédictif développé par Gauthier LYAN
- Etape 2 : Traitement des nouvelles données de la ville de Rennes ainsi que des autres villes choisies ayant un BHNS
- Etape 3 : Etude des modèles de simulation du trafic multimodal existants et choix du modèle
- Etape 4 : Extension du modèle à d'autres aspects de l'exploitation des BHNS et analyse des facteurs déterminants pour la vitesse et la fiabilité du temps de parcours
- Etape 5 : Améliorations du modèle prédictif
- Etape 6 : Evaluation
- Etape 7 : Rédaction du rapport

## **Bibliographie**

[1] Y.O. Susilo and O.Cats "Exploring key determinants of travel satisfaction for multi-modal trips by different traveler groups". Transportation Research Part A, vol 67, Pages 366–380. (2014)

[2] G. Lyan, D. Gross-Amblard and J-M. Jezequel, On the quality of compositional prediction for 'What-If' analytics on graphs, submitted (où).

[3] M. Fadaei, O. Cats, Evaluating the impacts and benefits of public transport design and operational measures. Transport Policy, Volume 48, 2016, Pages 105-116,  
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.02.015>.

[4] Bhouri, N., Aron, M., Scemama G.; "Gini Index for Evaluating Bus Reliability Performances for Operators and Riders". Transportation Research Board, 95th TRB annual meeting. 10–14, 2016, Washington D.C.

[5] COST TU 0603, Buses with High Level of Service Fundamental characteristics and recommendations for decision-making and research Results from 35 European cities. Edited by B. Finn, O. Heddebaut et al.; 2010

[6] Hensher, D.A., Golob, T.F. Bus rapid transit systems: a comparative assessment. Transportation 35, 501–518 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11116-008-9163-y>

[7] V. Cerqueira, L. Torgo and C. Soares, Arbitrated Ensemble for time series forecasting, ECML PKDD 2017, Springer

[8] J. Mendes-Moreira and M. Baratchi, Reconciling predictions in the regression setting: an application to bus travel time prediction AALTD 2019.

## Encadrants

**Neïla Bhourî** est chercheuse au laboratoire COSYS / GRETTIA de l'université Gustave Eiffel-ex-IFSTTAR. Elle a obtenu son doctorat en automatique de l'Université Paris XI-Orsay en 1991 et son HDR (Habilitation à Diriger des Recherches) de l'Université Paris-Est Marne La Vallée sur les thèmes de la « Régulation, fiabilité et qualité de service des réseaux de transports multimodaux ». Elle a été maître de conférences (1993 – 1999) et assure aujourd'hui des activités ponctuelles d'enseignement. Son domaine de recherche couvre les thèmes de la modélisation, de la régulation et de la qualité de service des transports multimodaux. Elle a participé à de nombreux projets nationaux et internationaux, notamment le projet Indira-B traitant de la qualité de service (<https://www.youtube.com/watch?v=rdPj16xp6o4>). Elle a également effectué des missions en tant qu'experte auprès du ministère chargé des transports et de l'OCDE. (<https://www.ifsttar.fr/menu-haut/annuaire/fiche-personnelle/personne/bhourî-neila/>).

**Simon Malinowski** est maître de conférences à l'université de Rennes 1 depuis 2014. Il a obtenu un doctorat en traitement du signal auprès de l'université de Rennes 1 en 2008. Son domaine de recherche couvre les thèmes de l'analyse de données et de l'apprentissage automatique, en particulier avec des données temporelles. Il a participé à de nombreux projets nationaux et internationaux, avec notamment une collaboration avec le laboratoire PUC MINAS de l'Université du Minas Gerais au Brésil. Plus d'informations peuvent être trouvées sur la page web : <http://people.irisa.fr/Simon.Malinowski/>

Le(a) doctorant(e) sera rattaché au service Etudes de Keolis Rennes et sera basé(e) géographiquement à Rennes, principalement au sein de Keolis.

**Keolis Rennes**, une filiale à 100 % du groupe Keolis, exploite pour le compte de Rennes Métropole deux services de transport public de voyageurs :

- le réseau STAR bus+métro, depuis le 1er janvier 1999 (renouvelé les 1er janvier 2006 et 2013) et jusqu'au 31 décembre 2017, dans le cadre d'une délégation de service public, elle-même renouvelée du 1er janvier 2018 au 31 décembre 2024 avec un nouveau contrat intégrant notamment LE vélo STAR ;
- le service LE vélo STAR, depuis le 22 juin 2009, dans le cadre d'une délégation de service public pour 7 ans.

L'entreprise compte environ 950 salariés dont 500 conducteurs de bus. Outre la mission d'exploitation du réseau bus, métro, vélo de la métropole rennaise, Keolis est aussi en charge de conseiller les pouvoirs publics pour les évolutions du plan de transports. Côté entreprise, la collaboration implique la direction qualité en charge entre autres des problématiques de ponctualité et de vitesse commerciale et le service méthodes en charge du suivi et de l'exploitation en temps réel des données opérationnelles.

## **Profil du/de la candidat-e**

Vous êtes diplômé(e) d'une école d'ingénieurs ou universitaire en génie logiciel ou titulaire d'un Master Recherche dans le domaine de l'informatique. Des compétences en base de données et en modélisation seraient appréciées.

Vous disposez également d'une aisance relationnelle tant à l'oral qu'à l'écrit, êtes curieux.se, méthodique, autonome, avez un esprit de synthèse. Vous êtes capable de vous intégrer à une équipe et de travailler en mode collaboratif.

Le(a) doctorant(e) sera rattaché au service Etudes de Keolis Rennes et sera basé(e) géographiquement à Rennes, en proximité de l'Autorité Organisatrice de mobilité, du délégataire Keolis Rennes, du réseau de Transport étudié.

Pour faciliter l'intégration dans le secteur des mobilités urbaines, un parcours d'intégration sur mesure sera construit : découverte des modalités de conception d'un réseau de transports, présentation des modalités d'exploitation d'un réseau de transport, rencontre avec Rennes Métropole sur les attendus de son réseau de transport, temps de transmission avec le précédent doctorant, échanges avec les équipes systèmes d'information avec lesquelles le(a) doctorant(e) sera en interaction...).

La thèse démarrera idéalement en septembre ou octobre 2021.

## **Contacts**

Les candidatures sont à envoyer simultanément à :

Simon MALINOWSKI : [simon.malinowski@irisa.fr](mailto:simon.malinowski@irisa.fr)

et

Neila BHOURI : [neila.bhourri@univ-eiffel.fr](mailto:neila.bhourri@univ-eiffel.fr)