

ROADEF 2023 : éco-routing : étude à grande échelle des itinéraires issus de données GPS à Lyon

Alexandre Jayol¹, Delphine Lejri¹, Ludovic Leclercq¹
¹Univ Lyon, Univ Eiffel, ENTPE, LICIT-ECO7, F-69675 Lyon, France
{alexandre.jayol, delphine.lejri, ludovic.leclercq}@entpe.fr

Mots-clés : *Optimisation de trajet, éco-routing, forêt aléatoire, algorithme dynamique de Dijkstra, émissions de polluants, Copert, données GPS.*

1 Introduction

En France, le secteur du transport routier est une source majeure de pollution atmosphérique dans les zones urbaines [1]. Il existe plusieurs solutions pouvant être mises en œuvre pour réduire les émissions de polluants, améliorer la qualité de l'air extérieur et lutter contre le changement climatique. En effet, les technologies des moteurs, l'énergie utilisée ou encore l'optimisation d'itinéraires d'un point de vue des émissions (éco-routing) constituent toujours des leviers pour y parvenir. Ces travaux sont orientés sur la recherche d'optimisation d'itinéraires moins polluants.

Les années 2000 ont été marquées par l'essor du GPS et du fort intérêt de la recherche dans l'investigation de ces données. Dans le domaine des transports, les traces GPS permettent en effet de mieux caractériser les itinéraires comparativement aux capteurs statiques, e.g. les boucles magnétiques ou les caméras. Elles fournissent en outre des informations utiles permettant d'évaluer les états de trafic du réseau routier et les émissions de polluants à l'aide du modèle COPERT [2]. Des études ont montré que l'itinéraire le plus court ou le plus rapide ne correspond pas toujours à l'itinéraire optimal d'un point de vue environnemental, notamment en période de congestion [3-5]. Des méthodes d'éco-routing ont été développées avec des modèles de simulation de trafic routier [4,6-7] ou avec des données expérimentales s'appuyant sur les mesures de trafic (boucles, capteurs, GPS) ou sur les mesures d'émissions (On-road Emission (OEMs), Portable Emission Measurement System (PEMS)) [5,8-11]. Cependant, les modèles de simulation de trafic sont intéressants pour réaliser des études à grandes échelles mais ils demeurent moins réalistes comparativement aux itinéraires issus des données GPS, l'objectif de l'éco-routing étant de proposer des itinéraires moins polluants pour des itinéraires réels. En outre, les OEMs et les PEMS sont onéreuses et limitées aux véhicules utilisés lors de l'étude. Ainsi, les données issues des GPS semblent être le meilleur choix pour considérer les problèmes d'éco-routing. La majeure partie des études d'éco-routing basées sur les données GPS sont limitées par le nombre d'itinéraires étudiés en raison de données manquantes et d'interruptions des enregistrements des traces GPS. En conséquence, cette étude propose une approche innovante pour exploiter efficacement une base de données massives de traces GPS (100 millions d'observations de trajets de 500 000 véhicules) et rechercher des itinéraires alternatifs à 11 000 trajets réalisés les dix premiers jours de novembre 2017 dans la ville de Lyon.

2 Matériels et méthodes

Dans le cadre de ces travaux, nous proposons un cadre méthodologique pour rechercher des trajets alternatifs durables et évaluer les réductions potentielles d'émissions à partir d'une base de données

GPS. Pour cela, nous étudions des trajets réels effectués en novembre 2017 dans la région de Lyon en utilisant un ensemble de données massives de traces GPS.

Le premier enjeu scientifique est d'établir toutes les quinze minutes une estimation des conditions de trafic pour lesquels il n'y a pas d'information (les vitesses moyennes sur chaque tronçon). La période d'agrégation des vitesses de quinze minutes est définie pour minimiser les données manquantes d'une part, et d'autre part, pour prendre en compte les similitudes temporelles tout en préservant la dynamique des informations du réseau, notamment aux heures de pointe. Tout d'abord, nous utilisons la base de données des traces GPS afin d'évaluer les vitesses des véhicules pour chaque tronçon du réseau et chaque période de quinze minutes, lorsque cette information est accessible. Ensuite, un algorithme de régression de forêt aléatoire est développé pour inférer les données manquantes et ainsi reconstituer la vitesse moyenne toutes les quinze minutes sur l'ensemble des maillons du réseau. Une carte dynamique des vitesses est ainsi obtenue.

La deuxième barrière à lever est de construire un ensemble de trajets fiables. En raison de la structure des données GPS, les trajets peuvent en effet présenter des lacunes spatiales et/ou temporelles nécessitant un traitement pour retrouver le trajet du véhicule concerné. Ainsi, certains trajets discontinus sont enrichis spatialement en s'inspirant de la méthode d'enrichissement des trajets de Papuiri et al [12]. L'algorithme de Dijkstra est exécuté pour déterminer le plus court chemin en utilisant un graphe dirigé et pondéré du réseau routier de Lyon. Ensuite, les horodatages des entrées et sorties des liens sont reconstruits avec la carte dynamique des vitesses construite auparavant. Seuls les trajets réels pour lesquels la recherche d'un trajet alternatif durable a un sens sont conservés pour la présente étude.

Enfin, le dernier objectif est de mettre en œuvre une méthode de recherche de trajets alternatif durable et d'évaluation des émissions de polluants afin d'estimer les économies d'émissions potentielles. Des graphes dirigés du réseau routier sont construits pour chaque polluant ou multi-polluants (combinaison linéaire de facteurs d'émission de plusieurs polluants). Ces graphes sont composés de nœuds et d'arêtes. Les arêtes représentent les tronçons routiers et peuvent contenir des informations utiles, telles que les émissions de polluants, la vitesse moyenne, la longueur des liaisons, etc. Pour étudier les chemins alternatifs écologiques, les émissions de polluants sont estimées pour chaque intervalle de quinze minutes avec un modèle d'émission macroscopique COPERT basé sur la vitesse moyenne des liaisons. Ces informations sont fournies à chaque arête, et l'itinéraire alternatif durable est déterminé avec les émissions comme poids. Le temps de parcours de chaque tronçon est également stocké afin de mettre à jour le poids des émissions pour l'application de la méthode dynamique de l'algorithme de Dijkstra. La méthodologie est représentée par la Figure 1 ci-dessous

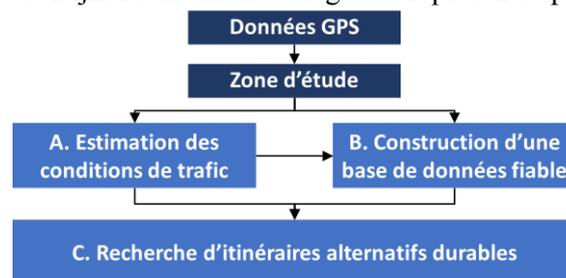


FIG. 1 – Méthodologie

3 Conclusions et perspectives

En utilisant les facteurs d'émission de COPERT pour le CO₂, les NO_x et les PM₁₀ et l'algorithme de Dijkstra dépendant du temps, nous avons réussi à identifier entre 51% et 72% de trajets alternatifs durables, en fonction de la technologie du moteur et du polluant. Leur gain potentiel en termes d'émissions de polluants aurait pu être compris entre 0 et 60% avec une augmentation modeste de la durée du trajet (en moyenne 1 minute de plus que le trajet le plus rapide qui est en moyenne de 10,53 minutes) et de la distance parcourue (environ 0,1 km de plus que le trajet le plus court qui est en moyenne de 8,42 km).

4 Références

- [1] Commissariat Général du Développement Durable. *Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2018* : 6–10, 2019.
- [2] L. Ntziachristos, D. Gkatzoflias, C. Kouridis, Z. Samaras. *COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model*. In Proceedings of the Information Technologies in Environmental Engineering. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg : 491–504, 2009.
- [3] M. Barth, K. Boriboonsomsin, A. Vu. *Environmentally-Friendly Navigation*. In Proceedings of the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC : 684–689, 2007.
- [4] K. Ahn, H.A. Rakha. *Network-Wide Impacts of Eco-Routing Strategies: A Large-Scale Case Study*. Transportation Research Part D : Transport and Environment, vol.25 : 119–130, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.09.006>.
- [5] E. Ericsson, H. Larsson, K. Brundell-Freij. *Optimizing Route Choice for Lowest Fuel Consumption – Potential Effects of a New Driver Support Tool*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol.14 : 369–383, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2006.10.001>.
- [6] J. Sun, H.X. Liu. *Stochastic Eco-Routing in a Signalized Traffic Network*. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, vol.59 : 32–47, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.06.002>.
- [7] J. Wang, A. Elbery, H.A. Rakha. *A Real-Time Vehicle-Specific Eco-Routing Model for On-Board Navigation Applications Capturing Transient Vehicle Behavior*. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, vol.104 : 1–21, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.04.017>.
- [8] W. Zeng, T. Miwa, T. Morikawa. *Prediction of Vehicle CO2 Emission and Its Application to Eco-Routing Navigation*. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, vol.68 : 194–214, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.04.007>.
- [9] Yao, E.; Song, Y. *Study on Eco-Route Planning Algorithm and Environmental Impact Assessment*. Journal of Intelligent Transportation Systems, vol.17 : 42–53, 2013. <https://doi.org/10.1080/15472450.2013.747822>.
- [10] Zeng, W.; Miwa, T.; Morikawa, T. *Application of the Support Vector Machine and Heuristic K-Shortest Path Algorithm to Determine the Most Eco-Friendly Path with a Travel Time Constraint*. Transportation Research Part D : Transport and Environment, vol.57 : 458–473, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.10.001>.
- [11] Zeng, W.; Miwa, T.; Morikawa, T. *Eco-Routing Problem Considering Fuel Consumption and Probabilistic Travel Time Budget*. Transportation Research Part D : Transport and Environment, vol.78 : 102219, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102219>.
- [12] M. Paipuri; Y. Xu; M.C. González, L. Leclercq. *Estimating MFDs, Trip Lengths and Path Flow Distributions in a Multi-Region Setting Using Mobile Phone Data*. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, vol. 118 : 102709, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102709>.