

# Heuristiques pour l'amélioration des réseaux cyclables

Félix Repusseau<sup>1,2</sup>, Tifenn Rault<sup>1</sup>, Emmanuel Néron<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire LIFAT, Université de Tours, France  
{emmanuel.neron, tifenn.rault}@univ-tours.fr

<sup>2</sup> La Compagnie des Mobilités, 37000 Tours, France

**Mots-clés :** *recherche opérationnelle, optimisation, réseaux cyclables.*

## 1 Introduction

Nous nous intéressons à l'amélioration d'un réseau cyclable afin d'augmenter la sécurité globale des usagers. Alors que le développement de la mobilité à faibles émissions de GES est un enjeu essentiel pour toutes les villes, il apparaît aujourd'hui nécessaire de déployer intelligemment les aménagements cyclables pour renforcer le sentiment de sécurité des usagers [5, 2, 4]. Le problème que nous abordons ici consiste à utiliser un ensemble de traces GPS correspondant aux trajets empruntés par les cyclistes, pour proposer des améliorations du réseau cyclable, dans le respect d'un budget donné. Ce travail fait suite à la proposition d'un modèle mathématique dont l'usage sur les instances réelles s'est avéré limité [3].

## 2 Présentation du problème

Nous disposons d'un *graphe* décrivant le réseau (réseau routier et ses aménagements cyclables), et pour chacun des arcs des *coûts représentant la distance et l'insécurité des arcs avant, et après aménagements éventuels*. Nous considérons ici que le coût d'une amélioration est proportionnel à la distance de l'arc modifié. Le coefficient de proportionnalité dépend du type d'aménagement et de la vitesse maximale des voitures si l'aménagement est partagé. Nous prenons en compte également un ensemble de *traces utilisateurs*, i.e., des chemins empruntés par des utilisateurs cyclistes sur le graphe. Pour chaque trace une *préférence de l'utilisateur* entre la distance et l'insécurité est déterminée. Cette préférence est recalculée en fonction du chemin pris par l'utilisateur et des chemins le plus court et plus sécurisé entre son origine et sa destination. Enfin, pour réaliser ces aménagements nous disposons d'un *budget*, correspondant à la longueur maximale de voies pouvant bénéficier d'un aménagement.

L'objectif est de proposer un ensemble d'arcs à aménager qui améliore (1) l'effort des utilisateurs, i.e., qui leur permettent de bénéficier d'un meilleur chemin au sens de la préférence qui a été établie (compromis entre la distance et la sécurité) entre leur point de départ et leur point d'arrivée, (2) les propriétés intrinsèques du graphe. A ce titre nous considérons ici quelques indicateurs de cyclabilité du réseau comme la couverture du réseau par des aménagements cyclables, le nombre de composantes connexes, la taille des composantes connexes, la résilience du réseau (la possibilité de relier deux sommets des composantes connexes si un arc est supprimé).

Pour ce problème, un modèle mathématique a déjà été établi [3], optimisant l'effort global des utilisateurs.

## 3 Quelques heuristiques

Nous présentons ici quelques heuristiques basées sur des travaux de la littérature adaptés au problème tel que nous l'avons défini.

**Heuristiques basées sur la topologie du réseaux.** Ces méthodes [5] cherchent à améliorer la connexité du réseau cyclable, en connectant des composantes connexes entre-elles. Deux versions sont proposées : *Largest to Second* qui vise à connecter la composante connexe la plus grande à la seconde plus grande et *Largest to Closest* qui vise à relier la composante la plus grande à celle qui est la plus proche de cette dernière. Dans les deux cas, tous les chemins permettant de connecter les deux composantes connexes sont testés, dans la limite du budget restant. Une fois les deux composantes connectées, on recalcule la taille de la composante fusionnée et on itère tant que le budget restant est non nul.

**Heuristiques basées sur les fréquentions du réseaux par les cyclistes.** A partir des traces des utilisateurs nous pouvons associer à chaque arc une fréquentation, i.e., le nombre de traces passant par cet arc. L'heuristique inspirée de [1] cherche à faire croître les réseaux cyclables en conservant la caractéristique de connexité tout en prenant en compte cette fréquentation. Ainsi les arcs améliorables sont les arcs connexes à un aménagement existant. Parmi les arcs aménageables celui de plus grande fréquentation dont l'aménagement a un coût inférieur au budget restant est choisi. Les arcs connexes à l'aménagement réalisé deviennent aménageables. On itère tant que le budget est non nul.

**Heuristiques basées sur les traces utilisateurs.** Cette dernière heuristique cherche à évaluer pour chaque arc, le gain potentiel que les utilisateurs peuvent retirer de cet aménagement. Pour cela, pour chaque utilisateur, le meilleur chemin, intégrant la préférence utilisateur est recalculé en supposant l'aménagement réalisé. Si l'effort de l'utilisateur est meilleur en considérant cet aménagement, on considère ce gain pour l'utilisateur. Le gain d'un arc est la somme des gains des différents utilisateurs. L'arc choisi pour être aménagé est l'arc de plus grand gain dans la limite du budget restant. On itère tant que le budget est non nul.

## 4 Conclusions et perspectives

Les résultats de ces heuristiques seront présentés lors de la conférence. Sur des instances réduites (soit en taille du réseau, soit en nombre de traces considérées) ces résultats seront comparés aux résultats produits par le modèle mathématique qui ne considère que le critère d'effort global des utilisateurs. Des résultats seront également présentés sur des instances de taille réelle (ville de Tours et de Paris, avec un nombre de traces conséquent). Des perspectives pour l'amélioration du réseau cyclable, seront également abordées, à la fois en terme d'équité des améliorations retenues par rapport aux différents utilisateurs, et en terme de résolution des discontinuités du réseau cyclable.

## Références

- [1] Bao Jie, He Tianfu , Ruan Sijie, Li Yanhua, Zheng, Yu. (2017). Planning Bike Lanes based on Sharing-Bikes' Trajectories. *KDD '17 : Proceedings of the 23rd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2017, pp 1377–1386
- [2] Sheng Liu, Zuo-Jun Max Shen, Xiang Ji. Urban Bike Lane Planning with Bike Trajectories : Models, Algorithms, and a Real-World Case Study. *Manufacturing & Service Operations Management* 24(5) : 2500-2515, 2021.
- [3] Emmanuel Néron, Tifenn Rault, Felix Repousseau, Improving Bicycle Network ; *ROADEF 2023*, Rennes.
- [4] Juan P. Ospina, Juan C. Duque, Veronica Botero-Fernandez, Alejandro Montoya. The maximal covering bicycle network design problem, *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, 159 : 222–236, 2022.
- [5] Natera Orozco Luis Guillermo, Battiston Federico, Iñiguez Gerardo and Szell Michael, 2020. Data-driven strategies for optimal bicycle network growth. *R. Soc. open sci.*, Heuristiques pour l'amélioration des réseaux cyclables