



HAL
open science

Optimisation du Covoiturage entre Particuliers : étude du problème de covoiturage dynamique à sauts multiples

Corwin Fevre, Hayfa Zgaya-Biau, Philippe Mathieu, Slim Hammadi

► To cite this version:

Corwin Fevre, Hayfa Zgaya-Biau, Philippe Mathieu, Slim Hammadi. Optimisation du Covoiturage entre Particuliers : étude du problème de covoiturage dynamique à sauts multiples. CNRIUT 2023 Saint Pierre - La Réunion, IUT de Saint Pierre, Jun 2023, Saint Pierre (La Réunion), La Réunion. hal-04326695

HAL Id: hal-04326695

<https://hal.science/hal-04326695>

Submitted on 6 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Optimisation du Covoiturage entre Particuliers : étude du problème de covoiturage dynamique à sauts multiples

Corwin Fèvre^{1,3} Hayfa Zgaya-Biau² Philippe Mathieu¹ Slim Hammadi³
corwin.fevre@univ-lille.fr

¹ IUT, Université de Lille

Centre de Recherche en Informatique Signal et Automatique de Lille
Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 - CRISAL

² Université de Lille

Centre de Recherche en Informatique Signal et Automatique de Lille
Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 - CRISAL

³ Centrale Lille

Centre de Recherche en Informatique Signal et Automatique de Lille
Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, UMR 9189 - CRISAL

THÈMES – Informatique

RÉSUMÉ – La crise écologique et énergétique actuelle mène à la nécessité de trouver des alternatives à l'autosolisme (conduite solitaire). Le covoiturage représente une solution prometteuse, notamment sous sa forme dynamique. Un système de covoiturage dynamique s'adapte en temps réel aux changements d'état de l'environnement afin de satisfaire les utilisateurs, à savoir les passagers et les conducteurs. Pour respecter ce caractère temps réel, il est nécessaire, d'une part, de maîtriser la complexité liée à l'optimisation des trajets, et d'autre part, de veiller à éviter la concentration de données sur un même système. Pour ce faire, nous proposons d'allier les systèmes multi-agents - dont la nature est intrinsèquement individu-centrée et décentralisée - à différents algorithmes d'optimisation dans le but de répondre aux problématiques énoncées. Le système proposé dans cet article permet de traiter dynamiquement des requêtes complexes de passagers tout en minimisant l'impact du partage de trajet pour les conducteurs, et ce, pour un large spectre de préférences et de comportements.

MOTS-CLÉS – Covoiturage, Simulation, Optimisation, Agents

1 Introduction

Sur nos routes, la majorité des voitures particulières (VP) sont occupées par un seul utilisateur, c'est ce que l'on appelle l'autosolisme. Ce phénomène induit une pollution importante, une plus grande occupation des routes donnant lieu à des embouteillages et un pouvoir d'achat réduit pour la population du fait de l'augmentation constante des coûts de l'énergie. Le covoiturage apparaît comme une solution efficace pour réduire ce phénomène, mais force est de constater qu'il n'est que peu pratiqué sur de courts et moyens trajets. Ce constat peut être expliqué par de nombreux facteurs : le manque d'automatisation et d'optimisation du covoiturage, la faible considération des préférences des utilisateurs ou encore l'absence de prise en compte du trafic en temps réel. En bref, les services de covoiturage existant aujourd'hui ne sont pas adaptés au contexte actuel et à la population.

C'est pourquoi, depuis de nombreuses années, la recherche s'articule autour de la compréhension et de la résolution des problématiques liées au covoiturage. De nombreux thèmes sont abordés tels que : la formalisation des contraintes liées à la réservation, aux détours et aux transferts des usagers ou encore la modélisation des utilisateurs et du réseau routier. Chacun de ces thèmes apporte une complexité importante, tant dans la modélisation du problème que dans sa résolution [1]. C'est dans ce cadre que se déroulent nos recherches. Notre objectif principal est de modéliser de façon réaliste et efficace des individus interagissant dans un système de covoiturage. Pour ce faire, nous proposons une approche individu-centrée, où chaque individu dispose de son propre objectif, qui est bien plus proche du monde réel que des approches plus globales où l'objectif est d'atteindre un but collectif. Nous détaillons cette méthodologie dans la suite de cet article.

2 La modélisation de notre système de covoiturage

Pour étudier le covoiturage, il faut pouvoir effectuer une simulation convaincante d'un trafic routier et des requêtes de passagers en temps réel. Notre système de covoiturage est ainsi principalement composé de trois éléments : un réseau routier, un ensemble de conducteurs et un ensemble de passagers. De nombreuses contraintes sont nécessaires afin de garantir l'exactitude de la simulation. C'est ce que nous détaillons dans cette section.

2.1 Le réseau routier : un graphe de route

Le réseau routier de notre système est modélisé par un graphe orienté et connexe $G = \langle V, E \rangle$ dans lequel V est l'ensemble des nœuds du graphe et E est l'ensemble des arêtes liant ces nœuds (voir Fig.1). Un nœud $v_i = (x, y)$ représente une intersection de routes ou une impasse. Il est référencé spatialement avec un couple de coordonnées : une longi-

tude x et une latitude y . Une arête $e(v_i, v_j)$ représente alors une route directe entre deux nœuds contigus v_i et v_j . Différents poids peuvent être attribués aux arêtes exprimant les informations routières disponibles : une distance de trajet, une vitesse maximale ou encore un temps de trajet théorique. Il est ainsi possible d'effectuer des calculs de plus court chemin entre deux nœuds du graphe.

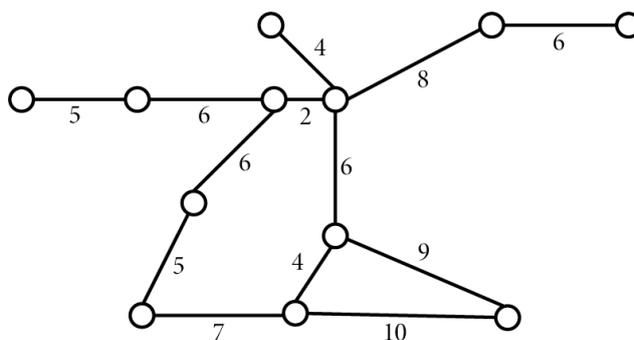


FIGURE 1 – Un exemple de graphe de route, les valeurs apposées aux arêtes représentent le coût d'un trajet entre deux nœuds.

Pour générer un graphe de route, nous transformons une carte du monde réel issue d'OpenStreetMap en graphe selon les règles énoncées dans le paragraphe précédent. Les distances sont ainsi réelles et parcourues par des véhicules disposant d'une vitesse donnée. Dans notre simulation, le temps évolue à intervalles constants (ex : de seconde en seconde). À chaque pas de simulation, tous les passagers et conducteurs présents dans le système peuvent effectuer une action en fonction de leur comportement.

2.2 Les utilisateurs du système de covoiturage : les passagers et les conducteurs

Les conducteurs et les passagers présents dans notre système de covoiturage sont autonomes. Ils prennent leurs propres décisions et communiquent pour partager des informations sur leur voyage, à la manière d'un système de covoiturage dans le monde réel. Un système multi-agents (SMA) permet d'organiser une telle population : il est composé d'agents autonomes qui ont un comportement, une perception et des caractéristiques propres et qui interagissent avec leur environnement.

La flexibilité d'un système de covoiturage peut être modélisée et quantifiée par deux opérations. D'une part, les conducteurs peuvent choisir de faire des détours pour prendre ou déposer des passagers et ainsi élargir l'offre de transport du système de covoiturage. C'est ce que l'on peut voir dans la figure 2 avec le conducteur du chemin rouge pouvant effectuer un détour en pointillé rouge. D'autre part, les passagers peuvent choisir de passer d'un véhicule à l'autre, et donc d'effectuer un transfert, afin d'arriver à leur destination en plusieurs étapes, si cela est plus

pratique pour eux (temps de trajet réduit, moins d'attente, etc.). Dans la figure 2, le passager peut effectuer un transfert entre les deux véhicules sur le noeud avec une croix verte.

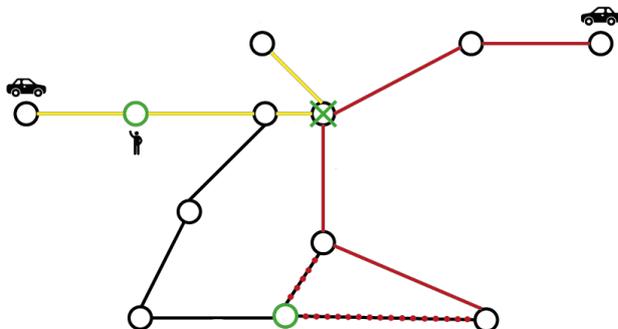


FIGURE 2 – Un exemple de covoiturage avec transfert et détour

Le problème est donc d'identifier pour chaque utilisateur du système, qu'il soit conducteur ou passager, le meilleur chemin vers sa destination. La difficulté est alors que ce meilleur chemin dépend d'une part, des préférences de chacun, et d'autre part, des conditions d'offre et de demande en temps réel.

3 Résolution du problème

Pour résoudre ce problème, nous utilisons diverses techniques d'optimisation combinatoire. Pour un passager, il faut trouver la meilleure séquence de covoiturage le menant à destination, ce qui implique d'identifier le meilleur noeud de transfert pour chaque transfert possible. Il n'est malheureusement pas possible de parcourir toutes les possibilités en effectuant une recherche exhaustive (force brute) par exemple. C'est dans ce contexte que nous proposons différentes techniques visant à réduire la complexité de la recherche de solution dans l'espace. Dans un premier article [2], nous avons proposé d'abstraire l'espace dynamiquement en l'indexant dans une structure nommée R-Arbre [3]. Puis dans un deuxième article [4], nous avons proposé de transformer le problème de covoiturage en un problème des plus proches voisins d'un groupe (GNN/ANN) disposant d'un algorithme puissant de référence pour sa résolution. Nous y avons par la suite associé une fonction multi-objectif permettant de prendre en compte les préférences des passagers sur le temps de trajet, d'attente, l'emprunte carbone ou encore le nombre de transfert.

Un exemple typique de résultat obtenu avec notre modèle est présenté dans la figure 3. D'une part, on remarque que plus les conducteurs acceptent d'effectuer des détours (en abscisse), plus la part des passagers arrivant à destination augmente (en ordonnée). D'autre part, on remarque

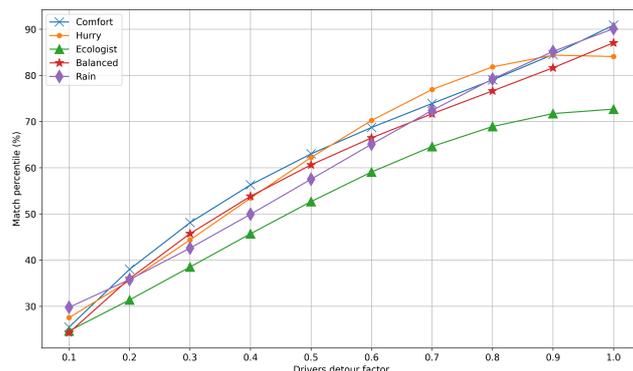


FIGURE 3 – Le taux de service en fonction du facteur de détour des conducteurs et du comportement des passagers

que si tous les passagers adoptent un comportement radicalement écologique (courbe verte avec des triangles), un plus faible pourcentage d'entre eux arrivent à destination comparé aux autres comportements. Il s'agit alors d'un paradoxe, car hypothétiquement, les passagers écologiques ne pouvant pas covoiturer vont être obligés de prendre leur véhicule et donc de polluer un peu plus.

4 Conclusion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude démontrent l'intérêt de l'utilisation conjointe des systèmes multi-agents, de l'optimisation combinatoire et de l'indexation spatiale pour la résolution de problèmes complexes de mobilité. Ces travaux ont été menés lors d'une thèse co-encadrée par des professeurs de l'IUT de l'université de Lille et de Centrale Lille.

Références

- [1] Niels Agatz, Alan Erera, Martin Savelsbergh, and Xing Wang. Optimization for dynamic ride-sharing : A review. *European Journal of Operational Research*, 223(2) :295–303, December 2012.
- [2] Corwin Fevre, Hayfa Zgaya-Biau, Philippe Mathieu, and Slim Hammadi. Multi-agent Systems and R-Trees for Dynamic and Optimised Ridesharing. In *2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pages 1352–1358, October 2021.
- [3] Antonin Guttman. R Trees : A Dynamic Index Structure for Spatial Searching. *ACM SIGMOD Record*, 14 :57, January 1984.
- [4] Corwin Fevre, Hayfa Zgaya-Biau, Philippe Mathieu, and Slim Hammadi. Preferential Optimization of Multi-hop Dynamic Ridesharing based on R-Trees and Multi-Agent Systems. *Transportation Research Record, Under revision*, 2022.