

# Premières Résolutions PLNE du Covoiturage Flexible

Anna JOLIOT<sup>1</sup>, Philippe CANALDA<sup>1</sup>, Hakim MABED<sup>1</sup>, Gérard CÉCÉ<sup>1</sup>

FEMTO-ST

<sup>1</sup>{prenom.nom}@femto-st.fr

**Mots-clés :** *DARP, Rôles Flexibles, Flotte Hétérogène, Problème du Premier Kilomètre*

## 1 Inclusion des services de covoiturage dans l'offre de transport public

À l'heure où tous les indicateurs écologiques sont au rouge, des solutions sont proposées pour tenter de redresser la situation par des actions locales. Par exemple, les transports en commun sont proposés comme une alternative à l'utilisation excessive de la voiture. Cependant, dans les zones mixtes rurales-urbaines ou encore dans les espaces en cours de métropolisation, l'offre de transports en commun est soit très faible, soit insuffisante. Pour cette raison, le covoiturage pour les trajets du quotidien, est encouragé. Certaines sociétés se spécialisent d'ailleurs dans le "daily" covoiturage, comme BlaBlaDaily, Karos ou Kinto.

Habituellement, des conducteurs partagent une annonce "Je vais du point A au point B, à l'heure H", et les personnes intéressées s'inscrivent. Nous proposons dans ce travail d'étendre ce fonctionnement. Dorénavant, chaque utilisateur pourra soumettre une requête de mobilité en spécifiant le lieu de départ et d'arrivée, les fourchettes horaires acceptables, ainsi que s'ils acceptent de conduire ou non. Les requêtes sont transmises à un algorithme qui propose de grouper les utilisateurs, et désigne un conducteur pour chaque covoiturage ainsi que le trajet exact parcouru. Nous autorisons aussi les arrêts supplémentaires (appelés vias) pour le conducteur, qui pourra décider du nombre de via maximum acceptable. Nous proposons une formulation PLNE, et comparons nos résultats avec un algorithme glouton.

## 2 Définition du problème de covoiturage flexible

Soit un ensemble  $U$  d'utilisateurs  $u$  qui déposent chacun une requête. Une requête comprend un lieu de départ et d'arrivée ainsi qu'une potentielle liste de positions de détours et les fourchettes horaires acceptables de départ et d'arrivée. Soit  $S$  l'ensemble des stops possibles dans la région d'étude, et soit  $S_u$  l'ensemble des stops par lesquels souhaite passer l'utilisateur  $u \in U$ . On note  $h_{su}^-$  l'heure au plus tôt à laquelle l'utilisateur  $u \in U$  souhaite être au stop  $s \in S_u$  et  $h_{su}^+$  l'heure au plus tard à laquelle l'utilisateur  $u \in U$  souhaite être au stop  $s \in S$ . Pour une requête, l'utilisateur indique s'il souhaite être passager, conducteur, ou s'il accepte les deux rôles en les priorisant l'un par rapport à l'autre. Les utilisateurs qui proposent de conduire indiquent la capacité totale de leur véhicule  $C_u$ , ainsi que le nombre de vias supplémentaires qu'ils acceptent de desservir.

Dans la littérature, ce problème s'approche du *Dial A Ride Problem* (DARP) [1].

## 3 Modélisation PLNE basée sur un réseau de flot et la technique de Gavish-Graves

À notre connaissance, aucun modèle PLNE de ce problème n'a été présenté à un congrès ROADEF avant. Une formulation PLNE permet d'obtenir une solution optimale du problème pour des instances simples, des bornes ou une preuve de réalisabilité. Nous assumons un environnement d'optimisation statique dans lequel les véhicules et les utilisateurs sont fiables. Plusieurs variables de décision sont introduites, notamment une variable binaire  $x_{uv}$  qui indique si un utilisateur  $v \in U$  est conduit par un utilisateur  $u \in U$ , ou une variable entière

qui détermine l'heure de départ des covoiturages. Nous cherchons à maximiser le nombre de requêtes satisfaites tout en minimisant l'impact environnemental des véhicules. Ces objectifs sont soumis à un ensemble de contraintes. Par exemple, il n'est pas possible d'associer une requête à plusieurs covoiturages différents. Si un utilisateur est associé à un covoiturage, alors il faut que tous les stops de cet utilisateur soient visités dans le bon ordre, en respectant les contraintes horaires. Ensuite, le rôle de conducteur est seulement proposé aux utilisateurs qui ont accepté de l'être. Enfin, la capacité de la voiture doit être respectée. Nous proposons une formulation inspirée de [2], basée sur un réseau de flot. Nous associons la zone géographique à un graphe : chaque stop  $s \in S$  est un noeud, et un arc est une route liant deux stops. Deux noeuds fictifs sont ajoutés : la source et le puit. À chaque utilisateur est associé un circuit de flot à transférer entre la source et le puit. La quantité de flot au départ dépend du nombre de stops de l'utilisateur et du nombre de vias acceptés. Chaque noeud est consommateur d'une unité de flot. Pour gérer le problème des sous-tours, nous utilisons la technique de Gavish et Graves [3], qui consiste, pour chaque arc parcouru, à faire consommer une unité de flot par le noeud d'arrivée, et de forcer que la quantité de flot entrant à un noeud soit égale à la quantité de flot sortant +1 unité.

Les premières expérimentations menées ont été réalisées avec le solveur CBC, avec le langage python et sur un processeur IntelCore i5-1035G1 4 cœurs. Elles attestent de la fonctionnalité du modèle PLNE. Le jeu de test préliminaire considéré est spécifique au problème de covoiturage flexible. Le nombre de requêtes avec rôles flexibles et vias varie entre 2 et 7. Les temps d'exécution suivent une courbe exponentielle, de 1s pour 2 requêtes, à 13s pour 6 et 37s pour 7. Pour l'exemple à 6 requêtes, le nombre de variables est de 600 et le nombre de contraintes dépasse 1900. Nous poursuivons actuellement les évaluations et nous comparons aux résultats obtenus avec l'algorithme à base gloutonne de Gaspoz-Canalda [4].

## 4 Conclusions et perspectives

Nous présentons un travail préliminaire sur le covoiturage à rôles flexibles et avec des détours. Ce modèle PLNE permet de trouver une solution optimale sur des petites instances. Ce travail pose la base pour le développement d'une heuristique qui permettra de faire passer les instances à l'échelle. Nous visons à faire intégrer cette formulation du covoiturage à une offre de transport en commun en répondant au besoin de mobilité du premier kilomètre.

## Références

- [1] Cordeau, JF., Laporte, G. The Dial-a-Ride Problem (DARP) : Variants, modeling issues and algorithms *4OR* 1, 89–101 (2003).
- [2] Yuhan Guo, Gilles Goncalves, Tienté Hsu. A Multi-Destination Daily Carpooling Problem and an ant colony based resolution method. *RAIRO-Oper. Res.* 47, (2013)399-428.
- [3] Bezalel Gavish, Stephen C. Graves. *The Traveling Salesman Problem and Related Problems*. OR 078-78, 1978
- [4] Frédéric Gaspoz, Philippe Canalda *Problème Combinatoire du Covoiturage Flexible et sa Résolution Algorithmique à Base Gloutonne "GbFCA"*. Rapport de recherche Femto-st 7359, septembre 2024, 150pp

This work has been supported by the EIPHI&TRANSBIO Graduate Schools (contracts ANR-17-EURE-0002&ANR-20-SFRI-0008) and Bourgogne-Franche-Comté Region