

MÉTHODES D'OPTIMISATION BASÉE SUR LA SIMULATION POUR LE COVOITURAGE DYNAMIQUE

Thèse de doctorat de :

Negin Alisoltani Dehkordi



Résumé étendu

(Manuscrit complet en anglais disponible en ligne sur theses.fr)

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE)
Et de l'Université Gustave Eiffel

Préparée au Laboratoire Ingénierie Circulation Transports (LICIT), Lyon, France & Génie des Réseaux de Transport Terrestres et Informatique Avancé (GRETIA), Paris, France

Auteur : Negin Alisoltani Dehkordi

Date de soutenance : 2/10/2020

Titre : Méthodes d'optimisation basée sur la simulation pour le covoiturage dynamique

Numéro d'ordre NNT : 2020LYSET012

École doctorale : ED 162 MEGA (Mécanique, Énergétique, Génie civil, Acoustique)

Spécialité : Génie civil

Directeur de thèse : Ludovic LECLERCQ et Mahdi ZARGAYOUNA

Présidente du jury : Salima HASSAS (Université Claude Bernard Lyon 1)

Composition du jury :

Nikolas GEROLIMINIS (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne), Rapporteur

Jorge A. LAVAL (Georgia Institute of Technology), Rapporteur

Amal EL FALLAH SEGHROUCHNI (Sorbonne Université), Examineur

Salima HASSAS (Université Claude Bernard Lyon 1), Examineur

Ludovic LECLERCQ (ENTPE, IFSTTAR, Université de Lyon), Directeur de thèse

Mahdi ZARGAYOUNA (Univ. Gustave Eiffel), Directeur de thèse

Mots-Clés : *Covoiturage dynamique, Congestion du trafic, Gestion optimale de la flotte, Nouveaux services de mobilité, Optimisation basée sur la simulation*

Financement :

Ce projet est soutenu par le Conseil Européen de la Recherche (ERC) dans le cadre du programme européen pour la recherche et l'innovation Horizon 2020 (numéro d'agrément 646592, [projet MAGnUM](#))

RÉSUMÉ

L'OBJECTIF principal de cette thèse est de répondre à l'une des questions essentielles sur les services de covoiturage dynamique : Le covoiturage dynamique peut-il réduire la congestion ?

Dans cette thèse, nous proposons un framework d'optimisation basé sur la simulation pour le covoiturage dynamique. Ensuite, à l'aide de ce framework, nous évaluons l'impact du covoiturage dynamique sur deux échelles de réseau différentes pour trouver la réponse à cette question.

Lors de l'évaluation du problème du covoiturage dynamique, deux points importants doivent être pris en compte. Premièrement, comment le système de covoiturage répond à la demande du réseau et deuxièmement, comment le système de covoiturage est influencé par le réseau et en particulier par la congestion. Ensuite, nous pouvons évaluer l'impact d'un tel service sur le réseau. La plupart des approches existantes se concentrent sur le premier point, c'est-à-dire sur la conception de la correspondance de la demande, tout en utilisant des hypothèses de base pour le second point, principalement des temps de trajet constants.

La méthode proposée dans cette thèse peut être plus performante que les méthodes existantes dans la littérature. L'algorithme d'optimisation peut fournir des solutions de haute qualité en peu de temps. Notre approche de solution est conçue pour être exacte pour les petits échantillons. Ensuite, pour pouvoir traiter les problèmes à grande échelle, elle est complétée par plusieurs heuristiques qui conservent la conception générale de la méthode de solution

mais réduisent considérablement son temps de calcul.

Dans la composante de simulation, un "Modèle d'usine" est appliqué sur la base du "Diagramme macroscopique fondamental (MFD) basé sur les déplacements" pour représenter la réalité de la dynamique du trafic et un "Modèle de prédiction" est appliqué sur la base de la vitesse moyenne à utiliser pendant le processus d'affectation. Nous réalisons une étude de simulation approfondie (basée sur des modèles de trafic réels) pour évaluer l'influence des systèmes de covoiturage dynamiques sur la congestion du trafic. À l'échelle moyenne (Lyon 6 + Villeurbanne), les résultats ont montré que le covoiturage ne pouvait pas améliorer de manière significative la situation du trafic. Des parts de marché élevées augmentent la distance et la durée des trajets et entraînent une augmentation du trafic sur le réseau. Dans les grandes villes, les résultats sont totalement différents de ceux des villes petites et moyennes. Dans les simulations à grande échelle (ville de Lyon en France), le système de covoiturage dynamique proposé peut améliorer considérablement les conditions de circulation, en particulier aux heures de pointe. L'augmentation de la part de marché et du nombre de covoiturages peut renforcer cette amélioration. Par conséquent, le système de covoiturage dynamique proposé est une option viable pour réduire la pression sur les transports publics existants et diminuer le trafic du réseau dans les villes peuplées et de grande taille.

SOMMAIRE

I	Qu'est-ce que le covoiturage ?	9
1	Introduction	11
2	Revue de la littérature	14
II	Comment évaluer la performance du covoiturage sur la demande du réseau ?	15
3	Formulation du problème du covoiturage	17
4	Méthode de solution au problème du covoiturage dynamique	19
III	Comment évaluer l'impact du réseau sur le système de covoiturage et vice versa ?	21
5	Cadre de simulation	23
6	Analyses de transport	25
IV	Quels sont les principaux résultats de cette thèse ?	33
7	Conclusion	35

Première partie

Qu'est-ce que le covoiturage ?

CETTE partie explique la motivation et le contexte de la thèse. Nous expliquons l'origine et le concept du covoiturage ainsi que les termes et concepts qui s'y rapportent. Une discussion est développée sur les différentes parties d'un problème de covoiturage dynamique et l'interaction d'un tel service avec le réseau de transport.

Chapitre I

INTRODUCTION

LE covoiturage est à l'origine un concept général qui consiste à transporter plus de deux personnes dans la voiture d'une des personnes qui partagent une partie ou la totalité de leurs horaires et de leurs itinéraires. Cependant, le concept de covoiturage évolue aujourd'hui comme un arrangement de voitures en temps réel et ad hoc pour combiner les déplacements des passagers

Le covoiturage dynamique est un système qui permet un processus de correspondance automatique entre les participants dans un délai très court ou même en cours de route. Il se distingue du covoiturage traditionnel et se concentre sur des trajets uniques et non récurrents qui ne nécessitent pas d'engagement à long terme entre les personnes pour voyager ensemble dans un but particulier.

De nombreuses recherches ont mis en évidence les différents avantages du covoiturage pour les participants (conducteurs et passagers), comme la réduction des coûts de transport, la réduction de la durée des trajets, l'atténuation des embouteillages, l'économie de carburant et la réduction de

la pollution atmosphérique. Le principal avantage mentionné de ce système est la réduction des embouteillages. Cependant, il y a encore un manque d'études qui examinent la performance du système de covoiturage tout en considérant le fonctionnement réel du réseau de transport, y compris les périodes de congestion.

Le covoiturage dynamique (en tant que nouveau service de mobilité) agit comme une couche intermédiaire. D'une part, il répond aux demandes des passagers, c'est-à-dire à la demande de mobilité, et d'autre part, il peut avoir un impact sur la capacité du réseau et peut être affecté par les conditions du réseau.

Ainsi, pour évaluer le système de covoiturage et étudier les impacts du service sur le trafic, nous devons évaluer les deux problèmes. Premièrement, nous devons trouver le meilleur moyen de répondre à la demande du réseau. Ensuite, nous devons évaluer l'impact de l'état du réseau sur les performances du système de covoiturage et enfin, l'impact du système de covoiturage sur le trafic du réseau.

Dans cette thèse, nous visons à évaluer

la performance du système de covoiturage dynamique intégré au réseau de transport actuel. La principale question de recherche est d'évaluer la réduction de la congestion du réseau qui peut être obtenue avec le covoiturage. Pour répondre à cette question, nous devons considérer la performance du covoiturage sur la satisfaction des demandes des passagers ainsi que les interactions entre la capacité du réseau et la performance du système de covoiturage. La thèse, qui s'inscrit dans un cadre général, examine plusieurs questions de recherche qui sont développées en six chapitres.

— ***Comment évaluer la performance du covoiturage sur la demande du réseau ?***

Trois chapitres de cette thèse sont consacrés à la réponse à cette question. Nous résolvons ce problème de manière hiérarchique en répondant aux questions suivantes :

— *Comment modéliser un problème de gestion de flotte, pour un système de covoiturage qui considère à la fois les principaux objectifs et les contraintes des participants, dans le problème mathématique ?*

Dans le chapitre 2, nous passons en revue les problèmes similaires afin de trouver les lacunes des recherches précédentes sur le problème de la gestion de la flotte. Ensuite, en tenant compte de ces lacunes, le chapitre 3 décrit les contraintes et les fonctions objectives du problème de gestion de la flotte et enfin présente le problème mathématique linéaire entier du système de covoiturage

proposé.

— *Comment trouver une solution rapide et de qualité au problème de la gestion de la flotte à grande échelle ?*

Tout d'abord, dans le chapitre 4, nous proposons un algorithme innovant pour trouver la solution optimale du problème mathématique présenté dans le chapitre 3. Notre approche de la solution est conçue pour être exacte pour de petits échantillons. Ensuite, la méthode est complétée par plusieurs heuristiques qui conservent la conception générale de la méthode de solution mais réduisent considérablement son temps de calcul pour la rendre évolutive pour les problèmes à grande échelle.

— ***Comment évaluer l'impact du réseau sur le système de covoiturage et vice versa ?***

Les algorithmes proposés dans les 4 premiers chapitres peuvent répondre à la première question concernant la satisfaction de la demande de réseau par un système de covoiturage dans les réseaux à grande échelle. Ensuite, pour évaluer les interactions entre le réseau et le service de covoiturage, nous devons répondre aux questions suivantes :

— *Comment prendre en compte la dynamique réelle du trafic ?*

La première section du chapitre 5 présente un "modèle d'usine" qui est basé sur le diagramme

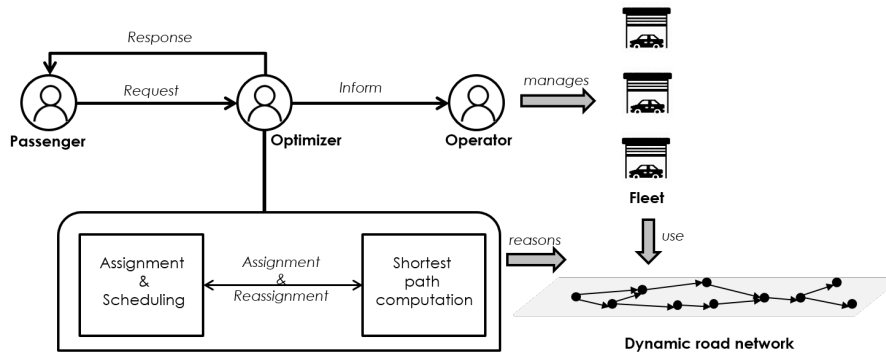


FIG. 1.1 – Les composants du système

macroscopique fondamental basé sur les déplacements et qui peut représenter la situation réelle du trafic.

- *Comment calculer la durée et la vitesse de déplacement des véhicules pendant la procédure d'affectation?* Un "modèle de prédiction" est présenté au chapitre 5 et peut être utilisé pendant le processus d'affectation.
- *Comment gérer les lieux d'arrêt des véhicules de la flotte de covoiturage dans le réseau?*

Une méthode de "gestion des dépôts" est proposée dans la deuxième section du chapitre 5 pour répondre à cette question.

- ***Le covoiturage peut-il réduire les embouteillages?***

La dernière question est la principale question de recherche de cette thèse. Dans le chapitre 5, nous montrons d'abord la performance de l'algorithme proposé, puis dans le chapitre 6, nous évaluons la performance du système

de covoiturage proposé en termes de congestion et nous faisons une analyse de sensibilité sur les différents paramètres de service.

Le principal objectif de la recherche est d'évaluer les performances d'un système de covoiturage intégré au réseau. Nous avons conçu un cadre global pour résoudre le problème. Notre système comporte deux parties principales. La partie gestion de la flotte traite du processus d'appariement entre les usagers et de l'affectation de l'appariement optimisé des usagers aux véhicules. Pour traiter cette partie, nous utilisons d'abord des méthodes de recherche opérationnelle pour résoudre le problème de gestion de la flotte, puis nous utilisons des méthodes heuristiques et des méthodes de science des données pour résoudre le problème à grande échelle. Ensuite, dans la partie simulation, nous voyons comment le programme optimal des véhicules est réalisé en tenant compte des conditions dynamiques complètes du trafic. Les principaux composants du système sont illustrés dans la figure 1.1.

Chapitre 2

REVUE DE LA LITTÉRATURE

LE covoiturage a fait l'objet de nombreuses études dans le passé. Dans le chapitre précédent, nous avons mentionné que pour évaluer les performances du problème du covoiturage, il faut évaluer les interactions entre le système de covoiturage et le réseau de transport. Pour évaluer ce problème, nous sommes confrontés à deux sous-problèmes : Premièrement, comment répondre à la demande du réseau et deuxièmement, comment évaluer les interactions avec la dynamique du trafic. Les études précédentes sur ce sujet se concentrent principalement sur le premier sous-problème, et le second a reçu moins d'attention dans la littérature, alors qu'il est très important de considérer les deux sous-problèmes, surtout si un déploiement opérationnel est envisagé.

Le chapitre 2 passe en revue les recherches précédentes dans ce domaine, en considérant ces deux sous-problèmes.

Nous passons en revue la définition du covoiturage et les concepts similaires. Nous présentons différents paramètres de système pour le covoiturage. Nous discutons des différents algorithmes et méthodes utilisés dans la littérature pour faire correspondre

les trajets et les cavaliers dans le cadre du covoiturage. Enfin, nous présentons une analyse documentaire sur la prise en compte des conditions de circulation dynamiques dans les performances de covoiturage.

Cette analyse documentaire nous permet de conclure que :

- Il y a un manque d'études sur les méthodes efficaces de gestion de flotte qui peuvent fournir des solutions rapides et qualifiées à grande échelle.
- Il existe très peu d'études sur l'impact du trafic sur les performances des systèmes de covoiturage.

Pour comprendre ces points, dans cette thèse, nous essayons de répondre à deux questions principales :

- Comment évaluer la performance du covoiturage sur la demande du réseau ?
- Comment évaluer l'impact du réseau sur le système de covoiturage et vice versa ?

Dans les chapitres suivants, nous proposons des cadres d'optimisation basés sur la simulation pour le covoiturage dynamique afin de répondre à ces questions.

Deuxième partie

**Comment évaluer la performance du
covoiturage sur la demande du réseau ?**

LE problème du covoiturage dynamique comporte deux sous-problèmes. Le premier sous-problème est le problème de la gestion de la flotte et de l'adéquation entre les trajets et les passagers. Cette partie formule le problème du covoiturage dans un modèle mathématique au chapitre 3. Dans cette thèse, nous visons à aborder la solution optimale globale, alors que les études précédentes se concentraient principalement sur l'optimisation des sous-problèmes locaux. La recherche de la solution globale peut être coûteuse en termes de calcul, mais elle permet de répondre à la question du gain maximum que l'on peut attendre du covoiturage dans le système de transport. C'est un point crucial qui mériterait d'être approfondi. Pour se rapprocher de la solution globale, au chapitre 4, nous avons recours à un algorithme pour résoudre le problème mathématique. Notre approche de la solution est conçue pour être exacte pour de petits échantillons. Ensuite, pour pouvoir traiter les problèmes à grande échelle, elle est complétée par plusieurs heuristiques qui conservent la conception générale de la méthode de solution mais réduisent considérablement son temps de calcul. La stratégie principale consiste à regrouper les requêtes en fonction d'un indice de partage afin de créer des échantillons plus petits qui sont plus rapides à résoudre.

Chapitre 3

FORMULATION DU PROBLÈME DU COVOITURAGE

DANS ce chapitre, nous présentons les composantes du système que nous avons conçu pour le covoiturage dynamique. Le système comporte deux composantes principales.

1) La composante de gestion de la flotte qui résout le problème d'affectation en fonction des temps de parcours prévus. La composante de gestion de la flotte résout un problème mathématique pour affecter les véhicules aux demandes de déplacement. La formulation mathématique de ce problème est présentée dans ce chapitre. Nous expliquons ensuite comment nous résolvons ce problème mathématique dans les deux chapitres suivants.

2) La composante de simulation qui représente l'évaluation réelle du système. Les performances de cette composante sont expliquées au chapitre 5.

Le fonctionnement global du système est présenté dans la figure 3.1. Dans ce chapitre, nous présentons la composante de gestion de la flotte. Au début d'un nouvel horizon de roulement, les composantes de ges-

tion de la flotte résolvent le problème de l'affectation optimale en fonction des temps de parcours prévus. Ensuite, la composante de simulation met en œuvre cette affectation sur l'horizon suivant pour déterminer l'évaluation réelle du système et les temps effectifs de prise en charge/dépose et de déplacement de tous les véhicules. La valeur effective de la fonction objectif (fonction objectif réalisée) peut être calculée à la fin de chaque horizon et être comparée à la valeur objective optimale (fonction objectif estimée) dérivée de la résolution du problème d'affectation avec les temps de déplacement prévus.

La composante de gestion du parc automobile travaille à l'affectation des véhicules aux demandes de déplacement. Dans ce composant, un algorithme calcule le chemin le plus court et résout ensuite un problème d'optimisation multi-objectifs contraint afin de minimiser le temps et la distance totaux de déplacement des véhicules et le temps total de déplacement et d'attente des passagers.

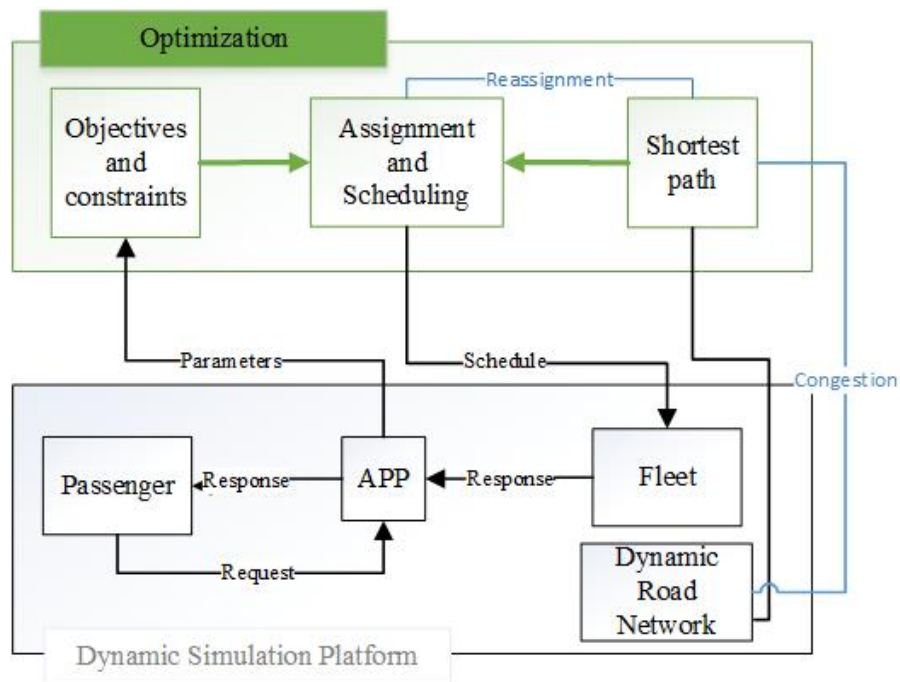


FIG. 3.1 – Les composants du système

Les fonctions de contrainte sont les contraintes de capacité, les contraintes de fenêtres de temps, les contraintes d'affectation et le nombre de contraintes de partage.

Un compromis entre les objectifs sera

trouvé pour être envoyé comme programme aux pieds. Ensuite, les voitures assignées quittent leur emplacement ou font un détour pour répondre aux nouvelles demandes.

Chapitre 4

MÉTHODE DE SOLUTION AU PROBLÈME DU COVOITURAGE DYNAMIQUE

DANS cette thèse, nous visons à aborder la solution optimale globale, alors que les études précédentes se concentraient principalement sur l'optimisation des sous-problèmes locaux. La recherche de la solution globale peut être coûteuse en termes de calcul, mais elle permet de répondre à la question du gain maximum que l'on peut attendre du covoiturage dans le système de transport.

Pour se rapprocher de la solution globale, nous avons recours à un algorithme pour résoudre un programme linéaire entier.

Cependant, comme nous visons des problèmes avec de grandes instances, nous sommes toujours confrontés à la malédiction de la dimensionnalité. Notre approche de la solution est conçue pour être exacte pour de petits échantillons. Elle est ensuite étendue avec plusieurs heuristiques qui conservent la conception générale de la méthode de solution mais réduisent considérablement son temps de calcul.

Au chapitre 3, nous avons formulé le

problème du covoiturage dans un modèle de programmation linéaire en nombres entiers (ILP), et nous avons montré que le problème est NP-difficile. En raison de la dureté NP du problème, la solution optimale ne peut être calculée que pour de petites parties du problème.

Tout d'abord, nous présentons un algorithme basé sur les branches et les coupes pour résoudre exactement le problème mathématique.

L'algorithme construit un arbre de parcours et essaie d'ajouter les points réalisables à la meilleure branche de l'arbre à chaque étape. Il vérifie la faisabilité des points par rapport aux contraintes du modèle. Au début, il part du dépôt non vide le plus proche des origines et ajoute les points d'origine aux branches de l'arbre. L'algorithme peut ajouter un point de destination si et seulement si son point d'origine associé a été ajouté à l'itinéraire auparavant. Il peut également ajouter un nouveau point d'origine si les contraintes de capacité et le nombre de contraintes de par-

tage sont satisfaits. Les contraintes de la fenêtre temporelle doivent être vérifiées lors de l'ajout de nouveaux points d'arrêt sur les itinéraires. Lorsque l'algorithme trouve un point possible pour un itinéraire, il crée un nouvel itinéraire en ajoutant ce point possible et place l'itinéraire nouvellement créé dans l'ensemble des itinéraires. Enfin, le meilleur itinéraire est celui qui a la fonction d'objectif minimum. Dans la première méthode heuristique, nous mettons en œuvre une approche à horizon glissant avec rééchelonnement. L'algorithme exact est résolu à chaque étape de l'optimisation et, dans un premier temps, essaie de placer les requêtes dans les horaires des wagons en mouvement. Dans la deuxième méthode heuristique, la stratégie principale consiste à regrouper les requêtes en fonction d'un indice de partage pour créer des échantillons plus petits qui sont plus rapides à résoudre. Cette méthode réduit l'exploration de l'espace à des états réalisables et prometteurs seulement. Nous essayons à la fois les méthodes partitionnées (clustering k-means) et hiérarchiques (clustering agglomératif hiérarchique). Dans la dernière étape heuristique, nous avons présenté la méthode Force the Sharing (FOSH) pour favoriser le partage. L'algorithme final peut résoudre un problème de covoiturage dy-

namique de haute qualité en peu de temps par rapport aux autres méthodes de la littérature. Le but principal de cette thèse est d'évaluer l'impact du covoiturage dynamique sur le trafic du réseau. Dans les mégapoles et les réseaux à grande échelle, les performances du covoiturage en termes de réduction de la congestion peuvent être différentes de son impact sur les réseaux à petite et moyenne échelle. À notre connaissance, le courant de recherche sur les services de covoiturage se concentre sur des situations dans de grandes villes comme New York, Pékin et San Francisco. Cependant, ces services sont de plus en plus populaires dans les grandes villes et les villes de petite et moyenne taille. Dans cette thèse, l'objectif est d'évaluer les performances des systèmes dynamiques de covoiturage pour réduire la congestion dans les villes moyennes et grandes. Nous appliquons donc la méthode sur deux réseaux. Tout d'abord, pour évaluer le service à petite et moyenne échelle, nous appliquons notre méthode à une matrice de déplacements O-D réaliste pour la moitié nord de Lyon en France. Ensuite, pour évaluer l'impact du covoiturage sur les réseaux à grande échelle, nous appliquons la méthode à l'ensemble du réseau de la ville de Lyon en France.

Troisième partie

Comment évaluer l'impact du réseau sur le système de covoiturage et vice versa ?

DANS la partie précédente, nous avons présenté la réponse au premier sous-problème des systèmes de covoiturage dynamique. Dans cette partie, nous examinons le deuxième sous-problème : comment évaluer l'impact du réseau sur le système de covoiturage et vice versa ? Pour répondre à cette question, au chapitre 5, nous présentons un "modèle d'usine", qui est basé sur le diagramme macroscopique fondamental basé sur les déplacements et qui peut représenter la situation réelle du trafic. Ensuite, nous présentons le "modèle de prévision" basé sur la vitesse moyenne qui peut être utilisée pendant le processus d'affectation. Ensuite, nous évaluons les performances des méthodes heuristiques présentées, étape par étape, pour montrer la qualité de la méthode de solution. Au chapitre 6, nous analysons l'impact du covoiturage dynamique sur la congestion des réseaux à moyenne et grande échelle.

Chapitre 5

CADRE DE SIMULATION

DANS les chapitres précédents, pour évaluer les performances du covoiturage sur la demande du réseau, nous avons présenté la formulation et la méthode de résolution du problème du covoiturage dynamique.

Dans ce chapitre, nous étudions les interactions entre les réseaux de transport et les systèmes de covoiturage dynamique. Ce problème a reçu moins d'attention dans la littérature mais est très important du point de vue opérationnel. En effet, l'encombrement des réseaux peut avoir des répercussions importantes sur le service de covoiturage.

Le système d'optimisation du service de covoiturage utilise des estimations du temps de trajet prévu obtenues à partir d'un "modèle de prévision". Lorsque les trajets sont effectués, il existe généralement un écart entre l'estimation et les conditions réelles de circulation. Le modèle dit "d'usine" représente l'état réel du trafic, et il peut nécessiter un ajustement dynamique de l'affectation initiale pour s'adapter aux conditions observées. Lors de la simulation d'un service de covoiturage dynamique, il

est essentiel de distinguer avec précision la prévision et les modèles d'usine afin de fournir une évaluation réaliste du fonctionnement du système. Dans ce chapitre, nous définissons le modèle de prédiction et le modèle de centrale pour le covoiturage dynamique.

Nous utilisons des données réelles du réseau de Lyon dans nos simulations. Le modèle de prédiction est basé sur les derniers temps de parcours observés, tandis que le modèle de station considéré est un modèle de diagramme macroscopique fondamental (MFD) basé sur les parcours, capable de reproduire l'évolution dans le temps des conditions moyennes de trafic pour un réseau routier complet en utilisant le MFD comme courbe comportementale globale. Le diagramme fondamental macroscopique (MFD) fournit une vue d'ensemble des états du réseau.

Dans notre étude, nous expliquons également la méthode de gestion des dépôts.

Ensuite, nous montrons les performances des cadres d'optimisation basés sur la simulation proposé. Nous évaluons les performances de toutes les méthodes heu-

ristiques et nous démontrons que nos approches heuristiques améliorent significativement le temps de calcul avec peu de compromis sur l'optimalité. En outre, le cadre d'optimisation proposé peut surpasser les méthodes précédentes dans la littérature.

Dans le prochain chapitre, nous évaluerons l'effet d'un système de covoiturage dynamique sur les réseaux à moyenne et grande échelle.

Chapitre 6

ANALYSES DE TRANSPORT

DANS le chapitre 5, nous avons présenté les cadres d'optimisation basés sur la simulation pour le problème du covoiturage dynamique qui nous permettent d'évaluer le but principal de cette thèse. Dans ce chapitre, nous évaluons l'impact du système de covoiturage sur le trafic du réseau, et nous voyons comment il peut affecter la congestion.

Nous cherchons à évaluer l'impact du covoiturage dynamique sur les réseaux de moyenne et de grande envergure. Dans les mégapoles et les réseaux à grande échelle, les performances du covoiturage en termes de réduction de la congestion peuvent être différentes. Toutefois, ces services sont de plus en plus populaires dans les grandes villes et les villes de petite et moyenne taille. Tout d'abord, nous évaluons l'impact du covoiturage sur le réseau de Lyon 6 + Villeurbanne en tant que réseau de

taille moyenne. Ensuite, nous présentons les analyses à grande échelle en appliquant la méthode sur le réseau de l'ensemble de la ville de Lyon en France.

Pour évaluer l'influence du système de covoiturage dynamique sur la réduction de la congestion du trafic, nous comparons les conditions de trafic du système de covoiturage dynamique en tenant compte des différentes parts de marché et du nombre de covoiturations avec le cas où la part de marché est nulle lorsque seuls les véhicules personnels répondent à toute la demande du réseau ("scénario sans service" dans les chiffres). Nous effectuons une analyse de sensibilité sur la longueur fixe de la fenêtre temporelle, l'horizon de roulement et la taille du dépôt.

Le tableau 6.1 présente les résultats des simulations à moyenne échelle et le tableau 6.2 les résultats à grande échelle.

A l'échelle moyenne (Lyon 6 + Villeurbanne), contrairement à ce que nous attendions, les résultats montrent que le covoiturage n'a pas pu améliorer considérablement la situation de la circulation. Le covoiturage

peut réduire les embouteillages par rapport aux services de taxi traditionnels et aux services d'appel. Toutefois, des parts de marché élevées ajoutent aux déplacements une distance et un temps de trajet supplémentaires

Tab. 6.1 – Résultats de la simulation à moyenne échelle

Configuration	Shared vehicles				Passengers			Personal vehicles		All vehicles	
	N_{trips}	m	$\sum_{k \in M} T_k(h)$	$\sum_{k \in M} TD_k(km)$	n	$\sum_{i \in N} TT_i(h)$	$\sum_{i \in N} WT_i(h)$	Travel time (t_n)	Total travel time (t)	Total travel distance (k^*m)	
MS : 0%	-	-	-	-	-	-	-	7978.4	7978.4	268481.0	
MS : 20%											
nshare = 0	2235	158	251.7	7893.3	2236	204.0	7.5	7816.6	8068.3	269698.3	
nshare = 1	1239	116	209.3	6676.8	2236	218.7	39.0	7797.1	8006.4	268481.8	
MS : 40%											
nshare = 0	4482	307	501.7	15452.6	4482	415.7	9.9	7657.8	8159.5	270750.6	
nshare = 1	2455	218	419.3	13235.8	4482	450.7	71.9	7603.5	8022.8	268533.8	
MS : 60%											
nshare = 0	6731	422	754.7	23016.0	6732	632.2	11.1	7489.6	8244.4	271770.0	
nshare = 1	3672	303	632.3	19779.8	6732	687.1	104.0	7417.9	8050.2	268533.8	
MS : 80%											
nshare = 0	8963	515	1018.6	30867.6	8978	856.3	12.5	7308.3	8326.9	272887.6	
nshare = 1	4880	404	852.4	26513.9	8978	937.5	133.5	7220.6	8073.0	268533.9	
MS : 100%											
nshare = 0	11213	578	1276.3	38434.0	11235	1078.6	12.6	7140.6	8416.9	273891.0	
nshare = 1	6072	477	1074.1	33099.4	11235	1183.7	168.6	7032.6	8106.8	268556.4	
nshare = 2	4993	474	1049.9	32605.2	11235	1283.0	233.3	7021.4	8071.3	268062.2	

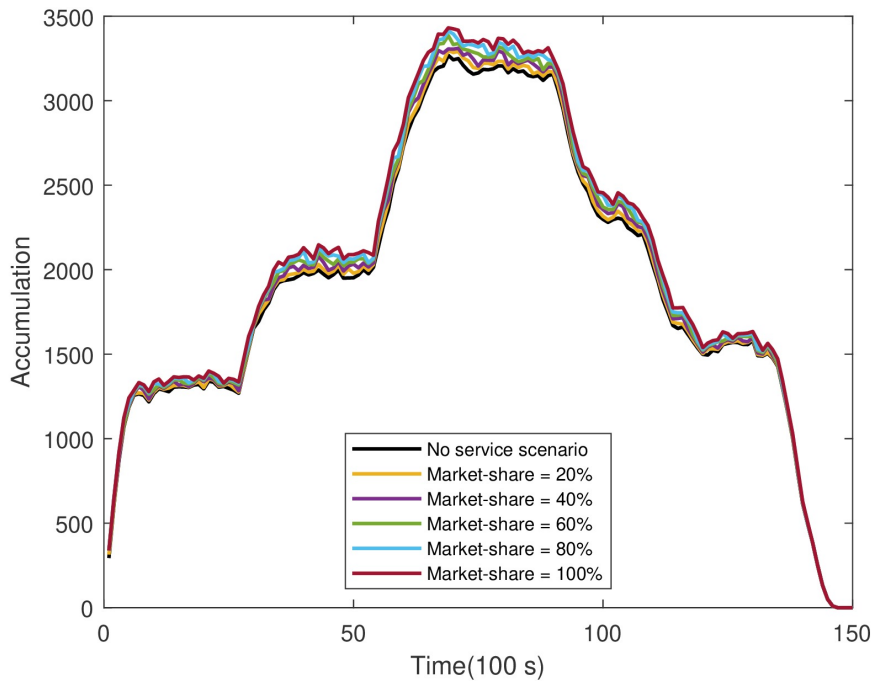


FIG. 6.1 – Situation du trafic pour le nombre de partage 0 avec différentes parts de marché

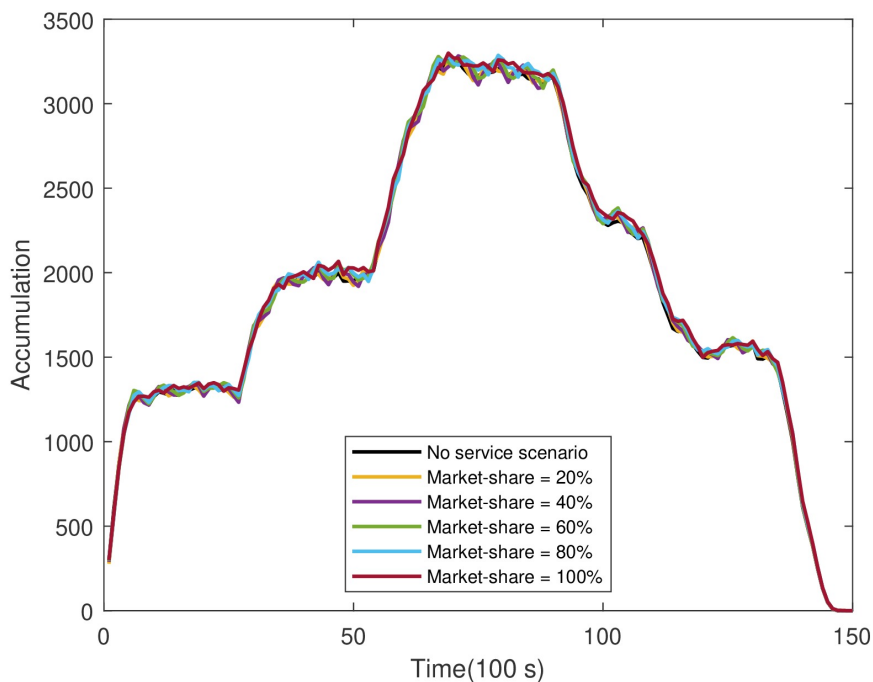


FIG. 6.2 – Situation du trafic pour le nombre de partage 1 avec différentes parts de marché

et entraînent une augmentation du trafic dans le réseau (figures 6.1 et 6.2).

On constate ensuite que les services de covoiturage dans les grandes villes sont complètement différents de ceux des petites

et moyennes villes. Dans des simulations à grande échelle (Lyon), le système de covoiturage dynamique proposé peut améliorer considérablement les conditions de circulation, en particulier aux heures de pointe

TABLE 6.2 – Les résultats de la simulation à grande échelle

Configuration	Shared vehicles				Passengers			Personal vehicles		All vehicles	
	N_{trips}	m	$\sum_{k \in M} T_k(h)$	$\sum_{k \in M} TD_k(km)$	n	$\sum_{i \in N} TT_i(h)$	$\sum_{i \in N} WT_i(h)$	Travel time (h)	Total travel time (h)	Total travel distance (km)	
MS : 0%	-	-	-	-	-	-	-	75271.1	75271.1	2290280.0	
MS : 20%											
nshare = 0	41011	3667	10373.2	312739.0	41043	9439.9	265.7	65770.0	76143.2	2308249.0	
nshare = 1	21285	2089	6210.1	188979.0	41043	9726.4	346.9	64850.3	71060.3	2184489.0	
nshare = 2	14809	1559	4579.2	139516.0	41043	9894.5	498.4	64505.3	69084.5	2135026.0	
MS : 40%											
nshare = 0	82021	7261	20811.6	625745.0	82104	19052.3	449.3	56176.4	76987.9	2325345.0	
nshare = 1	42374	4138	12377.0	380495.0	82104	19406.1	661.7	54648.1	67025.0	2080095.0	
nshare = 2	29236	3034	9091.8	281067.0	82104	19763.1	974.8	54088.3	63180.1	1980667.0	
MS : 60%											
nshare = 0	123053	10632	31309.2	939129.0	123166	28740.8	615.7	46520.6	77829.7	2342399.0	
nshare = 1	63566	6067	18456.4	573197.0	123166	28921.7	970.5	44670.3	63126.6	1976467.0	
nshare = 2	43610	4368	13459.4	422194.0	123166	29316.1	1476.1	44007.2	57466.6	1825464.0	
MS : 80%											
nshare = 0	164079	13740	41708.9	1248210.0	164227	38358.1	765.0	36951.7	78660.6	2359100.0	
nshare = 1	84686	7724	24309.3	762330.0	164227	38110.8	1269.0	35037.5	59346.8	1873220.0	
nshare = 2	57968	5597	17745.97	564108.0	164227	38577.8	1990.3	34383.1	52128.9	1674998.0	
MS : 100%											
nshare = 0	205124	17102	52208.6	1558900.0	205308	48068.1	913.2	27296.3	79504.9	2375940.0	
nshare = 1	105745	9489	30075.0	952139.0	205308	47182.2	1564.4	25557.1	55632.1	1769179.0	
nshare = 2	72160	6826	21856.8	703947.0	205308	47596.1	2519.0	24982.4	46839.3	1520987.0	
nshare = 3	69790	6595	19731.3	688755.0	205308	49595.8	2812.4	24751.2	44482.5	1505795.0	

L'augmentation de la part de marché et du nombre de partages peut renforcer cette amélioration. Nous montrons également que le système pourrait être plus performant avec des voitures et des fourgonnettes plus grandes.

En outre, nous étudions l'influence de la recherche de places de stationnement pour les véhicules personnels sur les performances du système dynamique en termes de réduction de la congestion. Lorsque nous avons examiné la recherche de places de parking par les véhicules personnels, nous avons constaté que le système dynamique de covoiturage peut améliorer davantage les embouteillages aux heures de pointe.

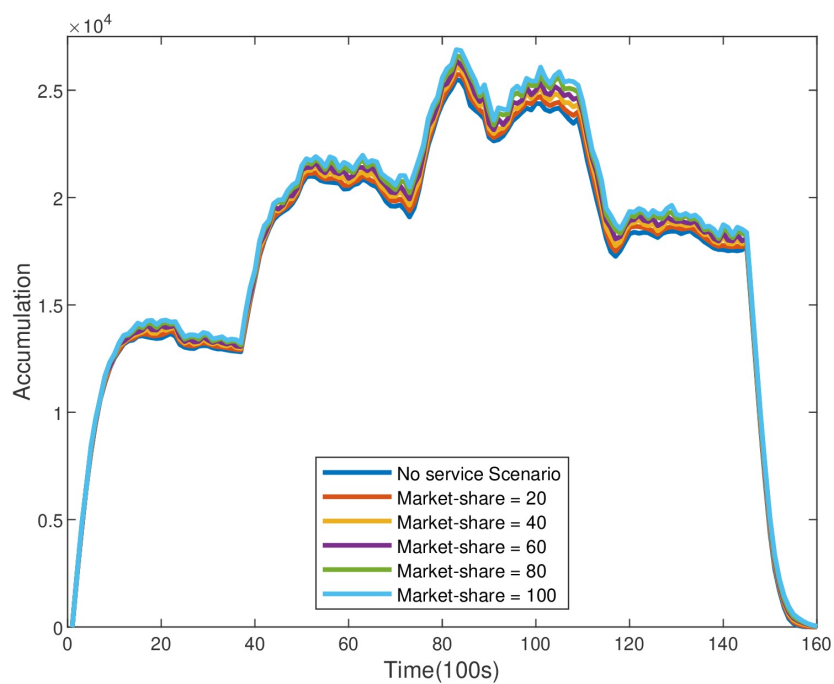


FIG. 6.3 – Situation du trafic pour le nombre de partage 0 avec différentes parts de marché (grande échelle)

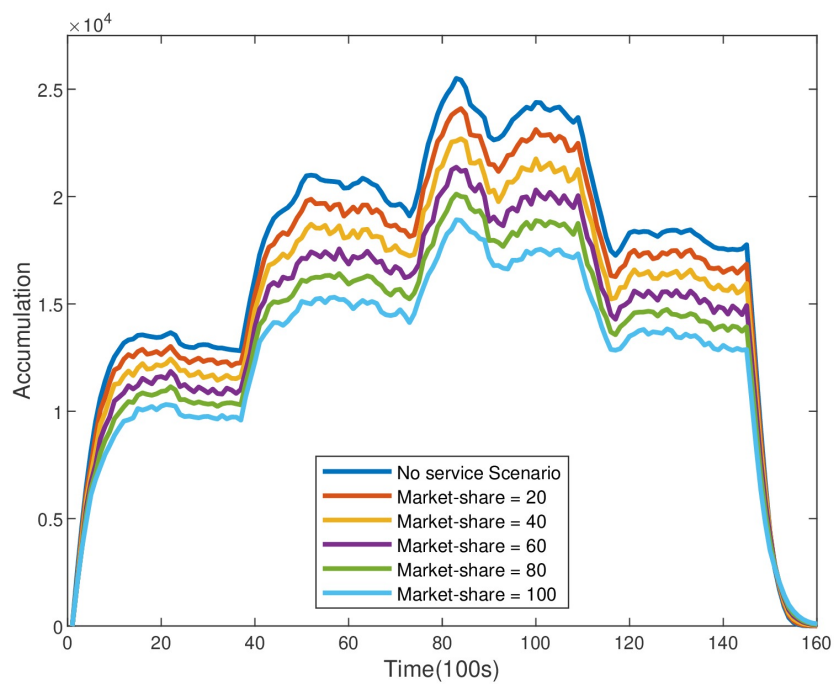


FIG. 6.4 – Situation du trafic pour le nombre de partage 1 avec différentes parts de marché (grande échelle)

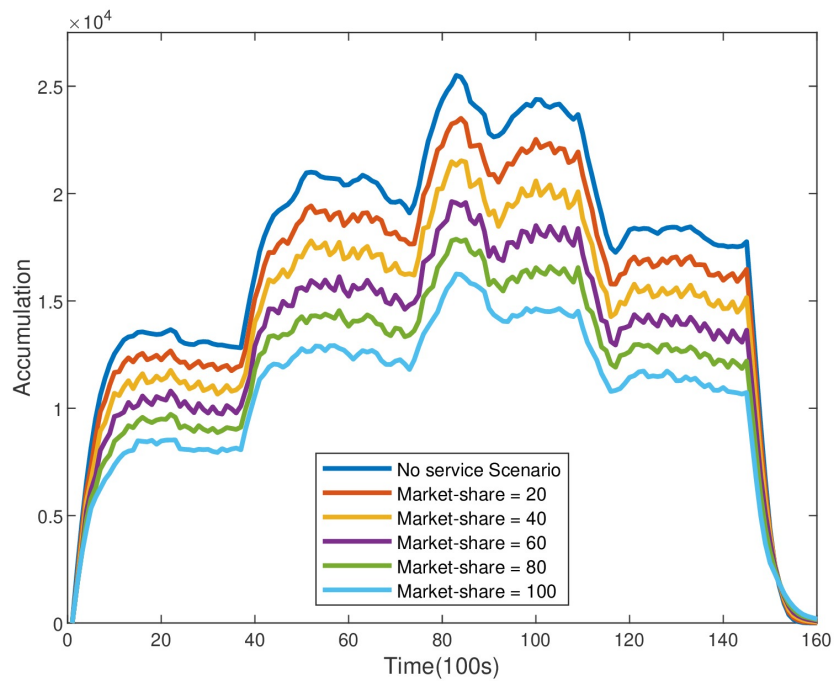


FIG. 6.5 – Situation du trafic pour le nombre de partage 2 avec différentes parts de marché (grande échelle)

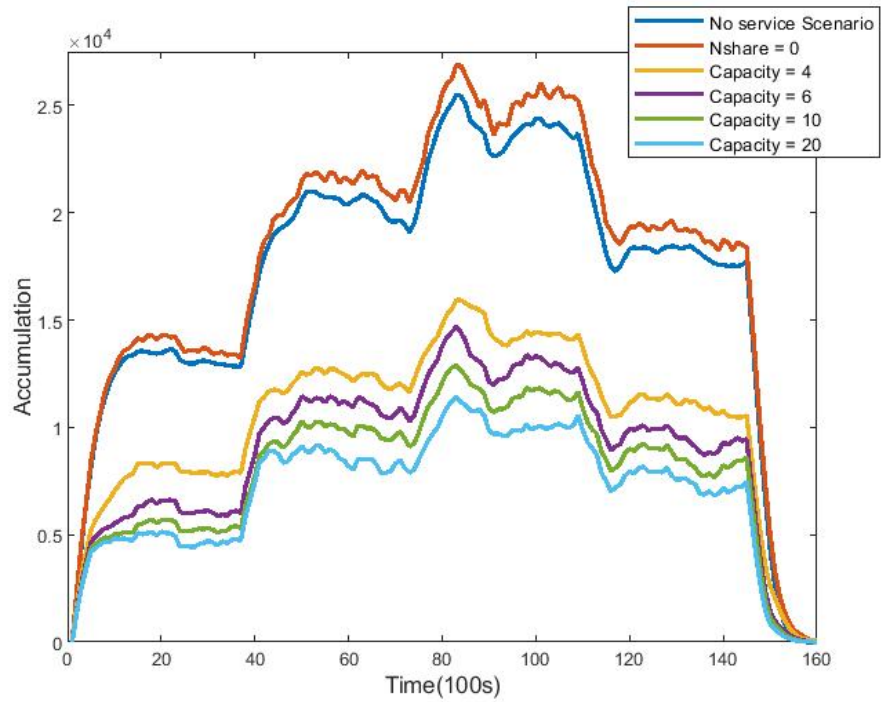


FIG. 6.6 – Situation du trafic pour différentes capacités de véhicules (grande échelle, part de marché = 100%)

Quatrième partie

Quels sont les principaux résultats de cette thèse ?

DANS les parties précédentes, nous avons répondu à deux questions principales sur le service de covoiturage dynamique en proposant des cadres d'optimisation basés sur la simulation pour un tel service. Dans cette partie, nous résumons les points critiques de cette thèse, et nous discutons des conclusions.

Chapitre 7

CONCLUSION

LA thèse comporte quatre parties. Dans la première partie (chapitres 1 et 2), nous avons défini le problème et fourni une analyse documentaire sur le covoiturage. Dans la partie 2, nous avons répondu au premier sous-problème important du problème dynamique du covoiturage : comment évaluer la performance du covoiturage sur la demande du réseau ?

Pour répondre à cette question, nous avons d'abord exprimé le problème du covoiturage en un problème mathématique dans le chapitre 3. Ensuite, dans le chapitre 4, nous avons présenté la méthode de résolution du problème mathématique. Dans la troisième partie, nous avons répondu au deuxième sous-problème : Comment évaluer l'impact des conditions de trafic du réseau sur le système de covoiturage et vice versa ?

Dans le chapitre 5, nous avons présenté un cadre de simulation pour le covoiturage dynamique qui peut nous permettre d'évaluer l'impact du réseau sur le covoiturage. Dans le chapitre 6, nous analysons, à l'aide de ce cadre, l'impact du covoiturage dynamique sur les réseaux de moyenne et de

grande envergure.

Enfin, dans la partie 4, nous présentons les principaux résultats de la thèse.

L'objectif principal de cette thèse est de répondre à l'une des questions critiques concernant les services de covoiturage dynamique :

Le covoiturage dynamique peut-il réduire la congestion ?

Pour répondre à cette question, nous avons proposé un cadre d'optimisation basé sur la simulation, puis nous avons mis en œuvre le cadre de covoiturage dynamique à deux échelles différentes pour trouver la réponse à cette question. Le cadre d'optimisation basé sur la simulation proposé dans cette thèse est plus performant que les méthodes existant dans la littérature. L'algorithme d'optimisation peut fournir des solutions de haute qualité en peu de temps. Dans la composante de simulation, un "Modèle d'usine" est appliqué sur la base du "Diagramme fondamental macroscopique (MFD) basé sur les déplacements" pour représenter la réalité de la dynamique du trafic et un "Modèle de prédiction" est appliqué sur la base de la vitesse moyenne à

utiliser pendant le processus d'affectation.

Nous avons effectué une étude de simulation approfondie (basée sur des modèles de trafic réels) pour évaluer l'influence des systèmes de covoiturage dynamiques sur la congestion du trafic.

À moyenne échelle, les résultats ont montré que le covoiturage ne pouvait pas améliorer de manière significative la situation du trafic, contrairement à ce que nous avions prévu. Le covoiturage peut réduire les embouteillages par rapport aux services de taxi traditionnels et aux services de transport par téléphone à moyenne échelle.

Pour réduire sensiblement les temps de déplacement aux heures de pointe, nous prévoyons une réduction remarquable du nombre de véhicules sur le réseau routier. Toutefois, des parts de marché élevées augmentent la distance et la durée des trajets et entraînent une augmentation du trafic sur le réseau. Le covoiturage dynamique ne peut donc pas être une solution adéquate

pour réduire le trafic dans les villes de petite et moyenne taille. Dans les grandes villes, les résultats sont tout à fait différents de ceux des villes moyennes et petites. Dans les simulations à grande échelle (Lyon), le système de covoiturage dynamique proposé peut améliorer considérablement les conditions de circulation, en particulier aux heures de pointe. L'augmentation de la part de marché et du nombre de covoiturages peut renforcer cette amélioration. En outre, à grande échelle, l'accumulation de la demande pour le service est très élevée, et nous avons des points d'origine très proches. Le système offre donc davantage de possibilités de partage et peut partager ces voyages sans détériorer le temps d'attente des passagers.

Par conséquent, le système de covoiturage dynamique proposé est une option viable pour réduire la pression sur les transports publics existants et diminuer le trafic du réseau dans les villes peuplées et de grande taille.