



HAL
open science

Optimisation avancée au service du covoiturage dynamique

Sondes Ben Cheikh

► **To cite this version:**

Sondes Ben Cheikh. Optimisation avancée au service du covoiturage dynamique. Automatique. Ecole Centrale de Lille, 2016. Français. NNT : 2016ECLI0002 . tel-01735243

HAL Id: tel-01735243

<https://theses.hal.science/tel-01735243v1>

Submitted on 15 Mar 2018

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.

CENTRALE LILLE

THESE

Présentée en vue d'obtenir le grade de

DOCTEUR

En

Spécialité : Automatique, Génie Informatique, Traitement du Signal et des Images

Par

Sondes BEN CHEIKH

DOCTORAT DELIVRE PAR CENTRALE LILLE

Optimisation avancée au service du covoiturage dynamique

Soutenue publiquement le 26 Février 2016 devant le jury d'examen :

- Président :** Alain QUILLIOT, Professeur, Université Blaise Pascal de Clermont -Ferrand
- Membre :** Abdel SALHI, Professeur, Université de Essex
- Membre :** Séverine BOULARD, Ingénieur Transports et Mobilité de l'ADEME
- Membre :** Hayfa ZGAYA, MCU, HDR, ILIS - Université Lille2
- Directeur :** Slim HAMMADI, Professeur, Ecole Centrale de Lille
- Co-Directeur :** Christian TAHON, Professeur, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis

Thèse préparée dans le laboratoire CRISTAL à Centrale Lille
Ecole Doctorale SPI 072 (EC Lille)

*Work hard, but make time for your love, family and freinds.
Nobody remembers your PowerPoint presentations on your final day.”*

Chetan Bhagat

*Afin d'être reconnaissante envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à réaliser ce travail de
recherche, je dédie ce mémoire :
À mes deux Mamans et mes deux Papas,
À mon époux Hatem et mes enfants Cyrine et Fares
À tous les membres de ma famille sans aucune exception,
À tous et à toutes qui m'ont aidé un jour dans mon cursus scolaire et universitaire.*

Remerciements

Le seul moyen de se délivrer d'une tentation, c'est d'y céder paraît-il ! Alors j'y cède en disant Merci à tous ceux sans qui cette thèse ne serait pas ce qu'elle est.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à Slim HAMMADI qui fut pour moi un directeur de thèse attentif et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clair voyance m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront des moteurs de mon travail de chercheur.

Je remercie également Professeur Christian TAHON, co-directeur de cette thèse pour avoir cru en mon projet et sans qui cette thèse n'aurait peut-être pas aboutie.

M. Abdel SALHI, Professeur et chef du Département à l'Université de Essex, et M. Alain QUILLIOT, Professeur à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, et je les en remercie vivement. Ils ont également contribué par leurs nombreuses remarques et suggestions à améliorer la qualité de ce mémoire, et je leur en suis très reconnaissante ;

Je tiens à remercier tout aussi chaleureusement Mm. Séverine BOULARD, Ingénieur Transports et Mobilité de l'ADEME et Mlle. Hayfa ZGAYA, maître de conférences à la faculté d'Ingénierie et Management de la Santé à l'Université Lille 2 , qui m'ont fait l'honneur de participer au Jury de soutenance ;

Enfin, un grand MERCI à tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Table des matières

Remerciements	iii
Table des Matières	iv
Table des Figures	vi
Liste des Tableaux	vii
Abbreviations	viii
Introduction	1
1 Le covoiturage : Un mode de transport alternatif, écologique et économique	10
1.1 Introduction	10
1.2 Transport : Une évolution permanente	11
1.3 Transport : Une menace importante pour l'environnement	12
1.4 Une montée en puissance des transports alternatifs	13
1.5 L'autopartage : La mobilité de l'avenir	14
1.5.1 Définitions et origines de l'autopartage	14
1.5.2 Avantage de l'auto-partage	17
1.5.3 L'autopartage : le meilleur alternatif?	18
1.6 Le covoiturage : L'autopartage entre particuliers	19
1.6.1 Principe et définitions	19
1.6.2 Profil des usagers : Des gens de tous les âges et de toutes les professions	21
1.6.3 Le cadre juridique	21
1.6.4 Le covoiturage : Des années 1970 à nos jours	22
1.6.5 Le covoiturage : Pourquoi?	23
1.6.6 Les formes du covoiturage	27
1.6.7 Covoiturage et Transport en commun, concurrents ou complémentaires?	29
1.7 Les entraves au covoiturage	31
1.7.1 Les obstacles juridiques	31
1.7.2 Les problèmes techniques	32
1.7.3 La barrière psychologique	33
1.8 Le covoiturage : état de l'art	34

1.8.1	Les systèmes opérationnels du covoiturage	35
1.8.2	Côté académique : Outils et Approches proposées pour le covoiturage	40
1.8.3	Constat	44
1.9	Propositions d'améliorations	45
1.10	Conclusion	47
 Bibliographie		49
 Résumé		53
 Abstract		54

Table des figures

1	Organisation du manuscrit	7
1.1	Evolution des volumes de transports intérieurs de voyageurs Source : SOeS, compte des transports 2011	12
1.2	Emission de Gaz à effet de serre en Europe Source : EU energy and transport	12
1.3	Transports intérieurs de voyageurs par mode en % en 2013 Sources : SOeS, année 2013, d'après Bilan de la circulation, SNCF, RATP, STIF, Optile, Enquête annuelle sur les transports collectifs urbains (DGITM, Certu, GART, UTP), UTP, DGAC	13
1.4	Emission moyenne de CO_2 dans le transport de voyageurs en 2013 Source : Groupe SNCF-Newsroom	14
1.5	Les organisations d'Autopartage en France	16
1.6	Croissance de l'autopartage à l'échelle mondiale de 1998 à 2011 Source : Shaheen et Cohen (2007) [26]	17
1.7	Comparaison des coûts mensuels entre une voiture privée et une voiture autopartagée Source : Automobile club	18
1.8	Economies annuelles réalisées sur un trajet quotidien domicile-travail Source : ademe.fr eco-déplacements calculette	24
1.9	Economies pour les automobilistes Source : BlaBlaCar éditeurs de covoiturage.fr	24
1.10	Pourquoi on choisit le covoiturage ? Source : Développer une infrastructure de covoiturage, Juin 2010	27
1.11	Les différentes structures proposant un service de covoiturage Source : BDD Covoiturage (établie par recherche internet)-Echantillon : 78/78-100%	29
1.12	Augmentation du nombre d'inscriptions à l'offre de covoiturage Transilien <i>SNCF</i> Source : Transilien SNCF	31
1.13	Croissance du nombre de sites de covoiturage depuis 1990 Source : CERTU. Op. cit	35
1.14	BlaBlaCar : Comment ça marche ?	36
1.15	Un système de covoiturage collaboratif, J.Ferreira 2009 [17]	41
1.16	Un système de covoiturage basé sur des informations distribuées, Wolf 2004 [9]	41

Liste des tableaux

Abbreviations

ACC	Agent Communication Channel
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
AE	Algorithmes Evolutionnaires
AFIMB	Agence Française pour l'Information Multimodale et la Billettique
AFSSE	Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale
AMS	Agent Management System
API	Application Programming Interface
ARENE	Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies
B and B	Branch and Bound
BDD	Base De Données
CDO	Covoiturage Dynamique Optimisé
DF	Directory Facilitator
DVM	Departure Vehicle Matrix
DyCOS	Dynamic Carpooling Optimization System
E2AIA	Evolutionary Approach based on Autonomous and Intelligent chromosome Agents
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FleVIA	Flexible Vehicles Itineraries Algorithm
GES	Gaz à Effet de Serre
GPS	Global Positioning System
GTZ	Geographic Transfer Zone
IA	Intelligence Artificielle
IAD	Intelligence Artificielle Distribuée
IEA	International Energy Agency
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
INV	Interconnected Nodes between Vehicles

JDBC	J ava D atabase C onnectivity
JDK	J ava D evelopment K it
JRE	J ava R untime E nvironment
JVM	J ava V irtual M achine
LOTI	L oi d' O rientation des T ransports I ntérieurs
MACGeO	M etaheuristic A pproach based on C ontrolled G enetic O perators
MadKit	M ulti-agent D evelopment K it
MAIF	M utuelle d' A ssurance des I nstituteurs de F rance
MTS	M essage T ransport S ervice
MTSA	M ulti-criterion T abu S earch A lgorithm
NSGA II	N on-dominated S orting G enetic A lgorithm- II
OASIS	O ptimal A ircraft S equencing using I ntelligent S cheduling
OSL	O ptimisation des S ystèmes L ogistiques
OWA	O rdered W eighted A veraging
POM	P roblème d' O ptimisation M ulti-objectif
PTD	P roblème de T ransport à la D emande
RAVPA	R andomly A ssignment V ehicle/ P assenger A lgorithm
SAD	A ide A la D écision
SAPN	S ociété des A utoroutes P aris- N ormandie
SCAlgo	S olution C onstruction A lgorithm
SMA	S ystèmes M ulti- A gent
SMAAD	S ystème M ulti- A gent d' A ide à la D écision
SNCF	S ociété N ationale des C hemins de F er français
SPEA	S trength P areto E volutionary A lgorithm
SQL	S tructured Q uery L anguage
TIC	T echnologies de l' I nformation et de la C ommunication
TSP	T ravel S alesman P roblem
TVM	T ransit V ehicle M atrix
VEGA	V ector E valuated G enetic A lgorithm
VRP	V ehicle R outing P roblem
UML	U nified M odeling L anguage

Introduction générale

Contexte

Les dernières années sont marquées par une augmentation massive des demandes de déplacement. Cette augmentation exige le développement et l'amélioration continue des moyens de transports. Pourtant, et malgré son évolution, les transports en commun restent moins compétitifs par rapport aux exigences des usagers, notamment dans les milieux ruraux. Grâce à sa disponibilité et son efficacité, la voiture individuelle reste le moyen de transport privilégié notamment dans ces zones non urbaines. Néanmoins, la mobilité humaine accrue combinée avec la forte utilisation de voitures privées engendrent des effets néfastes sur l'environnement et soulèvent des questions sur la qualité de vie. En effet, l'usage abusif de la voiture personnelle est une source de pollution, de congestion et de stress. En plus, la voiture privée est coûteuse en raison de l'augmentation permanente des prix de carburant, de l'assurance et de l'entretien. L'une des solutions qui peut résoudre ce problème et permet de profiter des avantages des deux modes de transport (collectif et individuel) et de faire face à leurs inconvénients est le partage des voitures privées. Cette solution se nomme voiture partagée. Nous en considérons particulièrement, dans nos travaux, le concept de covoiturage qui se présente comme une solution de transport flexible qui vient de soigner l'image environnementale, économique et sociétal du véhicule personnel. Ce mode de transport alternatif consiste à mettre en relation un conducteur non professionnel qui propose une offre de covoiturage avec des passagers potentiels afin d'effectuer un trajet ensemble. Le problème de covoiturage optimisé consiste à élaborer des tournées de véhicules pour répondre aux demandes de transport en optimisant les coûts produits par ces tournées (durée de parcours, coût du voyage. . .) et en fournissant une bonne qualité de service aux voyageurs (durée d'attente, retard, etc.).

Motivations

Plusieurs motivations nous font proposer le covoiturage dynamique optimisé comme une solution alternative pour les problèmes de transport de nos jours. Dans ce qui suit nous citons les motivations les plus captivantes :

A cause de l'allongement des distances et des durées des trajets, les modes de transport en commun deviennent vite inconfortables et présentent un grand défaut de flexibilité spatio-temporelle, notamment dans les zones non urbaines. Par conséquent, ces modes de transport n'ont donc pas réussi à dissoudre les liens forts de dépendance des individus à leurs voitures. . . Toutefois, le comportement addictif des individus à leur véhicule personnel pose des problèmes aigus, tant sociaux qu'économiques. En effet, cette addiction se traduit par un appauvrissement de leur portefeuille budgétaire, mais aussi par l'évolution des individus dans un environnement stressant, mouvementé et fort pollué. Cela nous amène à considérer une autre solution qui sans se dépourvoir des avantages de la voiture inhibe ses aspects néfastes.

En plus, de nos jours, le développement durable est considéré comme un point d'intérêt majeur dans les sommets mondiaux de l'environnement. Dans ce sens, plusieurs chercheurs et spécialistes ont épuisé leurs efforts à faire émerger des énergies renouvelables et des technologies vertes. Dans cette lancée, des efforts ont été déployés pour réduire l'impact négatif de la voiture personnelle : L'une des sources importantes de CO_2 et de gaz à effet de serre. Dans le même contexte, l'objectif des nouvelles politiques gouvernementales est de rationaliser l'utilisation des voitures privées, afin de lutter contre les embouteillages et la congestion dans les villes et de diminuer les rejets polluants. Dans ce sens, le covoiturage présente une solution envisageable qui offre beaucoup d'avantages sur le plan environnemental, grâce à une baisse de gaz polluant, car prendre une voiture avec quatre personnes, est moins néfaste que si ces personnes se servent chacune de son véhicule.

Économiquement, le covoiturage se base sur le principe de partage des frais du voyage entre le covoitureur et les covoiturés. Généralement, ces frais comprennent le coût du carburant, l'entretien, le péage... Du coup, le covoiturage permet de voyager à moindre coût. De ce fait, il y aura moins de trafic sur les routes et du point de vue sécurité, le conducteur se sentira plus responsabilisé en conduisant avec d'autres personnes à son bord. Sur le plan social, le covoiturage est une expérience de vie formidable. Dans la

plupart du temps, c'est une opportunité pour connaître des gens et de passer un moment convivial.

Considérée comme un outil de développement durable, la pratique comodale est aujourd'hui un concept émergent à travers le monde entier. Elle se définit comme la combinaison optimale des différents modes sur la chaîne de transport, la comodalité cherche un compromis visant l'interopérabilité entre les moyens de transport publics et privés. Ainsi, cette pratique vient promouvoir le véhicule personnel dans un contexte de complétude avec le reste des services de transport pour plus de satisfaction du voyageur. Cependant, la majorité des systèmes opérationnels qui gèrent la comodalité intègrent le concept de covoiturage comme une simple solution alternative, quand le transport en commun n'est pas disponible. En effet, ces systèmes sont généralement connectés aux sites internet dédiés au covoiturage où les usagers doivent consulter les offres et chercher tous seuls leurs conducteurs. Ce manque d'optimisation présente un frein au développement du covoiturage comme un mode de transport à part entière et à l'évolution de la pratique comodale qui vise l'utilisation optimale et durable des ressources. Le focus est mis alors sur la mise en place d'un système de covoiturage dynamique qui puisse être connecté aux autres opérateurs de transport, afin d'assurer des itinéraires comodaux optimisés.

Problématique

Dans l'optique de réaliser un service de covoiturage répondant aux besoins de déplacement et remédiant aux problèmes écologiques et économiques mentionnés auparavant, il va falloir trouver une solution formée par des affectations optimisées et un ensemble de tournées de véhicules pour servir les requêtes émises dans les meilleures conditions.

Les outils mettant en place de tels services font ainsi l'objet d'intérêt de plusieurs industriels ainsi que des chercheurs académiques. Usant des technologies nouvelles, la mise en place d'un système plus ou moins évolué prime sur tout autre objectif au niveau des approches existantes. Celles-ci se sont en effet, pour la plupart, penchées sur l'adoption de la technologie (i.e. réseau Bluetooth, intégration des PDAs, etc.) et délaissent les aspects d'efficacité des traitements (automatisation, optimisation, temps réel, aide au déplacement, etc.). Il existe des dizaines de sites internet qui proposent des services de covoiturage. Cependant, la majorité de ces plateformes offrent un service assez limité

tels que les publications et les consultations d’offres et de demandes. En effet, l’utilisateur doit chercher « tout seul » ses partenaires et récupérer ainsi les coordonnées des covoitureurs pour une éventuelle prise de contact.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons en particulier à trouver une solution informatique permettant la gestion en temps réel d’un ensemble d’offres de covoiturage envoyées par les conducteurs et un ensemble de requêtes émises directement par les passagers potentiels ou par d’autres opérateurs de transport dans le cadre des itinéraires comodaux. En plus de l’intérêt écologique et environnemental, ce système ainsi mis en place doit optimiser les solutions d’affectation à proposer aux utilisateurs en satisfaisant à la fois un ensemble de critères, tels que le temps d’attente, le retard, et la distance parcourue et en respectant un ensemble de contraintes telles que la capacité hétérogène des voitures.

Nous pouvons distinguer deux problèmes différents à résoudre pour atteindre notre objectif. Le premier consiste à gérer les affectations des requêtes instantanées aux véhicules. Le deuxième est un problème d’optimisation multi-critère complexe. Il consiste à élaborer des itinéraires de véhicules optimisés pour servir les demandes de transport dans les meilleures circonstances. Il est probable que l’affectation instantanée des passagers à des véhicules puisse causer des modifications sur leurs itinéraires d’origine. Ce phénomène engendre des itinéraires dynamiques. Il est ainsi indispensable de concevoir une application d’établissement et de gestion d’itinéraires permettant de proposer, en temps réel, des itinéraires tout en optimisant, un ensemble de critères et en respectant certaines contraintes.

Positionnement et choix des méthodes de résolution

1. Les métaheuristiques

Etant donné la complexité exponentielle, la mise en place d’une méthode de résolution fiable et efficace pour résoudre le problème de covoiturage dynamique optimisé est un grand défi pour les chercheurs du domaine.

En plus, un système de covoiturage dynamique performant doit être capable d’intégrer un nombre d’usagers aussi large que possible et de surcroît de traiter instantanément

une quantité d'informations importante. Ces informations sont en outre susceptibles de changer d'un instant à l'autre rendant ainsi l'environnement de recherche fortement évolutif et instable.

C'est dans ce cadre que logent nos principales motivations faisant ainsi le fondement de nos approches de résolution. Nous proposons, en premier lieu, deux métaheuristiques pour résoudre les problématiques mentionnées précédemment. La première est une méthode de recherche locale appelée « La recherche Tabou » et la deuxième est appelée « Algorithme évolutionnaire ». Le choix de ces deux approches se justifie par les données suivantes :

- Le problème de covoiturage dynamique est un problème de complexité exponentielle qui ne peut pas être résolu en utilisant les méthodes exactes. Par conséquent, l'application des méthodes approximatives sera plus envisageable. Une telle méthode ne cherche pas à trouver la solution optimale, mais elle essaie de générer une solution optimisée dans un temps d'exécution limité.
- Dans la science de l'informatique, les algorithmes évolutionnaires ainsi que les algorithmes basés sur la recherche tabou sont considérés comme 'des algorithmes anytime' ("à tout moment"). Ce genre d'algorithmes est capable de donner une solution valide à un problème donné même s'il est interrompu à tout moment. Partant de ce constat, ces algorithmes s'adaptent très bien à un environnement aussi dynamique et fortement instable que celui du covoiturage dynamique, en permettant de gérer les aléas du réseau et en proposant une solution fiables à tout moment.
- La recherche tabou et notamment l'approche évolutionnaire étaient appliquées avec succès pour résoudre des problèmes de transport similaires au covoiturage tels que le transport à la demande, le problème de voyageur de commerce...

2. Les systèmes multi-agent

Vu l'aspect dynamique du système, la complexité du problème peut augmenter considérablement en fonction du nombre de demandes de déplacements reçues et du flux de voitures à gérer. Cette complexité nous amène à considérer qu'une simple métaheuristique n'est pas suffisante pour résoudre efficacement le problème de covoiturage dynamique. Afin de pallier à ce problème, nous faisons intervenir les Systèmes Multi-Agent (*SMA*). Un tel système

se caractérise par l'autonomie et l'intelligence des composants impliquées qui communiquent et coordonnent leurs connaissances pour atteindre un objectif ou résoudre un problème. C'est de cette disposition qu'émane la notion d'intelligence collective faisant la puissance des *SMA*.

Dans le cadre de cette thèse, nous proposons une alliance originale entre les systèmes multi-agent et les algorithmes évolutionnaires. Nous développons une approche évolutive dans laquelle les chromosomes sont définis comme des agents autonomes et intelligents. Grâce à un protocole de négociation puissant, les Agents Chromosomes sont capables de contrôler les opérateurs génétiques et orienter ainsi la recherche, afin de trouver des solutions de covoiturage optimisées dans un temps de calcul raisonnable.

Dans le même sens, nous présentons une architecture à base d'agent pour notre système *DyCOS*, qui exploite les profits du *SMA* et de l'optimisation dans une combinaison parfaite et harmonieuse faisant régner un contexte d'intelligence artificielle distribuée.

Organisation du rapport

Ce rapport se subdivise en six grandes parties comme le montre la Figure 1 :

- la première a pour objectif d'introduire le covoiturage comme un mode de transport alternatif qui vient de soigner l'image négative de la voiture privée. Par la suite, un état de l'art des systèmes de covoiturage existants avec un focus sur leurs limites et lacunes nous a amenés à considérer nos principales motivations pour traiter ce problème.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons les principales méthodes adoptées pour modéliser les systèmes de transport, ainsi que les approches d'optimisation développées pour résoudre les problèmes complexes. Ensuite, en se basant sur cet état de l'art, nous positionnons notre problème et nous choisissons les méthodes de résolutions les plus adéquates pour notre contexte.
- Dans le troisième chapitre, nous détaillons notre modélisation mathématique du problème de covoiturage multi-critère. Suite à cette modélisation, nous contribuons à la résolution du problème par le développement d'une approche basée sur la recherche tabou multi-objectif appelée *MTSA*. Ensuite, nous présentons les résultats de la simulation sous différentes instances de covoiturage.

- Dans le quatrième chapitre, nous présentons notre deuxième contribution *MACGeO* pour la résolution du problème de covoiturage dynamique. C'est une approche évolutionnaire que se caractérise par un codage dynamique basé sur des affectations initiales optimisées. L'implémentation de cette méthode nous permet de présenter les résultats de la simulation.
- Dans le cinquième chapitre, nous nous focalisons sur la troisième méthodologie de résolution *E2AIA* qui se présente sous forme d'une combinaison entre l'optimisation et les systèmes multi-agent pour la mise en place d'une approche révolutionnaire s'inscrivant dans le cadre d'une intelligence artificielle. Les résultats de simulation montrent que l'approche évolutionnaire guidée par des Chromosomes Agents permet de générer des solutions meilleures.
- Dans le sixième chapitre, le focus est mis sur la conception d'un système de covoiturage qui intègre nos différentes approches de résolution. Ce système est placé dans le cadre de la comodalité comme un opérateur de transport à part entière et qui interagit avec les autres opérateurs afin de fournir des itinéraires comodaux optimisés. Ce chapitre aborde le problème de l'articulation entre le covoiturage et les autres modes de transport qui sera considéré comme un volet important de nos travaux futurs.
- Enfin, nous présentons la conclusion générale et d'autres perspectives pour ce travail de recherche.

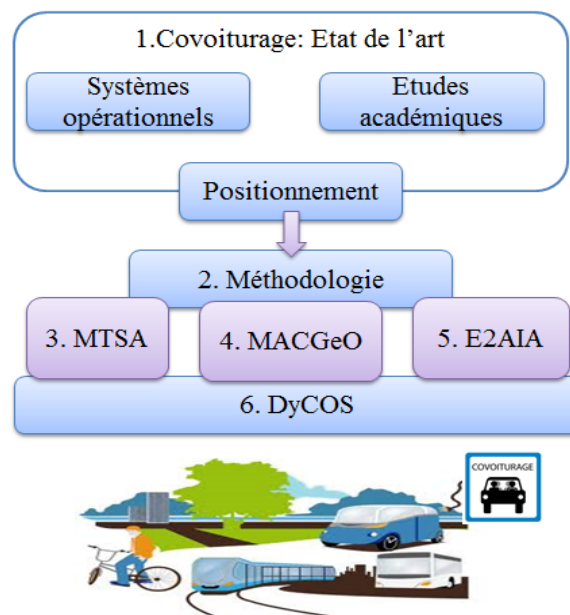


FIGURE 1: Organisation du manuscrit

Chapitre 1

Le covoiturage : Un mode de transport alternatif, écologique et économique

1.1 Introduction

Ces dernières décennies, la dichotomie entre les lieux de travail et les lieux de résidence est de plus en plus fréquente. Du coup, les temps de déplacement augmentent en engendrant une congestion automobile importante et une charge financière épuisante, surtout dans le contexte économique difficile actuel. L'impact négatif de ces problèmes sur la vie du quotidien nous amène à une remise en question de l'utilisation massive de la voiture particulière. De plus, les prises de conscience environnementales et les politiques de développement durable posent les jalons des pratiques innovantes de l'éco-mobilité. D'où l'apparition du covoiturage qui constitue une des solutions envisagées de rationalisation de l'utilisation de la voiture particulière.

Usant des technologies avancées, la mise en place d'un système de covoiturage plus ou moins évolué prime sur tout autre objectif au niveau des approches existantes. La plupart des systèmes destinés au covoiturage sont des supports en lignes permettant la publication ou la consultation des offres. Par contre, l'aspect optimisation est largement ignoré par les organisations qui proposent le service de covoiturage. Récemment, l'optimisation

de cette pratique a attiré l'attention de plusieurs chercheurs du monde entier. Alors, plusieurs plateformes informatisées ont été développées. Cependant, malgré l'intégration du temps réel et l'automatisation des tâches d'affectation, la majorité sont restés au stade embryonnaire. Lancés sur la voie de l'amélioration, nous proposons dans le cadre de cette thèse, la mise en place d'un système de covoiturage dynamique où l'optimisation et le temps réel sont les maîtres-mots.

Ce chapitre est organisé comme suit : D'abord, nous élaborons une étude générale sur le transport des personnes et nous introduisons le covoiturage comme un mode de transport alternatif émergent. Ensuite, nous dressons un état de l'art des systèmes de covoiturage existants en mettant l'accent sur leurs limites et leurs lacunes. Cela nous a amenés à spécifier nos grandes motivations pour traiter ce problème. Après avoir défini notre problématique et fixé nos objectifs, nous nous focalisons sur les méthodologies de résolution à adopter.

1.2 Transport : Une évolution permanente

Les déplacements sont de plus en plus rapides, distants et répartis dans l'espace et dans le temps. Cette répartition de mobilité coïncide avec le changement des modes de vie urbains, de l'organisation du travail et de la structure urbaine elle-même. Actuellement, la ville est multi-polaire et son fonctionnement repose non plus sur la proximité mais sur la mobilité qui devient initiale dans la détermination des modes de vie.

Le changement des conditions de la mobilité a conduit certainement à l'augmentation du nombre de kilomètres parcourus par les voyageurs. En effet, selon l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (*INSEE*) en 2010, le transport intérieur de voyageurs s'accélère tout en restant à un rythme modéré (+ 0,8 % en voyageurs-km). En plus, malgré la hausse du prix des carburants en seconde moitié de l'année, la voiture particulière, qui représente près de 82 % des transports de personnes, augmente au même rythme que l'ensemble comme l'indique la Figure 1.1 :

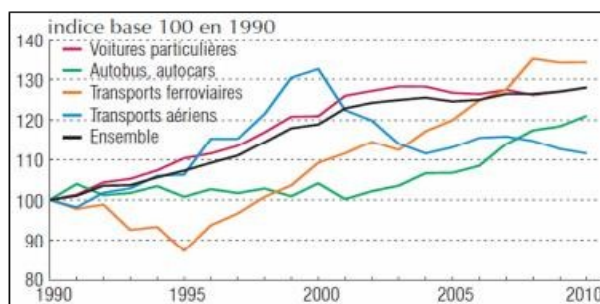


FIGURE 1.1: Evolution des volumes de transports intérieurs de voyageurs
 Source : SOeS, compte des transports 2011

1.3 Transport : Une menace importante pour l'environnement

Le transport présente un facteur pivot dans la gravité des rejets de dioxyde de carbone et des émissions de gaz à effet (*GES*) de serre qui provoquent des conséquences péjoratives sur la qualité de notre vie. Selon les données de l'Agence pour l'Environnement de l'Union Européenne, les transports représentent presque le quart (23,8%) des émissions totales de *GES* et un peu plus d'un quart (27,9%) du total des émissions de CO_2 dans l'UE-27 en 2006.

La Figure 1.2 montre l'évolution des émissions de CO_2 et Gaz à Effet de Serre (*GES*) en Europe. Les courbes tracées au niveau de ce graphique correspondent à l'évolution de ce taux par secteur d'activité entre les années 1990 et 2006.

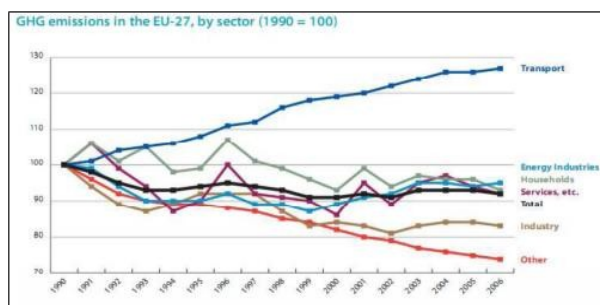


FIGURE 1.2: Emission de Gaz à effet de serre en Europe
 Source : EU energy and transport

1.4 Une montée en puissance des transports alternatifs

La dispersion spatiale de l'habitat et des activités a considérablement collaboré à une évolution permanente de la demande de mobilité. Cette dispersion a provoqué une utilisation massive de l'automobile, notamment dans les zones mal desservies par le transport en commun. En effet, pour la population résidant de plus en plus loin du lieu de travail, le véhicule particulier est considéré comme le mode de déplacement privilégié, offrant une simplicité, une efficacité et une rapidité bien supérieure au transport en commun (Figure 1.3).

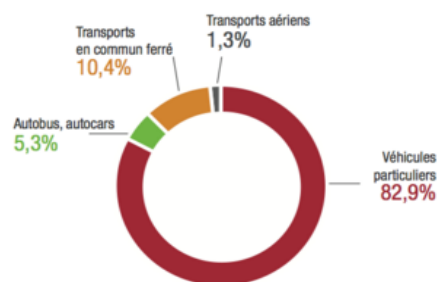


FIGURE 1.3: Transports intérieurs de voyageurs par mode en % en 2013
Sources : SOeS, année 2013, d'après Bilan de la circulation, SNCF, RATP, STIF, Optile, Enquête annuelle sur les transports collectifs urbains (DGITM, Certu, GART, UTP), UTP, DGAC

Cependant, si la voiture répond à ces besoins, elle induit néanmoins de nombreux désagréments : accidents, coûts d'investissement et de fonctionnement, congestion aux heures de pointes et engorgements des parcs de stationnements. En plus, comme le montre la Figure 1.4, la voiture particulière est la principale source (87,6 %) des émissions de CO_2 dans le secteur du transport de voyageurs. Tous ces problèmes ont forcé les collectivités locales à envisager d'autres solutions et à encourager de nouvelles pratiques moins onéreuses que les transports en commun, plus respectueuses de l'environnement et plus simples à mettre en œuvre. D'où la naissance du covoiturage qui apparaît depuis longtemps comme une alternative de transport prometteuse, mais qui peine à se développer. Il consiste en l'utilisation commune d'un véhicule par un conducteur non professionnel et de passagers avec l'objectif de mutualiser une partie des trajets à effectuer. Cela permet évidemment de réduire les coûts de transport (prix de l'essence, usure de la voiture), la pollution, ainsi que la durée de voyage.





MODE DE TRANSPORT	PARTS DE MARCHÉ	% ÉMISSIONS DE CO ₂
 Voiture	76 %	87,6 %
 Avion	1,5 %	6 %
 Car/Bus	5,5 %	5 %
 Train	11 %	1,4 %
Modes non émetteurs (marche, vélo...)	6 %	0 %

FIGURE 1.4: Emission moyenne de CO₂ dans le transport de voyageurs en 2013
Source : Groupe SNCF-Newsroom

1.5 L'autopartage : La mobilité de l'avenir

1.5.1 Définitions et origines de l'autopartage

L'autopartage peut être défini comme un système de véhicules successivement utilisables par différents utilisateurs "autorisés" ou ayant droits, pour une durée limitée. Ce concept offre aux clients la possibilité de profiter des avantages de l'automobile sans avoir à en posséder une. On distingue deux solutions d'autopartage [7] :

- L'autopartage entre particuliers : C'est la mise en commun d'un ou de nombreux véhicules, utilisés par des amis, des voisins ou des proches pour effectuer des trajets distincts à des moments distincts. Généralement, le véhicule appartient à l'un des autopartageurs ou est la copropriété de tous. Ce type d'autopartage peut pareillement se faire entre personnes morales comme une association ou une entreprise...
- Service d'autopartage : C'est un système de location de courte durée, géré par une entreprise ou une association et réservé aux personnes abonnées au service. Le ou les véhicules appartiennent au service et pas aux abonnés. Pour profiter des fonctionnalités offertes par ce dernier, tout utilisateur doit procéder à une réservation à l'avance (par téléphone, via Internet...) pour pouvoir prendre un véhicule.

Les tarifs varient d'une solution à une autre. Le prix peut être calculé sous plusieurs formes : forfait, coût au kilomètre, coût à l'heure, ect.

1.5.1.1 L'autopartage en Europe

C'est à partir de 1987 que le système d'autopartage a fait son apparition en Europe. Depuis, le mouvement en faveur de la voiture partagée n'a cessé d'évoluer. De nos jours, on compte plus que 200 organisations qui portent ce concept dans plus de 450 villes d'Europe [23]. Celles-ci rassemblent plus de 140 000 clients, principalement concentrés en Hollande, en Allemagne, en Suisse, et en Autriche. Ce nouveau concept envahit de nombreux pays : Norvège, Suède, Italie, Danemark, Irlande, Angleterre, et la France. Les deux organisations d'auto-partage les plus anciennes et les plus connues sont Mobility CarSharing en Suisse et StattAuto en Allemagne.

- Mobility CarSharing Suisse¹ offre à la disposition de 102100 clients 2650 véhicules distribués entre 1380 emplacements dans toute la Suisse. Il existe neuf catégories de véhicules qui sont en libre-service 24 heures sur 24. Les usagers qui choisissent d'utiliser la flotte Mobility donnent comme raisons principales les emplacements aussi bien centraux que décentralisés, l'efficacité de la mobilité combinée et la possibilité d'utiliser spontanément les véhicules, à toute heure, même pour une durée très courte. Aujourd'hui, environ 60% de la population suisse est déjà connectée au système télématique car sharing, grâce au réseau décentralisé des emplacements Mobility.
- StattAuto CarSharing Berlin a été la première société d'autopartage en Allemagne et la deuxième dans le monde entier. Il a changé son nom pour Greenwheels² en 2005. Durant cette année, il y avait environ 85.000 covoitureurs dans plus de 250 villes et communautés en Allemagne, en utilisant 2500 voitures pour couvrir 1500 emplacements.

1.5.1.2 L'autopartage en France

Le concept de la voiture partagée connaît en France un retard important de développement par rapport à certains pays voisins. C'est à partir de 1999 que la France voit s'implanter l'auto-partage durablement. Avant cette année, des expériences d'auto-partage ont été menées en 1971 à Montpellier et à Saint-Quentin-En-Yvelines en 1997. Mais, ces systèmes

1. <http://www.mobility.ch/fr/pub/>

2. <https://www.greenwheels.com/de/>

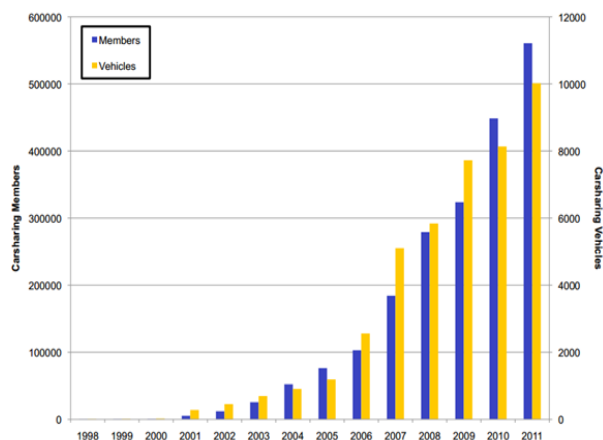


FIGURE 1.6: Croissance de l'autopartage à l'échelle mondiale de 1998 à 2011
 Source : Shaheen et Cohen (2007) [26]

d'utiliser la voiture, s'inscrit principalement dans une démarche de développement durable et présente de nombreux avantages pour les usagers comme pour la collectivité.

1.5.2 Avantage de l'auto-partage

Les intérêts de l'autopartage sont divers et non négligeables dans une société qui ne cesse d'évoluer (augmentation du prix du pétrole, changement des comportements de mobilité). L'Enquête Nationale Autopartage réalisée en 2013 et financée par l'*ADEME* a permis de quantifier l'impact environnemental, financier et social de l'autopartage sur la mobilité urbaine [4].

1.5.2.1 Intérêts économiques et sociaux

L'autopartage est un moyen de déplacement moins coûteux que la voiture individuelle. D'une part, l'autopartage permet un accès à la mobilité pour des publics ne pouvant pas se permettre de posséder une voiture (étudiants, demandeurs d'emplois...). D'autre part, ce concept de partage permet de réduire considérablement l'utilisation de la voiture et, par conséquent, de réaliser des économies importantes (Figure 1.7). En effet, suite à l'adhésion à un service d'autopartage, le nombre de kilomètres réalisés en voiture diminue en moyenne de 41 % pour chaque usager, soit une économie annuelle de près de 1 500 km [4].



FIGURE 1.7: Comparaison des coûts mensuels entre une voiture privée et une voiture autopartagée
Source : Automobile club

1.5.2.2 Intérêts environnementaux

Les villes auraient pourtant beaucoup à gagner au développement de l'autopartage : les études montrent qu'une voiture partagée divise les rejets de CO_2 par 30 en moyenne par rapport à une voiture privée. En plus, un véhicule en autopartage permet de remplacer en moyenne 9 voitures, ce qui libère 8 places de stationnement [4]. D'après des études faites par l'*ADEME*, une voiture "autopartagée" est utilisée en moyenne par 15 personnes. Ce qui permet d'économiser 3100 Kilo équivalent Carbone par an.

1.5.3 L'autopartage : le meilleur alternatif ?

Il est évident que l'autopartage constitue le meilleur alternatif de la voiture privée dans la mesure où il permet de profiter des mêmes avantages, tout en éliminant ses inconvénients. Toutefois, comme tout système, l'autopartage possède des limites. Le principal inconvénient de l'autopartage est le fait que, dans la plupart des cas, le véhicule est loué dans un parking privé et doit être restitué dans ce même parking. Donc, l'utilisateur doit trouver une voiture en autopartage à proximité de chez soi pour éviter un autre déplacement après avoir utilisé le service. En plus, sur la base d'une tarification à l'heure et au kilomètre parcouru, le service d'autopartage n'est rentable que dans le cas de courte distance. En effet, il sera très coûteux de prendre un véhicule de la flotte pour un usage personnel sur une durée relativement longue, comme pour partir en vacances ou en mission, etc.

La répartition géographique non équilibrée est un autre inconvénient qui fait face au développement de la pratique d'autopartage. En effet, la majorité des sociétés d'autopartage préfèrent de s'implanter dans les grandes villes. Par contre, les villes où les transports en communs ne sont guère développés s'adaptent moins aisément à ce mode de transport alternatif. C'est pourquoi, malgré son impact néfaste, la voiture personnelle reste le mode de transport préféré par la majorité des personnes, elle est plus facile d'accès et plus souple d'usage. C'est dans ce sens, et parallèlement aux problèmes de gestion logistique de la flotte de véhicules, d'encombrement des routes et autres, que le développement de l'autopartage nécessite plus d'efforts pour être vraiment compétitif.

En parallèle, le covoiturage, au lieu de rajouter de nouveaux véhicules, vise les sièges vides de ceux des particuliers. Par conséquent, cette pratique n'exige pas un aménagement de routes ou d'infrastructures pour la mise en place de stations et parcs pour accueillir la flotte de véhicules. En plus, contrairement à l'auto-partage, pour la pratique du covoiturage il n'y aura plus besoin de la mise en place des services de redistribution des véhicules, de gestion logistique, de maintenance technique ou autre qui présentent des charges financières lourdes pour l'entreprise initiatrices [25]. Étant principalement basé sur les véhicules de particuliers, le covoiturage vient remédier à tous ces problèmes en offrant un mode de transport économique, écologique et convivial.

1.6 Le covoiturage : L'autopartage entre particuliers

1.6.1 Principe et définitions

Le covoiturage est inspiré du principe d'autopartage. Il est défini par l'utilisation commune d'un véhicule par un conducteur non professionnel et un ou plusieurs passagers dans le but d'effectuer tout ou une partie d'un trajet commun [4]. Le covoiturage consiste alors en la mise en relation des voyageurs effectuant tout ou une partie d'un trajet qu'ils auraient autrement effectué seuls. Selon la participation des voyageurs, on distingue deux façons différentes de covoiturage :

1. Le covoiturage par alternance : Dans ce genre de covoiturage, deux conducteurs non professionnels (ou plus) effectuent un même trajet se mettent en relation et décident que chacun utilisera sa voiture sur ce trajet par alternance (un jour

sur deux par exemple) pour transporter toutes les personnes à une destination donnée. Le covoiturage par alternance concerne plus les salariés d'une entreprise qui effectuent le trajet quotidien domicile-travail.

2. Le covoiturage avec participation : Dans ce type de partage, un seul conducteur conduit sur un trajet pour transporter plusieurs passagers. Chaque voyageur participe financièrement aux frais du trajet (essence, péage, entretien..). La valeur de la participation est fixée en accord avec le conducteur et les passagers.

Le covoiturage est un mode de déplacement qui permet de réduire considérablement le coût du voyage en divisant les frais du trajet par le nombre de passagers, d'alléger le trafic, et de limiter la pollution et d'y remédier. Il permet, en plus, de restaurer une certaine communication qui n'existe plus dans les transports en commun. Toutefois, le covoiturage ne peut, en aucun cas, être une source de gain, il offre la possibilité d'une participation financière aux frais de transport mais le conducteur ne doit pas faire de bénéfices. Le covoitureur prendrait sinon le statut de transporteur au titre de la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs LOTI [11].

Pour mieux présenter le concept de covoiturage, voici quelques définitions :

- Requête : Il s'agit d'une demande de déplacement émise par un passager, exprimant la volonté de se déplacer en voiture d'un endroit à un autre.
- Covoiturés : Ce sont les passagers d'une voiture de covoiturage. Ils sont à la base des personnes qui ont émis des requêtes de covoiturage pour être transportés vers une destination précise. Ces individus peuvent posséder ou non leurs propres voitures.
- Offre : Elle exprime le souhait d'un conducteur de partager sa voiture avec d'autres personnes pour effectuer un trajet donné. Dans une offre de covoiturage, le conducteur doit spécifier les paramètres caractérisant son déplacement, tels que l'origine, la destination, les places disponibles, les horaires du voyage, etc.
- Covoitureurs : Ce terme désigne les conducteurs (généralement les propriétaires des véhicules) qui proposent une offre de covoiturage.
- Contraintes de correspondance : Pour réaliser un trajet de covoiturage, certaines conditions doivent être satisfaites. Ces contraintes se réfèrent principalement à la correspondance entre offre et requête permettant ainsi de vérifier les :

1. Coïncidences spatiales : le déplacement demandé par le covoituré doit être inclus ou similaire à l'itinéraire à parcourir par le covoitureur.
2. Coïncidences temporelles : les dates et les heures des covoitureurs et des covoiturés doivent se coïncider ou se confondre.
3. Capacité respectée : le nombre de sièges vides dans une voiture de covoiturage doit être inférieur ou égal au nombre de places demandées par les covoiturés.
4. Etc.

1.6.2 Profil des usagers : Des gens de tous les âges et de toutes les professions

Pour mieux connaître les profils des pratiquants du covoiturage, la *MAIF* a réalisé une étude en Décembre 2009 en collaboration avec le site Covoiturage.fr [1]. D'après cette étude, 33 ans est l'âge moyen des covoitureurs. En effet, le covoiturage n'est plus seulement une pratique d'étudiants et la majorité des usagers sont actuellement des actifs. Les profils-types des passagers sont des actifs et des étudiants non-motorisés (40%). 26% des interrogés sont plutôt jeunes âgés de moins de 23 ans et vivent davantage en milieu urbain (78%). Dans 59% des cas, ils ne possèdent ni voiture ni moto. Les conducteurs sont plutôt des actifs diplômés dont les revenus sont inférieurs au revenu médian français et qui cherchent à amortir les coûts de leur déplacement. 33% des conducteurs sont des cadres et 23% ont des professions intermédiaires. Parmi les conducteurs, certains sont essentiellement conducteurs, et d'autres peuvent être passager ou être conducteur.

1.6.3 Le cadre juridique

Ce nouveau service de transport est peu connu des réglementations sur le transport de personnes. L'existence du covoiturage et son éventuel développement suscitent un questionnement qui dépasse parfois le cadre de la réglementation des transports de personnes issue de (*LOTT*) du 30 décembre 1982. Des années plus tard, la pratique du covoiturage a considérablement évolué. Aucune charte ou loi ne l'encadre ni précise comment doit s'effectuer le partage des frais entre le conducteur et le passager. En 2007, l'Etat a commencé à s'intéresser au covoiturage et il a demandé un état des lieux au Certu [11]. La conclusion principale du rapport : l'état actuel des lois ne suffit pas à encadrer le

covoiturage. Deux ans plus tard, l'Etat réagit avec la loi du 3 août 2009 du Grenelle de l'environnement : « l'État apportera la sécurité juridique nécessaire au développement du covoiturage. ».

Dans un arrêt rendu le 12 mars 2013, la cour de cassation vient de se prononcer pour la première fois sur le caractère licite du covoiturage : « Le covoiturage est licite et ne constitue pas une concurrence déloyale à l'encontre d'une entreprise de transports publics à condition qu'il soit gratuit ou que l'argent versé par les personnes transportées corresponde à un partage des frais générés par l'utilisation du véhicule. »

En revanche, la cour de cassation a jugé qu'un conducteur qui effectuait de façon régulière des transports rémunérés de personnes au volant d'un véhicule commettait des actes de concurrence déloyale à l'encontre de l'entreprise de transport public et il est exposé aux poursuites des professionnels⁵. Par contre, les cas de covoiturage informel, c'est-à-dire sans structure intermédiaire tel que l'auto-stop, ne posent pas réellement de difficultés d'ordre juridique.

1.6.4 Le covoiturage : Des années 1970 à nos jours

Le covoiturage fait sa première apparition aux États-Unis durant la crise du pétrole des années 1970 sous la forme d'un covoiturage « domicile-travail » et un covoiturage « domicile-université ». Il est utilisé essentiellement pour lutter contre l'augmentation considérable du prix du carburant, caractérisant cette période. Pour contribuer au développement de cette pratique, l'état a adopté une politique incitative de construction de voiries dédiées aux véhicules à fort taux d'occupations appelées High Occupancy Vehicle lanes, *HOV* lanes ou Carpool lanes.

Il faut attendre jusqu'aux années 1980 pour que le covoiturage fasse sa naissance sur le continent européen. Conscients de l'apport écologique et financier de cette pratique, plusieurs pays mettent en place des outils favorisant et facilitant le covoiturage. En Belgique, une base de données nationale était fournie, sur laquelle chaque entreprise peut développer un service de covoiturage pour ses salariés. Depuis 1980, deux grandes associations s'engagent pour gérer le covoiturage en Allemagne, et en Grande-Bretagne,

5. Cour de cassation - Chambre commerciale 'Légifrance, le service public de la diffusion du droit', Audience publique du 12 mars 2013.

une voie réservée aux bus, vélos et covoitureurs a été installée le long d'une section de route afin d'encourager les gens à covoiturer[11]...

En France, bien qu'il existe déjà des traces de covoiturage informel dès les années 1960-1970 (association Allostop), surtout entre les étudiants, les premières traces de covoiturage organisé ne sont apparues qu'après la grève générale des transports collectifs de 1995. Durant cette période, le covoiturage serait passé en Ile-de-France de 6 à 11 % pour les déplacements domicile – travail d'après une enquête réalisée par l'Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies (*ARENE*)[11].

Afin d'inciter les gens à pratiquer le covoiturage, la France a installé quelques systèmes pour privilégier les covoitureurs. À la demande du ministère des Transports, la Société des autoroutes Paris-Normandie (*SAPN*), a instauré un péage gratuit pour les véhicules à taux d'occupation élevé dans l'autoroute A14. En effet, la gratuité du péage est garantie au titulaire de la carte d'abonnement Covoiturage A14 transportant au minimum 3 personnes dans un véhicule de classe 1. En 1998, le nombre de personnes titulaires d'un abonnement était de 680. En avril 2007, 1840 personnes étaient abonnées à la carte [11].

Depuis les années 2000, des opérateurs de mise en relation commencent à s'intéresser à l'Internet qui peut sans doute être perçu comme l'outil pivot de la propagation du covoiturage. L'Internet permet une mise en relation automatisée et instantanées pour des centaines de milliers de personnes sans intervention « humaine », sans service téléphonique onéreux et sans ajout de frais de mise en relation supplémentaires. Dans ce cadre, le site internet Blablacar⁶, leader français du covoiturage longue distance, est souvent mentionné comme une des plus belles réussites du web français.

1.6.5 Le covoiturage : Pourquoi ?

1.6.5.1 L'aspect économique

La valeur des sièges vides des quelques 500 millions de voitures privées qui arpentent les routes de la planète chaque année est estimée à 500 milliards de dollars [27]. Dans un contexte économique difficile, la principale raison avancée pour pratiquer le covoiturage est la dimension financière.

6. <https://www.blablacar.fr>

L'enquête établie par la *MAIF* a montré que 94 % des personnes pratiquant le covoiturage, le font pour des raisons financières [1]. En effet, en moyenne, une voiture coûte 6000 euros par an, ce qui représente une somme 60 fois plus importante que celle du vélo et 20 fois plus qu'un abonnement en transport en commun. Le covoiturage permet le partage de l'ensemble des frais entre les voyageurs : essence, péage, assurance, entretien de la voiture, ect. Du coup, le covoiturage permet, notamment aux salariés, de diviser leur frais de transport travail - domicile par 2, voire par 3. Si on considère que 3 personnes covoiturent sur un trajet de 30km, l'économie réalisée est de 3105 euros par an (Figure 1.8).

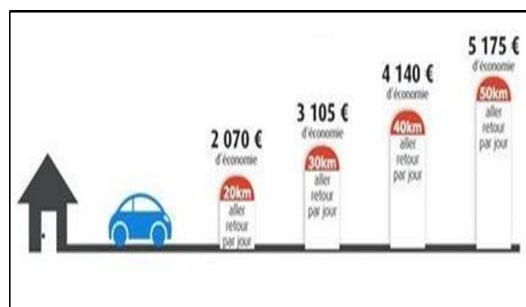


FIGURE 1.8: Economies annuelles réalisées sur un trajet quotidien domicile-travail
Source : ademe.fr eco-déplacements calculette

Dans le cas des longs trajets, et grâce au partage des frais d'essence et de péage, le covoiturage permet aux automobilistes d'économiser par exemple 114 euros sur un Paris - Bordeaux en accueillant 3 passagers à bord (Figure 1.9).

	Avec 6 centimes de réduction / Litre	Avec 1 passager en covoiturage	Avec 3 passagers en covoiturage
Paris - Lille (18L - 222 km)	1,08 € d'économie	15 € d'économie	45 € d'économie
Paris - Rennes (28L - 350 km)	1,68 € d'économie	22 € d'économie	66 € d'économie
Paris - Bordeaux (47L - 583 km)	2,82 € d'économie	38 € d'économie	114 € d'économie
Nantes - Montpellier (64L - 823 km)	3,96 € d'économie	55 € d'économie	165 € d'économie

FIGURE 1.9: Economies pour les automobilistes
Source : BlaBlaCar éditeurs de covoiturage.fr

En plus de l'économie pour le covoitureur, le covoiturage permet de réaliser une économie importante pour la collectivité. En effet, les infrastructures routières représentent une part conséquente du budget des collectivités. Développer le covoiturage ,c'est réduire la pression sur les installations routières.

1.6.5.2 Un geste pour l'écologique

Selon une étude de l'*IEA* (International Energy Agency), le transport routier est responsable de 18% des émissions de CO_2 . Entre 6.500 et 9.500 personnes meurent tous les ans à cause de la pollution automobile, selon l'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale (*AFSSE*) [22]. En 2011, 50 millions de tonnes équivalent pétrole ont été consommées pour le transport routier, selon le ministère de l'écologie et du développement durable. Cette consommation a provoqué la production de 132,5 millions de tonnes équivalent CO_2 de gaz à effet de serre. Les véhicules particuliers représentent plus de 50% de cette pollution. Et même si les véhicules polluent de moins en moins (134g/km en 2009 contre 124g/km aujourd'hui) de grandes économies de pollution pourraient être faites : les millions de véhicules qui circulent en France contiennent en moyenne 1,1 passager. Plus d'un trajet sur deux est réalisé pour une distance de moins de 10 km.

Selon une enquête réalisée dans la ville de Téhéran, capitale de l'Iran, S. Seyedabrishami a montré dans ses travaux que le choix de covoiturage diminuerait environ 780000 trajets de véhicules par jour et réduirait la consommation annuelle de carburant de 336 530 000 litres [29]. Les résultats montrent aussi que si des stratégies appropriées comme des sites Web de covoiturage sont conçues pour aider les voyageurs à trouver les itinéraires appropriés, le covoiturage augmenterait de 30% et cette augmentation permettra de réduire la consommation annuelle de carburant d'environ 240 millions de litres.

Si l'urgence climatique est globale et lourde de conséquences pour notre futur, les émissions de la voiture sont aussi locales et néfastes pour notre santé, dès maintenant. Selon une étude de l'Inserm, les véhicules particuliers sont responsables de plus du quart des émissions d'oxyde d'azote, gaz irritants qui pénètrent dans les ramifications les plus fines des voies respiratoires. Chez les personnes sensibles, ils peuvent provoquer des difficultés respiratoires, une hyperréactivité bronchique, et chez l'enfant, ils favorisent l'accroissement de la sensibilité des bronches aux infections⁷.

Le covoiturage s'inscrit donc dans une politique générale de développement durable, en limitant la circulation automobile globale. Il présente une pratique qui permet de diminuer considérablement le nombre de voitures circulant sur les routes. La première

7. <http://www.ecolutis.com/le-covoiturage/25-covoiturage/45-economique>

conséquence est la diminution de la pollution et de l'émission des gaz à effet de serre. Ceci permet également la diminution de consommation d'énergies non renouvelables comme le pétrole.

1.6.5.3 Des trajets plus rapides

Grâce à la diminution du nombre de voitures circulant au même moment, les embouteillages et les autres ralentissements aux entrées des villes, aux heures de pointe, seront considérablement réduits. Par conséquent, les routes deviennent plus fluides et les trajets plus rapides. En plus, les problèmes de stationnement seront également résolus car un nombre moins important de véhicules auront besoin de parking. Par la suite, on perd moins de temps en cherchant une place au parking.

En plus, le covoiturage peut résoudre le problème du transport dans les zones rurales. Donc, il permet de remédier à l'inefficacité du transport en commun, lorsqu'il s'agit de desservir les zones éloignées du centre de la ville. Dans ce contexte, les résultats d'une simulation réalisée par LeasePlan⁸ prouvent que pour se déplacer d'une banlieue vers le centre-ville, le temps de trajet en transports en commun est plus de quatre fois plus long qu'en voiture.

En outre, le covoiturage est une solution efficace pour décongestionner les villes. En effet, grâce à la mise en place d'une voie de covoiturage, les volontaires de San Francisco ont réduit de 30 minutes la durée de trajet quotidien. Et à Toulouse, il est prouvé que 5% de trafic en moins permettrait de fluidifier complètement les trajets domicile-travail, notamment, pendant les heures de pointe [2].

1.6.5.4 Une route plus conviviale

En plus de ses intérêts écologiques et économiques, le covoiturage permet de développer des liens sociaux entre les voyageurs. En effet, cette pratique permet de couper avec la monotonie des trajets en voiture, lorsque l'on est seul au volant de sa voiture. Ainsi, covoiturer peut être une occasion de rencontre et de convivialité. Ces rencontres permettent de révolutionner le modèle classique des voyages, d'étendre sa culture, de découvrir de

8. <http://www.leaseplan.be>

nouveaux métiers... Tous ceux qui pratiquent le covoiturage régulièrement l'avouent, les conversations en voiture sont souvent animées et conviviales.

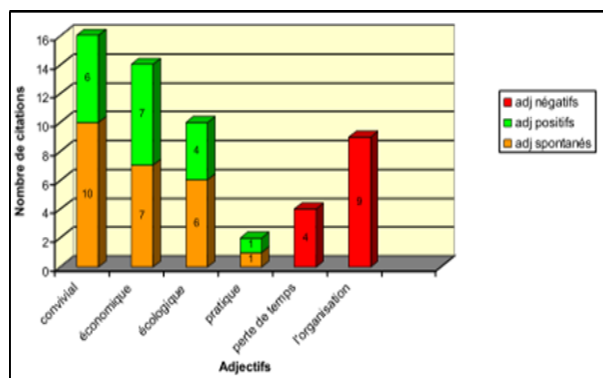


FIGURE 1.10: Pourquoi on choisit le covoiturage?
 Source : Développer une infrastructure de covoiturage, Juin 2010

À la lecture de ce diagramme (Figure 1.10), le covoiturage s'avère être un mode positif chez la majorité des usagers. Par ailleurs, c'est un mode convivial, ce qui constitue une caractéristique exceptionnelle pour un mode « collectif ». En effet, si les transports communs s'avèrent généralement positifs, vu leurs avantages écologiques, économiques, pratiques, etc. jamais la convivialité n'est vue comme un de leurs atouts [3].

1.6.6 Les formes du covoiturage

1.6.6.1 Les trajets

Selon la fréquence du covoiturage, on distingue trois types de trajets de covoiturage [2] :

1. Les trajets réguliers : Ce sont les trajets qui se font de manière hebdomadaire, soit par jour ou par semaine... La majorité de ces trajets journaliers font référence aux trajets domicile-travail.
2. Les trajets occasionnels : Ils indiquent les voyages qui se font occasionnellement et ils concernent généralement des trajets de longue distance, comme un départ en vacances ou des déplacements pour des événements exceptionnels (concert, festival...).

1.6.6.2 Les modes du covoiturage

On distingue deux modes de covoiturage :

1.6.6.2.1 Le covoiturage spontané

Le covoiturage spontané fait référence à toutes les personnes qui covoiturent sans passer par une structure de mise en relation.

- L'auto-stop : C'est la forme de covoiturage spontané la plus fréquente : elle ne nécessite pas le passage par une organisation ou une structure extérieure et n'exige pas le partage de frais de voyage. C'est une forme de transport simple où la personne faisant de l'auto-stop tente de se déplacer gracieusement, en montant à bord d'un véhicule qui exprime l'envie de transporter un inconnu.
- Le covoiturage informel : Dans ce genre de covoiturage, les partenaires de voyage sont indépendants de tout système et ils se mettent d'accord entre eux sur les modalités du trajet (horaires, point de rencontres, frais de transport..). Les pratiquants de ce genre de covoiturage sont généralement des amis, des membres d'une famille, des collègues ou des voisins, qui décident de s'organiser pour exécuter un trajet.

1.6.6.2.2 Le covoiturage organisé

Le covoiturage peut aussi être organisé ; c'est-à-dire que trouver un covoitureur potentiel exige le passage par une entité intermédiaire de mise en relation. Cette entité peut se présenter sous plusieurs formes :

- Centrale de mobilité : C'est une structure qui centralise toutes les informations concernant l'offre en transport. Elle fournit une information multimodale et un conseil en mobilité. Elle s'engage à améliorer le potentiel de transport alternatif, en incitant la combinaison entre les réseaux de transport en commun et les modes de transport émergents, tels que l'autopartage et le covoiturage ;
- Collectivités : certaines collectivités, principalement les départements, offrent un cadre favorisant le covoiturage en mettant à la disposition de leurs administrés un outil Internet pour la mise en relation.
- Associations : Ce genre de structures n'a pas de but lucratif. Elles sont généralement subventionnées par des organismes environnementaux, tels que l'*ADEME* et les collectivités. Cette aide financière reflète l'intérêt que porte ces organismes aux nouvelles formes de mobilité.

- entreprises / administrations : à travers la création d'un *PDE/PDA* (Plan Déplacements Entreprise/Administration), l'entreprise contribue à la propagation du concept de covoiturage. Dans ce contexte, ces structures s'intéressent de plus en plus aux déplacements de leurs salariés dans leurs trajets quotidiens domicile-travail et certaines mettent en place des services de covoiturages pour leurs employés ;
- Particuliers : Certains particuliers se sont lancés dans le développement d'un site Internet dédié au covoiturage. Dans la majorité des cas, l'initiative de développer un site de covoiturage est personnelle, mais dès lors que l'activité émerge, le particulier devient souvent une association.

La Figure 1.11 illustre les différentes structures qui offrent un service de covoiturage dont 43% sont des associations

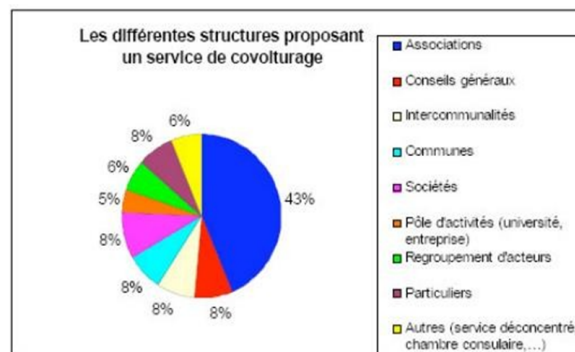


FIGURE 1.11: Les différentes structures proposant un service de covoiturage
Source : BDD Covoiturage (établie par recherche internet)-Echantillon : 78/78-100%

1.6.7 Covoiturage et Transport en commun, concurrents ou complémentaires ?

Les modes de transports, qu'ils soient publics ou particuliers, sont souvent complémentaires, car ils sont différents. Ce qui fait, que le covoiturage n'est pas un concurrent direct pour les transports en commun (*TC*), étant donné que les usagers se différencient. Le *TC* ne peut pas évidemment être présent dans tous les territoires, notamment rurbains ou ruraux, ni suffisamment rapide lorsqu'il y a un temps d'accès trop important ou des correspondances. Le covoiturage est alors une forme de "*TClight*" qui permet de pallier à ce manque. Le covoiturage peut d'ailleurs assurer le rabattement vers des gares routières ou ferroviaires, et éviter l'encombrement dans les parkings relais ou autres.

En outre, plusieurs risques et événements inattendus peuvent toucher les réseaux de transport publics. Nous parlons ici de manière spécifique des incidents et perturbations

provoquant le dysfonctionnement (partiel ou total) de ces réseaux et qui sont de plus en plus fréquents. Cette fréquence est devenue avec le temps inquiétante et déterminante pour la recherche d'un compromis visant l'interopérabilité entre les moyens de transport. Ce compromis porte le nom de la comodalité.

La comodalité étant définie comme « la combinaison optimale des différents modes sur la chaîne de transport, y compris la voiture personnelle »⁹. Ce nouveau concept vise de créer un lien de complémentarité entre la voiture personnelle et le reste des services de transport, afin de satisfaire plus de voyageur. La comodalité vient ainsi soigner l'image de l'automobile, mettant l'accent sur l'apport de son intégration dans les offres de transport, notamment en cas de perturbation ou d'allongement des distances hors d'atteinte des transports en commun [25].

Dans ce contexte, on peut citer l'exemple de Transilien développé par la *SNCF*¹⁰. Depuis le 16 septembre 2009, Transilien *SNCF* lance le premier site de covoiturage français destiné à assurer les déplacements jusqu'aux gares. Economique, convivial, écologique et pratique, ce service est lancé auprès de 23 gares dans le cadre d'une expérimentation menée en partenariat avec Green Cove Ingénierie, leader du covoiturage en France et soutenu par la *SNCF* et Norauto Groupe. Le service de covoiturage créé par Transilien *SNCF* offrira des avantages évidents :

- Aux clients (et futurs clients) de Transilien *SNCF* : moins de stress dû à la conduite quotidienne, plus de convivialité, une réduction de leur budget automobile.
- Aux riverains des gares : moins de problèmes de stationnement, moins de circulation, une qualité de vie améliorée.
- Aux élus des communes concernées : une moindre saturation des parkings, des rues plus apaisées, une diminution du danger routier, moins de pollution automobile et de nuisances sonores.
- À Transilien *SNCF* : plus de clients satisfaits dans les trains et les *TGV*.

Transilien propose 555 trajets depuis l'année 2011 pour aider les usagers à rejoindre leurs gares. Chaque mois une hausse des inscriptions est notée (Figure 1.12).

9. Commission, European. European transport policy for 2010 : time to decide. Bruxelles : Commission of the european communities, 2001. p. 124, White paper

10. <http://covoiturage.transilien.com/>

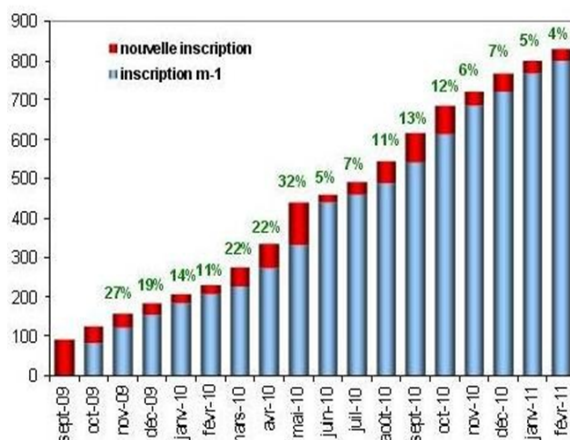


FIGURE 1.12: Augmentation du nombre d'inscriptions à l'offre de covoiturage Transilien *SNCF*

Source : Transilien SNCF

1.7 Les entraves au covoiturage

Plusieurs obstacles s'opposent à l'évolution du covoiturage ; des obstacles qui l'empêchent de devenir une pratique quotidienne et étendue. Ceux-ci sont de plusieurs ordres : ils dépendent en premier lieu des rapports entre les individus et des comportements humains en général. Ce frein, que l'on nomme plus souvent barrière psychologique, est le facteur majeur de la non-popularité du covoiturage. Viennent après, les barrières techniques faisant référence aux outils, aux plateformes et au fonctionnement des systèmes de covoiturage ; plus précisément, ils concernent les aspects techniques et technologiques imaginables et transposables au covoiturage. Mais premièrement, nous nous intéressons à estimer si la réglementation présente relative à la pratique du covoiturage est suffisante et si le cadre juridique réclame un approfondissement.

1.7.1 Les obstacles juridiques

Dans son étude sur le covoiturage, Clavel réclame que le cadre juridique de cette pratique nécessite encore une réglementation [11]. En effet, malgré les nombreux sites Internet qui essaient de rendre la pratique plus facile en mettant en relation les personnes, le covoiturage reste une activité libre. En d'autres termes, cette pratique ne fait l'objet d'aucune législation de restrictions et de contraintes à part l'interdiction de gain pour le conducteur. L'organisation du covoiturage consiste encore à mettre en relation des individus ou tout au plus à garantir une rencontre, et non à organiser véritablement

un service de transport à part entière. Dans ce qui suit, nous présentons une liste non exhaustive des obstacles à surmonter par les services de covoiturage, dans le but de rendre cette pratique un véritable mode de transport.

1.7.2 Les problèmes techniques

Les contraintes techniques sont perçues par les usagers comme la principale source de critiques et de démotivation. Ils présentent tous les incidents techniques qui peuvent gêner les potentiels covoitureurs, qu'il s'agisse du support du service de covoiturage et son fonctionnement, de la pratique en elle-même ou aussi d'éléments extérieurs indépendants du covoiturage. D'abord, le manque de flexibilité au niveau des horaires de travail est un obstacle majeur à la pratique. Citons l'exemple de deux individus habitant dans le même quartier et travaillant dans la même zone d'activités qui auront tout intérêt à covoiturer pour leur trajet domicile-travail. Toutefois, ces deux personnes ont des horaires distincts, l'un fait $5h - 12h$ et l'autre $8h - 17h$. Dans ce cas, le covoiturage ne peut pas être une solution de déplacement.

De plus, les contraintes s'apparentent à toutes les activités qui exigeraient un détour dans l'itinéraire domicile-travail. Aller chercher les enfants de l'école ou passer au super marché pour faire les courses nécessitent bien souvent un détour dans les trajets, ce qui fait que le covoiturage n'est pas une bonne solution. En effet, généralement, le passager n'est pas forcément enclin à accepter un détour qui peut générer une perte de temps pour lui.

Les différentes situations présentées précédemment confirment le besoin d'une optimisation à cause du caractère plus ou moins aléatoire de l'offre et de la demande. Les horaires et les arrêts ne sont pas connus à l'avance et les itinéraires sont créés à la volée, d'où la nécessité d'introduire des marges temporelles (pour réaliser des détours). Ces marges temporelles se basent essentiellement sur la tolérance des passagers à autoriser plus ou moins de retards causés par les détours occasionnés pour récupérer les passagers potentiels.

D'autre part, la mise en relation entre un conducteur et un passager est un moment clé de la réussite du système. En effet, des échecs répétés de mise en relation peuvent décroître, plus que d'autres problèmes techniques, la motivation des voyageurs, surtout

pour les passagers. Autrement dit, le passager ne fera plus de confiance au système de covoiturage. D'où la mise en place d'un système d'information pour le covoiturage paraît indispensable pour garantir le succès d'un tel système.

Ce système d'information s'engage à fournir aux participants les renseignements suivants :

- La réception des notifications précises en temps et en heure,
- L'information sur la localisation du passager,
- L'indication réaliste, en cas de congestion, du temps d'attente pour le passager et du temps de détour pour le conducteur. . .

1.7.3 La barrière psychologique

Franchir la barrière psychologique sollicite un travail considérable d'étude du comportement. D'après une étude réalisée au Laboratoire d'Économie des Transports [31], trois raisons ont été dégagées pour expliquer la réticence à covoiturer :

1.7.3.1 Une offre éparpillée

Pour plusieurs usagers, l'émiettement de l'offre représente une source de dissuasion. En effet, la foule des sites Internet de covoiturage morcelle les offres, ce qui rend la mise en relation de potentiels covoitureurs plus difficile et diminue la probabilité de trouver la bonne combinaison offre-demande. Néanmoins, rapidement, l'utilisateur ressent un sentiment d'inutilité et une impression de perte de temps. Donc, le morcellement de l'offre est un inconvénient important pour le développement de la pratique. Afin de pallier à ce problème, il est urgent de créer un système permettant la centralisation des offres de covoiturage et la mutualisation des bases de données. Donc, l'utilisateur peut trouver un covoitreur sans être obligé de s'inscrire sur différents sites.

1.7.3.2 La peur de l'inconnu

Le covoiturage crée certainement un lien social entre le(s) passager(s) du même véhicule. Dans ce contexte, deux individus contraints à faire une activité commune, en l'occurrence un trajet commun, entretiennent forcément une relation originale; d'autant plus

que s'il s'agit d'une activité où les deux individus occupent le même espace. Dans le cas particulier du covoiturage occasionnel, la peur de l'autre peut déboucher sur une sensation d'insécurité de la part du conducteur ou du passager, notamment, lorsqu'il s'agit d'une femme. En effet, il est prouvé que les femmes sont moins susceptibles à choisir le covoiturage pour cette raison.

Heureusement, les progrès technologiques de ces dernières décennies de l'internet, de la téléphonie mobile et des systèmes de géolocalisation ont largement contribué à faciliter et optimiser la pratique de covoiturage, ils permettent plus aisément aux usagers de trouver, de contacter et de constituer les équipages. Il reste l'avantage majeur de ces systèmes, c'est qu'ils permettent une géolocalisation continue tout le long du trajet, ce qui offre par la suite une marge de sécurité considérable.

1.7.3.3 La voiture : Un espace privé

Pour certains, la voiture est un espace personnel et intime, où il est libre de faire ce qu'il veut. Dans ce sens, écouter la radio, chanter ou téléphoner via une oreillette s'apparente à des activités privées, que l'on ne peut pas ou guère partager avec autrui. De ce fait, le partage d'un espace privé tel que le véhicule, n'est pas simple, d'autant plus si les goûts et les habitudes diffèrent.

Du moment que ces obstacles sont dépassés, c'est une nouvelle mobilité, plus économique, écologique et conviviale, qui s'ouvre aux automobilistes, qui sont loin d'imaginer les bénéfices que l'on peut réaliser en partageant sa voiture.

1.8 Le covoiturage : état de l'art

Aujourd'hui, il existe plusieurs travaux qui s'articulent autour du covoiturage, permettant l'aboutissement à des systèmes assez performants. Ces systèmes proposent des services plus ou moins satisfaisants pour les usagers mais ils restent encore embryonnaires. Suivant les critères de gestion des réservations adoptés au sein du système, les travaux réalisés jusqu'à maintenant peuvent être subdivisés en deux catégories. La première catégorie se base sur une gestion statique des réservations, alors que la deuxième traite

l'aspect dynamique en temps réel. Dans ce cadre, nous exposons une liste non exhaustive de ce qui a pu être réalisé autour de ce sujet, en effectuant un distinguo entre :

1. Les systèmes opérationnels, tels que les sites de covoiturage qui demeurent pour la plupart des systèmes ouverts et non optimisés.
2. Les travaux académiques réalisés aux fins des modélisations et de l'optimisation de tels systèmes.

1.8.1 Les systèmes opérationnels du covoiturage

1.8.1.1 Le covoiturage statique

La majorité des systèmes existants appartiennent à cette catégorie et se présentent souvent sous forme de systèmes non automatisés, accessibles via le web, intégrant tout au plus les fonctionnalités de gestion des offres et des demandes de covoiturage. Le fonctionnement de tels supports en est ainsi simplifié ; elle nécessite une inscription préalable pour pouvoir avoir accès aux différentes fonctionnalités offertes par le biais de ces supports. La Figure 1.13 montre la croissance spectaculaire du nombre de sites internet dédiés au covoiturage statique depuis 1990.

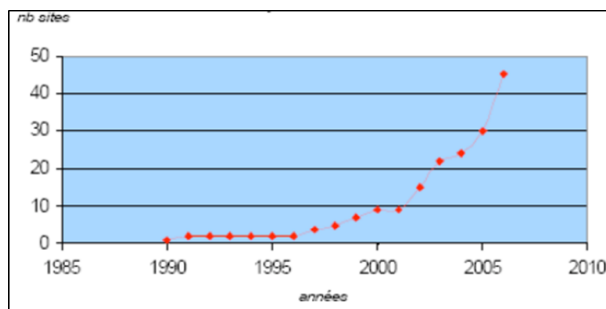


FIGURE 1.13: Croissance du nombre de sites de covoiturage depuis 1990
Source : CERTU. Op. cit

1.8.1.1.1 Les sites de covoiturage ouverts à tous

En mars 2007, on peut recenser approximativement 78 sites de covoiturage en France, accessibles à tous, et qui constituent près de 430000 inscrits et 500 000 annonces. Plus de la moitié des sites proposent à la fois des trajets réguliers (domicile-travail, ou domicile-école) et des trajets occasionnels (notamment sur de longues distances), mais dans 32 % des cas, ce sont principalement des trajets réguliers qui sont présentés. Pour y accéder,

il faut juste une simple inscription. Ensuite, selon le profil , conducteur ou passager, l'utilisateur peut déposer ou consulter des offres de covoiturage. 76% de ces sites sont mis en œuvre par des associations de covoiturage. Les autres sites ont été développés par des conseils généraux et intercommunalités [11].

La pratique du covoiturage progresse très fortement : à titre d'illustration, le nombre d'utilisateurs de la plateforme ouverte Blablacar¹¹ progresse de manière très rapide et l'entreprise revendique en 2015 plus de 20 millions de membres dans le monde [10]. Aujourd'hui, Blablacar est implanté dans 14 Pays et compte plus de deux cents employés avec de bonnes perspectives d'embauche sur l'année prochaine (environ une centaine). Leur dernière levée de fonds s'élève à 100 millions de dollars, afin de s'implanter à l'étranger. Cette évolution spectaculaire traduit l'ampleur de ce phénomène. La Figure 1.14 illustre le mode de fonctionnement du site BlaBlaCar :

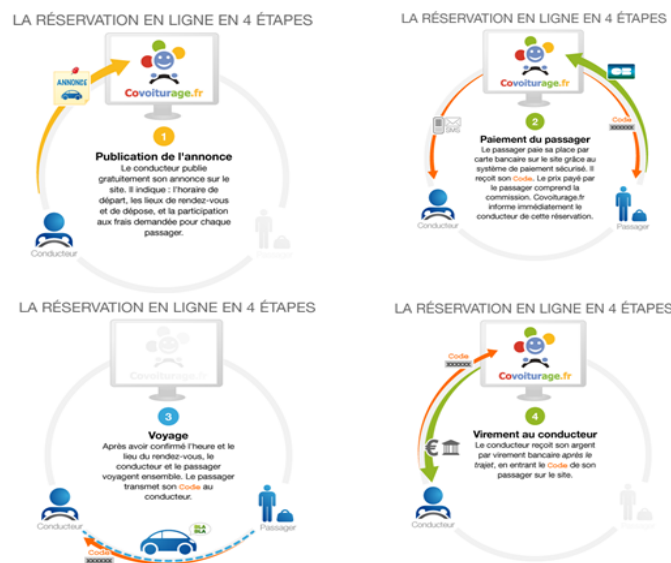


FIGURE 1.14: BlaBlaCar : Comment ça marche ?

Tout dernièrement, en 2014, La *SNCF* vient de jouer un coup double en ouvrant une nouvelle plateforme de covoiturage appelée *IDvroom*¹². C'est un portail ouvert à tous, c.à.d qu'il n'est pas réservé aux clients de la *SNCF*. L'objectif était d'attirer de nouveaux revenus et de ne pas se laisser dépasser par le déjà omniprésent *BlaBlaCar*. En outre, ce projet s'inscrit dans le cadre de sa stratégie de voyages « porte à porte », qu'elle a débutée avec des services aux particuliers comme la location de véhicules à l'arrivée du

11. <https://www.blablacar.fr/>
12. <https://www.idvroom.com/>

train, le service chauffeur qui vous amène ou ramène de la gare ou encore la prise en charge des bagages à domicile.

Le principe de *iDVROOM* est à peu près le même que celui de la concurrence. L'utilisateur a le choix entre un trajet unique ou des trajets réguliers domicile-travail. Le conducteur fixe aux passagers le coût kilométrique plafonné par la loi à 0,50 euro/km. Les covoiturés peuvent régler le montant de leur trajet directement en ligne. A l'arrivée, ils transmettent au conducteur leur code passager envoyé par le site lors de la réservation. Après, l'argent est viré sur le porte-monnaie IDvroom qui va ensuite payer le conducteur après avoir empoché une commission [13].

La plateforme *iDVROOM* dispose de quelques options originales dont l'une est baptisée « 100% filles ». Ils sont des trajets visibles uniquement par les femmes. D'autres options peuvent être citées telles que les trajets à thème qui peuvent être associés à des événements, souvent culturels. Fort d'une communauté de 900 000 covoitureurs, l'ambition de *iDVROOM* est de dynamiser le marché de la voiture partagée.

1.8.1.1.2 Les sites de covoiturage à accès limité

Concernant le covoiturage à usage « restreint », c'est-à-dire mis en place par une entreprise, collectivité ou autre structure pour son personnel, il existe 69 sites (liste non exhaustive) qui ont été recueillis [11]. Selon le cas, un code entreprise / administration, une matricule salarié, le numéro d'étudiant ou encore le numéro de sécurité sociale seront obligatoires pour bénéficier du service. Selon les entreprises, le nombre d'inscrits au covoiturage varie entre 0,3% et 13% des effectifs, mais cette pratique via Internet est très récente (10 sites recensés en France en 2001, 36 en 2006) [11]. Ceci étant, l'entreprise reste un cadre idéal pour le covoiturage, puisque le point de départ ou la destination sont forcément les mêmes pour les covoitureurs et que la confiance est d'emblée plus facile entre des personnes travaillant dans la même entreprise.

Néanmoins, les systèmes statiques demandent une réservation à l'avance en s'appuyant sur un raisonnement statique, sans tenir compte des événements instantanés. Donc, ces systèmes ne permettent pas une allocation temps réel des véhicules, ce qui ne fournit pas une réponse instantanée à l'utilisateur.

Afin de faire face à ce déficit, des systèmes de covoiturage dynamiques sont développés avec une gestion temps-réel du service. Ce type de covoiturage présente un fort potentiel de développement, du fait de la souplesse du service qu'il vise à apporter, grâce à ses grands principes : le temps réel, l'optimisation des trajets et la garantie d'un service fiable.

1.8.1.2 Le covoiturage dynamique

Le covoiturage dynamique consiste à fournir en temps réel aux usagers une opportunité de covoiturer au pied levé. Inversement au covoiturage classique, dit statique, il permet plus de souplesse, de flexibilité, de crédibilité, d'instantanéité et moins d'interdépendance entre les covoitureurs. Le fonctionnement est simple : la personne désirant effectuer un trajet en covoiturage envoie une requête au service, quelques minutes avant son départ. Le service cherche alors le conducteur adéquat qui est capable d'offrir le covoiturage désiré sur l'itinéraire sollicité.

Le principe se base sur un échange instantané de données, entre les conducteurs et les passagers potentiels, via au minimum, un Smartphone équipé d'un outil GPS, permettant la géolocalisation en temps réel des passagers et des conducteurs, et permettant leur mise en relation directe. Avec un nombre suffisant d'adhérents, le fonctionnement est flexible et offre une bonne qualité de service : la probabilité de trouver le covoitreur adéquat est considérable. Ce système peut être complémentaire aux transports publics et autres solutions alternatives, comme l'autopartage, les vélo-stations, etc. Depuis quelques années, des expérimentations de covoiturage dynamique voient le jour. Parmi les systèmes réalisés, on peut citer :

- GreenMonkeys, la flexibilité au service des déplacements pendulaires : L'entreprise GreenMonkeys¹³ propose des services de covoiturage pour les entreprises. Après le succès de son expérience dans la Ville de Genève, elle a mis en place un système de plateforme pour les employés de l'administration de la Ville de Marseille. Grâce à des algorithmes très développés, les conducteurs et passagers précisent sur la plateforme l'origine et la destination de leurs trajets, et Greenmonkeys garantit qu'un transport sera à disposition pour réaliser le trajet. Si la solution du covoiturage est impossible, l'entreprise s'engage à payer le taxi. Les

13. www.greenmonkeys.com

trajets coûtent 21 centimes d'euro/km, dont 3 centimes font la part de l'entreprise et le reste revient au conducteur. Le paiement de la course se fait automatiquement par un système de porte-monnaie électronique.

- CoviGo, le covoiturage en temps réel ? : CoviGo¹⁴ est un site qui se spécialise dans le covoiturage dynamique à travers une interface, de type smartphone, connectée à un système *GPS*. Il offre la possibilité pour un conducteur d'être informé en temps réel et en tout lieu des passagers souhaitant être véhiculés en même temps que lui, et seulement dans une direction identique à la sienne. Le système d'information détermine automatiquement les coûts et les gains conducteurs/passagers et gère leur mise en relation.
- Avego, vers un covoiturage dynamique à grande échelle ? : L'entreprise irlandaise Avego¹⁵ semble la seule qui offre une application de covoiturage dynamique qui fonctionne sur de plus grands territoires. Le système, qui se base sur un système de Mapflow (ou cartographie en flux continu) est le suivant : le conducteur indique son trajet sur la plateforme Avego. Son trajet est suivi par un système *GPS* et présenté sur la plateforme en temps réel. Les éventuels passagers peuvent être informés des opportunités de covoiturage qui passent à proximité, et exprimer leur intérêt via l'application. Quand chacun a signalé son intérêt, ils reçoivent une notification qui précise le point de prise en charge. A l'approche du point de prise en charge, le conducteur reçoit un message sonore pour le prévenir. Il n'y a pas d'échange d'argent, par contre, les frais sont gérés en ligne, et au terme du trajet, chacun note de 1 à 5 son niveau de satisfaction. Si l'un des deux attribue une note 1, les utilisateurs ne sont plus remis en contact. Ce système implique de mettre à disposition des informations personnelles. Cependant, il offre aux utilisateurs le droit de savoir avec qui ils vont voyager à l'avance, d'autant plus que ces systèmes sont quasiment similaires à ceux antérieurement décrits, à la seule différence qu'ils offrent l'avantage de consulter en temps réel la liste des offres des véhicules en circulation. L'intégration de services de géolocalisation est à la base de la possibilité de mise en place de tels services. Les fonctionnalités supplémentaires des services de covoiturage dynamique ainsi définies se résument généralement en la récupération de données *GPS* actualisées et de les fournir à leurs abonnés.

14. <http://www.covivo.fr/fr/covoiturage-dynamique.html>

15. www.Avego.com

Néanmoins, malgré les progrès technologiques et les efforts déployés dans ce sens, la plus part des systèmes existants implémentant un service de covoiturage en temps réel, sont restés au stade embryonnaire due principalement au manque de sécurité, et à la faille d'automatisation. En outre, comparés aux systèmes statiques, les plateformes dédiées au covoiturage dynamique, présentent l'avantage de consulter en temps réel la liste des offres des véhicules en circulation. Par contre, l'aspect optimisation est complètement ignoré. En effet, ces systèmes n'intègrent pas des algorithmes de recherche pour générer des affectations Véhicule/Requête, optimisant certains critères tels que le coût et la durée du voyage et respectant quelques contraintes telles que la capacité des véhicules et la synchronisation des transferts.

1.8.2 Côté académique : Outils et Approches proposées pour le covoiturage

Le partage des véhicules est devenu récemment une pratique développée grâce principalement aux avantages économiques, écologiques et sociaux qu'il offre. Dans ce cadre, le covoiturage attire de plus en plus l'attention des chercheurs dans le monde entier. De nos jours, il existe de nombreux travaux de recherche qui s'intéressent au covoiturage. Dans ce qui suit, nous présenterons une vue d'ensemble sur ces travaux réalisés jusqu'aujourd'hui.

En 2009 J.Ferreira a conçu un "collaborative Car Pooling system" (Figure 1.15). C'est un système de covoiturage basé sur un mécanisme de crédits, afin de motiver la coopération entre les utilisateurs [17]. Ces derniers peuvent dépenser les crédits accumulés pour payer des places de parking. Les chercheurs ont choisi la zone métropolitaine de Lisbonne comme scénario d'application.

S.Cho a développé en 2012 un système de covoiturage basé sur des agents communicants appelé "Agent-based Interaction Model". Dans son approche, S.Cho a choisi les Systèmes Multi-Agent (*SMA*) pour modéliser les utilisateurs dont chaque agent possède un profil et une réputation. Ces agents interagissent entre eux, dans le but de trouver un plan de covoiturage optimisé.

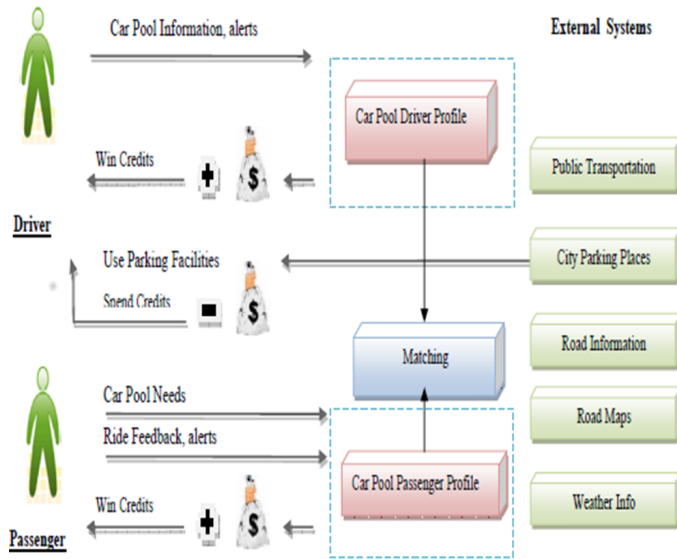


FIGURE 1.15: Un système de covoiturage collaboratif, J.Ferreira 2009 [17]

R.Wolf Calfler a proposé en 2004 un système pour le covoiturage journalier basé sur des informations distribuées [9]. Ce système cherche des affectations optimisées en implémentant un algorithme heuristique. Cet algorithme attribue à chaque utilisateur un score et suivant l'ordre décroissant des scores, il affecte les clients aux serveurs les plus proches. La Figure 1.16 montre le système proposé avec *SCAR*, *WCCR* et *MCAR* qui sont des outils de réception et d'envoi des requêtes, *OPT* c'est le processus qui génère des solutions de covoiturage optimisées et *GUI* est une interface graphique

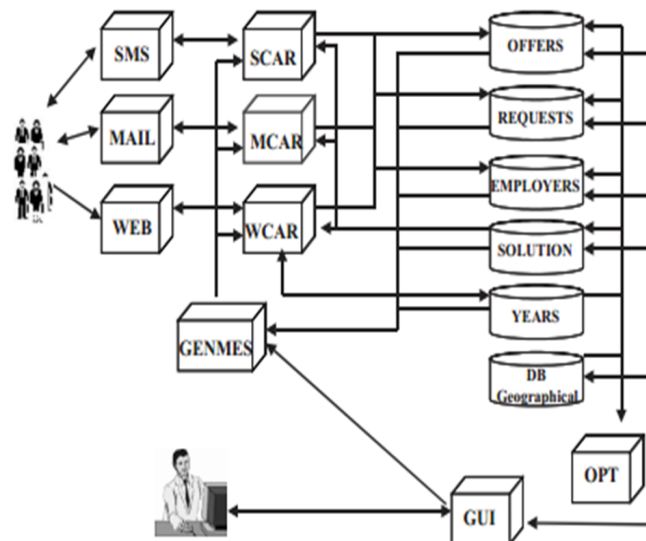


FIGURE 1.16: Un système de covoiturage basé sur des informations distribuées, Wolf 2004 [9]

Du point de vue modélisation, plusieurs chercheurs ont focalisé sur le problème "to-work" (plusieurs origines vers une seule destination) et le problème "return-from-work" (d'une seule origine vers différentes destinations). Dans ce sens, Bruglieria et al. ont réalisé un système de covoiturage pour les étudiants et les fonctionnaires des universités de Milano [20]. Outre que la proposition de correspondances entre les utilisateurs, le système fournit le calendrier prévu pour leurs déplacements. En plus, les utilisateurs peuvent sélectionner comme destination une gare ferroviaire ou une station de métro, afin d'encourager les moyens les plus écologiques. Pour résoudre ce problème, ils ont utilisé une heuristique, basée sur la méthode de Monte Carlo guidée. L'algorithme proposé minimise une fonction objectif, sous réserve des fenêtres de temps des utilisateurs et des contraintes de capacité de la voiture. La fonction objectif est une somme pondérée des termes différents, dans l'objectif de maximiser le nombre d'utilisateurs desservis, en minimisant la longueur totale de l'itinéraire, et en maximisant les préférences des utilisateurs satisfaits. A la fin du service, le système calcule le coût du voyage et propose à chacun le montant à payer. Dans le même sens, Yan a présenté un système qui gère les informations instantanées et intègre un processus de communication pour résoudre le problème de covoiturage journalier [9]. Afin de l'appliquer sur un cas réel, le modèle est supporté par une base de données contenant les informations des utilisateurs potentiels (les employés d'une entreprise) qui réclament des demandes de déplacement entre l'entreprise et leurs lieux d'habitation. D'autres chercheurs se sont intéressés au problème de covoiturage de type "many-to-many" (plusieurs origines vers plusieurs destinations). Ces travaux se focalisent sur la mise en relation entre : (i) un conducteur avec plusieurs passagers, (ii) différents conducteurs avec un seul passager, (iii) différents conducteurs avec différents passagers (voir e.g. [6]). Dans ce contexte, Yan et al. ont développé un modèle pour le problème de covoiturage "many-to-many", en utilisant des informations pré-matching [30]. Ces informations concernent les profils des usagers, les itinéraires, les horaires, etc. Le modèle est formulé comme un problème de flux de réseau de marchandises multiples et un algorithme basé sur la relaxation lagrangienne et développé pour résoudre ce modèle.

Si nous tolérons le transfert entre les véhicules, un passager peut voyager avec plus d'un conducteur, afin de rejoindre sa destination finale. Ce genre de covoiturage est appelé "Multi-hop" et il est plus souple que d'autres formes de covoiturage en offrant plus de choix pour le passager. Dans ses travaux, Gruebele a fait valoir qu'une affectation entre

un conducteur et un passager ne doit pas être réalisable que s'ils ont la même destination ou leurs routes se coïncident [24]. En effet, d'après le chercheur, une parfaite affectation provoque parfois un temps d'attente très élevé. Par conséquent, Gruebele a proposé un système de covoiturage dynamique de type "Multi-hop", en divisant les itinéraires des passagers en des tronçons plus petits pour les gérer séparément. Selon Herbawi et al., dans un problème de covoiturage "Multi-Hp", l'ensemble des offres des conducteurs qui constituent les itinéraires des passagers sont appelés le plan de route. Ce dernier est un sujet d'optimisation multi-objective tel que la minimisation du temps et du coût des voyages [33]. Pour résoudre ce problème, les auteurs ont commencé par la modélisation du plan de route comme un problème multi-objectif de plus court chemin sur un graphe temporel représentant les offres des conducteurs. Puis, ils ont proposé une approche évolutionnaire qui est en mesure de fournir un plan de route de bonne qualité dans un temps d'exécution limité.

Cependant, dans leur version du problème de covoiturage "Multi-Hop", les conducteurs ne dévient pas de leurs itinéraires initiaux et les solutions fournies doivent respecter les fenêtres temps des utilisateurs, ce qui peut réduire la flexibilité des solutions générées. Partant de ce constat, le détour peut être considéré comme un concept intéressant dans le domaine de la recherche liée aux systèmes de covoiturage "Multi-Hop". Au lieu de se concentrer uniquement sur l'acheminement efficace des passagers en se basant sur un réseau donné avec des nœuds de transfert fixes, Agatz et al. soulignent que l'endroit où placer les nœuds de rencontre ou de transfert pourrait être une question intéressante [6]. Dans ce contexte, certaines études ont pensé à introduire le concept de détour, où un conducteur accepte d'ajouter quelques kilomètres à son itinéraire pour aller récupérer un passager de son origine ou même d'un point de transfert qui ne fait pas partie de son parcours initial. Geisberger et al. ont développé une solution algorithmique pour calculer efficacement le détours, afin de satisfaire le maximum de demandes de déplacement [15]. A condition que la distance de la route résultante ne dépasse pas un seuil prédéfini, les auteurs ont proposé de permettre au conducteur de modifier légèrement son itinéraire pour accueillir plus de passagers.

En essayant de tirer profit des nouvelles technologies offertes par les systèmes de localisation et les plateformes de navigation et de communication, plusieurs études se sont focalisées sur le problème de covoiturage dans le contexte dynamique. Dans ce contexte, Lalos et al, ont élaboré un Framework, en utilisant les systèmes de positionnement pour

réaliser un réseau dynamique de covoiturage et de taxi [19]. Les systèmes de positionnement permettent d'identifier les coordonnées géographiques d'un dispositif mobile en utilisant plusieurs technologies de positionnement différentes telles que le *GPS*. Une communication efficace entre les utilisateurs est cruciale pour la mise en place d'un système de covoiturage dynamique compétitif. C'est dans ce sens que Nagare et al. ont utilisé une plate-forme Android pour développer une application dynamique de Covoiturage permettant une communication efficace et instantanée entre le propriétaire de la voiture et le demandeur de déplacement [21]. Afin de profiter des Technologies de l'Information et de la Communication (*TIC*) dans le développement des systèmes de transport intelligents, Dimitrakopoulos et al. ont proposé une nouvelle fonctionnalité de gestion pour le covoiturage dynamique appelée *i-Cap*. Le système vise à exploiter les connaissances et l'expérience des interactions passées, en proposant des affectations fiables entre les conducteurs et les passagers [12].

En ce qui concerne la tarification, la littérature sur le covoiturage considère des frais de déplacement différents qui sont à peu près proportionnels à la distance parcourue [5]. D'autres façons de partage des frais de déplacement entre les partenaires du covoiturage sont suggérées. Un mécanisme à base d'enchères pour déterminer le remboursement des pilotes a été présenté par Kleiner et al. [18]. En effet, chaque passager doit payer la différence entre le coût de la conduite seul dans une voiture privée et le coût de prendre un taxi. Ferreira et al. ont présenté une architecture d'un système collaboratif de covoiturage basée sur un mécanisme de crédits pour encourager la coopération entre les conducteurs et les passagers potentiels [17]. Ces derniers peuvent passer les crédits accumulés sur des places de parking. Pour cela, le projet présente une collaboration entre un système de covoiturage et un parking. LE système proposé fonctionne suivant des informations du trafic fournies en temps réel et il cherche les meilleurs chemins, en utilisant une version dynamique de l'algorithme Dijkstra.

1.8.3 Constat

Bien qu'il existe de nombreuses tentatives pour fournir un service de covoiturage, elles ne rencontrent pas le succès attendu, en raison principalement du manque de flexibilité et d'incitations [14]. En effet, malgré l'avancement technologique et les efforts déployés, la majorité des systèmes existants restent insatisfaisants, à cause de la démotivation

des personnes à utiliser de tels systèmes. Ce refoulement est expliqué notamment par leurs multiples inconvénients. En effet, la plupart des approches proposées présentent de multiples lacunes de première importance : dysfonctionnement, insuffisance de performance, manque d'automatisme, insécurité, etc. Aussi, l'aspect économique n'est pas suffisamment traité dans les systèmes existants. Du coup, la majorité des opérateurs de covoiturage lésinent sur les fonctionnalités et offrent des services aussi basiques que possible, dépourvus d'originalité, et parfois même de l'essentiel (automatisation des tâches, gestion en temps réel...).

Pourtant, seule une minorité de travaux dans le domaine de la recherche se sont concentrés sur l'aspect temps réel de cette pratique. En plus d'être peu, la majorité de ces expérimentations demeurent au stade de l'ébauche ou de l'idée. Graziotin a présenté une analyse des obstacles qui bloquent l'adoption de l'aspect dynamique dans le domaine de covoiturage et les solutions proposées pour surmonter ces obstacles [16]. Cette étude a montré comment les systèmes de covoiturage dynamique ont encore de nombreuses questions ouvertes importantes à aborder et à résoudre comme atteindre la masse critique, qui se réfère nécessairement aux questions telles que la sécurité et la véracité. Cela explique l'absence actuelle de tout système de covoiturage dynamique déployé et utilisé dans la vie réelle.

1.9 Propositions d'améliorations

Du côté académique, les travaux réalisés en recherche opérationnelle ont contribué à développer des méthodes, à réformer les capacités des systèmes informatiques et à supporter les montées en charge dans le cadre des problèmes de transport de marchandises ou de personnes. Ces améliorations ont ainsi permis l'addition d'objectifs supplémentaires et de nouvelles contraintes, qui constituent la qualité de service au client. On peut penser particulièrement aux temps de parcours globaux, certes, mais aussi aux temps passés dans les véhicules, et aux émissions de CO_2 si la taxe « carbone » venait à voir le jour. En plus, le rôle des technologies de l'information et de la communication (*TIC*) devient prépondérant pour assurer un service de qualité, où les coûts sont rationalisés comme la minimisation des distances ou des temps de parcours, en tenant compte des véhicules disponibles et de leurs capacités. . .

Dans l'optique de combler le déficit et de remédier aux problèmes des systèmes existants, nous introduisons des nouvelles approches pour mettre en place un système de covoiturage dynamique optimisé et basé sur un support totalement automatisé. Ce système gère en temps réel un ensemble de requêtes émises par les passagers potentiels et des offres de covoiturage proposées par les véhicules circulant dans notre réseau de covoiturage. Chaque utilisateur doit préciser son origine et sa destination, ainsi que l'heure de départ au plus tôt et l'heure d'arrivée au plus tard. Ensuite, grâce au processus d'optimisation, notre système génère des solutions de covoiturage, tout en optimisant certains objectifs et respectant certaines contraintes temporelles telles que les fenêtres temps spécifiés par les utilisateurs et des contraintes spatiales, telles que la capacité des véhicules. Dans ce qui suit, nous citons les caractéristiques majeures de notre système :

1. Nous nous sommes intéressés au problème de covoiturage de type "Many To Many" (de différentes origines vers différentes destinations), contrairement au système de covoiturage développé par Bruglieria et al. pour les universités dans [8] et au système mis en place par Son et al. et destiné aux entreprises et qui gère seulement les trajets domicile-travail [28].
2. Dans le but d'augmenter la flexibilité de notre système, nous tolérons le transfert entre les véhicules. Cela veut dire qu'une requête peut être affectée à plusieurs véhicules, afin d'atteindre sa destination finale. Comme il est déjà cité, dans la littérature, ce type de covoiturage est appelé "Multi-Hop".
3. Le système développé gère également le détour, dans le but de desservir le maximum des requêtes, tout en limitant le nombre de ressources (voitures). Ces conditions sont considérées comme les principales caractéristiques qui distinguent notre système des autres développés dans la littérature. En effet, dans les systèmes conçus par Lalos et al. dans [19] et Son et al. dans [28], chaque requête est servie par un seul véhicule et les déviations de routes ne sont pas tolérées. Même si le concept de détour est considéré dans certaines études, comme par exemple dans [15] et [32], ces études ignorent le processus de transfert pour des raisons de simplification.

Selon Son et al., il existe deux problèmes résultant qui sont interdépendants et NP-complet dans la résolution d'un problème de covoiturage : Le premier est l'attribution des passagers aux véhicules et le deuxième consiste à trouver le plus court chemin pour chaque conducteur, afin de réduire le coût global du voyage [28]. Partant de ce constat,

notre problème de covoiturage est considéré comme un problème d'optimisation multi-objectif. Notre processus d'optimisation est constitué de deux grands modules :

- Un module d'affectation : Ce module consiste à affecter les passagers aux véhicules circulant et établir, ainsi, des itinéraires dynamiques pour ces véhicules. Chaque affectation doit être optimisée pour réduire le temps d'attente des passagers aux nœuds d'origine ou de transfert, et minimiser la distance parcourue, tout en respectant des contraintes fortes telles que la capacité du véhicule en question.
- Un module d'évaluation : Après la génération d'une solution valable, le processus d'évaluation peut être lancé. En effet, la qualité de cette solution est mesurée selon certains critères, tels que la durée d'attente, le retard en arrivant à sa destination, la durée du parcours, le coût, ect. En plus, en essayant de prendre en compte l'aspect environnemental du covoiturage comme un mode de transport alternatif, nous considérons un critère qui mesure le gain en CO_2 établi grâce au covoiturage. Nous notons que, dans la majorité des cas, les chercheurs se concentrent sur la minimisation de la durée de parcours et le coût de voyage, tout en maximisant le nombre de requêtes servies (comme par exemple dans [33], [25], [32], [5] and [28]).

1.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude bibliographique et nous faisons un tour d'horizon de l'existant concernant le covoiturage, pour bien préciser le contexte de cette thèse. Ainsi, nous avons cité quelques travaux académiques qui s'articulent autour du problème de covoiturage dynamique, afin de positionner notre travail. Bien qu'il existe plusieurs systèmes de covoiturage optimisé, la plupart des approches existantes restent bloquées dans le stade embryonnaire à cause de l'absence de l'automatisme et de la complexité élevée du problème traité.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes intéressés à la mise en place d'un outil qui génère en temps réel des propositions de covoiturage, tout en s'adaptant aux natures des incidents et aux divers critères appropriés. Une mesure de performance efficace pour une qualité de service optimisée et un système compétitif prime sur tout autre objectif dans la vision où nous menons nos travaux. Toutes ces notions, ainsi que la manière dont

elles opèrent pour la bonne marche de notre système, seront détaillées dans la suite de ce rapport.

Bibliographie

- [1] (2009). Usages et attitudes des utilisateurs du site internet covoiturage.fr. [online]. available : <https://www.maif.fr/content/pdf/particuliers/automoto/covoiturage/maif-etude-covoiturage-12-2009.pdf>.
- [2] (2010). Covoiturage : dur de changer ses habitudes. [online]. available : <http://nouvelles-mobilites.net/2010/04/08/covoiturage-dur-de-changer-ses-habitudes/>.
- [3] (2010). Developper une infrastructure de covoiturage. [online]. available : <https://www.google.fr/url?sa=trct=jq=esrc=ssource=webcd=1ved=0cb0qfjaaahukewj239g8qy3jah>
- [4] (2013). Ademe, dossier de press : Mobilite durable. [online]. available : <http://http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/dossier-presse-mobilite-durable.pdf>.
- [5] Agatz, N., Erera, A., Savelsbergh, M. W., and Wang, X. (2011). Dynamic ride-sharing : A simulation study in metro atlanta. In *Transportation Research Part B : Methodological*, volume 45, pages 1450–1464.
- [6] Agatz, N., Erera, A., Savelsbergh, M., and Wang, X. (2012). Optimization for dynamic ride-sharing : A review. In *European Journal of Operational Research*, page 295303.
- [7] Becker, J., Verdure, M., Tazska, S., Wagner, N., and Rouchaud, D. (2015). Dossiers d’analyse economique des politiques publiques des transports. In *Les comptes des transports en 2013*, volume 2.
- [8] Berbeglia, G., Codeau, J., and Laporte, G. (2010). A hybrid tabu search and constraint programming algorithm for dynamic dial a ride problem. In *CIRRELT-2010-14*.

- [9] Calvoa, R. W., de Luigib, F., Haastrupc, P., and Maniezzod, V. (2004). A distributed geographic information system for the daily car pooling problem. In *Computers and Operations Research*, volume 31, page 22632278.
- [10] Chassignet, M. (2015). Etude realisee pour le compte de l'ademe par : 6t-bureau de recherche numero de contrat : 1466c0095. In *Enquete aupres des utilisateurs du covoiturage longue distance*.
- [11] Clavel, R. (2007). Le covoiturage en france et en europe. [online]. available : <http://www.innovations-transport.fr/le-covoiturage-en-france-et-en>.
- [12] Dimitrakopoulos, G., Demestichas, P., and Koutra, V. (2012). Intelligent management functionality for improving transportation efficiency by means of the car pooling concept. In *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, volume 13, pages 424–436.
- [13] Ercolani, E. (2014). Idvroom le blablacar de la snf. In *L informaticien*.
- [14] Furuhata, M., Dessouky, M., Ordonez, F., Brunet, M., Wang, X., and Koenig, S. (2013). Ridesharing : The state of the art and future directions. In *Transportation Research Part B : Methodological*, volume 57, page 2846.
- [15] Geisberger, R., Luxen, D., Neubauer, S., P.Sanders, and Volker, L. (2009). Fast detour computation for ride sharing. In *Clinical Orthopaedics and Related Research*.
- [16] Graziotin, D. (2010). An analysis of issues against the adoption of dynamic car-pooling. In *Free University of Bozen-Bolzano*, pages 1–6.
- [17] J.Ferreira, P.Trigo, and P.Filipe (2009). Collaborative car pooling system. In *World Academy of Science, Engineering and Technology*, volume 54, page 2846.
- [18] Kleiner, A., Nebel, B., and Ziparo, V. (2011). A mechanism for dynamic ride sharing based on parallel auctions. In *Proc. of the 22th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Barcelona, Spain*, page 266272.
- [19] Lalos, P., Korres, A., Datsikas, C., Tombras, G., and Peppas, K. (2009). A framework for dynamic car and taxi pools with the use of positioning systems. In *2009 Computation World : Future Computing, Service Computation, Cognitive, Adaptive, Content, Patterns*, pages 385–391.

- [20] M.Bruglieria, D.Ciccarellib, A.Colornia, and A. (2011). Poliunipool : a carpooling system for universities. In *Procedia Social and Behavioral Sciences*, volume 20, pages 1450–1464.
- [21] Nagare, D., More, K., Tanwar, N., S.S.Kulkarni, and Gunda, K. C. (2013). Dynamic carpooling application development on android platform. In *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, volume 2, pages 136–139.
- [22] Nkodia, C. (2007). In *Presentation d'un procede de fabrication massive de biocarburant grace a la production d'algues nourries au CO2*.
- [23] Nogues, S. (2003). Bref historique du concept d'auto-partage. In *L'autopartage en France*.
- [24] P.Gruebele (2008). Interactive system for real time dynamic multi-hop carpooling. In *Global Transport Knowledge Partnership*.
- [25] Sghaier, M. (2011). Combinaison des techniques d'optimisation et de l'intelligence artificielle distribue pour la mise en place d'un systeme de covoiturage dynamique. In *These de l'Ecole Centrale de Lille, Specialite : Automatique, Genie Informatique, Traitement du Signal et Image*.
- [26] Shaheen, S. A. and Cohen, A. (2007). Growth in worldwide carsharing : An international comparison. In *Transportation Research Board*, pages 81–89.
- [27] Sidawy, E. (2011). Le covoiturage dynamique sort de l'impasse. [online]. available : <http://www.greencode.fr/2011/11/le-covoiturage-dynamique-sort-de-l>
- [28] Son, T., Hoai, L., Taol, P., and Khadraoui, D. (2012). A distributed algorithm solving multiobjective dynamic car pooling problem. In *International Conference on Computer and Information Science (ICCIS)*, page 231236.
- [29] S.Seyedabrishami, A.Mamdoohi, A.Barzegar, and S.Hasanpour (2012). Impact of carpooling on fuel saving in urban transportation case study of tehran. In *Procedia Social and Behavioral Sciences*.
- [30] S.Yan and C.Y.Chen (2011). A model and a solution algorithm for the car pooling problem with prematching information. In *Computers and Industrial Engineering*, volume 61, page 512524.

- [31] Vincent, S. (2008). Les altermobilités : analyse sociologique d’usages de déplacements alternatifs à la voiture individuelle. des pratiques en émergence? In *These en sociologie, Faculte des Sciences Humaines et Sociales Sorbonne*.
- [32] Wang, X., Dessouky, M., and Ordonez, F. (2015). A pickup and delivery problem for ridesharing considering congestion. In *Maney Publishing in Transportation Letters*.
- [33] W.Herbawi and M.Weber (2011). Evolutionary multiobjective route planning in dynamic multi-hop ridesharing. In *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization*, volume 6622, pages 84–95.

Résumé

Le covoiturage se présente comme une solution de transport alternative qui vient soigner l'image environnementale, économique et sociétale de la voiture personnelle. Le problème du covoiturage dynamique consiste à élaborer en temps réel des tournées de véhicules optimisés, afin de répondre au mieux aux demandes instantanées de transport.

C'est dans ce cadre que s'inscrivent nos travaux où l'optimisation et le temps réel sont les maîtres-mots. Étant donné la complexité exponentielle du problème, nous optons pour des méthodes approximatives pour le résoudre. Nous présentons notre première contribution en proposant une métaheuristique basée sur la recherche tabou. L'algorithme utilise un système de mémoire explicite et plusieurs stratégies de recherches développées pour éviter le piègeage par des optimaux locaux. Ensuite, nous introduisons notre deuxième contribution qui se présente sous la forme d'une approche évolutionnaire supportée par un codage dynamique et basée sur des opérateurs génétiques contrôlés. La complexité exponentielle du problème nous amène à dévoiler notre troisième méthodologie, en proposant une approche évolutionnaire originale dans laquelle les chromosomes sont définis comme des agents autonomes et intelligents. Grâce à un protocole de négociation puissant, les Agents Chromosomes gèrent les opérateurs génétiques et orientent la recherche afin de trouver des solutions optimales dans un temps de calcul réduit.

Dans la perspective d'une meilleure combinaison entre le covoiturage et les autres modes de transport, nous concevons un système baptisé *DyCOS*, intégrant nos approches et applications dédiées à la résolution du problème du covoiturage dynamique.

Mots clés : Covoiturage dynamique, Optimisation multi-critère, Métaheuristiques, Système multi-agent.

Abstract

Carpooling is presented as an alternative transport solution that comes treat environmental image, economic and societal personal car. The dynamic carpooling problem is to develop real-time optimized touring vehicles to better respond to the instantaneous transport demands.

Our work belongs within this context, where optimization and real time are the key words. Given the exponential complexity of the dynamic ridematching problem, we opt for the approximate methods to solve it. We present our first contribution by proposing a metaheuristic based on the multi-criteria tabu search. The proposed algorithm employs an explicit memory system and several searching strategies developed to avoid the entrapment by local solutions. Afterward, we introduce our second contribution which is in the form of an evolutionary approach supported by a dynamic coding and based on controlled genetic operators. However, the exponential complexity of the problem leads us to consider that a simple metaheuristics is not sufficient to solve effectively the problem of dynamic ridematching. It is with this in mind that we are unveiling our third solving methodology by developing an original evolutionary approach in which chromosomes are defined as autonomous and intelligent agents. Thanks to an accurate protocol negotiation, the Chromosomes Agents can control the genetic operators and guide search for finding optimal solutions within a reasonable period of time.

With the prospect of a better combination between carpooling and other modes of transport, we design a system called *DyCOS*, integrating our approaches and applications dedicated to solving the problem of dynamic ridesharing.

Keywords : Dynamic ridesharing, Multi-criterion optimization, Metaheuristics, Multi-agent system.

