

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉVALUATION DU COMPORTEMENT DU SYSTÈME DE TRANSPORT FLEXIBLE
DAS (DEMAND ADAPTATIVE SYSTEM)

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAITRISE EN ADMINISTRATION DES AFFAIRES

PAR
TARIK ZAIDANE

SEPTEMBRE 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser ici tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Tout d'abord je tiens à remercier mon directeur Monsieur Jean-Marie Bourjolly pour son aide précieuse tout au long de ma maîtrise. Aussi, je tiens à remercier mon co-directeur de recherche, Monsieur Téodor Gabriel Crainic, pour sa sympathie, son aide, sa disponibilité et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour. Également, je remercie infiniment mon superviseur Monsieur Fausto Errico pour son soutien et ses conseils appréciables.

Pareillement, à mon nom et au nom de toute l'équipe qui a participé à ce projet, nous remercions monsieur Martin Trépanier, ingénieur et professeur agrégé au département de mathématiques et de génie industriel de l'École Polytechnique de Montréal, pour toutes les données qu'il nous a fournis.

J'adresse aussi mes plus sincères remerciements à mon épouse Loubna qui m'a toujours supporté, soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Enfin, un grand merci à ma petite fille chérie Dina et mon fils Ghali pour leur patience envers un "papa étudiant".

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES.....	viii
RÉSUMÉ	ix
CHAPITRE I	
INTRODUCTION.....	1
1.1. Description générale.....	1
1.2. Description de la problématique.....	2
1.3. Plan du mémoire	4
CHAPITRE II	
LE TRANSPORT EN COMMUN DES PASSAGERS EN MILIEU URBAIN.....	5
2.1. Introduction.....	5
2.2. Transport en commun.....	6
2.2.1. Transport Traditionnel (conventionnel).....	7
2.2.2. Transport flexible	8
2.2.2.1. Transport réactif (DRS).....	9
2.2.2.2. Le Service de Transport Réactif à la demande (DAS).....	12
2.2.2.3. Autres systèmes flexibles	15
2.3. Planification des systèmes de transport en commun	22
2.3.1. Planification du transport traditionnel	23
2.3.2. Planification du service DAS.....	25
2.2.3. Planification du système DRS	26
2.4. Différence entre DAS, DRS et le Transport traditionnel.....	29
2.5. Conclusion	33
CHAPITRE III	
PROBLÉMATIQUE	34
3.1. Introduction.....	34
3.2. Motivation pour le transport flexible dans la région de la rive sud de Montréal.....	35
3.3. Objectif du mémoire.....	36

CHAPITRE IV	
LITTÉRATURE SUR LA PLANIFICATION ET ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE TRANSPORT FLEXIBLES	41
4.1. Introduction	41
4.2. Outils d'optimisation des problèmes de transport	41
4.2.1. Les méthodes exactes et approchées	42
4.2.2. Les métaheuristique	43
4.3. Revue de littérature sur la planification des transports flexibles	44
4.3.1. Le transport réactif DRS	44
4.3.2. Les systèmes hybrides	46
4.4. Revue de littérature sur l'évaluation des transports flexibles	47
4.4.1. Évaluation des systèmes réactifs DRS	47
4.4.2. Évaluation des systèmes hybrides	48
4.5. Conclusion	49
CHAPITRE V	
MÉTHODOLOGIE	50
5.1. Introduction	50
5.2. Description de la région de la rive sud de Montréal	50
5.2.1. Historique	50
5.2.2. Le territoire	51
5.2.3. Usagers	52
5.2.4. Motivation pour l'implémentation d'un système DAS	53
5.3. Outils de simulation de la ligne DAS	53
5.3.1. Modèles mathématiques	53
5.3.1.1. Problème de la séquence des arrêts (SLDDP)	54
5.3.1.2. Les bases de SLDDP-S et les types	54
5.3.1.3. GMLP (General Minimum Latency Problem)	56
5.3.1.4. Le problème des horaires de la ligne principale DAS (DLMSP)	61
5.3.2. Description des paramètres nécessaires à la conception et simulation de la ligne DAS : ...	63
5.3.2.1. Première partie	63
5.3.2.2. Deuxième partie	64
5.4. Processus d'évaluation de la ligne DAS	66
5.5. Cadre de simulation	69
5.6. Conclusion	70

CHAPITRE VI	
PLAN DE SIMULATION	71
6.1. Introduction	71
6.2. Définition	72
6.3. Les paramètres généraux	72
6.4. Paramètres Propres	74
6.5. Indicateurs de performance	75
6.6. Conception des lignes.....	76
6.7. La simulation.....	77
6.8. Conclusion	81
CHAPITRE VII	
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	82
7.1. Introduction	82
7.2. Conception des lignes.....	82
7.2.1. Identification de la première ligne	84
7.2.2. Identification de la deuxième ligne.....	85
7.2.3. Identification de la troisième ligne	87
7.3. Simulation	89
7.3.1. Étapes de la simulation	89
7.3.2. Hypothèses.....	89
7.4. Conclusion	92
CHAPITRE VIII	
CONCLUSION	93
ANNEXE 1	
MATRICES DE LA DEMANDE DE LA LIGNE 1	96
ANNEXE 2	
MATRICE DE LA DISTANCE DE LA LIGNE 1	99
ANNEXE 3	
MATRICES DE LA DEMANDE DE LA LIGNE 2.....	101
ANNEXE 4	
MATRICE DE LA DISTANCE DE LA LIGNE 2	104
ANNEXE 5	
MATRICES DE LA DEMANDE DE LA LIGNE 3.....	106
ANNEXE 6	
MATRICE DE LA DISTANCE DE LA LIGNE 3	109
BIBLIOGRAPHIE	111

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
2.1	Figure représentant le service DAS pour les passagers passifs13
2.2	Figure représentant le service DAS desservant des passagers actifs14
2.3	Figure représentant la légende utilisée pour présenter les six types de transport flexibles.....15
2.4	Figure représentant le transport flexible au niveau des arrêts16
2.5	Figure représentant le transport flexible au niveau des trajets.....16
2.6	Figure représentant le transport flexible au niveau des points de déviation17
2.7	Figure représentant le transport flexible au niveau de la zone desservie17
2.8	Figure représentant le transport flexible au niveau de la connexion entre le mode flexible et fixe18
2.9	Figure représentant le transport flexible au niveau de quelques segments du trajet18
2.10	Figure représentant les cinq composantes du service de transport DRS28
2.11	Figure représentant le niveau opérationnel du service DRS29
2.12	Figure comparant différents systèmes de transport en fonction du coût et de la flexibilité du service30
3.1	Figure représentant un sondage effectué dans la rive sud de Montréal35
5.1	Carte géographique de la région de la Rive Sud52
5.2	Graphe représentant la ligne DAS (Errico, 2008)57
5.3	Modèle mathématique de la GMLP (F.Errico 2008).....58
5.4	Modèle mathématique de la SGMLP (Errico 2008).....59
5.5	Modèle mathématique de la CGMLP (F.Errico 2008)61
5.6	Schéma du processus d'évaluation du service DAS (Crainic <i>et al</i> , 2009).....67
7.1	Carte représentant les points origine-destination sur la rive sud83
7.2	Carte représentant la ligne 185
7.3	Carte représentant la ligne 286
7.4	Carte représentant la ligne 387
7.5	Carte représentant les lignes 1, 2 et 388

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Tableau représentant les différents systèmes de transports flexible en Amérique du nord (TCRP, 2004)	20
2.2 Tableau représentant les niveaux de prise de décision pour DAS	26
2.3 Tableau comparatif entre différents systèmes de transport.....	32

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AA	Affectation agrégée
ACTU	Association canadienne du transport urbain
AOT	Autorité organisatrice de transport
CTRSM	Commission de transport de la Rive-Sud de Montréal
DA	Affectation désagrégée
DAR	Dial a Ride
DARP	Problème Dial-a-Ride
DAS	Demand-Adaptative System
DLMSP	DAS Ligne Master Scheduling Problem
GMLP	General Minimum Latency Problem
PDP	Problème de ramassage et de livraison (<i>Pickup and Delivery Problem</i>)
SC	Séquence avant les arrêts obligatoires
SLDDP	Slice Line DAS Design Problem
STL	Société de transport public de Laval
STM	Société de transport public de Montréal
STRSM	Société de transport de la Rive-Sud de Montréal
TT	Topologie et calendrier

RÉSUMÉ

Aujourd'hui, l'étalement des villes engendre de nouvelles conditions de déplacements qui à leur tour induisent de nouveaux rythmes urbains. Ceux-ci fragmentent l'habituel flot synchronisé des heures de pointe et imposent aux transports collectifs une perpétuelle adaptation. Notre projet vise à apporter des solutions innovantes en termes de mobilité urbaine et d'intégration d'un nouveau mode de transport flexible appelé DAS (Demand-Adaptative System, système de la demande adaptative). L'originalité de notre projet réside dans le fait que rares sont les études qui traitent ce nouveau système de transport et nous pensons que sa prise en compte peut contribuer à améliorer significativement les services de transport actuels. L'objectif de ce mémoire est donc d'évaluer le comportement du fonctionnement du système DAS sur le plan opérationnel dans la région de la rive sud de Montréal, et ce, en présence de multiples changements (internes ou externes).

Dans ce projet, l'évaluation du système DAS suit le schéma présenté par Crainic *et al.* (2009). Il s'agit de définir des scénarios, concevoir des lignes de transport, simuler les lignes DAS, et enfin collecter les résultats et mesurer la performance du système. Nous avons commencé par l'analyse de la mobilité géographique de la région étudiée grâce aux données de l'enquête origine-destination (2003) effectuée par le réseau de transport de Longueuil (RTL). Ces données sont ensuite explorées en utilisant le logiciel *ArcMap* et transformées en cartes géographiques permettant ainsi de concevoir les trois lignes de transport à simuler. Après la conception de ces lignes, les matrices de la demande et de la distance propre à chaque ligne ont été identifiées. L'étape de la simulation consiste à simuler les données de ces matrices en variant plusieurs paramètres (propres et généraux), selon trois scénarios différents, et ce, en utilisant le code établi par Crainic *et al.* (2005), avec le langage C++, sous le système d'exploitation LINUX. Étant donné qu'un problème technique (le code établi par Crainic *et al.* (2005), n'a pas pris en considération quelques critères qui sont très importants pour la simulation du système DAS au niveau de la région de la rive sud de Montréal) est survenu, il fut donc impossible de simuler les matrices de la demande et distance. Nous avons donc formulé des hypothèses sur les résultats attendus en nous basant sur certains indicateurs de performance tels que la distance parcourue, la latence, le temps final d'arrivée, etc. D'après le scénario 1, nous nous attendons à ce que la distance parcourue soit acceptable et ne représente pas un obstacle pour les usagers du service DAS alors que pour le scénario 2, nous nous attendons à ce que le système DAS intègre plus d'arrêts optionnels et réagisse bien face à l'augmentation de la demande de 25%. En ce qui concerne le scénario 3, nous pensons que la ligne est plus courte ainsi que la distance parcourue. Les arrêts optionnels ne seront pas donc tous intégrés dans le trajet, ce qui va certainement limiter le nombre des usagers dans le véhicule. D'après ces hypothèses, nous pensons qu'avec le scénario 1, le système DAS fonctionne avec une efficacité et efficacité opérationnelle supérieure en comparaison avec les scénarios 2 et 3. La prise en compte de ces hypothèses permet de penser à des perspectives pour des recherches futures.

Mots clés : Transport, Système DAS, schéma d'évaluation (Crainic *et al.*, 2009), code de simulation (Crainic, Teodor. *et al.*, 2005), enquête origine-destination (2003)

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1. Description générale

Le transport en commun est un mode de transport devenu incontournable dans les grandes villes. L'étalement, parfois l'éclatement de la ville, engendre de nouvelles conditions de déplacements qui, à leur tour, vont induire des formes de transitions urbaines. Ceci est lié à la complication des rythmes urbains, où les trajets de la journée ne se limitent plus aux seuls allers et retours entre le domicile et le travail. Les loisirs, les achats et les activités professionnelles se combinent dans les motifs de déplacement entre des espaces urbains devenus discontinus et multipolaires. Ces nouveaux rythmes urbains imposent au transport en commun une perpétuelle adaptation. Effectivement, lorsque l'offre de transport public se raréfie et s'ajuste moins bien aux besoins de la population, la majorité des déplacements urbains revient à l'automobile. Le renouvellement des générations s'est traduit par un passage de la voiture d'un usage familial, à un usage quotidien et personnel. L'automobile reste donc le mode de transport le plus utilisé malgré la hausse d'achalandage dans les transports en commun. En conséquence le recours à l'automobile génère des problèmes économiques environnementaux et sociaux.

Dans les grandes villes, le transport en commun (métro, bus, etc.), lorsqu'il est bien conçu, peut offrir une alternative intéressante à l'automobile qui, aux heures de pointe, est ralentie par les embouteillages. Donc, l'offre de transport proposée doit être en adéquation avec la demande de mobilité, en répondant aux attentes des citoyens en situation normale mais également lors de dysfonctionnements, tout en contribuant au développement d'un système de transport plus respectueux à l'environnement. Il s'agit donc de chercher à concilier la protection de l'environnement avec l'épanouissement de la mobilité. C'est

précisément en ce qui trait au lien entre l'intérêt individuel procuré par l'usage des modes de transport et les conséquences de leur utilisation (excessive pour l'automobile) que se situe un enjeu majeur actuel.

Dans l'industrie du transport, les consommateurs ont accès à plusieurs modes de transport. On cite par exemple le transport traditionnel, qui met en œuvre des véhicules adaptés à l'accueil simultané de plusieurs personnes et est généralement accessible en contrepartie de l'achat d'un titre de transport (billet, ticket, carte d'abonnement, ...). Ce service de transport se caractérise par sa rigidité et sa capacité à desservir les régions à forte densité. Il existe aussi un autre système de transport. Il s'agit du transport flexible (DAR : Dial a Ride, appeler pour être servis) ou DRS (Demand-Responsive Systems, Système répondant à la demande) qui se caractérise à son tour par une forte flexibilité et peut assurer le déplacement du véhicule chez le consommateur. Il s'agit d'un service répondant majoritairement à des demandes spécifiques en termes de transport. Il peut être public, comme les taxis, ou privé, lorsque réservé à des membres particuliers.

1.2. Description de la problématique

Afin d'être en adéquation avec l'évolution des besoins des usagers des services de transport, toujours en quête d'une qualité de service meilleure, les autorités de transports et les responsables ont misé sur l'intégration de nouveaux systèmes de transports pour compléter ces systèmes de transport existants. En effet, les avantages apportés grâce aux nouvelles technologies d'une part et la prise de conscience des enjeux du développement durable d'autre part ont permis la multiplication des projets visant à reconfigurer le paysage des systèmes de transports de la façon la plus proche possible à l'optimisation. Ainsi, en complément de ces modes de transport déjà cités, un nouveau système de transport appelé transport flexible DAS (Demand-Adaptative System) constitue une alternative sérieuse à la voiture particulièrement en terme économique, social et écologique. Le système DAS est un mode de transport qui se base sur une série d'arrêts obligatoires et optionnels ce qui lui permet d'opérer avec efficacité et efficience dans les zones peu peuplées et offrir un niveau supérieur de service de qualité par rapport au transport traditionnel et à coût abordable en

comparant avec le système DRS. Il offre la possibilité de réagir rapidement, en temps réel ou quasi-réel, aux demandes des utilisateurs.

À l'exception de la définition des zones de service, du nombre et de nature de véhicules, la planification des systèmes DRS ne requiert pas une phase de conception parce que les lignes se construisent en temps réel et en parallèle avec l'exécution des opérations, en d'autre terme le chauffeur ne connaît pas nécessairement son prochain arrêts, tout est question de changement à la dernière minute. Par ailleurs, la planification d'une ligne DAS demeure une tâche complexe étant donné qu'il s'agit d'un mode de transport hybride qui combine à la fois la flexibilité du système réactif DRS, et les caractéristiques du mode traditionnel. Des études récentes, ont analysé les parties stratégiques et tactiques du système DAS (Crainic *et al.* 2008, Errico, 2008) et il était donc possible de planifier un schéma directeur de la ligne DAS avec toutes ses caractéristiques.

Dans notre projet, nous nous sommes donc intéressés à l'étude du système de transport DAS qui représente un des plus importants modèles du transport flexible. Le but est d'améliorer des critères relatifs à la qualité de services rendus aux usagers comme le temps de parcours ou encore assurer les correspondances. Nous avons choisi comme objet d'étude la région de la rive sud de Montréal puisqu'elle représente un terrain fertile pour notre étude et démontre un besoin réel d'un système de transport flexible capable de desservir les régions peu peuplées et éloignées.

Notre contribution dans l'ensemble du projet est d'évaluer la performance du système DAS en comparant des scénarios futurs à un scénario de référence dans le but d'obtenir des indications quant aux meilleures solutions à adopter. Nous allons donc générer des scénarios et effectuer une simulation à l'aide du code établi par Crainic *et al.* (2005; 2008) et Errico (2008), en utilisant le langage C++, sous le système d'exploitation LINUX afin d'acquérir une meilleure compréhension des différents paramètres constituant le système DAS et connaître sa capacité à opérer dans la région de la rive sud de Montréal. La simulation suivra la démarche proposée par (Crainic *et al.*, 2009).

L'originalité de notre projet réside dans le fait que des études antérieures ont abordé en détail les mécanismes du transport traditionnel et réactif mais rares sont les études qui traitent

le système de transport DAS. Ce projet vise donc à apporter des solutions innovantes en termes de mobilité urbaine et d'intégration d'un nouveau mode de transport flexible au sein des milieux urbains. Nous pensons que sa prise en compte peut contribuer à améliorer significativement les services de transport.

1.3. Plan du mémoire

Les trois premiers chapitres de ce mémoire justifient l'intérêt et la nécessité d'étudier le comportement du nouveau système de transport flexible DAS. Tout d'abord, on discutera des différents types du transport en commun (Chapitre II), ensuite, il sera question d'aborder la partie problématique (Chapitre III), puis on présentera les études antérieures en liaison avec le système DAS (Chapitres IV). Après avoir détaillé la méthodologie utilisée (Chapitre V) nous présenterons le plan de simulation (chapitre VI). Suite à un problème technique, il était impossible d'obtenir des résultats de la simulation des données. De ce fait, dans le chapitre VII, on présentera des hypothèses de travail avant de tirer des conclusions (chapitre VIII) de notre recherche.

CHAPITRE II

LE TRANSPORT EN COMMUN DES PASSAGERS EN MILIEU URBAIN

2.1. Introduction

Les grandes tendances d'évolution de la mobilité urbaine sont la conséquence de l'apparition de nouveaux pôles attractifs en périphérie des villes ainsi que l'évolution des modes de vie. L'évolution du travail et la croissance des déplacements, pour d'autres motifs que le travail ou les études, tendent au développement d'une mobilité quotidienne de plus en plus variée, rapide et aléatoire. Chacun se déplace à son rythme, selon ses préoccupations et ses envies. Le mode de transport usuellement privilégié pour ce type de déplacement est la voiture particulière. L'usage de l'automobile est donc la conséquence de l'étalement urbain qui malheureusement pénalise les transports publics peu adaptés à une desserte diffuse. Néanmoins, par le dysfonctionnement qu'elle cause, l'automobile s'avère souvent moins efficace que le transport public. Dans les grandes villes par exemple, le métro, lorsqu'il est bien conçu, peut offrir une alternative intéressante à la voiture qui, en heure de pointe, est ralentie par les embouteillages. De plus, le recours excessif à l'automobile génère des problèmes économiques, environnementaux et sociaux qui atteignent le fonctionnement des villes et altèrent la santé des personnes et toutes choses qui vont à l'encontre du développement durable et la qualité de vie qui s'y attache (OCDE, 2000). Donc, afin que le contexte actuel soit en faveur du transport en commun, les autorités publiques doivent repenser leur orientation en terme d'urbanisme, de transport et développement durable. Le transport en commun doit donc s'adapter aux exigences de déplacement et mobilité des individus en adaptant de nouvelles solutions afin d'offrir une mobilité plus importante aux personnes dépourvues d'un accès à l'automobile.

Ce chapitre vise à présenter les différents systèmes de transport en commun, allant des systèmes plus rigides à des systèmes de transports plus souples et complémentaires au transport collectif classique. Il vise également à présenter une étude comparative entre ces différents modes de transport afin de mieux comprendre comment le transport en commun ou collectif peut s'adapter ou lui faire gagner des usagers.

2.2. Transport en commun

Le transport en commun ou collectif consiste à faire voyager plusieurs personnes, dans un véhicule, afin de les transporter vers une destination connue. Pour cela, un conducteur formé est chargé d'effectuer ce transport. Il s'agit d'un chauffeur de bus pour les trajets d'autobus par exemple. Quelque soit le moyen de transport, les transports en commun sont soumis à des règles que les voyageurs doivent respecter. Dans la plupart des pays, ce service est payant, c'est-à-dire qu'il faut acheter un titre de transport pour pouvoir voyager. On ne peut donc utiliser les transports en commun que si l'on est en possession d'un billet autorisant le déplacement. L'absence de billet est passible d'une amende.

Les transports en commun font partie de la vie quotidienne de l'homme moderne et mettent à sa disposition toute une gamme de services, parmi lesquels il peut choisir en fonction de ses besoins et de ses moyens financiers pour se déplacer au quotidien. Certaines études montrent que prendre la voiture coûte deux fois plus cher que de prendre l'autobus pour un même trajet. L'avantage du transport public face à l'automobile est aussi incontestable en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie, de sécurité, de bruit et de pollution. Les autobus polluent beaucoup moins que l'automobile et le bruit engendré par la circulation automobile gêne plus que celui provoqué par le transport public. Le transport en commun permet aussi de réduire le nombre de véhicules qui circulent sur les routes et facilite la circulation aussi bien en ville que sur les grands axes routiers. Parallèlement, le problème d'aire de stationnement se trouve en partie résolu. Inscrivons aussi que les transports en commun sont moins confrontés aux accidents que le par voiture car les compagnies choisissent leurs chauffeurs sur une base professionnelle et profitent des voix réservées pour le transport en commun.

Malgré les avantages importants et nombreux du transport en commun, ce mode de transport peut tout de même poser un certain nombre d'inconvénients ou de désagréments. En effet, ce dernier est soumis à certaines contraintes comme l'investissement en terme d'infrastructures et de véhicules que demande ce type de transport, sans oublier la rigidité d'un horaire qui n'est pas nécessairement adapté aux besoins ou à l'emploi du temps de la majorité des utilisateurs du service. L'utilisateur qui n'habite pas à proximité des arrêts ou autres stationnements des transports en commun peut particulièrement être pénalisé surtout s'il a des bagages lourds à porter. Cette situation peut s'avérer difficile surtout en hiver et dans les régions à faible densité où la fréquence du service est faible. Un autre grand problème s'oppose aux usagers du transport en commun. Il s'agit des bousculades aux heures de pointe. La question du confort peut aussi se poser surtout si la condition mécanique des véhicules n'est pas en parallèle avec le niveau de service attendu par les consommateurs. Les transports en commun présentent aussi d'autres inconvénients. Ces types de transport sont parfois les cibles des attentats terroristes puisqu'il s'agit d'un lieu de rassemblement de gens. Il convient aussi de signaler un autre problème d'insécurité qui peut aller du simple vol, commis par un voleur ou un cambrioleur, à des blessures. Le faible taux d'occupation peut aussi être un grand inconvénient pour les usagers, d'une part, et aussi pour les entreprises, d'autre part, surtout celles qui ne sont pas soutenues par les gouvernements. Pour conquérir une plus grande part des modes de déplacement, le transport en commun doit donc s'adapter aux exigences de mobilité des individus.

Nous distinguons ici deux types de transport en commun : Il s'agit du transport traditionnel et du système de transport flexible.

2.2.1. Transport Traditionnel (conventionnel)

Le transport traditionnel est un système de transport qui assure le déplacement des personnes d'une origine vers une destination. Il est accessible par le biais des titres de passage. La mission du système de transport traditionnel est d'améliorer la qualité de vie des citoyens en leur offrant un service acceptable avec un bas coût.

Au Canada, le service traditionnel ou conventionnel occupe une place importante dans notre quotidien. Selon le rapport de l'association canadienne du transport urbain (2002) environ 80% des Canadiens habitent les régions urbaines et 60% des emplois récemment créés sont concentrés dans dix centres urbains seulement, chose qui a rendu le déplacement par voiture une activité lourde et stressante.

Le transport traditionnel est un système complexe qui nécessite une planification importante et une infrastructure lourde. En Amérique du nord, ce système se base sur une série d'arrêts obligatoires et des itinéraires fixes, ainsi qu'un tableau d'horaires fixe. Ces trois éléments représentent la base du fonctionnement de tout le système et restent fixes pour une bonne partie de l'année. Les usagers sont obligés de respecter les horaires du service traditionnel et de se déplacer vers les arrêts afin d'utiliser le service.

2.2.2. Transport flexible

Les zones peu denses ainsi que certains trajets réalisés en heures creuses sont les exemples typiques où la desserte par ligne régulière se caractérise par un nombre de voyages très faible. Face à ces difficultés, le transport en commun, tel qu'il est pensé actuellement est difficilement capable de satisfaire les demandes, que cela concerne la desserte spatiale ou les horaires. Afin de répondre à la croissance continue des tendances économiques, sociales et environnementales, de nouveaux modes de transport ont vu le jour tel que les services flexibles de transport.

Dans le début des années 1960, les praticiens ont proposé un nouveau mode de transport en commun flexible (Cole 1968; Arrillaga *et al*, 1974). Les chercheurs ont fait valoir de nombreux avantages pour ce service, y compris l'augmentation de l'achalandage (Durvasula *et al*, 1998) ainsi que la rentabilité et les services intégrés pour les personnes handicapées (Crain *et al*, 1999). En Amérique du Nord, 40 systèmes déjà installés ont été comparés pour conclure que l'implantation du service flexible pourrait éviter l'investissement que demande un service régulier (Rosenbloom, 1996).

En général, le transport flexible assure le service à l'intérieur des zones considérées difficiles à servir par le transport en commun pour différentes raisons (démographiques, aménagement des rues, préférences...). Également, dans les régions peu peuplées, le service flexible peut remplacer partiellement ou totalement le transport traditionnel dépendamment de la situation et la dimension de la ville.

Il existe plusieurs types de transport flexibles : Il s'agit du transport réactif (DRS), le service de transport DAS ainsi que d'autres systèmes de transport flexible. Ces différents systèmes seront donc présentés en détail dans les sous-sections suivantes :

2.2.2.1. Transport réactif (DRS)

À l'heure actuelle, le sigle de « DRS » sert de référence dans les publications internationales pour désigner le transport flexible réactif. Selon les cas, il signifie « *Demand Responsive Service* ». Mais, il n'en a pas été toujours ainsi. Longtemps d'autres appellations ont dominé comme « *Dial-a-ride* » (DAR). Avec le temps, ces dernières ont peu à peu acquis un nouveau sens. Les *Dial-a-ride* ont évolué pendant une trentaine d'années et sont eux aussi fortement associés à une clientèle spécifique telle que les personnes âgées ou les handicapés. Le terme de *dial-a-ride* a été longtemps utilisé dans les communications internationales, mais ce dernier a été délaissé récemment. Il est entaché d'une image négative dont les nouveaux DRS veulent se démarquer. Ces services étant jugés très coûteux et difficiles à organiser, nombre d'entre eux ont été abandonnés (Khattak, 2004 Mageean et Nelson, 2003). À la fin des années 90, alors que les avancées technologiques ouvraient de nouvelles perspectives pour résoudre ces difficultés, les auteurs ont abandonné le terme de *Dial-a-ride* au profit de la nouvelle appellation de DRS.

Les définitions du DRS comportent certains éléments clés traduisant l'aspect flexible de cette offre de transport et le service personnalisé pour l'utilisateur. Ambrosino *et al.*, (2004) définissent le DRS comme une : « forme intermédiaire de transport qui se situe entre le bus et le taxi et couvre une large gamme de services de transport qui s'étend d'une modeste

communauté de transport à un large réseau de service ». Il s'agit d'un service innovant qui s'adapte à la demande tout en répondant aux critères d'un service public.

Le service réactif DRS offre ses services aux usagers actifs qui appellent pour demander de se déplacer d'une origine vers une destination. Il vise une personnalisation importante et une adaptation parfaite au désir des usagers. Les variables et les paramètres tels que les horaires, les arrêts et les itinéraires changent continuellement selon la demande des usagers. Le DRS a été présenté en tant qu'un service de porte-à-porte pour les utilisateurs ayant des besoins particuliers ou à mobilité réduite, tels que les handicapés et les personnes âgées. La flexibilité du service DRS garantit un service personnalisé tout en gardant un minimum de partage des ressources afin de pouvoir tirer le plus de gain et réaliser un meilleur ratio qualité/prix.

Le service DRS, est en compétition continue avec les autres modes personnalisés. On remarque que la qualité du service ainsi que l'efficacité sont pertinentes et compétitives avec les modes concurrents. Le DRS n'offre pas des voyages idéals, comme celui offert par le transport personnalisé tel que le taxi, mais la qualité du service demeure supérieure à celle du transport traditionnel. Le système DRS nécessite un service de contrôle et de réception de demande, puissant. Ce service doit être capable de recevoir les demandes et les traiter rapidement et efficacement et par la suite les transmettre aux chauffeurs qui sont équipés par des terminaux ou des cellulaires ainsi que des systèmes globaux de localisation GPS. Dans la pratique, les usagers peuvent contacter le centre de réception des demandes par téléphone, Internet ou par d'autres moyens disponibles. Par la suite, les agents traitent les demandes et acceptent, refusent ou reportent les requêtes selon les préférences des usagers et les contraintes de la compagnie.

Il existe quatre sous-types principaux du service DRS, on trouve :

- **Ligne virtuelle :**

Ligne régulière dont tout ou partie de l'itinéraire n'est desservi que s'il existe une réservation. Aussi, les personnes ne sont pas prises en charge à domicile. La ligne virtuelle

est parfois adaptée lorsque la demande est faible mais géographiquement concentrée. Cependant, le service est coûteux comparée à la qualité du service rendu.

- **Desserte zonale et horaires libres :**

Prise en charge des personnes à domicile pour des destinations fixes, mais l'horaire est en fonction des demandes des usagers et des capacités des transporteurs. Ce type de transport est une solution bien adaptée lorsque la demande n'est pas du tout concentrée dans le temps. Les coûts de fonctionnement et d'investissement sont importants. Un "simple" logiciel de réservation est insuffisant. Il est nécessaire d'utiliser un logiciel pour optimiser l'utilisation des véhicules disponibles et tenter ainsi de réduire les coûts.

- **Porte à porte et horaires libres :**

Très proche du taxi : la destination et l'heure ne sont pas définies à l'avance. La seule limite est la tranche horaire. C'est un service idéal du point de vue de l'utilisateur, mais la concurrence est accrue de la part des taxis, comparable à un "taxi subventionné" si la plage horaire est large. Il s'agit d'un service cher qui a besoin d'un logiciel d'optimisation pour tenter de réduire les coûts.

- **Desserte zonale et horaires fixes :**

Prise en charge à domicile pour des destinations et des horaires garantis et définis à l'avance. Souvent le compromis est le moyen le plus pertinent pour organiser les tournées. Les moyens sont optimisés lors de l'étude de conception des tournées, garantissant un service de qualité pour un coût de fonctionnement raisonnable. Les destinations et les horaires proposés peuvent régulièrement être adaptés à l'évolution de la demande locale. Lorsque l'offre est importante et variée, l'utilisation d'un logiciel d'information, de réservation et de gestion est d'une grande utilité.

La plupart des systèmes DRS énumérés ci-dessus sont très dispendieux et reposent largement sur l'octroi de subventions. Selon l'Association canadienne du transport urbain (ACTU, 2002), le total des frais d'exploitation des agences de transport réactif en 2002 se chiffrait à 215 millions de dollars, dont moins de 10 % était récupéré par les recettes générées

par les usagers, le reste provenant de subventions. Un coût/efficacité à ce point négatif est imputable au faible rendement des véhicules utilisant le système DRS. Des études menées par Palmer *et al*, (2004) ont également montré comment des incitations financières et sanctions peuvent avoir un impact négatif sur la productivité.

Afin de trouver des solutions rentables, plusieurs organismes de transport réactif se tournent vers d'autres systèmes flexibles et moins coûteux par rapport au DRS afin d'être en mesure d'améliorer sensiblement les niveaux de productivité, de fiabilité et de qualité du service. Il s'agit du mode DAS.

2.2.2.2. Le Service de Transport Réactif à la demande (DAS)

Les systèmes de transport DAS ont d'abord été introduits officiellement par Malucelli *et al*, (1999), puis traités dans un contexte plus général dans Crainic *et al*, (2000 ; 2005) et Malucelli *et al*, (2001). Ce service représente un des plus importants modèles du transport flexible. Il s'agit d'un mode de transport hybride qui intègre à la fois les principes du transport traditionnel et ceux du DRS. Le DAS représente une solution efficace de remplacement pour le transport traditionnel puisque la plupart des grandes entreprises visent à effectuer le plus de profits possibles et donc opérer dans les zones géographiques les plus achalandées. Un service légèrement différent de DAS est exploité actuellement à Los Angeles (en tant que service de nuit) (Quadrifoglio *et al*, 2007). Ce système est appelé par les auteurs MAST. Une autre mise en œuvre du service DAS est implantée à la ville de Brescia, dans le nord de l'Italie. La ligne relie certaines banlieues, principalement des régions montagneuses, au centre de la ville.

L'objectif du DAS est de desservir un ou plusieurs clients sur le même véhicule tout en offrant un service personnalisé. Le DAS vise également à répondre à la demande des clients qui résident dans les secteurs peu peuplés. Dans sa forme la plus générale, un DAS est composé de plusieurs lignes et est relié à des lignes du réseau de transport traditionnel. Ce système se base sur une série d'arrêts obligatoires selon un calendrier prédéfini et spécifié par un intervalle de temps associé à chaque arrêt, en fournissant l'usage traditionnel de la ligne

La figure 2.2 représente la ligne DAS lorsqu'elle dessert quelques usagers actifs qui ont appelé pour réserver une place dans le véhicule.

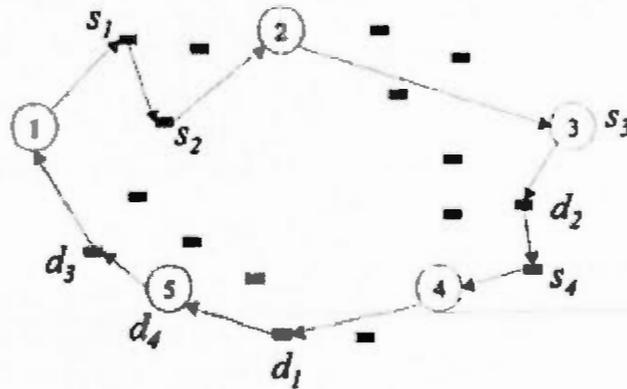


Figure 2.2: Figure représentant le service DAS desservant des passagers actifs

Les arrêts numérisés (1, 2, 3, 4, 5) sont des stations obligatoires où le bus doit s'arrêter pour embarquer /débarquer les voyageurs. Les origines ou les sources de déplacements sont représentées par S_i ($i = 1 ; 2 ; 3 ; 4$) et les destinations par d_i ($i = 1 ; 2 ; 3 ; 4$ et 5). Les clients actifs du service DAS appellent pour déposer une requête de déplacement en identifiant leur source/origine (S) et leur destination (d). Selon la figure, on peut identifier la requête 1 comme étant une demande de service du client 1 qui demande de se déplacer de S1 vers d1 et la requête 2 comme étant une demande de service du client 2 qui demande de se déplacer de S2 vers d2 et ainsi de suite.

Le transfert des voyageurs est assurée à l'intérieur des arrêts obligatoires. Le temps de voyage entre différents arrêts est connu à l'avance pour de permettre au logiciel qui traite les demandes d'optimiser la tournée tout en respectant les contraintes y compris le temps. Le logiciel, qui génère les requêtes et bâtit les routes, peut accepter la demande du client ou la reporter pour un autre voyage ou tout simplement la rejeter dans le cas où la requête du client n'est pas compatible avec le service offert.

2.2.2.3. Autres systèmes flexibles

À part le système DRS et le mode DAS, il existe d'autres types de transport flexible. La différence entre ces types prend plusieurs formes : flexibilité des arrêts, des trajets, des points de déviation, de la zone géographique desservie, de quelques segments du trajet total et finalement de la connexion entre le mode flexible et le mode fixe.

La légende suivante (figure 2.3) représente les différents symboles utilisés pour présenter quelques autres types de transport flexibles.

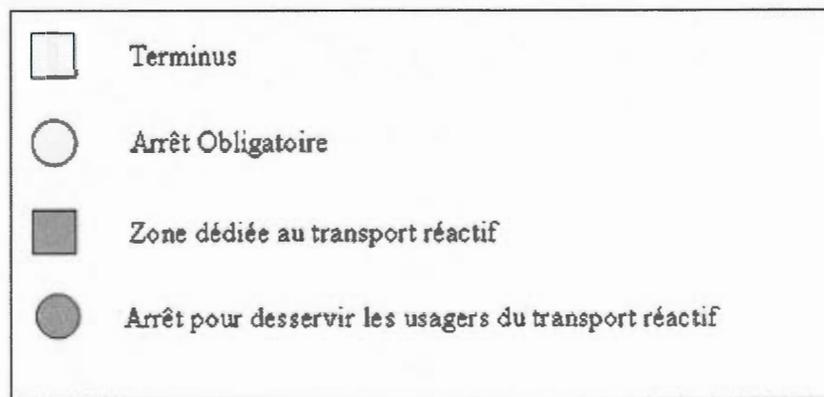


Figure 2.3: Figure représentant la légende utilisée pour présenter les six types de transport flexibles

- Transport flexible au niveau des arrêts :

Les véhicules desservent des arrêts fixes et selon un calendrier prédéfini, et se déplacent également pour embarquer ou débarquer les gens dans des arrêts à proximité de leurs trajets traditionnels. La flexibilité dans ce cas est limitée dans la possibilité d'accepter des voyages qui ne s'éloignent pas du trajet initial.

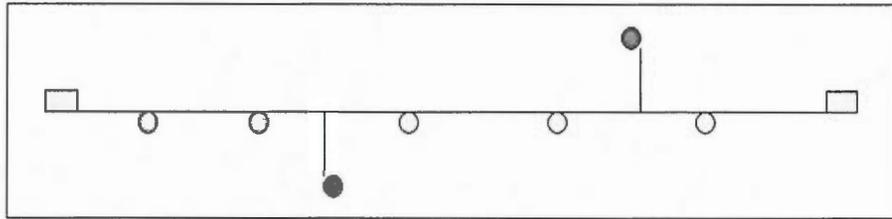


Figure 2.4 : Figure représentant le transport flexible au niveau des arrêts

- Transport flexible au niveau des trajets :

Les véhicules opèrent avec le mode de transport traditionnel ayant des arrêts fixes et un calendrier prédéfini, mais en acceptant de dévier du trajet initial dans une zone géographique précise sans que cela affecte trop l'ensemble du trajet. Les déviations sont limitées à des endroits pas loin de la ligne fixe.

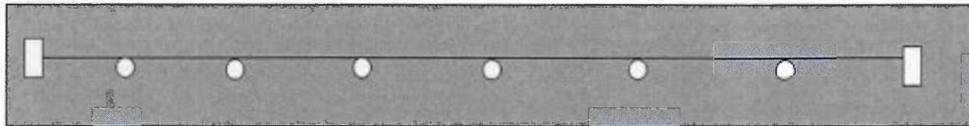


Figure 2.5: Figure représentant le transport flexible au niveau des trajets

- Transport flexible au niveau des points de déviation :

Les véhicules offrent un service personnalisé (mode réactif) en répondant aux demandes des gens voulant se déplacer d'un point à l'autre à l'intérieur d'une zone donnée, tout en desservant un nombre limité d'arrêts appartenant à une autre zone géographique et qui ne possèdent pas de trajet régulier.

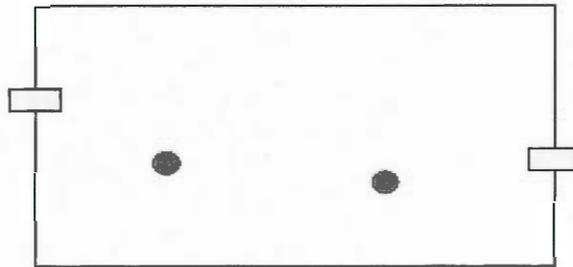


Figure 2.6: Figure représentant le transport flexible au niveau des points de déviation

- Transport flexible au niveau de la zone desservie :

Les véhicules fonctionnent en mode réactif le long d'un corridor en respectant les heures d'arrivées et de départ dans chaque arrêt. Dans ce cas, le mode de transport représente une grande flexibilité, chose qui rend la gestion de ce dernier difficile. La réception des requêtes des clients continue tout au long du trajet soit en contactant la compagnie ou le chauffeur directement.

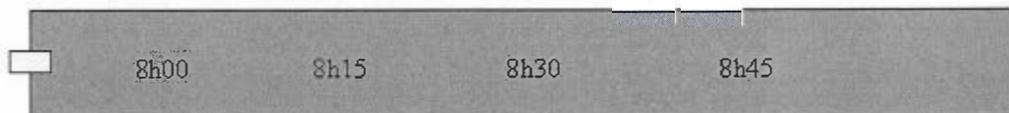


Figure 2.7: Figure représentant le transport flexible au niveau de la zone desservie

- Transport flexible au niveau de la connexion entre le mode flexible et fixe:

Les véhicules fonctionnent en mode réactif dans une zone géographique avec un ou plusieurs points de transfert prévus pour la correspondance avec un réseau fixe. Un pourcentage élevé des usagers représente des voyageurs qui partent vers ou à partir d'un point de transfert.

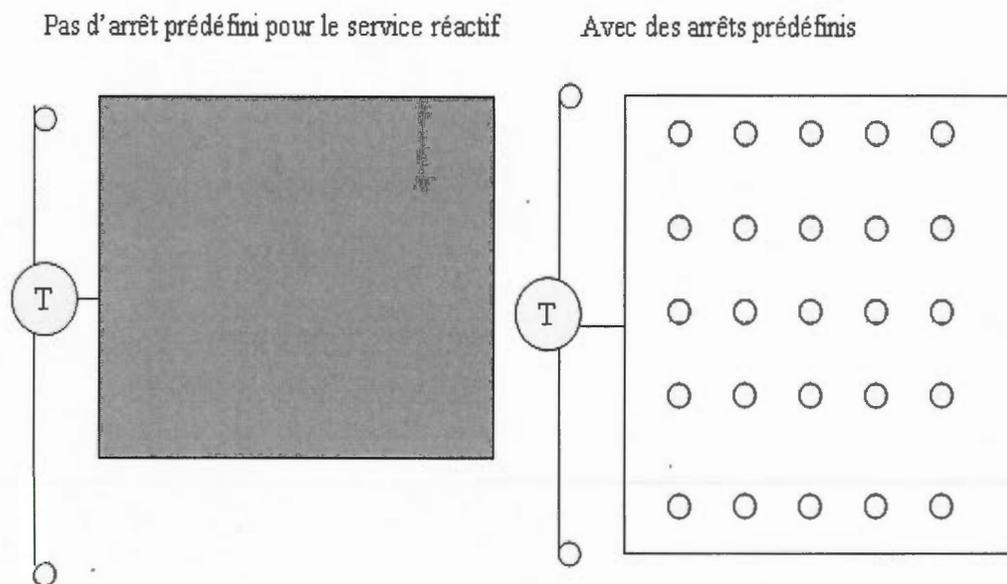


Figure 2.8 : Figure représentant le transport flexible au niveau de la connexion entre le mode flexible et fixe

- Transport flexible au niveau de quelques segments du trajet :

Les véhicules opèrent avec le mode traditionnel (arrêts fixes), mais ils changent pour le mode réactif à l'intérieur de quelques segments du trajet total. Le service dans ce cas combine les deux modes mais selon une séquence déterminée.

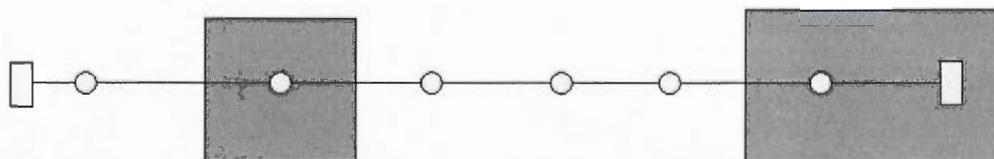


Figure 2.9: Figure représentant le transport flexible au niveau de quelques segments du trajet

Des exemples concrets de ces systèmes de transport flexibles sont présentés dans le tableau 2.1 et qui est le résultat d'un sondage effectué en Amérique du Nord (TCRP, 2004). Il représente quelques systèmes qui fonctionnent avec le mode de transport flexible ainsi qu'une brève description de leur mode de fonctionnement. Le tableau indique que parmi les 24 systèmes de transport étudiés, certains d'entre eux exploitent plusieurs types de service flexible à la fois. Douze entreprises préfèrent les stratégies de déviation des trajets pour répondre à la demande des citoyens, six utilisent la méthode de connexion avec d'autres systèmes de transport, quatre adoptent le type de flexibilité des arrêts, trois choisissent le point de déviation, deux la flexibilité au niveau des segments et un seul système opte pour la flexibilité au niveau de la zone desservie.

Tableau 2. 1 . Tableau représentant les différents systèmes de transports flexible en Amérique du nord (TCRP, 2004)

TABLE 1
SUMMARY OF SURVEYED TRANSIT SYSTEMS

System	Principal City	Flexible Service Name	Brief Description of Flexible Services
Capital Area Transit (CAT)	Raleigh, NC	CAT Connector	Demand-responsive connector service in zones replaces most fixed routes evenings, nights, early morning. One daytime zone.
Central Oklahoma Transit and Parking Authority (COTPA)	Oklahoma City, OK	METRO Link	Point deviation replaces fixed route nights and Sundays. All-day point deviation service in an outlying area.
Corpus Christi Regional Transportation Authority	Corpus Christi, TX	Route 67 Bishop Driscoll	Rural route into Corpus Christi with demand-responsive pick-up areas in two rural communities.
Decatur Public Transit System	Decatur, IL	Decatur Public Transit System	Two on-call stops.
Fort Worth Transportation Authority (FWTA—The T)	Fort Worth, TX	Rider Request (mostly discontinued Oct. 2003)	Two to three fixed stops at transfer points to the fixed-route system, plus demand-responsive service in zones.
Greater Richmond Transit Company (GRTC)	Richmond, VA	Chesterfield LINK (discontinued July 2003)	Route deviation service for the general public also acting as paratransit in one suburban area.
Hampton Roads Transit	Hampton, VA	HRT On Call	On-demand route segments.
Lane Transit District (LTD)	Eugene, OR	Diamond Express	Rural route into Eugene—Springfield provides midday curb-to-curb service in the urban area.
Madison County Transit	Granite City, IL	EZ Ride (added Aug. 2003)	ADA subscription deviations. (From deviation service added after completion of this research.)
Mason County Transit	Shelton, WA	None	Stops marked in schedule as requiring a request. Demand-responsive service in a corridor. Rural route deviation with flexible, informal deviation area. coordinated with areawide dial-a-ride.
Metro Regional Transit Authority	Akron, OH	Night zones Town Center Routes	Late night service from downtown to regular bus stops in three or four zones. Route deviation service mainly for reverse commutes.
Metropolitan Transit System (MTS)	San Diego, CA	Flex Routes 961–964	Route deviation with narrow bands.
Minnesota Valley Transit Authority	Burnsville, MN	Flex Routes 420 and 421 Local route 440	Route deviation in zones approximately 1-mi wide. Eight reservation stops near the route.
Napa County Transportation Planning Agency (NCTPA)	Napa, CA	St. Helena and Yountville Shuttles	Two route deviation services in small towns.

TABLE 1 (Continued)

System	Principal City	Flexible Service Name	Brief Description of Flexible Services
Ottumwa Transit Authority (OTA)	Ottumwa, IA	Ottumwa Transit Authority	Entire transit system is fixed route with some deviations.
Pierce Transit	Tacoma, WA	Key Loop (modified Sept. 2003), Orting Loop	Rural demand-responsive connector operated by paratransit vehicles.
Potomac and Rappahannock Transportation Commission (PRTC)	Woodbridge, VA	OmniLink	Entire local service is route deviation areawide service with bands around routes.
Ride Solution (ARC Transit)	Palatka, FL	Ride Solution	Fixed-route general public service built on demand-responsive consolidated human services transportation.
River Valley Metro Mass Transit District	Kankakee, IL	Bourbonnais Flex	Three fixed stops in a demand responsive area in one of three communities served.
Sarasota County Area Transit (SCAT)	Venice, FL	SCAT About	Demand-responsive connector service supplements a fixed route on Venice Island.
St. Joseph Transit	St. Joseph, MO	St. Joseph Transit	Citywide routes with deviations through the city, also serving as paratransit.
Tillamook County Transportation District	Tillamook, OR	Deviated Fixed Route	Rural routes with flag stops and an informal deviation area.
Tri-Met	Portland, OR	Cedar Mill Shuttle	Peak-period demand-responsive connector to a transit center.
Winnipeg Transit System	Winnipeg, Manitoba	DART	Suburban demand-responsive connectors in four areas with marked drop-off locations.

Selon le tableau 2.1, nous remarquons que la majorité des systèmes adoptent des stratégies de déviation et cela s'explique par le fait qu'ils cherchent à offrir le service flexible et le service traditionnel avec le même véhicule et en même temps. Aussi, la stratégie de déviation ne demande pas des ressources financières et des compétences importantes. Le deuxième type le plus utilisé après le type déviation, est le connecteur qui relie les petites zones urbaines avec les grandes. Cela est expliqué par l'expansion incontrôlable des villes surtout au début de l'expansion, où l'implantation d'un système de transport traditionnel est coûteuse et non rentable.

D'après le tableau, l'implantation des systèmes flexibles est rentable dans les vastes régions afin de relier les parties les mieux servies par celles qui connaissent des difficultés comme les petites zones limitées et à faible demande. Nous remarquons que la stratégie de déviation fourni plusieurs sous-méthodes qui peuvent se personnaliser afin de répondre aux

besoins spécifiques de chaque système. Selon le tableau 2.1, le système Ottumwa Transit Authority (OTA) à Ottumwa Iowa, représente un exemple intéressant puisqu'il adopte la stratégie de déviation dans une zone définie pour embarquer/débarquer les usagers aux besoins particuliers ou les gens âgés, et dans une autre zone pour embarquer/débarquer des clients réguliers mais qui résident loin du trajet fixe. Le système St. Joseph Transit à St. Joseph, Missouri, pour sa part, utilise la stratégie de déviation afin de séparer le service offert pour les clients réguliers du service destiné aux personnes aux besoins particuliers.

D'après ces exemples, nous concluons que le système flexible peut être implanté sous différents modèles en personnalisant les six types (déjà mentionnés avant) aux besoins et aux conditions existantes. Également, plusieurs types flexibles ne nécessitent pas des coûts d'investissement importants puisque pour la majorité des systèmes présentés dans le tableau 2.1 les utilisateurs du service flexible partage le même véhicule avec les usagers du service traditionnel (Minnesota Valley Transit Authority).

Nous concluons que le service flexible joue plusieurs rôles dont les principaux sont : desservir les vastes régions en reliant les parties les mieux servis par celles qui connaissent des difficultés, offrir le service dans des zones limitées et petites, offrir le service durant les heures de la faible demande dans les larges régions et finalement opérer durant les heures de faible demande dans les régions limitées.

2.3. Planification des systèmes de transport en commun

La demande pour le transport est caractérisée par deux importants éléments. Le premier est le territoire, c'est la zone géographique qu'on vise à desservir avec toutes ses caractéristiques. Le deuxième est le temps, c'est la période où on va opérer afin d'offrir notre service. Ces deux éléments représentent les bases de chaque système de transport. Par exemple, la demande pour le transport change continuellement d'une part, selon les zones et d'autres part, selon les périodes et même les heures de la journée (la demande est forte le matin et l'après midi, alors qu'elle est calme le reste du jour). Parallèlement, on constate une différence au niveau de la demande pour les jours de la semaine versus la fin de semaine, les jours de travail versus les jours de congé et la saison d'été versus l'hiver. Cependant, il y'a

des périodes où on peut constater une homogénéité des comportements des usagers. C'est à l'intérieur de ces périodes qu'on peut planifier l'implantation d'un système de transport.

2.3.1. Planification du transport traditionnel

Le transport traditionnel est un des plus importants systèmes de transport. Plusieurs facteurs influencent sur la planification de ce mode à savoir : la congestion des rues, le plan d'aménagement de la région, l'infrastructure existante, les moyens disponibles, le comportement des consommateurs, les politiques gouvernementales, la géographie de la région, l'aspect économique, l'emplacement des points stratégiques tel que les hôpitaux et les centres commerciaux, etc. (Ceder *et al.* 1997)

Généralement, la planification du transport régulier exige des décisions importantes qui respectent un ordre bien défini en avance :

- La conception du réseau des routes
- Élaboration des horaires et des taux de fréquences
- Le choix des types de véhicules
- Le choix de l'équipage

Également, l'exécution de ces quatre étapes exige un grand travail sur trois niveaux obligatoires :

- Niveau Stratégique
- Niveau Tactique
- Niveau opérationnel

Les décisions prises au niveau stratégique sont considérées à long terme et comportent généralement des investissements lourds. Un exemple typique est la construction de certaines infrastructures. Ces décisions sont obligatoires et nécessaires parce qu'elles représentent la base sur laquelle le reste du processus se bâtit. Tandis que les décisions prises au niveau tactique sont souvent à moyen terme et demandent moins d'investissements. Aussi, elles représentent la base des décisions opérationnelles et qui sont à leur part valides à court terme et subissent des changements fréquents.

Souvent, dans le cas du transport traditionnel, les autorités préfèrent éviter les changements fréquents au niveau de la conception des routes et autres. Cela, parce que ces autorités sont soumises à des contraintes énormes et aussi parce que ces changements peuvent évoquer des comportements désagréables de la part des consommateurs. Par contre, des changements périodiques peuvent être effectués afin de s'adapter avec le climat ou tout autre intervenant qui peut influencer sur la qualité et l'efficacité du service.

La conception du réseau des routes est influencée par plusieurs facteurs tels que : les politiques des autorités, l'infrastructure existante et les préférences des consommateurs. La combinaison de ces facteurs donne lieu aux nombreux problèmes qui exigent des solutions immédiates et efficaces. À titre d'exemple, les préférences des gens sont très hétérogènes et difficiles à gérer. Parallèlement, les objectifs des autorités ne sont souvent pas alignés avec ceux des usagers, puisque ces derniers s'attendent à un service de haute qualité avec une fréquence assez importante afin d'éviter les délais d'attente, alors que les autorités visent un service de moyenne qualité qui répond à la demande de la population en général.

La conception du réseau des routes représente une tâche extrêmement complexe même si plusieurs approches mathématiques ont été proposées dans la littérature pour une génération automatique des routes. À titre d'exemple, l'approche VIPS-II (Outil permettant de générer des routes en respectant les contraintes établies) qui a été effectivement mis en œuvre par Transport de Stockholm afin de générer les routes et qui s'est basé sur la méthode décrite dans Hasselstrom (1981). Le reste de la plupart des outils utilisés est sur la base de simulation de réseau et de l'évaluation (Babin *et al*, 1982; Florian *et al*, 1986).

L'élaboration de la partie tactique exige les apports du premier élément (la conception des routes), en complément d'autres informations tels que la distribution des clients, les destinations et le niveau de qualité souhaité. Un certain nombre d'approches ont été proposées dans la littérature. Beaucoup d'entre elles diffèrent dans les hypothèses et, par conséquent, plusieurs modèles et problèmes ont été développés. Par contre, au niveau opérationnel, la tâche reste facile et se limite au suivi des opérations quotidiennes sans avoir besoin d'une analyse approfondie. Donc, les éléments les plus complexes sur l'aspect conception dans le mode traditionnel sont les niveaux stratégiques et tactiques.

2.3.2. Planification du service DAS

Semblablement à celle du transport traditionnel, la planification du transport flexible DAS se base sur trois principaux niveaux à savoir: Le niveau stratégique, tactique et opérationnel. Le niveau stratégique consiste à sélectionner le territoire, le besoin des gens à servir, le niveau de service à offrir et enfin la flotte et le type de véhicules utilisés dans le transport. Au niveau tactique, deux travaux importants à réaliser : le tableau des horaires et les lignes que les véhicules vont desservir. Alors que pour le niveau opérationnel, plusieurs logiciels sont présentement sur le marché, capables d'optimiser et d'organiser les tournées d'une façon efficiente et efficace.

Le service DAS représente un cas particulier étant donné qu'il se base, d'une part, sur une série d'arrêts obligatoires avec des intervalles de temps pour chaque arrêt (Transport Traditionnel), et d'autre part, il offre un service personnalisé tel que le système DRS. Pour cela, la planification (les trois niveaux) demeure un défi important pour les chercheurs.

Le tableau 2.2 montre qu'au niveau stratégique de DAS, il faut identifier la zone géographique desservie, le nombre des lignes fonctionnelles et pour chaque ligne déterminer le territoire, la fréquence du service et le niveau de qualité offert. Au niveau tactique, il faut, d'une part, localiser les arrêts obligatoires et les arrêts optionnels et d'autre part, déterminer la séquence des arrêts obligatoires, les segments et les fenêtres de temps associés à chaque arrêt obligatoire. Au niveau opérationnel, il faut déterminer l'itinéraire de la ligne DAS. Ce

dernier joue le même rôle que le tableau des horaires du transport traditionnel que les gens vérifient avant de se déplacer volontairement vers les arrêts obligatoires. Ce plan principal tire sa particularité du fait qu'il est complété au niveau opérationnel au moment de la réception des requêtes des clients tout en respectant les intervalles des temps de chaque arrêt obligatoire.

Tableau 2.2: Tableau représentant les niveaux de prise de décision pour DAS

Niveau de prise de décision	Décisions à prendre
Niveau tactique	Le territoire desservi par la ligne DAS Le nombre de ligne nécessaire pour couvrir le territoire Le territoire couvert par chaque ligne DAS La fréquence et le niveau de service souhaités
Niveau stratégique	Pour chaque ligne, les arrêts obligatoires Pour chaque ligne, la séquence des arrêts obligatoires Pour chaque ligne, identification des segments Pour chaque ligne, définition des fenêtres de temps
Niveau opérationnel	Pour chaque ligne choisi, l'itinéraire du service DAS

2.2.3. Planification du système DRS

Le plus important processus de planification pour le DRS a lieu au niveau opérationnel, lorsque le calendrier des itinéraires et des horaires est déterminé peu de temps avant les opérations réelles. Ce calendrier peut être modifié continuellement pendant le service.

Le service DRS fonctionne soit en mode statique, soit en mode dynamique. Dans le premier cas, toutes les requêtes de transport sont connues à l'avance, permettant ainsi une bonne optimisation du problème, tandis que dans le second cas, les requêtes sont connues au fur et mesure, et les tournées sont adaptées en temps réel pour prendre en compte ces nouvelles demandes. Dans la pratique, il est vraiment très rare d'avoir un service totalement

dynamique, plus délicat à optimiser. Généralement, les demandes sont connues à l'avance pour trouver de meilleures tournées. La résolution des problèmes de DRS prend également en compte les capacités des véhicules de la flotte, qui est généralement hétérogène. Une des considérations majeures dans ces problèmes est de trouver la flotte la plus adaptée en terme de quantité de véhicules requis d'une part, et de maximiser les taux de remplissage de ces véhicules d'autre part. Ces deux objectifs vont souvent de pair, mais il faut parfois trouver un compromis entre les critères considérés. Par exemple, les critères de qualité de service regroupent les temps des courses, les distances parcourues, les temps d'attente, les temps passés dans le véhicule pour chaque client.

Le problème de planification du transport DRS peut être traité selon plusieurs angles et selon la configuration du problème. Un problème de DRS peut être assimilé à un problème Dial-a-Ride (DAR) (Cordeau *et al*, 2004). Le DAR consiste en l'organisation et la conception de tournées de véhicules pour n utilisateurs requérant chacun leur propre lieu de prise en charge et leur propre lieu de desserte. Dans sa version de base, le DAR est résolu avec une flotte de véhicules identiques, ayant tous les mêmes caractéristiques et le même dépôt. L'objectif de ce problème consiste à planifier une tournée en répondant au mieux aux souhaits des usagers (qualité de service, durées des courses) tout en minimisant les coûts de fonctionnement (nombres de véhicules et de chauffeurs nécessaires...).

Cinq composantes constituent les principaux éléments de la planification du système DRS. Il s'agit de : l'autorité organisatrice de transport (AOT), l'exploitant (qui s'occupe de la gestion opérationnelle), l'espace qui accueille le service, la clientèle visée et l'offre de transport (les types de prestations offertes). Elles peuvent être regroupées en fonction de leur domaine d'intervention comme l'indique la figure ci-dessous.

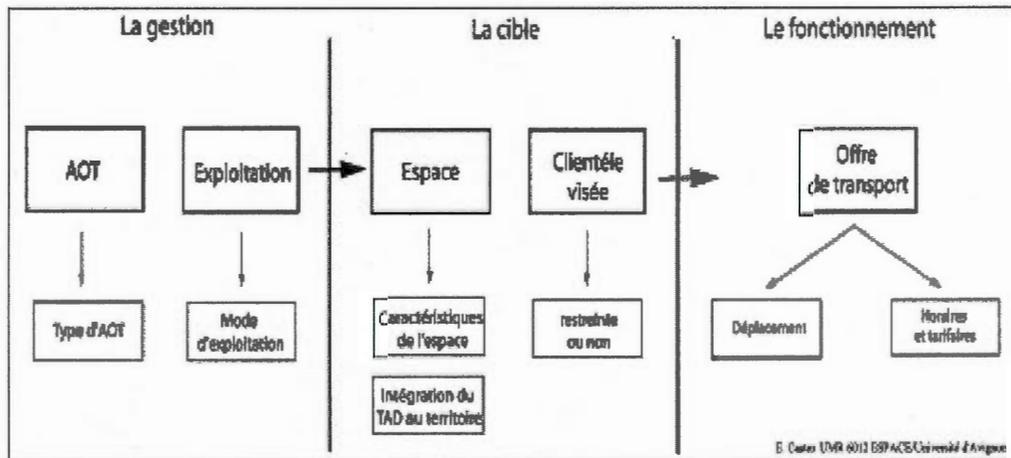


Figure 2.10 : Figure représentant les cinq composantes du service de transport DRS

La gestion du service du système DRS dépend de l'AOT qui constitue en quelque sorte l'organe décisionnel. L'AOT décide du mode d'exploitation des services, de la tarification, mais également des subventions d'investissement et d'exploitation. Elle a également d'autres missions à assurer, comme la réglementation des activités de transport, la réalisation et la gestion d'infrastructures et d'équipements affectés au transporteur, la promotion des transports publics, le développement de l'information et la recherche sur les systèmes de transport (GART, 1999). Un deuxième intervenant dans la gestion du DRS doit être pris en compte. Il s'agit de l'exploitant qui s'occupe de la gestion opérationnelle du réseau. La cible du transport à la demande est généralement composée d'un espace à desservir qui délimite le périmètre du DRS et d'une clientèle visée (restreinte ou non à certaines catégories d'usagers). La combinaison de ces deux composantes contribue à l'originalité des services de DRS. Le fonctionnement peut se définir par l'offre de transport qui est proposée aux usagers. L'offre de transport comprend en premier lieu les possibilités de déplacement ainsi que les composantes horaires et tarifaires. La relation entre ces trois éléments conditionne la souplesse générale du système et par là même la qualité du service. La planification du système DRS est marquée par une AOT commanditaire et un exploitant qui, ensemble, participent à la gestion du système DRS. L'espace support et la clientèle visée contribuent à définir la cible du DRS. Enfin, le fonctionnement du service dépend de l'offre de transport qui conditionne les déplacements possibles au sein du territoire.

La figure 2.11 résume comment se déroule le niveau opérationnel (fonctionnement) du service DRS. Après avoir reçue la requête du client, le logiciel de gestion et de construction des lignes traite la demande et planifie la tournée du véhicule. En résumé, le niveau le plus difficile à gérer dans le service DRS est le niveau opérationnel puisqu'il représente l'élément déclencheur du processus d'offre de service. On peut dire que c'est un service qui fonctionne en mode *push*, où le client représente le premier intervenant de la chaîne d'approvisionnement.

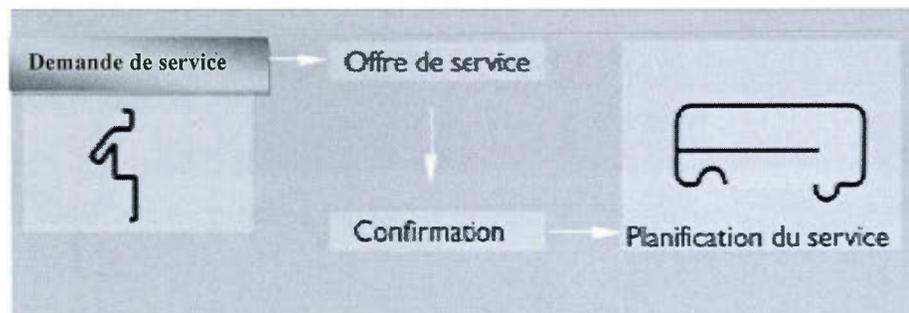


Figure 2.11: Figure représentant le niveau opérationnel du service DRS

2.4. Différence entre DAS, DRS et le Transport traditionnel

Après avoir présenté en détail les différents systèmes de transport en commun (traditionnel, DAS et DRS), il semble pertinent d'établir une comparaison entre eux. Plusieurs différences existent dans la flexibilité et le coût de service, l'identification des arrêts, l'établissement des calendriers d'horaires du service et autres.

Le service traditionnel est le système idéal pour les larges régions à forte densité et avec une grande demande pour le transport en commun. Tandis que le service DAS et DRS servent plus à un complément pour le service traditionnel afin de servir une partie ou la totalité d'un territoire que le service traditionnel est dans l'impossibilité de servir et cela pour différentes raisons (coûts, infrastructure, retour d'investissement faible, etc.). Aussi, généralement le service DRS utilise une flotte de véhicule variée afin de pouvoir répondre aux demandes des

utilisateurs avec une personnalisation importante. Cependant, les services, traditionnel et DAS acquièrent généralement des véhicules semblables puisque le service reste loin d'être destiné à une ou quelques personnes.

Une autre différence majeure entre les trois systèmes réside dans le coût, la flexibilité et le niveau de service des systèmes de transport. Le transport traditionnel offre un niveau de service acceptable avec un coût remarquablement bas et une rigidité importante surtout au niveau des lignes et des territoires desservis en comparant avec le reste des systèmes. Tandis que le service DRS offre un confort supérieur avec un prix élevé qui se rapproche au coût du taxi ainsi qu'une flexibilité unique. Alors que le service DAS se situe entre les deux autres systèmes en termes de coût, de flexibilité et de niveau de service. Le service DAS est moins cher que DRS et plus flexible que le traditionnel. La figure 2.12 ci-dessous illustre le positionnement des trois services.

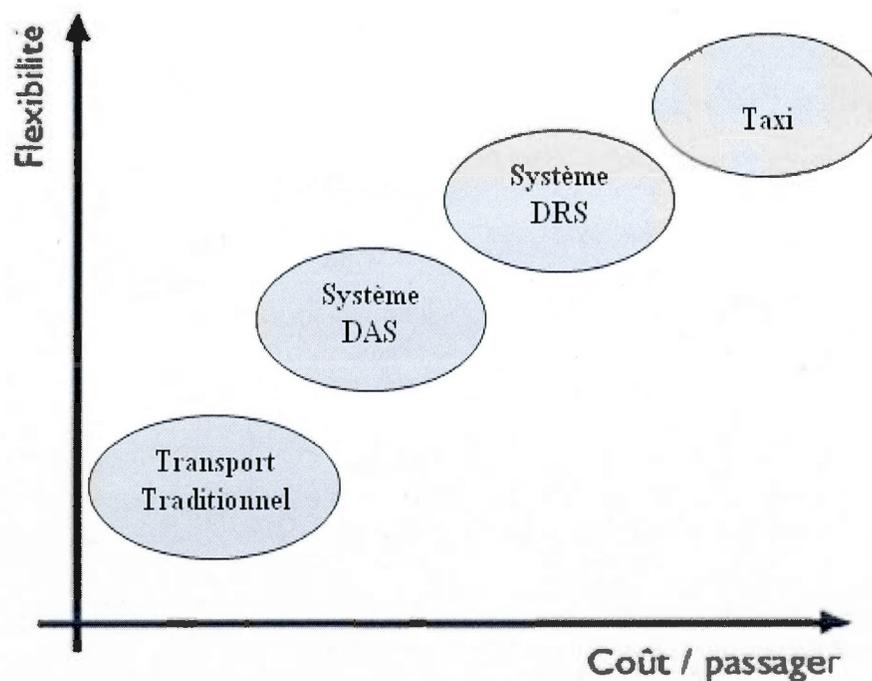


Figure 2.12 : Figure comparant différents systèmes de transport en fonction du coût et de la flexibilité du service

Concernant l'identification des tables d'horaires, nous remarquons que pour le système traditionnel de transport, il existe une liste indiquant les temps de passage des véhicules à chaque arrêt pour chaque ligne. Les véhicules sont censés suivre ces horaires aussi strictement que possible, puisque les utilisateurs du système possèdent leurs plans de voyage qui indiquent les horaires publiés. La planification des horaires du système traditionnel fait partie du niveau tactique, ce dernier représente l'élément le plus important puisqu'une fois le calendrier est établi, il reste inchangé pour une longue période. Ceder *et al.*, (1997) ont analysé en profondeur la planification des horaires du système traditionnel.

La situation est différente pour le système DRS. La construction des horaires et des temps de passage se fait au niveau opérationnel et selon la demande des clients. La validité de ces itinéraires se termine à la fin de la tournée et devient inutile. Donc, contrairement au système traditionnel qui demande une analyse approfondie au niveau tactique, le DRS analyse les données et trace les itinéraires au niveau opérationnel.

Le cas du système DAS est plus complexe, parce qu'il offre son service suite à la réception des requêtes des clients et cela à l'intérieur du cadre de transport traditionnel. Son calendrier combine les deux processus de planification brièvement présentés ci-dessus. Deux horaires sont donc construits. Au niveau tactique, un schéma directeur qui définit les lignes partielles (véhicule), les itinéraires, la séquence des arrêts obligatoires et les fenêtres de temps à ces arrêts est bâti (ce schéma joue le même rôle que le calendrier dans le système traditionnel). Durant le service, le schéma directeur est conçu pour intégrer les arrêts optionnels (supplémentaires) qui servent à répondre aux demandes des utilisateurs, tout en respectant les contraintes de fenêtres de temps imposées par le schéma directeur. Plusieurs études ont analysé les problèmes liés à trouver un calendrier de temps pour le système DAS (Malucelli *et al.* 2001; Crainic *et al.*, 2005).

Concernant le processus opérationnel, le transport traditionnel ne représente pas un défi pour les gestionnaires puisque le service est stable et respecte un plan prédéfini qui ne change qu'à long terme. Cependant, pour le service DRS, le niveau opérationnel prend plus de place et devient plus compliqué alors que le niveau stratégique se limite à la détermination du territoire, du niveau de service et la flotte de véhicules. Le planificateur de la compagnie de

transport est obligé donc de bâtir continuellement de nouvelles routes qui doivent répondre à la demande des usagers. Par ailleurs, le service DAS, représente un cas particulier étant donné qu'il se base, d'une part, sur une série d'arrêts obligatoires avec des intervalles de temps pour chaque arrêt (Transport Traditionnel), et d'autre part, il offre un service personnalisé tel que le système DRS. Pour cela, la planification demeure un défi important.

D'autres points de différences existent entre les systèmes de transport traditionnel, DAS et DRS. On cite à titre d'exemple la détermination des arrêts ainsi que leur séquence. Au niveau du transport traditionnel, la détermination des arrêts se fait au niveau tactique, tout en sachant qu'une fois que ses arrêts sont bâtis, ils demeurent fixes et inchangés pour une longue durée. Pareillement, dans le système DRS, les arrêts sont identifiés en avance sauf qu'ils restent inactifs sans y avoir une réservation des clients. Cependant, le système DAS repose en même temps sur une série d'arrêts fixes à long terme (où le véhicule passe régulièrement et sans réservation en avance dans des heures prédéfinis) et une autre série d'arrêts optionnels actifs juste pour répondre aux demandes des usagers.

Le tableau ci-dessous résume quelques différences et similitudes entre les trois systèmes de transport:

Tableau 2.3 : Tableau comparatif entre différents systèmes de transport

	Le système Traditionnel	Le système Réactif (DRS)	Le système DAS
Cout	Pas cher	Cher	Moins cher que DRS
Temps de Voyage	Long	Rapide	Selon la demande
Service	Rigide	Flexible	Efficace
infrastructure	Importante	Moyenne	Importante

2.5. Conclusion

Le besoin en mobilité exprimé par les usagers et le contexte énergétique et environnemental contribuent pour chacun à revaloriser le transport en commun au détriment de la voiture, elle-même devenue dans le même temps synonyme de nuisances. Dans ce chapitre, nous avons décrit le contexte actuel des transports en commun et justifié le besoin d'un transport intermédiaire au service réactif et au transport traditionnel. Après avoir comparé les différents modes de transport (DAS, DRS et traditionnel), le système DAS semble être une solution innovante capable de répondre à une demande croissante à moindre coût. Cela aboutira sans doute à la réalisation d'un système de transport en commun répondant aux nouvelles exigences de mobilité et contribuant au développement durable.

Dans le chapitre suivant nous ferons état de la problématique entourant l'intérêt d'étudier le nouveau mode de transport DAS dans la région de la rive sud de Montréal que nous avons choisi comme terrain de simulation et d'évaluation du système DAS.

CHAPITRE III

PROBLÉMATIQUE

3.1. Introduction

La société a connu une véritable évolution idéologique, économique et même environnementale. Cette évolution a influencé les habitudes en termes de mobilité en favorisant l'autonomie des individus. En effet, les sociétés industrialisées ont connu une dispersion dans le temps couplée avec une dispersion dans l'espace et donc un horizon propice au développement des systèmes de transport. Devant un tel constat, l'amélioration du système de transport actuel apparaît comme une nécessité. Les autorités de transports et les responsables des régions ont donc misé sur l'intégration de nouveaux systèmes de transports pour compléter les systèmes de transport en communs existants et pour reconfigurer le paysage des systèmes de transports de la façon la plus optimale que possible.

Nous avons vu dans le chapitre précédent les difficultés que représentent les déplacements des personnes dans le contexte urbain d'aujourd'hui et en quoi le transport flexible hybride DAS constitue l'une des alternatives à l'automobile en tant que mode de transport durable. Dans ce chapitre nous allons détailler la problématique du mémoire qui porte sur la motivation pour le transport flexible dans la région de la rive sud de Montréal ainsi que sur la complexité de la planification du système DAS. L'objectif du mémoire est aussi précisé à la fin de ce chapitre.

3.2. Motivation pour le transport flexible dans la région de la rive sud de Montréal

Selon un questionnaire, établi par la commission de consultation sur l'amélioration de la mobilité entre Montréal et la Rive Sud (2002), près de deux tiers des résidents de la Rive Sud transitent régulièrement à l'intérieur de cette région dont un tiers sont des « réguliers » de l'heure de pointe alors que 39 % ne se déplacent que rarement ou jamais aux heures de pointe; ce sont des personnes qui sont à la retraite, sans emploi ou à la maison par choix. La très grande majorité de ces déplacements se font principalement en voiture. La figure ci-dessous (figure 3.1) illustre la situation : 79% des résidents de la rive sud préfèrent les déplacements par voiture alors que juste 6% utilisent le RTL.

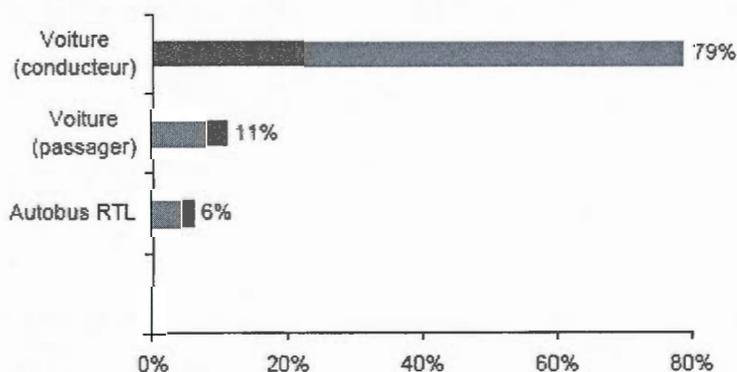


Figure 3. 1 : Figure représentant un sondage effectué dans la rive sud de Montréal

(Source : commission de consultation sur l'amélioration de la mobilité entre Montréal et la Rive-Sud (2002))

Cette dépendance automobile s'explique par le fait que même si la région de la rive sud est équipée en transport en commun, leurs réseaux affichent de faibles couvertures spatiales et des temps de parcours très peu compétitifs pour faire l'objet d'un choix rationnel. Le transport en commun à horaire fixe desservi mal les régions et il y a un certain manque de flexibilité. De plus, le temps de voyage est perçu comme étant supérieur à celui effectué en voiture privée. Les gouvernements devraient donc investir dans des solutions durables et bénéfiques pour l'ensemble de la collectivité, c'est à dire dans les systèmes de transports collectifs et alternatifs, dans la création de milieux de vie moins dépendants de l'automobile. L'implantation d'un système de transport flexible semble dans ce cas une solution innovante

afin de remédier à ce problème et améliorer ainsi les déplacements et la mobilité à l'intérieur de la région de la rive sud.

Dans notre projet nous nous sommes intéressés au transport flexible DAS. L'idée d'un système DAS est de combiner la flexibilité du mode réactif DRS avec une opérabilité à faible coût des systèmes traditionnels de transport en commun. L'avantage du système DAS est de permettre un service presque porte-à-porte (DeLong, 1998), idéal pour desservir les zones moins denses (ce que sont les quartiers de la Rive Sud). Dans la région de la rive sud de Montréal, la flexibilité du service DAS peut offrir un moyen de fournir une couverture dans les zones éloignées et à faible demande avec un service à coût abordable. Ce service peut aussi servir à connecter des quartiers fortement achalandés, mais avec un taux de déplacement faible. Également, ce service flexible peut opérer avec efficacité, efficacité et rentabilité dans les heures où la demande est faible et représente un obstacle pour le transport traditionnel. Pareillement, ce service réduit ou élimine parfois les coûts liés au transport adapté. Les économies réalisées suite à la combinaison des deux services (traditionnel et réactif) permettent souvent de transformer un système déficitaire à un autre économiquement viable et rentable.

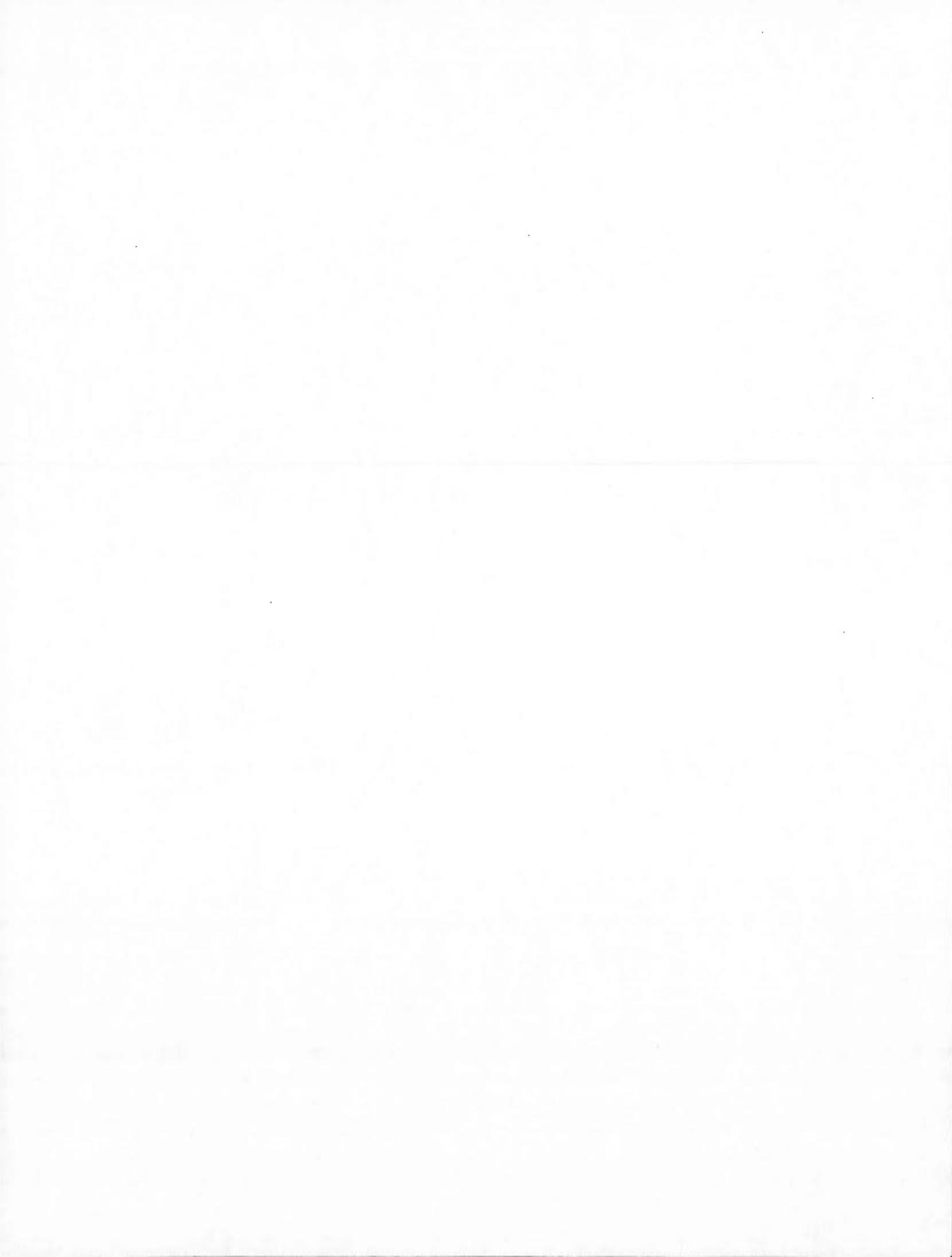
3.3. Objectif du mémoire

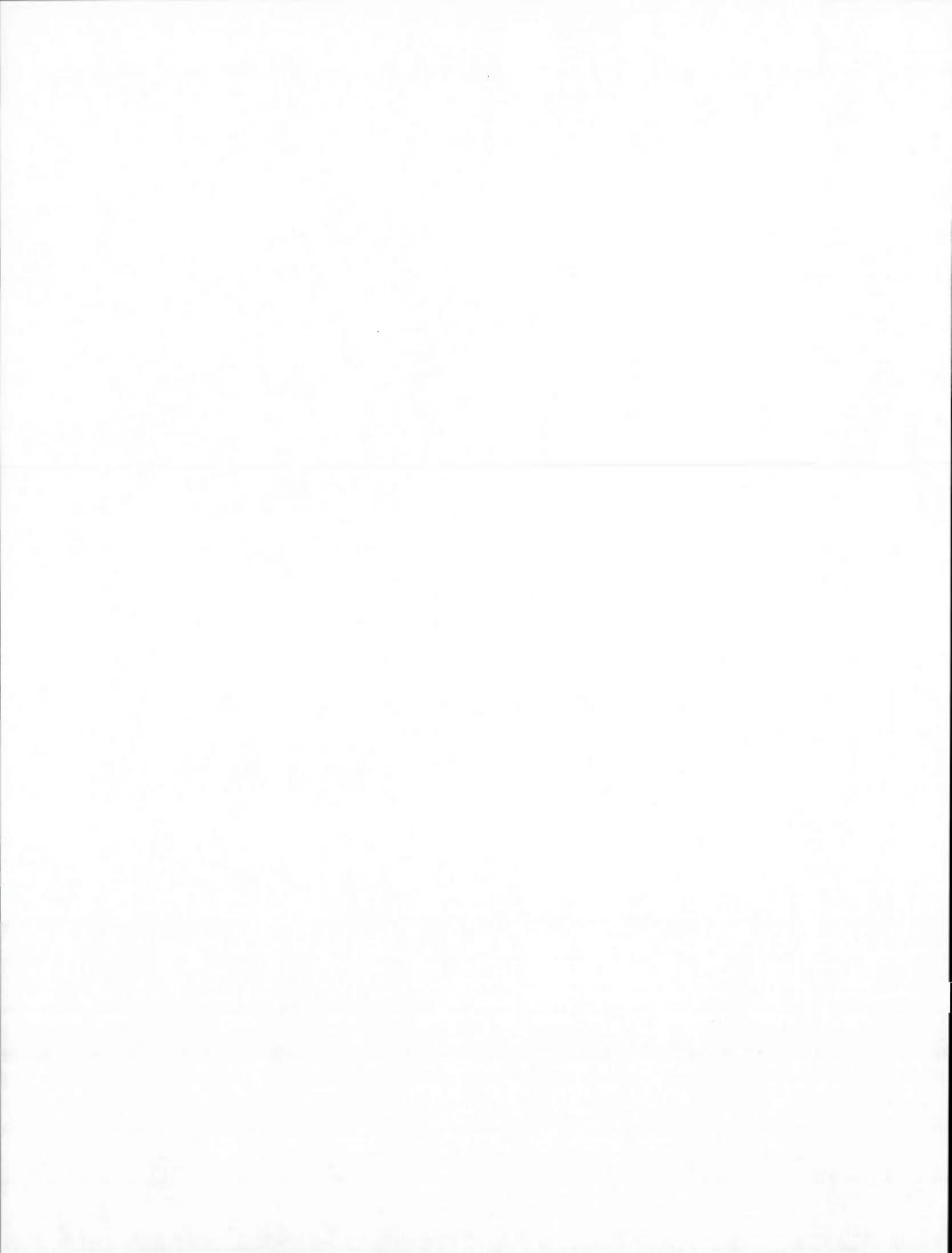
Le système DAS, comme tout autre mode de transport, est sensible d'une part, aux changements des politiques tels que : le plan d'aménagement, le niveau de service, l'infrastructure, les horaires, etc. D'autre part, il est sensible aux changements de plusieurs paramètres internes tels que : le nombre de véhicule, les fenêtres du temps, la séquence des arrêts obligatoire, le temps total du trajet...etc. Au moment où on connaît d'avance le comportement du système de transport traditionnel et celui du DRS envers le changement de ces paramètres, nous avons jugé important de surveiller le comportement du système DAS afin de connaître sa réaction et sa capacité d'accepter les changements internes et externes qui peuvent affecter le service durant son fonctionnement.

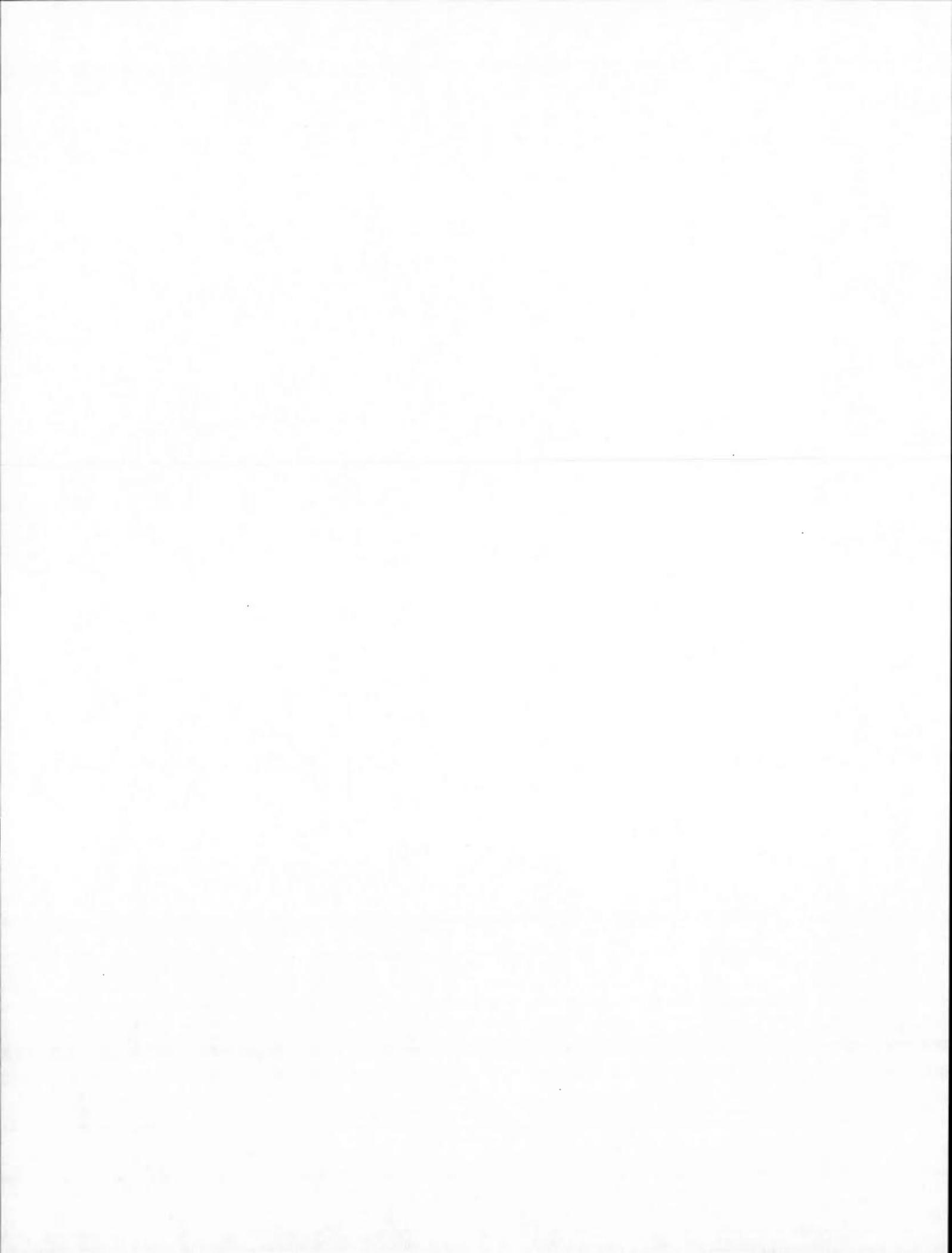
Mon étude servira à démontrer l'importance du système DAS et sa capacité à fonctionner sous différentes conditions. Précisément, ma contribution serait d'évaluer le comportement du fonctionnement du système DAS au niveau opérationnel dans la région de la rive sud de Montréal, cela envers les multiples changements (internes ou externes) et qui peuvent influencer de loin ou de près ce mode de transport. Dans ce projet nous allons utiliser des modèles mathématiques établis par Crainic et al, (2005; 2008) et Errico (2008). Ces modèles servent à identifier le schéma directeur qui est l'outil principal de simulation utilisé pour l'évaluation du système DAS.

Suite à un retard technique, il était impossible d'évaluer le système DAS. Nous avons donc élaboré des hypothèses sur les résultats attendus.

Dans le chapitre suivant, nous avons jugé pertinent de le consacrer à la revue de littérature qui fera un tour d'horizon des différents points reliés à cette problématique avant de présenter et détailler les outils utilisés pour simuler le système DAS.







CHAPITRE IV

REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LA PLANIFICATION ET ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE TRANSPORT FLEXIBLES

4.1. Introduction

Il y a maintenant environ 40 ans, les premiers transports flexibles faisaient leur apparition aux États-Unis. Ces premières formes de transports souples étaient bien loin de celles rencontrées aujourd'hui. Peu nombreux et plus proches des taxis collectifs dont ils portaient souvent le nom, ils étaient gérés de façon empirique. Avec le temps, les transports flexibles ont évolué. Ils ont évolué au niveau des prestations proposées, des techniques utilisées ou encore de leur mode de gestion et planification. Ces évolutions ont été impulsées par un contexte plus favorable à un retour des transports en commun et de nombreuses études, projets de recherche, ou encore publications scientifiques lui sont consacrées.

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à présenter une revue de littérature concernant la phase de planification et d'évaluation des systèmes de transports flexibles. Dans un premier lieu, un bref descriptif de quelques outils d'optimisation des problèmes de transports sont présentés. Ensuite il est question de présenter les travaux déjà réalisés sur ce mode de transport. L'objectif étant de faire le point sur les connaissances acquises sur le sujet. Une revue approfondie de cette littérature est ensuite associée à la présentation du nouveau mode de transport flexible DAS.

4.2. Outils d'optimisation des problèmes de transport

L'optimisation combinatoire occupe une place très importante en recherche opérationnelle, en mathématiques et en informatique. Son importance se justifie d'une part

par la grande difficulté des problèmes d'optimisation et d'autre part par de nombreuses applications pratiques pouvant être formulées sous la forme d'un problème d'optimisation combinatoire. Bien que les problèmes d'optimisation combinatoire soient souvent faciles à définir, ils sont généralement difficiles à résoudre.

Lacomme (2005) décompose la démarche de résolution d'un problème en trois étapes, à savoir : la modélisation du problème, la conception d'algorithmes d'optimisation et la validation des solutions retenues. En effet, la gestion d'un système de transport est un problème complexe qui nécessite différentes connaissances théoriques (outils de modélisation des problèmes, classification des problèmes multi-objectifs, algorithmes d'optimisation, etc.).

Étant donnée l'importance de ces problèmes d'optimisation, de nombreuses méthodes de résolution ont été développées en recherche opérationnelle. Ces méthodes peuvent être classées sommairement en deux grandes catégories : les méthodes exactes (complètes) qui garantissent la complétude de la résolution et les méthodes approchées (incomplètes) qui perdent la complétude pour gagner en efficacité.

4.2.1. Les méthodes exactes et approchées

Le principe essentiel d'une méthode exacte consiste généralement à énumérer, souvent de manière implicite, l'ensemble des solutions de l'espace de recherche. Pour améliorer l'énumération des solutions, une telle méthode dispose de techniques pour détecter le plus tôt possible les échecs (calculs de bornes) et d'heuristiques spécifiques pour orienter les différents choix. Parmi les méthodes exactes, on trouve la plupart des méthodes traditionnelles (développées depuis une trentaine d'années) telles les techniques de séparation et évaluation progressive (SEP) ou les algorithmes avec retour arrière. Les méthodes exactes ont permis de trouver des solutions optimales pour des problèmes de taille raisonnable. Malgré les progrès réalisés (notamment en matière de la programmation linéaire en nombres entiers), les méthodes exactes rencontrent généralement des difficultés face aux applications de taille importante.

Concernant les méthodes approchées, elles constituent une alternative très intéressante pour traiter les problèmes d'optimisation de grande taille si l'optimalité n'est pas primordiale. En effet, ces méthodes sont utilisées depuis longtemps par de nombreux praticiens. Depuis une dizaine d'années, des progrès importants ont été réalisés avec l'apparition d'une nouvelle génération de méthodes approchées puissantes et générales, souvent appelées métaheuristiques.

4.2.2. Les métaheuristique

Une métaheuristique est constituée d'un ensemble de concepts fondamentaux qui permettent d'aider à la conception de méthodes heuristiques pour un problème d'optimisation. Ainsi les métaheuristiques sont adaptables et applicables à une large classe de problèmes.

Grâce à ces métaheuristiques, on peut proposer des solutions approchées pour des problèmes d'optimisation classiques de plus grande taille et pour de très nombreuses applications qu'il était impossible de traiter auparavant. On constate, depuis ces dernières années, que l'intérêt porté aux métaheuristiques augmente continuellement en recherche opérationnelle et en intelligence.

Deux exemples efficaces sont présentés ci-dessous :

- La recherche Tabou : cette métaheuristique a été développée par Glover en 1986. (F. Glover, 1986). Cette méthode repose sur l'exploration du voisinage. Elle est caractérisée par la présence d'une mémoire, appelée liste tabou, qui permet d'éviter au cours des itérations de retomber sur un minimum local précédemment exploré. Cela conduit à empêcher l'algorithme de passer par des points visités. Cette métaheuristique a été utilisée dans le domaine du transport à travers plusieurs problématiques. Nous citons dans ce contexte les travaux de Descotes-Genon (2005) qui s'est focalisé sur un problème de tournées de véhicules appliqué au transport de marchandises.

- Les algorithmes génétiques: Les algorithmes génétiques s'inspirent de l'évolution biologique (on parle de chromosomes constitués de gènes qui sont hérités au cours des générations. Ces chromosomes représentent les solutions formant la population initiale). Chaque itération de l'algorithme produit une génération. Cette itération est ensuite répétée jusqu'à atteindre un des critères d'arrêt fixés ou aboutir à des solutions ayant une performance supérieure à un seuil satisfaisant

4.3. Revue de littérature sur la planification des transports flexibles

Dès l'apparition des premiers services de transport flexible, différents projets se sont intéressés à la résolution des problèmes posés par ce mode de transport. Ces travaux portent principalement sur les algorithmes qui cherchent à optimiser l'organisation des tournées des véhicules. Le problème d'optimisation du transport flexible peut être donc traité selon plusieurs angles et selon la configuration du problème.

4.3.1. Le transport réactif DRS

Le DRS est présenté comme une solution possible à certains problèmes de transport (TCRP, 2004). D'autres rapports lui sont consacrés directement et visent à détailler son fonctionnement (Schofer *et al*, 2003; Spielberg et Pratt, 2004). On trouve également des rapports plus spécifiques comme des comparatifs de logiciels (Kessler, 2004).

Un problème DRS peut être assimilé à un problème «*Dial-a-Ride*». Le problème «*Dial-a-Ride*» est un problème de transport flexible porte à porte. Il s'agit d'une extension du problème de ramassage et de livraison (PDP : *Pickup and Delivery Problem*) (Savelsbergh, 1995; Cordeau *et al*, 2004; Chevrier *et al*, 2006) qui cherche la meilleure tournée sans correspondance répondant à un ensemble de requêtes de transport, chacune étant définie par sa charge, son origine et sa destination. En effet, il s'agit d'un transport de personnes qui implique certaines exigences (personnes à mobilité réduite et les patients) ainsi que des contraintes de temps ou de lieu de ramassage (embarquement) et livraison (débarquement).

Une grande partie des recherches s'est intéressée à la résolution du problème «*Dial-a-Ride*». Dans les années 1970, en raison de la diffusion des services de transport adapté, certains chercheurs ont proposé différentes méthodes pour modéliser des variantes simplifiées d'un système DRS afin de les comparer avec le transport traditionnel à horaire fixe (Ward, 1975). D'autres ont formulé le problème comme une procédure de recherche dynamique en insérant de nouveaux points d'origine et destination dans l'itinéraire (Wilson *et al*, 1971). Stein (1977, 1978), Wilson et Hendrickson (1980) ont développé une analyse probabiliste du problème. En 1983, Sexton et Bodin ont proposé une heuristique d'insertion, puis en 1985, ont traité un problème de *Dial-A-Ride* dans lequel chaque client spécifie un horaire de ramassage «*pickup*» et de livraison «*delivery*». D'autres approches heuristiques comprennent aussi les travaux de Madsen *et al*, (1995), Toth et Vigo (1997), Diana et Dessouky (2004) et Lu et Dessouky (2006). Chevrier *et al*, (2006; 2007) ont aussi utilisé des approches heuristiques génétiques pour résoudre le problème *Dial-a-Ride*.

En 2001, Mati et Binder ont proposé deux méthodes de résolution : une recherche taboue classique, avec deux procédures d'échange de noeuds et quelques règles d'évaluation des paramètres, et une recherche taboue probabiliste basée sur la méthode classique où les probabilités sont utilisées pour trouver la meilleure solution. D'autres recherches ont proposé une méthode à deux phases : la première consiste en une heuristique qui génère la solution initiale, puis la deuxième consiste à appliquer la recherche taboue pour l'amélioration de cette dernière (Lau et Liang, 2001). Li et Lim (2001) ont présenté une nouvelle métaheuristique consistant en un algorithme tabou intégré. Cet algorithme redémarre la procédure de recherche à partir de la meilleure solution courante. Quant à Cordeau et Laporte (2003), ils ont conçu un design capable d'accueillir toutes les requêtes tout en minimisant le coût de déplacement et en utilisant un algorithme tabou.

Un des domaines connexes qui peut aussi fournir des renseignements utiles pour notre problème est l'abondante littérature sur la modélisation des systèmes de distribution de marchandises. Il s'agit du Problème du voyageur de commerce (TSP). Le problème TSP déjà étudié par Kruskal (1956) et Flood (1956), consiste à visiter un ensemble de villes une seule fois en revenant au point de départ, tout en minimisant la distance parcourue. Le premier ouvrage à fournir une formule approximative pour estimer la longueur d'une tournée de TSP

est Bearwood *et al*, (1959). Eilon *et al*, (1971) ont estimé la longueur d'une tournée de TSP pour une flotte de véhicules par la simulation et Larson et Odoni (1981) ont fourni des indications utiles pour le problème multiroute. Les travaux de Daganzo (1984) ont introduit le concept de la stratégie de « *strip* », en fournissant une estimation approximative de la largeur optimale d'un corridor afin de minimiser la distance entre les points et donc la durée du tour TSP. Cependant, Stein (1978) et Jaillet (1988) ont intégré la probabilité géométrique dans leur travail en estimant la valeur de la tournée tout en fournissant des estimations sur les distances moyennes entre les points d'arrêts pour différentes demandes.

Même s'il y a une importante littérature sur la planification du système DRS, il y a eu peu de travaux qui tentent d'intégrer le système réactif avec des services à itinéraires fixes. Afin de répondre aux demandes croissantes sur la flexibilité des services de transport et desservir les zones urbaines peu denses, des services de transports innovants ont été développés. Il s'agit des systèmes de transport flexible hybride qui combine à la fois les caractéristiques du mode DRS et du transport traditionnel.

4.3.2. Les systèmes hybrides

Les systèmes de transport hybrides sont des modes de transport flexible qui font côtoyer les lignes de transport préalablement fixées obéissant à des tableaux de marche fixes avec des lignes flexibles selon le besoin des usagers.

La planification heuristique basée sur un système hybride comprend le système d'aide à la décision de Liaw *et al*, (1996), l'insertion heuristique de Hickman et Blume (2000) et la recherche tabou de Aldaihani et Dessouky (2003).

Certaines recherches ont étudié la combinaison des services flexibles et des systèmes traditionnels à horaire fixe (Cortes *et al*, 2002). Parallèlement, Welch *et al*, (1991) ont décrit les méthodes qui permettent d'identifier la partie du trajet du transport conventionnel qui peut accepter une déviation et rendre le service flexible. Horn (2002) a décrit un système de contrôle intégré pour la flotte et a étudié la planification d'un voyage modal de transport multi-système. Pour sa part, Zhou (2003) a proposé un cadre d'optimisation multiobjectif afin

d'estimer la variation de la demande du trafic sur plusieurs jours tandis que Quadrifoglio *et al.*, (2007) ont élaboré un algorithme d'insertion permettant de planifier un système hybride. Ces auteurs ont conclu que l'utilisation efficace des paramètres contrôlés améliore sensiblement les performances de l'algorithme utilisé.

Concernant le système DAS, il y a peu d'études qui traitent de ce mode de transport. Tout d'abord, le système DAS a été introduit officiellement par Malucelli *et al.*, (1999) : il s'agit d'une étude comparative entre le système DAS et DRS. Ensuite, Crainic *et al.*, (2000 ; 2001, 2005) ont mis l'accent sur ce nouveau système de transport. Ils ont utilisé un modèle mathématique visant à optimiser le routage des véhicules et l'affectation des requêtes à ces véhicules. Ces chercheurs ont ainsi développé, testé et comparé plusieurs solutions pour la formulation du système DAS en utilisant deux approches métaheuristiques. Ce modèle intègre un système de gestion de transport flexible.

Au niveau opérationnel, le problème de trouver un horaire DAS a été abordé dans Crainic *et al.*, (2005) et Malucelli *et al.*, (2001). Ces chercheurs ont opté pour des modèles qui permettent d'avoir des fenêtres de temps large afin de répondre à l'ensemble des requêtes sans que cela n'affecte négativement le temps d'attente dans les arrêts obligatoires. Ils ont aussi utilisé une méthode pour définir la probabilité d'être en mesure de servir l'ensemble des requêtes émises. Au niveau stratégique et tactique, d'autres études se sont consacrées à la détermination d'un schéma directeur pour la ligne DAS (Crainic *et al.*, 2005; 2008 ; Errico, 2008). Les résultats indiquent que la méthode proposée par l'étude est efficace et fiable. Ce schéma directeur définit les lignes partielles (les itinéraires), le positionnement des arrêts obligatoires et optionnels ainsi que les fenêtres de temps aux arrêts obligatoires.

4.4. Revue de littérature sur l'évaluation des transports flexibles

4.4.1. Évaluation des systèmes réactifs DRS

L'évaluation de la performance du système DRS a été caractérisée dans plusieurs études en utilisant différents modèles de simulation. De Florio *et al.*, (2002) ont proposé un modèle

de simulation en utilisant l'algorithme d'insertion utilisé par Jaw et al, (1986) lorsqu'il s'agit d'événements aléatoires tels que les clients en retard et les véhicules en retard. Pour sa part, Fu (2002) a développé un modèle de simulation pour évaluer l'effet des nouvelles technologies de l'information sur le système DRS. D'autres auteurs (Feuerstein et Stougie, 2001; Bailey et Clark, 1987) ont étudié les changements de performance du système DRS en utilisant un nombre variable de véhicule alors que Shinoda et al, (2004) ont comparé les performances du DRS par rapport à une ligne à itinéraire fixe dans les zones urbaines en variant différents paramètres. De plus, certaines études ont pris en considération la circulation ou le trafic pour évaluer la performance des systèmes de DRS (Lipmann et al, 2002 et Hauptmeier et al, 2000), d'autres recherches ont abordé la relation entre l'efficacité des véhicules et la taille de la ville (Haghani et Banihashemi 2002) tandis que certains auteurs ont utilisé un modèle de simulation qui contient quelques entrées comme le nombre, la capacité et la vitesse des véhicules, la répartition temporelle des demandes...etc, (Wilson et al, 1971). L'évaluation du système DRS a été aussi mené aux états unis (Dessouky et al, (2003); Palmer et al, 2004) en impliquant une analyse de données de 62 organismes de transport desservant les grandes et moyennes entreprises des zones urbaines. Il était donc possible d'évaluer l'impact de plusieurs technologies de pointe et des pratiques de gestion sur la productivité et les coûts d'exploitation des systèmes DRS.

4.4.2. Évaluation des systèmes hybrides

Peu d'études ont évalué les systèmes de transport hybrides. Il y a eu des efforts de développement dans la planification opérationnelle de ces derniers. Liaw *et al*, (1996) ont élaboré un calendrier heuristique pour l'évaluation d'un système de transport hybride dans la région de Ann Arbor, à Michigan alors que Hickman et Blume (2000) ont développé et testé une insertion heuristique sur un ensemble de données de Houston, au Texas. De plus, Aldaihani et Dessouky (2003) ont développé et testé une recherche tabou heuristique d'un ensemble de données provenant de la région d'Antelope Valley en Californie. Aussi, d'autres auteurs ont évalué la sensibilité et l'efficacité d'un algorithme heuristique sur un mode de transport hybride nommé MAST (Zhao *et al*, 2008; Quadrifoglio *et al*, 2006 et Diana, 2006).

Concernant le système DAS, à notre connaissance, aucune étude n'a évalué ce mode de transport. Des études récentes ont analysé les parties stratégiques et tactiques du projet DAS (Crainic *et al*, 2008; Errico, 2008) et il était donc possible de bâtir un schéma directeur de la ligne DAS. Ce schéma constitue l'outil principal de notre projet afin d'évaluer la performance du système DAS dans la région de la rive sud de Montréal.

Nous allons suivre les étapes présentées et décrites dans la figure 5.6 (Schéma du processus d'évaluation du service DAS, page 66). Le processus de simulation se base généralement sur deux grands piliers important, le premier consiste à la construction de trois lignes de transport à la région de la rive sud de Montréal en utilisant les données de l'enquête effectuée par l'agence métropolitaine de transport en 2005. Ainsi que plusieurs logiciels de géographie qui seront présentés et décrits dans les sections prochaine. Le deuxième pilier est la simulation des lignes bâties, c'est la section qui nous permettra d'interpréter, d'analyser et de comprendre le fonctionnement du système DAS et sa capacité de répondre à la demande des passagers sous différents scénarios.

4.5. Conclusion

Nous avons vu les travaux antérieurs menés en recherche opérationnelle et qui se penchent plus concrètement sur l'optimisation des systèmes de transport flexibles pour assurer un service efficace de transport de personnes, notamment à travers les algorithmes de résolution. Cependant, on note une insuffisance de littérature relevée pour le transport flexible DAS. C'est donc dans cette optique que nous proposons une nouvelle approche d'évaluation du système DAS, récemment établit par Crainic *et al*, (2005 ; 2008) et Errico (2008). Il s'agit d'un nouveau processus d'évaluation que nous abordons en détail dans le chapitre suivant (Méthodologie). Plus précisément, nous allons présenter les outils nécessaires utilisés pour la conception, la simulation et l'évaluation du système DAS.

CHAPITRE V

MÉTHODOLOGIE

5.1. Introduction

Afin d'évaluer le système de transport flexible (DAS), nous avons choisi la région de la Rive Sud de Montréal comme terrain de simulation. Nous allons procéder par une présentation et une description détaillée de la région choisie. La description englobe l'historique du système de transport ainsi que les caractéristiques géographiques de la région. Ensuite, nous exposons les outils nécessaires pour la conception du simulateur de la ligne DAS. Cette partie est le cœur de notre mémoire, elle représente notre contribution dans le projet du système DAS.

Le schéma 5.6, présenté à l'intérieure de cette section nous présentera en détails et avec une grande précision le chemin et les étapes à suivre afin d'évaluer le système DAS. Le processus d'évaluation se base généralement sur deux grands piliers important, la construction de la ligne de transport DAS et la simulation de cette dernière.

5.2. Description de la région de la rive sud de Montréal

5.2.1. Historique

La RTL est l'agence officielle de transport en commun de Longueuil et des autres municipalités de la Rive-Sud de Montréal. L'ancêtre du RTL a été créé en 1971 pour remplacer l'ancienne compagnie privée Chambly Transport. Il s'appelait la Commission de transport de la Rive-Sud de Montréal (CTRSM) et il englobait alors huit municipalités :

Brossard, Greenfield Park, Longueuil, LeMoyne, Saint-Hubert, Saint-Lambert et la Municipalité de Notre-Dame. En 1985, la société prend le nom de STRSM ou Société de transport de la Rive-Sud de Montréal. Après les fusions municipales de 2002, le RTL prend sa forme actuelle. En 2008, le RTL est passé à l'ère numérique avec l'instauration d'un système de carte à puce (carte Opus). La carte Opus utilisée est compatible avec les réseaux de transport publics de Laval (STL) et Montréal (STM), bien que des titres de transport propres à chaque réseau doivent être achetés par le voyageur.

5.2.2. Le territoire

Le réseau de transport de la Rive Sud dessert l'agglomération de Longueuil qui comprend cinq villes: Boucherville, Brossard, Saint-Bruno-de-Montarville, Longueuil et Saint-Lambert. La ville de Longueuil est la plus grande et importante ville en terme de superficie et de densité de la population. La ville comprend trois arrondissements: Green Field Park, Saint-Hubert et Vieux Longueuil.

Le territoire de l'agglomération de Longueuil, couvre 273,92 km² et il dessert 388 210 habitants. De plus, 347 véhicules y opèrent pendant toute la semaine et il existe 3 000 arrêts et 600 abribus. Ce territoire est délimité à l'ouest par le fleuve Saint-Laurent, à l'est par la ville de Saint-Bruno-de-Montarville, au nord par Boucherville et au sud par Brossard.

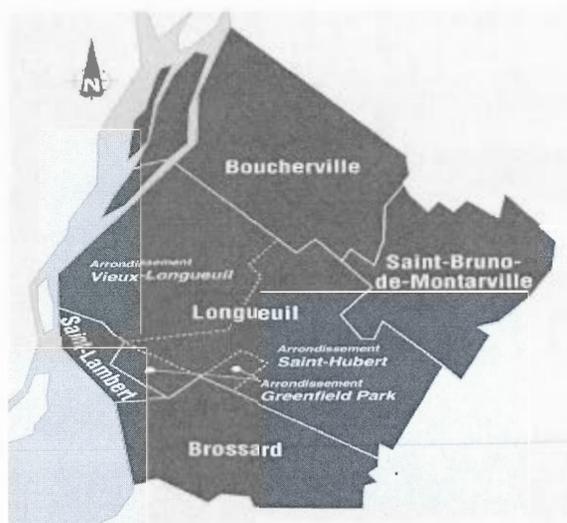


Figure 5.1 : Carte géographique de la région de la Rive Sud

5.2.3. Usagers

La population desservie par le RTL est de 396 740 habitants. La clientèle du RTL se compose de 92,4% de résidents de la Rive Sud, alors que 7,6% des usagers sont des non-résidents provenant en majorité de Montréal (Gazette officielle, 2010). Comme déjà mentionné dans la partie problématique et selon un questionnaire établi par la commission de consultation sur l'amélioration de la mobilité entre Montréal et la Rive Sud (2002), près de deux tiers des résidents de la Rive Sud transitent régulièrement à l'intérieur de cette région dont un tiers sont des « réguliers » de l'heure de pointe alors que 39 % ne se déplacent que rarement ou jamais aux heures de pointe.

L'âge moyen des clients usagers est de 33 ans: 34,6 ans pour les femmes et 30,9 ans pour les hommes. Les femmes représentent 56,1% des clients usagers: cette proportion est cependant très différente entre le groupe des moins de 25 ans (51% de femmes) et le groupe des 25 ans et plus (60% de femmes).

5.2.4. Motivation pour l'implémentation d'un système DAS

La majorité des résidents de la région de la rive sud de Montréal préfèrent les déplacements en voiture même si la région est équipée en transport en commun. Il semble que le RTL s'ajuste moins bien aux besoins de la population. Les régions peu denses (que sont les quartiers de la rive sud de Montréal) et éloignées sont mal desservies et le recours à la voiture devient donc une réalité inévitable. Devant un tel constat, l'amélioration du système actuel apparaît comme une nécessité. L'implémentation d'un système DAS semble être une solution innovante car il s'est surtout fait connaître par sa capacité à assurer la desserte des territoires peu denses et à moindre coût. Nous pensons donc que ce système pourrait combler efficacement les défauts de couverture spatiale ou horaire des réseaux publics dans la région de la rive sud de Montréal.

5.3. Outils de simulation de la ligne DAS

Crainic *et al.*, (2005) ont élaboré, à l'aide d'un modèle mathématique qui vise l'optimisation des routes et le temps parcouru, deux codes importants visant à bâtir le design de la ligne DAS d'une part et gérer les opérations d'une manière efficace et efficiente d'autre part. Les deux codes sont réalisés en langage C++ sous le système d'exploitation LINUX. Nous avons donc jugé important de présenter une description détaillée des modèles mathématiques (Crainic *et al.*, 2005) ainsi que des codes utilisés par Crainic *et al.*, (2008) et Errico (2008) et qui constituent les bases principales pour la planification et l'évaluation de la ligne DAS.

5.3.1. Modèles mathématiques

Les modèles mathématiques proposés visent à concevoir des lignes DAS tout en minimisant le temps des déplacements des passagers, ainsi que le coût total des voyages. L'objectif principal de ces modèles est de développer un code permettant la simulation du système DAS afin de comprendre son comportement.

5.3.1.1. Problème de la séquence des arrêts (SLDDP)

Au niveau tactique, il faut prendre de nombreuses décisions et viser plusieurs objectifs interconnectés en même temps, d'où la difficulté de la conception d'un service optimal DAS. Le degré de complexité dans ce cas est très grand et il devient difficile de considérer le problème comme une seule entité. Il convient donc de diviser l'ensemble du problème en plusieurs sous problèmes SLDDP (Slice Line DAS Design Problem) afin d'identifier quelques décisions de base. Le problème SLDDP dépend généralement du temps nécessaire à la réalisation du problème. Il s'agit d'une approche méthodologique qui se décompose au long de la dimension temporelle (Errico, 2008).

5.3.1.2. Les bases de SLDDP-S et les types

Étant donné que la demande de transport en commun varie selon la dimension temporelle, il est préférable d'avoir une conception différente pour chaque période de temps ou garder une partie de la conception de la ligne (surtout les arrêts obligatoires) fixée pour toutes les périodes. Dans notre cas, la plus petite unité de temps dans laquelle la SLDDP est décomposable s'appelle une tranche de temps (time slice). Comme nous allons le voir, la construction d'une ligne DAS pour une journée est composée de plusieurs blocs, qui sont à leur tour constitués de plusieurs tranches. Pour cette raison, la SLDDP pour une tranche de temps devient SLDDP-S.

Errico (2008) a présenté deux approches afin de planifier le service DAS. La première approche est sélective (CSLDDP-S), elle consiste à choisir les points les plus importants de la demande tout en négligeant le reste des points qui ne représentent pas une bonne opportunité ou qui ne se trouvent pas dans la même zone géographique. Dans ce cas, le système DAS vise à offrir le service pour un nombre limité d'utilisateurs. La deuxième approche est couvrante. Elle couvre tous les points de la demande, seuls les points les plus proches les uns aux autres peuvent être exclus. Ci-dessous, la formulation des deux approches :

Entrées :

- ❖ L'ensemble des points de la demande à servir par la ligne DAS.
- ❖ Les matrices origine/destination agrégées pour une tranche de temps.

Sorties :

- ❖ Une ligne DAS composée d'arrêts obligatoires et de leurs séquences, des fenêtres de temps et des arrêts optionnels des segments, en utilisant soit :
 - L'approche sélective :
Quelques points de la demande vont être omis dans le design final de DAS, tout en respectant la condition qu'un pourcentage minimal de la demande globale doit être servi.
 - L'approche couvrante :
Quelques points de la demande peuvent être omis dans le design final de la ligne DAS en raison de leur proximité à d'autres points servis.

Objectif de SLDDP :

- ❖ Minimisation du coût d'acheminement.
- ❖ minimisation du temps total des déplacements des usagers.

Errico (2008) a proposé plusieurs approches afin de pouvoir identifier les arrêts, leurs séquences et les fenêtres de temps. Ces approches doivent utiliser les entrées mentionnées ci-dessus et les manipuler afin de déterminer la ligne DAS avec toutes ses composantes. Ci-dessous, les approches avec l'indication du niveau d'intervention des deux principales approches (Sélective et Couvrante) :

Affectation désagrégée (DA):

1. La sélection des arrêts obligatoires.
2. La séquence des arrêts obligatoires
3. L'affectation des arrêts optionnels aux segments. (Sélective, Couvrante)
4. Définition des fenêtres de temps pour les arrêts obligatoires.

Affectation agrégée (AA):

1. La sélection et séquence des arrêts obligatoires.
2. L'affectation des arrêts optionnels aux segments. (Sélective, Couvrante)
3. La définition des fenêtres de temps pour les arrêts obligatoires.

Séquence avant les arrêts obligatoires (SC):

1. La séquence de tous les arrêts. (Sélective, Couvrante)
2. La sélection des arrêts obligatoires
3. La définition des fenêtres de temps dans les arrêts obligatoires.

Topologie et calendrier (TT):

1. La sélection des arrêts obligatoires, (Sélective, Couvrante), l'affectation des arrêts optionnels aux segments et la séquence.
2. La définition des fenêtres de temps dans les arrêts obligatoires.

5.3.1.3. GMLP (General Minimum Latency Problem)

Après avoir identifié les arrêts obligatoires, leur séquence ainsi que les arrêts optionnels, Errico (2008) a proposé le modèle GMLP (General Minimum Latency Problem) afin de concevoir la ligne DAS. Le GLMP est le problème de trouver un circuit *Hamiltonien* (Tour passant une, et une seule fois, par chaque arrêt) dans un graphe (figure 5.2) qui minimise une fonction multi-objectif qui est une combinaison de coûts de routage et le temps total des déplacements des usagers.

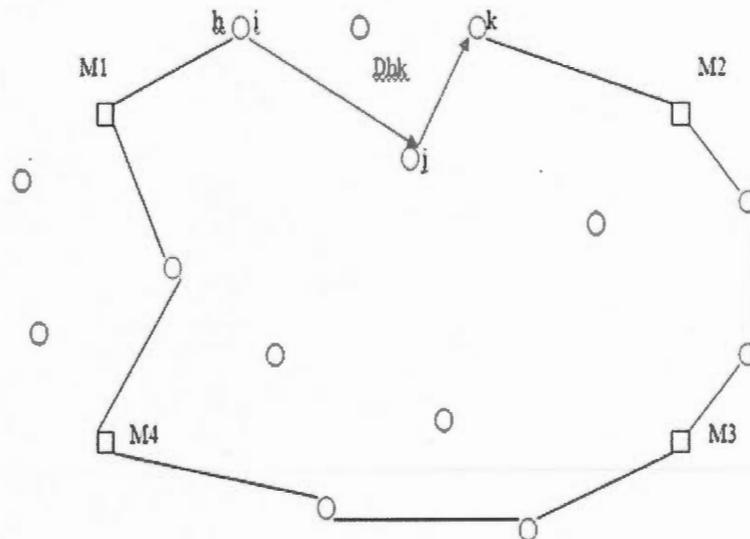


Figure 5.2 : Graphe représentant la ligne DAS (Errico, 2008)

La figure 5.2 représente un graphe orienté $G = (N, A)$. $N = \{M1, M2, M3, \dots\}$ un ensemble de points de la demande ou d'un ensemble des arrêts obligatoires. $A = ((i, j))$ est un ensemble d'arcs. Chaque arc $(i, j) \in A$ est associé à un temps de déplacement $C_{ij} \geq 0$. Nous avons également un ensemble $D \in A$ de paires de nœuds, chaque $(h, k) \in D$ est associée $D_{hk} > 0$ qui est la demande de transport du point h (la demande d'origine) au point k qui représente la demande à la destination.

Pour chaque arc $(i, j) \in A$, une variable binaire est introduite avec x_{ij} qui prend la valeur 1 si l'arc (i, j) fait partie de la tournée, sinon 0. Afin de prendre en compte le temps passé par les utilisateurs sur le véhicule, une variable de flux est utilisée (f_{ij}^{hk}) (figure 5.3), où les flux sont contraints de suivre la conception de la tour. $[S, \bar{S}]$ représente le découpage qui peut y avoir dans le graphe.

$$\begin{aligned} \min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{(h,k) \in D} a_{ij}^{hk} f_{ij}^{hk} & \quad (5.1) \\ \sum_{(j,i) \in A} x_{ji} = 1 & \quad \forall i \in N \quad (5.2) \\ \sum_{(i,j) \in A} x_{ij} = 1 & \quad \forall i \in N \quad (5.3) \\ \sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^{hk} - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^{hk} = \begin{cases} 1 & \text{if } i = h, \\ -1 & \text{if } i = k, \\ 0 & \forall i \in N, i \neq h, k \end{cases} & \quad \forall (h,k) \in D, \forall i \in N \quad (5.4) \\ f_{ij}^{hk} \geq 0 & \quad \forall (i,j) \in A, \forall (h,k) \in D \quad (5.5) \\ x_{ij} - f_{ij}^{hk} \geq 0 & \quad \forall (i,j) \in A, \forall (h,k) \in D \quad (5.6) \\ x_{ij} \in \{0,1\} & \quad \forall (i,j) \in A \quad (5.7) \\ \sum_{(i,j) \in A: i \in S, j \in \bar{S}} x_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset N, |S| \geq 2 & \quad (5.8) \end{aligned}$$

Figure 5.3 : Modèle mathématique de la GMLP (F. Errico 2008)

Le modèle mathématique présenté ci-dessus, permet au service DAS de fonctionner d'une manière efficace et efficiente. La fonction objectif vise à offrir un service optimal tout en minimisant le temps total de la ligne DAS, ainsi que le coût total du service. Les contraintes visent à compléter la ligne DAS, en choisissant juste les arcs et les arrêts optionnels actifs.

Dans la figure 5.3, les équations (5.2) et (5.3) décrivent le cycle à couvrir par le véhicule. L'équation (5.4) représente l'équilibre des flux. Elle montre que, pour chacune des paires de demande $(h, k) \in D$, une unité de flux doit être envoyée à partir de h à k . L'équation (5.6) assure que chaque unité de flux voyageant de h à k , ne peut voyager sur un arc (i, j) que si ce dernier est dans le tour. La fonction objectif (5.1) représente la somme des coûts et des délais d'acheminement. L'équation (5.8) implique que la solution doit être un cycle unique (le problème de voyageur de commerce). Dans ce cas on ne peut pas parler de découpage de la ligne, quand il existe une coupe $[S, \bar{S}]$ (divisions de la ligne en deux parties S et \bar{S}) avec $S \in N$ telles qu'aucun des $(h, k) \in D$ n'appartient à la coupe. Dans ces cas, il faut évaluer soigneusement la possibilité de servir la région par le biais de deux lignes différentes.

Il existe deux versions du modèle GMLP permettant la conception de la ligne DAS :

a) SGMLP :

La SGMLP est la version sélective de la GMLP. Dans cette approche, nous recherchons un simple tour qui n'est pas nécessairement un tour *Hamiltonien*. La fonction objectif est identique à GMLP (figure 5.3). Le modèle comprend les mêmes notations que dans la section précédente, la seule différence est la nouvelle variable binaire Z_{hk} (figure 5.4) qui prend la valeur 1 quand le tour comprend les deux nœuds (les points de la demande) h et k , sinon, 0. Aussi, le paramètre $0 \leq \Delta \leq 1$, si $\Delta = 1$, la version SGMLP devient GMLP (Δ représente la possibilité d'exclure des points de la demande : $0 \leq \Delta \leq 1$).

$$\min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{(h,k) \in D} q_{ij}^{hk} f_{ij}^{hk} \quad (5.9)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{(j,i) \in A} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N \quad (5.10)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in N \quad (5.11)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ij}^{hk} - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^{hk} = \begin{cases} z_{hk} & \text{if } i = h, \\ -z_{hk} & \text{if } i = k, \\ 0 & \forall i \in N, i \neq h, k \end{cases} \quad \forall (h,k) \in D, \forall i \in N \quad (5.12)$$

$$0 \leq f_{ij}^{hk} \leq x_{ij} \quad \forall (i,j) \in A, \forall (h,k) \in D \quad (5.13)$$

$$\sum_{(h,k) \in D} z_{hk} d_{hk} \geq \Delta \sum_{(h,k) \in D} d_{hk} \quad (5.14)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i,j) \in A \quad (5.15)$$

$$z_{hk} \in \{0, 1\} \quad \forall (h,k) \in D \quad (5.16)$$

Figure 5.4 : Modèle mathématique de la SGMLP (Errico 2008)

Selon la figure ci-dessus, les équations (5.10) et (5.11) assurent une tournée plus simple pouvant ne pas inclure tous les nœuds du graphe. L'équation (5.12) est similaire à (5.4). Chaque unité de flux envoyé à partir du nœud h vers le nœud k exige que la variable Z_{hk} prenne la valeur 1. L'équation (5.14) impose que le prix total collecté par la tour doit être supérieure à l'ensemble des proportions de toute la demande. La fonction objective (5.9) est identique à celle de GMLP. Ce problème est considéré comme une généralisation du problème TSP. Il s'agit d'élaborer une tournée à coût minimal permettant de visiter exactement une fois chacun des sommets d'un graphe. Enfin, il faut observer que, si $\Delta = 1$, la SGMLP se réduit à GMLP.

b) CGMLP :

La CGMLP est la version couvrante de la GMLP. Dans ce cas, le tour peut ne pas inclure tous les nœuds du graphe. Le modèle utilise les mêmes notations que les approches précédentes. Ce modèle rajoute une troisième série de variables z_h pour chaque $h \in N \mid (h, k)$ ou $(k, h) \in D$ et $i \in N$ (figure 5.5). Ces variables vont être affectées aux arrêts obligatoires et optionnels. Toutes origines et destinations doivent être affectées à l'un des nœuds appartenant au graphe. En particulier, z_i^h prend la valeur 1 si un nœud correspond à une origine (ou une destination) et h est attribué au nœud i appartenant au cycle. $z_i^i = 1$ signifie que le nœud i appartient au cycle et il est assigné à lui-même.

$$\min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in A} \sum_{(h,k) \in D} q_{ij}^{hk} f_{ij}^{hk} \quad (5.17)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{(j,i) \in A} x_{ji} = 0 \quad \forall i \in N \quad (5.18)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in N \quad (5.19)$$

$$\sum_{i \in N} z_i^h = 1 \quad \forall h \mid (h,k) \text{ or } (k,h) \in D, \quad (5.20)$$

$$\sum_{i \in N} (c_{hi} + c_{ih}) z_i^h \leq \tau \quad \forall h \mid (h,k) \text{ or } (k,h) \in D \quad (5.21)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} f_{ji}^{hk} - \sum_{(j,i) \in A} f_{ji}^{hk} = z_i^h - z_i^k \quad \forall (h,k) \in D, \forall i \in N \quad (5.22)$$

$$0 \leq f_{ij}^{hk} \leq x_{ij} \quad \forall (i,j) \in A, \forall (h,k) \in D \quad (5.23)$$

$$0 \leq z_i^h \leq \sum_{(i,j) \in A} x_{ij} \quad \forall h \mid (h,k) \text{ or } (k,h) \in D, i \in N \quad (5.24)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i,j) \in A \quad (5.25)$$

$$z_i^h \in \{0, 1\} \quad \forall h \mid (h,k) \text{ or } (k,h) \in D, i \in N \quad (5.26)$$

Figure 5.5 : Modèle mathématique de la CGMLP (F.Errico 2008)

Dans la figure 5.5, les équations (5.18) et (5.19) ont la même signification que pour la SGMLP. Les équations (5.20) et (5.21), respectivement, impliquent que chaque origine ou destination doit être attribuée à un seul nœud et que le temps nécessaire pour un aller-retour entre l'origine ou destination et le nœud à qui il a été attribué, ne peut dépasser un seuil donné. L'équation (5.22) assure l'équilibre de flux. Compte tenu d'un couple d'origine - destination $(h, k) \in D$, l'équation (5.22) impose d'envoyer le long du cycle une unité de flux à partir du nœud qui correspond à l'origine h , vers le nœud de la destination qui correspond à k . Dans le cas où h et k sont affectés au même nœud, il n'y aura pas de flux envoyé. L'équation (5.23) et la fonction objectif (5.17) ont la même signification que dans la SGMLP. Notez que le Problème de la tournée CGMLP présenté par Gendreau *et al.*, (1997), est strictement liée à la SGMLP.

5.3.1.4. Le problème des horaires de la ligne principale DAS (DLMSP)

Cette section est consacrée à la question de la détermination d'une partie importante du schéma directeur d'une seule ligne DAS, qui est la détermination des fenêtres de temps des

arrêts obligatoires de la ligne. Le problème des horaires de la ligne principale DAS (DLMSP, DAS Ligne Master Scheduling Problem) peut être considéré comme la dernière étape du problème de la conception de la ligne DAS qui est abordée plus en détail dans (Errico, 2008). Le problème de la conception de la ligne simple DAS suppose que :

- Le territoire à couvrir par la ligne DAS a été déterminé.
- Le temps de voyage entre toutes les paires (i,j) d'arrêts optionnels dans le territoire (notamment, les points de transfert à d'autres lignes ou à d'autres systèmes de transport) a été estimé avec précision.
- Une estimation de la demande de transport entre les différents arrêts de la ligne DAS est disponible, sur un horizon de temps donné, où la demande est supposé stable (par exemple, heure de pointe du matin).

Au niveau stratégique, la construction de la ligne directrice nécessite la réalisation des intervalles de temps pour chaque arrêt obligatoire. Cette réalisation exige deux importantes données. La première est la conception de la ligne principale (niveau tactique) comprenant tous les éléments nécessaires tels que les arrêts obligatoires, les arrêts optionnels et autres. La deuxième est la demande entre les arrêts obligatoires à l'intérieur des segments.

Le choix des fenêtres de temps doit tenir compte de plusieurs paramètres et objectifs qui sont parfois contradictoires. Tout d'abord, les fenêtres de temps doivent fournir suffisamment de temps entre les arrêts obligatoires afin de permettre aux véhicules d'effectuer le service et de répondre à toutes les requêtes acceptées. Aussi, pour être rentable, le temps total de la tournée, incluant le temps de déplacement ainsi que le temps des arrêts effectués pour embarquer/débarquer les usagers, doit être le plus court possible. Enfin, le niveau de service représente un paramètre important et difficile à gérer. Les gens qui utilisent le service à partir des arrêts obligatoires préfèrent des fenêtres de temps étroites afin de minimiser le temps total de leur voyage. Cependant, les usagers qui embarquent/débarquent à partir ou vers des arrêts optionnels préfèrent des fenêtres de temps plus larges pour qu'ils puissent bénéficier du service. Crainic *et al*, (2005) ont abordé avec plus de détail les approches qui permettent de bâtir les fenêtres de temps.

5.3.2. Description des paramètres nécessaires à la conception et simulation de la ligne DAS :

En utilisant les modèles mathématiques présentés dans la section précédente, les paramètres visant à bâtir le design de la ligne DAS et gérer les opérations d'une manière efficace, ont été élaborés par Crainic *et al*, (2008) et Errico (2008). Ces paramètres sont divisés en de deux principales parties :

5.3.2.1. Première partie

La première partie vise à intégrer toutes les données principales sur le territoire, la demande, le niveau de service..., etc, afin de pouvoir bâtir la ligne directrice DAS avec les arrêts obligatoires et la séquence. Nous présenterons ci-dessous un exemple de paramètres nécessaires à la détermination de la ligne DAS :

- La demande :

Chaque modification ou changement de la demande entraîne directement un changement au niveau de la conception de la ligne de transport. La demande est donc un facteur principal et primordial pour l'élaboration d'une ligne.

- La limite géographique de la ligne :

Le changement au niveau de la zone géographique desservie par la ligne, en ajoutant une nouvelle partie ou en éliminant une partie de la zone initiale, peut avoir un impact sur la longueur de la ligne, sur les intervalles de temps et sur d'autres paramètres.

- La dispersion de la demande :

Chaque modification au niveau de la dispersion de la demande entraîne parfois des modifications importantes dans la conception de la ligne. Par exemple : l'ouverture d'une nouvelle zone industrielle peut entraîner une augmentation de la demande pour cette nouvelle région. Les compagnies de transport seront donc dans l'obligation d'augmenter la fréquence

de passage des autobus, concevoir une nouvelle ligne ou effectuer un nouveau découpage de la zone géographique.

- Le taux de motorisation des personnes :

La motorisation des personnes dans une zone géographique influence directement sur la demande des services de transport collectif dans cette zone.

- Le temps de service :

Chaque changement au niveau du temps de service influence sur plusieurs autres paramètres constituant la base de la conception de la ligne de transport. Par exemple, pendant les heures de pointe, les lignes les plus importantes seront celles qui relient les zones résidentielles aux zones industrielles, alors que durant le reste de la journée, les gens auront tendance à se déplacer plus vers les hôpitaux, les centres commerciaux...etc.

- Coordination des lignes :

La conception des réseaux, contenant des trajets partagés, améliore la demande sur le service et offre à l'entreprise de transport un moyen efficace afin d'éviter le rejet de plusieurs requêtes. Opérer avec et sans coordination influence sur la conception de la ligne.

5.3.2.2. Deuxième partie

Concernant la deuxième partie, elle est l'outil nécessaire permettant de générer les requêtes des clients et les traiter afin de pouvoir activer les arrêts optionnels. Ces arrêts seront par la suite utilisés pour répondre à la demande des clients, et déterminer leur séquence. Cela permet de concevoir une ligne DAS complète qui passe par tous les arrêts obligatoires et optionnels tout en identifiant la séquence et le temps total de trajet. La ligne déterminée constitue pour nous un scénario à simuler par la suite afin d'étudier le comportement du service DAS. Chaque scénario est différent de l'autre par des changements apportés à quelques paramètres tels que :

1- Le temps d'attente des usagers dans les arrêts obligatoires :

Le temps d'attente pour l'embarquement ou le débarquement peut être calculé pour avoir une idée sur la capacité du système DAS à offrir le service qui répond le mieux aux attentes des usagers.

2- La capacité de charge des véhicules:

En changeant la capacité de charge des véhicules, plusieurs paramètres s'affectent tels que le niveau de service, les fenêtres de temps, la fréquence de passage des véhicules...etc. C'est un facteur très important qui influence aussi sur la conception de la ligne DAS puisque la capacité de charge est en lien direct avec le choix de la nature et la taille de la flotte des véhicules.

3- Le changement de l'horizon des opérations:

En étudiant le comportement du système DAS pendant les heures de pointe versus le reste de la journée, la nuit versus le jour, l'hiver versus l'été, les jours de vacances versus les jours de travail...etc, il nous sera donc possible d'avoir une vision générale sur la fiabilité du système DAS.

4- Le temps de service pour les passagers à l'intérieur des véhicules (latence) :

Le temps de service pour les passagers à l'intérieur des véhicules pendant tout le trajet de la tournée, en incluant le temps de débarquement/embarquement des voyageurs et le temps de déplacement entre les arrêts, représente un élément primordial qui peut affecter plusieurs autres paramètres tels que le niveau de service, les fenêtres de temps...etc.

5- Le temps du transport avec le système DAS versus le temps idéal :

La comparaison entre le temps de déplacement des usagers par le système DAS et le temps de déplacement idéal en utilisant un taxi par exemple, est un critère très important. C'est un facteur qui expliquera le comportement des usagers envers le système DAS.

6- Le taux d'occupation minimum (%) des usagers dans les véhicules :

Le taux d'occupation peut avoir une relation directe avec la rentabilité du service DAS. Aussi, ce paramètre aidera à déterminer la fréquence de passage des véhicules et le niveau du service visé.

7- Le temps maximal de la tournée :

Le temps global de la tournée est un élément très important qui influence sur plusieurs paramètres permettant le bon fonctionnement du système DAS. Le fait d'augmenter/diminuer le temps maximal total influencera sur le nombre de voyageurs accepté.

8- Le fonctionnement en mode en ligne ou en mode hors ligne :

Le choix du mode de transport découle des moyens financiers disponibles afin d'implanter le système DAS. Le mode de transport choisi influencera considérablement sur le niveau de service, la capacité de charge des véhicules, les fenêtres de temps et bien d'autres facteurs. Donc, il serait intéressant d'établir une comparaison entre le fonctionnement du système DAS en présence du mode en ligne et du mode hors ligne.

9- La fréquence de passage des véhicules :

Le changement de la fréquence du service aura certainement un impact sur les opérations du service DAS. La fréquence peut donc affecter directement la rentabilité du système de transport, améliorer/détériorer considérablement le taux du niveau du service...etc.

5.4. Processus d'évaluation de la ligne DAS

Dans cette rubrique, l'intérêt est porté à la méthode présentée par Crainic *et al*, (2009) (figure 5.6). Le schéma aborde le processus qui comprend toutes les étapes nécessaires amenant à l'évaluation du service de transport flexible DAS. À travers ce processus, Crainic *et al*, (2009) expliquent la logique du cheminement qui ramène à l'évaluation du système

DAS et qui prend en considération tous les intervenants qui influencent sur le transport en général.

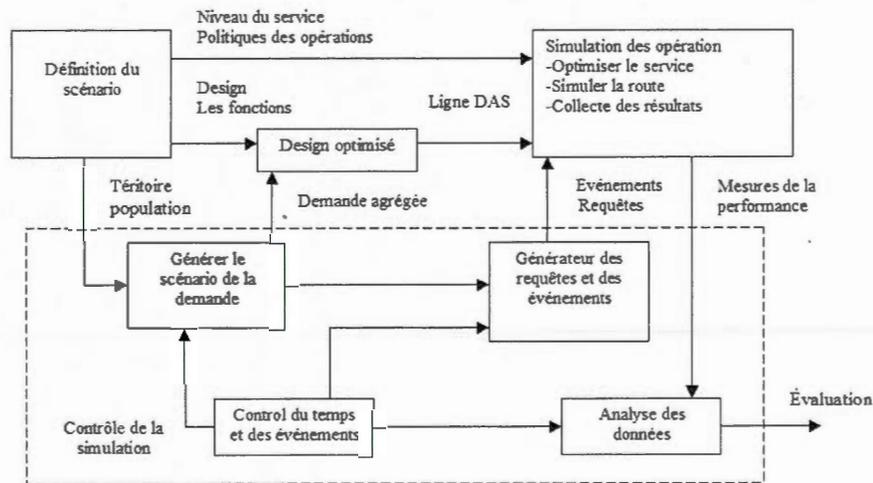


Figure 5.6: Schéma du processus d'évaluation du service DAS (Crainic *et al*, 2009)

Les tableaux ci-dessous expliquent le besoin et le résultat de chaque étape mentionnée dans le schéma précédent. La séquence des étapes suit une logique mathématique efficace qui garantit la fiabilité et l'efficacité du service DAS. Le déclenchement du processus demande plusieurs données et informations que l'équipe de travail doit fournir avant de se lancer à l'intérieur du processus. Par la suite, les sorties et les résultats de chaque étape représenteront les entrées et les ingrédients de l'étape suivante. Il est très important de respecter la séquence des étapes afin de garantir la fiabilité et la représentativité des résultats. Définition du scénario :

Intrants	Extrants
Toutes les données disponibles : Exemple : La demande, la géographie...etc	Le niveau de service Le territoire Les caractéristiques de design de la ligne Les politiques opérationnelles

1. Générateur du scénario de la demande :

Intrants	Extrants
Territoire géographique La population	Demande agrégée Scénario de la demande

2. Optimisation du design :

Intrants	Extrants
La demande agrégée Les caractéristiques du design	La ligne DAS

3. générateur des demandes et des événements :

Intrants	Extrants
Scénario Mesures de contrôle de temps et des événements	Requêtes Événements

4. Opération de simulation :

Intrants	Extrants
Niveau de service Les politiques La ligne DAS Les demandes Les événements	Les mesures de performance (Optimisation du niveau de service, simulation des routes et collecte des résultats)

5. l'analyse des données :

Intrants	Extrants
Les mesures de performance Le control du temps et des événements	Évaluation

Le processus de l'évaluation du système DAS se divise en deux parties importantes. La première comprend les trois étapes 1, 3 et 5. Cette partie est administrative et exige seulement le facteur humain. Tandis que la deuxième partie, et qui comprend le reste des étapes, exige des compétences humaines et technologiques afin de pouvoir évaluer le système DAS. Le processus tire son importance puisqu'il représente un outil de validation pour les résultats obtenus et en même temps un moyen explicatif pour le lecteur (en démontrant les intrants et les extrants de chaque étape) lui permettant de bien comprendre l'utilité du processus ainsi que sa crédibilité.

5.5. Cadre de simulation

Dans ce projet, le service DAS est évalué en fonction de sa performance et son comportement et cela sous différentes conditions de fonctionnement tout en respectant la demande. La majorité des analyses qui traitent ce sujet sont encore à l'étude. Les études peuvent traiter une seule ligne ou un groupe de lignes qui fonctionnent indépendamment (système autonome) ou qui représentent une partie d'un grand système d'une ville ou d'une région.

Généralement, le processus de l'évaluation respecte la séquence suivante :

1. La définition d'un scénario: le territoire, la politique, la demande potentielle, le niveau de service, etc.
2. La conception de la ligne.
3. La simulation de système DAS sur la ligne bâtie selon différents scénarios, en changeant à chaque fois les paramètres (la demande, les conditions du trafic, type de véhicule, etc.)
4. La collection des résultats et la mesure de la performance.

5.6. Conclusion

Notre mémoire tient sa particularité puisqu'il représente la première expérience de simulation du service DAS au Canada. Nous allons pratiquer une évaluation du système DAS en identifiant des scénarios qui seront simulés afin de pouvoir comprendre et étudier le comportement de DAS.

Pour déterminer ces scénarios, nous avons besoin d'une part d'un ensemble de données et d'informations tels que : les limites de la zone géographique desservie, la demande dans tout le territoire, les points d'intérêts les plus attrayants, la dispersion de la demande, les politiques et les infrastructures sur place, et autres. Le plan de simulation est présenté en détail dans le chapitre suivant.

CHAPITRE VI

PLAN DE SIMULATION

6.1. Introduction

L'objectif de la simulation du système de transport DAS est d'acquérir une meilleure compréhension des différents paramètres constituant la base du fonctionnement de ce système. Nous allons élaborer la simulation en utilisant un code établi par Crainic. *et al*, 2005, avec le langage C++, sous le système d'exploitation LINUX. Les majeurs éléments fonctionnels du simulateur sont : La base de données (qui comprend toutes les informations nécessaires sur le territoire, la stratégie et la politique souhaitée), le générateur de scénarios (utilisé afin de générer des lignes avec ses propres segments, arrêts et autres caractéristiques importantes) et finalement, la simulation et la collecte des résultats issues des modifications effectuées par le simulateur afin de pouvoir analyser le comportement du système DAS.

Dans cette partie, nous allons définir le plan des expérimentations effectuées sur le modèle de simulation de transport de la ligne DAS. Nous allons aussi identifier les variables d'entrée ou variables de pilotage de la ligne, c'est à dire les paramètres sur lesquels une variation peut entraîner une modification du comportement du système DAS. Ce comportement est mesuré à partir de variables de sortie, ou indicateurs de performance qui servent essentiellement à un outil d'interprétation de la performance du système DAS.

Ces expériences ont donc pour objectif de recueillir des données sur le fonctionnement de la ligne de transport DAS selon plusieurs situations différentes. Il est donc aussi possible d'identifier quelles sont les variables d'entrée qui produisent un effet sur les variables de sorties et quelles valeurs les variables d'entrée doivent prendre pour minimiser ou maximiser les variables de sortie.

Les paramètres expérimentaux peuvent être classés en deux catégories. Il s'agit des paramètres généraux et des paramètres propres.

- ✓ Dans toutes les expériences, les paramètres généraux seront respectés et inchangés.
- ✓ Les paramètres propres à chaque scénario seront respectés et inchangés pour un seul et unique scénario et deviennent inutile pour le prochain scénario.

Les données recueillies pendant et après chaque simulation seront répertoriées en variables de sortie (indicateurs de performances) et seront présentées dans le chapitre suivant.

6.2. Définition

On définit un scénario comme étant une combinaison de chaque hypothèse propre. Le plan expérimental complet est le nombre total de scénarios qu'il est possible d'obtenir en combinant tous les paramètres. A chaque expérimentation, les paramètres généraux et propres étant fixés, on exécutera plusieurs simulations. Chaque simulation correspondra à une combinaison des valeurs des variables d'entrées.

(En résumé : A partir des paramètres, on crée des scénarios et à partir de chaque scénario, on génère des simulations en fixant les valeurs des variables d'entrée.)

6.3. Les paramètres généraux

Les paramètres suivants sont vrais pour toutes les expérimentations effectuées :

- La zone géographique de la ligne :

Nous avons choisi la région de la Rive Sud de Montréal puisque le RTL dessert mal certaines régions éloignées. Chaque changement au niveau de la zone géographique desservie par la ligne DAS, en ajoutant une nouvelle partie ou en éliminant une partie de la zone initiale, peut avoir un impact sur la longueur de la ligne, sur les intervalles de temps dans les

arrêts obligatoires et sur d'autres paramètres. Pour cela, nous avons jugé important de garder le territoire comme étant un paramètre fixe pour tous les scénarios.

- Expérimentation sur une seule ligne :

Les expérimentations seront effectuées sur trois lignes de transport DAS. Nous avons choisi de vérifier le comportement du système DAS sur une seule ligne à la fois afin de pouvoir analyser de près sa réaction face aux changements des facteurs et paramètres sur une base facilement manipulable, avant de se lancer probablement dans des études futures ou dans des recherches qui étudient le comportement de DAS sur un ensemble de lignes indépendantes ou interconnectés.

- La dispersion de la demande :

Nous remarquons que le transport traditionnel de la région de la rive sud rencontre des difficultés à servir les régions éloignées et peu peuplées en raison de la dispersion de la population. Chaque modification au niveau de la dispersion de la demande entraîne parfois des modifications importantes dans la conception de la ligne. Par exemple : l'ouverture d'une nouvelle zone industrielle peut entraîner une augmentation de la demande pour cette nouvelle région. Les compagnies de transport sont donc obligées d'augmenter la fréquence de passage des autobus, concevoir une nouvelle ligne ou effectuer un nouveau découpage de la zone géographique. Dans notre cas, nous allons respecter la dispersion de la demande actuelle dans toute la région sans aucun changement et cela pour toutes les expérimentations.

- Période de service:

Chaque changement au niveau du temps de service influence plusieurs autres paramètres constituant la base de la conception de la ligne de transport. Par exemple, pendant les heures de pointe, les lignes les plus importantes seront celles qui relient les zones résidentielles aux zones industrielles, alors que durant le reste de la journée, les gens auront plus tendance à se déplacer vers les hôpitaux, les centres commerciaux...etc.

6.4. Paramètres Propres

Ces paramètres sont propres à chaque scénario, ils sont manipulés afin de générer des résultats qui amènent à une compréhension plus précise et claire du comportement du système DAS. Les paramètres sont :

- La demande :

Nous allons utiliser les données recueillies de l'enquête origine/destination effectuée par le RTL en 2003. À partir de cette enquête nous avons pu étudier le comportement des usagers du service public. Chaque modification ou changement à la demande entraîne directement un changement au niveau de la conception de la ligne de transport. La demande est donc un facteur principal sur lequel nous nous basons pour identifier les différents scénarios.

- Les fenêtres de temps :

Les fenêtres de temps représentent le temps alloué à chaque arrêt obligatoire. Les usagers du service doivent s'assurer d'être à l'arrêt durant cet intervalle de temps parce que le bus peut arriver et quitter l'arrêt à n'importe quel moment à l'intérieur de cette période.

- La probabilité de la distribution de la demande :

Le paramètre de probabilité de la distribution nous permet de savoir exactement le nombre d'usagers qu'on devra servir dans notre voyage. Il détermine la probabilité que le client demandera le service DAS. Nous avons décidé de le garder fixe durant la simulation de chaque ligne.

- La probabilité de servir les demandes :

Cet élément est très important, il permet de déterminer la capacité de servir toutes les demandes reçues ou non. Une probabilité qui s'approche de 1 veut dire que le service DAS sera dans la possibilité de servir toutes les demandes. Ce paramètre est très important pour savoir la capacité du système DAS à fonctionner sous différentes conditions.

- Le poids de la GMLP (General Minimum Latency Problem):

Le poids de la GMLP est une variable qui représente un élément important dans la constitution de la ligne DAS. Il prend en considération les deux importantes variables de la fonction objectif : le coût des opérations et la latence (le temps passé par les usagers à l'intérieure du véhicule). Si le poids est inférieur à 0.5, cela veut dire que la séquence des arrêts est courte donc le coût est relativement bas. Par contre, si le poids est supérieur à 0.5 donc, la séquence est longue mais la latence est courte.

6.5. Indicateurs de performance

Les indicateurs de performance sont l'outil principal utilisé afin de mesurer, analyser et juger la capacité du système de transport DAS. Dans notre projet, nous allons utiliser ces indicateurs afin de formuler des hypothèses de travail, puisqu'un problème technique est survenu et il était impossible d'obtenir des résultats. Ci-dessous, vous la liste des indicateurs de performance:

- Distance parcourue :

La distance parcourue représente un coût énorme pour la plupart des entreprises. Pour cela, nous avons jugé important de vérifier la capacité du système DAS à optimiser les voyages organisés tout en répondant le plus possible aux requêtes des usagers. Aussi, la distance parcourue pourrait nous montrer à quel point le système DAS va nous permettre d'économiser de l'argent.

- Le temps de service des passagers à l'intérieur des véhicules (Latence):

Le temps de service des usagers à l'intérieur des véhicules pendant tout le trajet de la tournée, en incluant le temps de débarquement/embarquement des voyageurs et le temps de déplacement entre les arrêts, représente un élément primordial qui peut affecter plusieurs autres paramètres tels que le niveau de service, les fenêtres de temps....etc.

- Le temps d'attente des usagers dans les arrêts obligatoires:

Le temps d'attente pour l'embarquement peut être calculé pour avoir une idée sur la capacité du système DAS à offrir le service qui répond le mieux aux attentes des usagers.

- Le temps final d'arrivée :

Cet indicateur représente un élément primordial nous permettant d'identifier l'impact de la modification d'autres paramètres ou variables sur le temps nécessaire pour effectuer le voyage. Le niveau de service offert par le système est affecté directement par cette valeur.

6.6. Conception des lignes

Dans le but d'identifier les lignes à simuler, nous avons utilisé les données de l'enquête Origine/Destination effectuée par l'Agence Métropolitaine de Transport (2003). L'accès à l'enquête a été possible grâce à Monsieur Martin Trépanier, ingénieur et professeur à l'école Polytechnique de Montréal. Il s'agit d'une enquête qui se fait aux cinq ans afin d'étudier le comportement des usagers du transport en commun dans la région métropolitaine. Ceci permet donc de faire un suivi et apporter les changements nécessaires à la planification du service de transport publique pour pouvoir répondre au vrai besoin des usagers.

Dans notre projet, le logiciel ArcMap a été utilisé afin d'identifier les lignes de transport à simuler. Il s'agit d'un outil appartenant à la série d'ArcGis utilisé pour créer et visualiser les différents types de données géographiques, y compris les cartes et leurs caractéristiques. Il est donc possible grâce à ArcMap de transformer les données numériques issues de l'enquête Origine/Destination (RTL, 2003) en cartes géographiques facilitant ainsi la visualisation et l'analyse des données.

6.7. La simulation

Pour la simulation, les paramètres généraux sont fixes et inchangés alors que certains paramètres propres font l'objet de variations. En se basant sur ces variations nous étions en mesure de définir trois scénarios différents afin de mieux comprendre le fonctionnement du système DAS.

Scénario 1 :

1. Paramètres propres :

- Le poids de la GMLP (General Minimum Latency Problem):

On a choisi pour ce scénario un poids de 0.9 pour pouvoir bâtir des séquences importantes mais avec un temps de latence relativement bas.

- La probabilité de servir les demandes :

On a choisi un niveau de service de 95% pour pouvoir servir presque toutes les demandes des usagers.

- La probabilité de la distribution de la demande :

On a choisi une probabilité de distribution de 70% pour donner plus de chance aux usagers, qui demandent le service à partir ou vers différents arrêts, d'emprunter le véhicule.

- Les fenêtres de temps :

On a choisi la même largeur pour toutes les fenêtres de temps. La largeur est de 5 minutes (300 secondes).

- La demande :

Nous avons utilisé la demande réelle tirée de l'enquête origine/destination réalisée en 2003.

Scénario 2 :

1. Les paramètres propres :

- Le poids de la GMLP (General Minimum Latency Problem):

On a choisi pour ce scénario un poids de 0.9 pour pouvoir bâtir des séquences importantes mais avec un temps de latence relativement bas.

- La probabilité de servir les demandes :

On a choisi un niveau de service de 95% pour pouvoir servir toutes les demandes des usagers.

- La probabilité de la distribution de la demande :

On a choisi une probabilité de 70% pour pouvoir donner la chance au plusieurs usagers d'emprunter le véhicule.

- Les fenêtres de temps :

On a choisi la même largeur pour toutes les fenêtres de temps. La largeur est de 7 minutes (420 secondes).

- La demande :

Nous avons augmenté la demande globale, tirée de l'enquête origine/destination réalisée en 2003, de 25% pour pouvoir étudier la capacité du fonctionnement du système DAS.

Scénario 3 :

1. Les paramètres propres :

- Le poids de la GMLP (General Minimum Latency Problem):

On a choisi pour ce scénario un poids de 0.1 pour pouvoir bâtir des séquences moins courtes avec un coût d'exploitation relativement bas.

- La probabilité de servir les demandes :

On a choisi une probabilité de service de 95% pour pouvoir servir presque toutes les demandes des usagers.

- La probabilité de la distribution de la demande :

On a choisi une probabilité de 70% pour pouvoir donner la chance à plusieurs usagers d'emprunter le véhicule.

- Les fenêtres de temps :

On a choisi la même largeur pour toutes les fenêtres de temps. La largeur est de 5 minutes (300 secondes).

- La demande :

Nous avons augmenté de 25% la demande, tirée de l'enquête origine/destination réalisée en 2003, mais uniquement pour les usagers qui se déplacent de la rive sud vers Montréal.

Le tableau 6.1 ci-dessous résume les paramètres propres à chaque scénario :

Tableau 6. 1 Tableau résumant les paramètres propres pour le scénario 1, 2 et 3

		Les paramètres propres :				
		Le poids de GMLP	La probabilité de servir les demandes	Probabilité de distribution de la demande	Fenêtres de temps	Demande
scénarios	scénario 1	0.9	95%	70%	5 minutes	Demande réelle (enquête O/D)
	scénario 2	0.9	95%	70%	7 minutes	Augmentation de 25% de la demande globale
	scénario 3	0.1	95%	70%	5 minutes	Augmentation de 25% de la demande : déplacement vers Montréal

Dans notre projet, nous nous sommes basé sur le schéma d'évaluation proposé par Crainic *et al*, (2009). Les majeurs éléments fonctionnels du simulateur sont :

- 1- La base de données : Il s'agit de l'enquête origine-destination (2003) qui représentent la principale source d'information sur les habitudes de déplacements des personnes dans la région de la rive sud. Cette enquête permet donc d'analyser la mobilité géographique des personnes d'un ensemble de lieux de départ vers un ensemble de lieux de destination.
- 2- le générateur de scénarios : Afin de faciliter l'analyse de l'enquête O/D (2003), les concepts origine-destination sont représentés à l'aide de cartes dans le logiciel cartographique ArcMap. Il est donc possible de générer des lignes avec leurs propres segments, arrêts obligatoires et optionnels. La conception de ces lignes permet par la suite d'identifier des données concernant la demande, la distance et les coordonnées de chaque arrêt (optionnel et obligatoire). En utilisant ces données, nous sommes en mesure de créer des matrices de la demande et de la distance pour chaque ligne.
- 3- la simulation et la collecte des résultats : Après la conception des lignes de transport à simuler, les matrices de la demande et de la distance de chaque ligne sont identifiées à partir des cartes géographiques générées par le logiciel ArcMap. L'étape de la simulation consiste à simuler les données de ces matrices selon les trois scénarios déjà identifiés (tableau 6.1), et ce, en utilisant le code établi par Crainic. *et al*, (2005).

6.8. Conclusion

Dans cette partie nous avons identifié tous les paramètres généraux qui sont valables pour tous les scénarios. Également, nous avons expliqué en détail les variables propres pour chaque scénario ainsi que les mesures de performance sur lesquels on se basera pour tirer nos conclusions sur le comportement du système DAS. Également, nous avons identifié trois scénarios qui seront utilisés pour l'évaluation de la ligne DAS. Dans le chapitre suivant, les trois lignes de transport, faisant l'objet de la simulation du système DAS, sont présentées ainsi que les résultats des simulations effectués.

CHAPITRE VII

RÉSULTATS ET DISCUSSION

7.1. Introduction

Dans ce chapitre nous devons normalement présenter et discuter les résultats obtenus suite à la simulation du système DAS. Cependant, un problème technique est survenu lors de la dernière étape de la simulation. Nous consacrons donc ce chapitre pour présenter les résultats des premières étapes de l'évaluation du système DAS. Ensuite, en nous fondant sur le plan de simulation (chapitre précédent) et sur le plan d'évaluation proposé par Crainic et al, (2009), nous avons jugé important de présenter et discuter certaines hypothèses et plans de travail pouvant être des pistes pour des travaux futurs.

7.2. Conception des lignes

Nous avons utilisé le logiciel ArcMap afin de concevoir les lignes de transport à simuler dans la région de la rive sud de Montréal. Les points d'origines et destinations (RTL, 2003) sont représentés sous forme de points dans la carte ci-dessous :



Figure 7.1 : Carte représentant les points origine-destination sur la rive sud

Nous nous sommes basé sur la densité de la demande (points sur la carte de la figure 7.1) afin de déterminer les lignes à simuler ainsi que les arrêts obligatoires et optionnels. Nous avons choisis le positionnement des arrêts obligatoires au centre des zones où la demande est

très dense et importante, ou entre deux zones peuplées afin que ces arrêts représentent des points achalandés. Une fois les arrêts obligatoires déterminés, nous avons utilisé les coins de rue et les intersections comme emplacement pour les arrêts optionnels tout en maintenant la même logique d'identification (la densité de la demande). Ensuite, nous avons connecté chacune des trois lignes indépendantes avec Montréal en ajoutant un arrêt obligatoire à la station Bonaventure. Finalement, nous avons établi des cercles d'un rayon de 250 mètres autour de chaque arrêt obligatoire et optionnel afin d'attribuer la demande à chacun de ces arrêts, à l'exception de l'arrêt de la station Bonaventure où on a estimé que toutes les personnes qui se déplacent vers Montréal seront attribuées à ce dernier.

7.2.1. Identification de la première ligne

Nous avons déterminé une ligne avec un trajet partant du terminus du centre ville de Montréal (station Bonaventure) vers un ensemble d'arrêts dans la région de la rive sud. La ligne est d'une longueur de 20 km et le temps nécessaire pour parcourir cette distance en ville est de 40 minutes et 20 minutes en empruntant les voies rapides réservées au transport public.

Ci-dessous la ligne 1 :

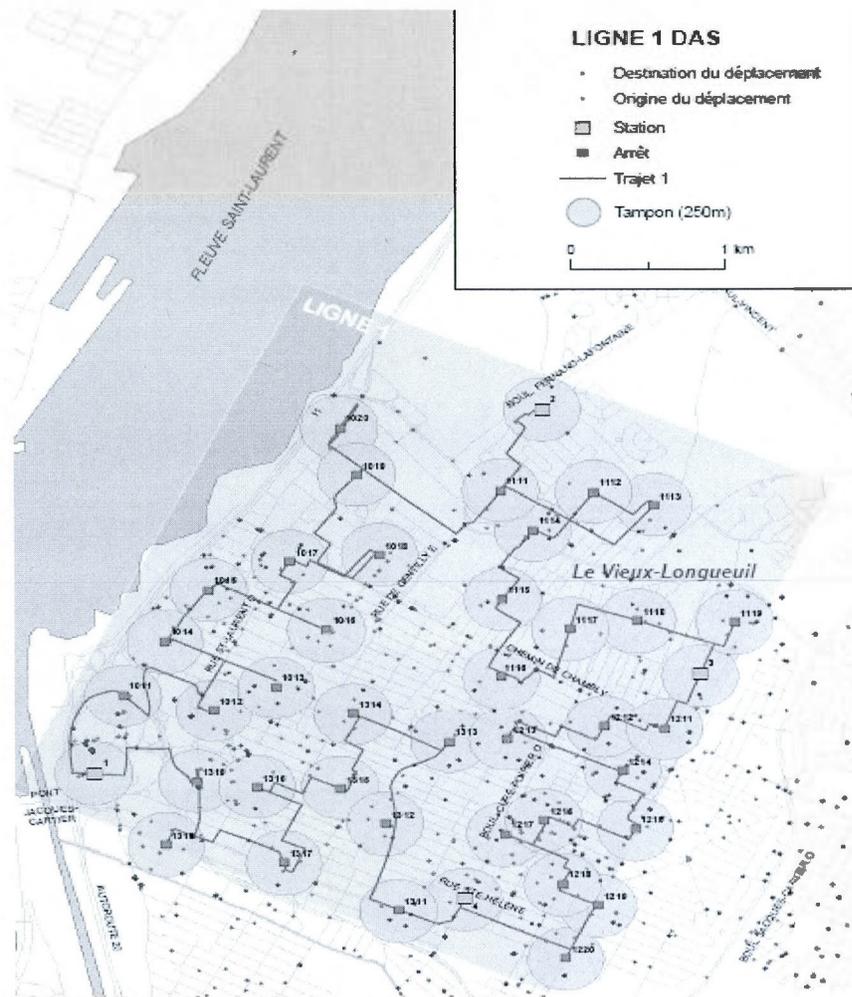


Figure 7.2 : Carte représentant la ligne 1

7.2.2. Identification de la deuxième ligne

Tout comme la première ligne, la deuxième ligne est déterminée avec un trajet partant du terminus du centre ville de Montréal (station Bonaventure) vers un ensemble d'arrêts sur la rive sud. La ligne est d'une longueur de 21 km et le temps nécessaire pour parcourir cette distance en ville est de 42 minutes et 23 minutes en empruntant les voies rapides.

Ci-dessous la ligne 2 :

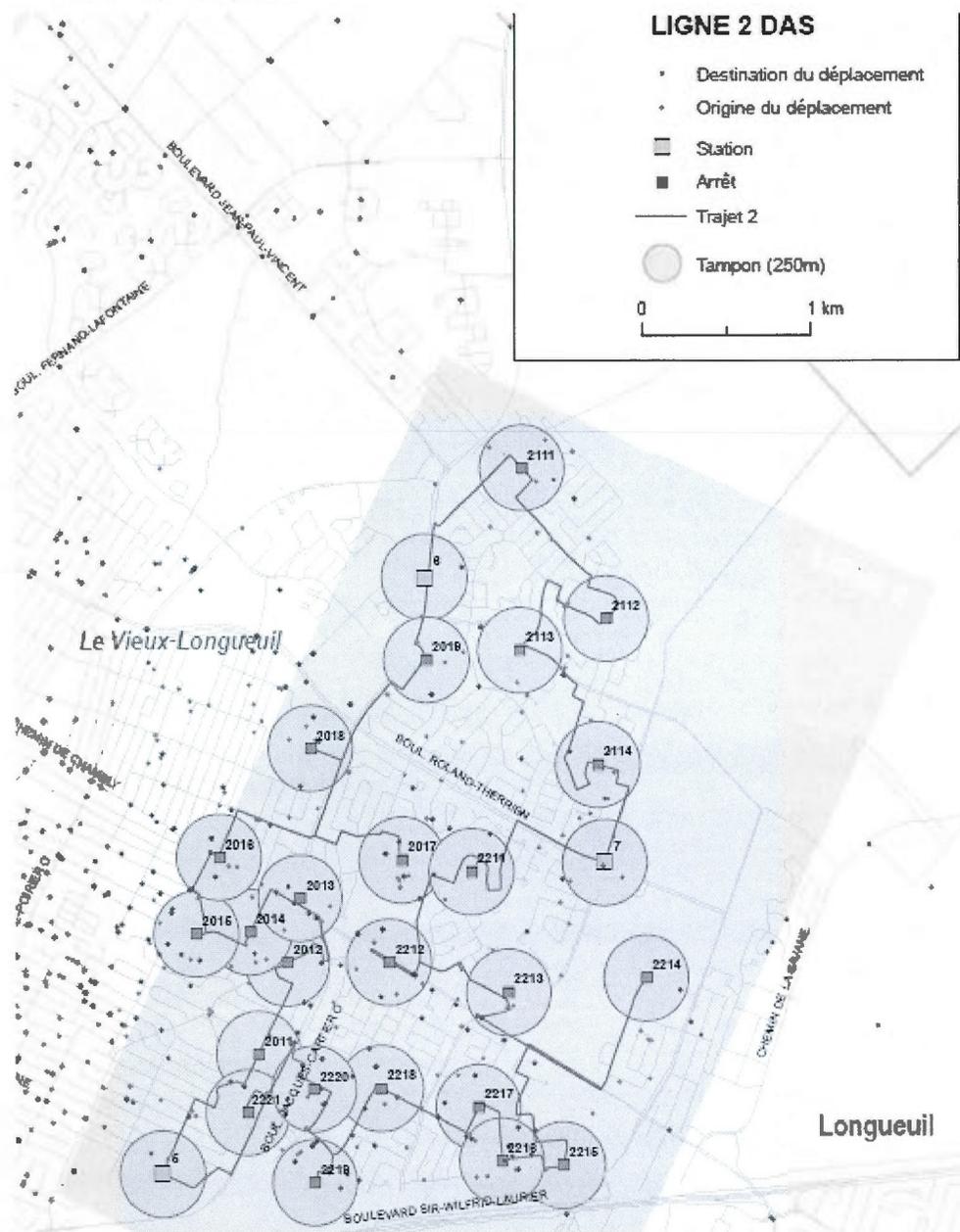


Figure 7.3 : Carte représentant la ligne 2

7.2.3. Identification de la troisième ligne

La ligne 3 est déterminée avec un trajet partant du terminus du centre ville de Montréal (station Bonaventure) vers un ensemble d'arrêts sur la rive sud. La ligne est d'une longueur de 22 km, le temps nécessaire pour parcourir cette distance en ville est de 43 minutes et 24 minutes en empruntant les voies rapides.

Ci-dessous la ligne 3 :



Figure 7.4: Carte représentant la ligne 3

En conclusion, la carte ci-dessous présente les trois lignes identifiées (incluant les arrêts obligatoires et optionnels) :

7.3. Simulation

7.3.1. Étapes de la simulation

Dans notre projet, les matrices de la demande et de la distance pour chaque ligne sont utilisées (données obtenues à partir des cartes géographiques générées par le logiciel ArcMap) et trois scénarios sont choisis afin de simuler chaque ligne de transport identifiée.

Les données représentant les matrices de la demande (Annexe 1; 3 et 5) et de la distance (Annexe 2; 4 et 6) font l'objet de la simulation. A noter que les matrices de la demande sont représentées en fonction des scénarios 1, 2 et 3 alors que les données des matrices de la distance sont des paramètres fixes et inchangés pour les trois scénarios.

Le plan expérimental est donc le nombre total d'expérimentations qu'il est possible d'obtenir selon les scénarios et paramètres choisis. A chaque expérimentation, les paramètres généraux et propres étant fixés, nous effectuons plusieurs simulations. Et chaque simulation correspond à une combinaison des valeurs des variables d'entrées.

7.3.2. Hypothèses

Étant donné qu'un problème technique est survenu (Le code établi n'est pas capable d'accepter les arrêts optionnels), il est donc impossible de simuler les scénarios préparés.

Normalement, nous nous attendons à avoir, après la simulation, de l'information sur les indicateurs de performance pour chaque scénario choisit. Ces indicateurs sont très utiles et intéressants afin de savoir lequel des paramètres utilisés sera plus influent sur le fonctionnement du système DAS.

Il s'agit de :

- La Distance parcourue
- Le temps d'attente des usagers à l'intérieur des véhicules (Latence)
- Le temps d'attente des usagers dans les arrêts obligatoires
- Le temps final d'arrivée

Dans ce chapitre, nous nous sommes basés donc sur ces indicateurs de performances afin de formuler des hypothèses sur les résultats attendus.

Hypothèse 1 :

Dans le scénario 1, nous nous attendons à ce que le système DAS fonctionne d'une manière efficiente puisque les valeurs des paramètres choisis accordent au système une certaine flexibilité pour intégrer le plus possible d'arrêts optionnels. Aussi, nous nous attendons à ce que la distance parcourue soit acceptable et ne représente pas un obstacle pour les usagers du service DAS. Finalement, la probabilité de distribution de 70% va certainement permettre d'offrir un service supérieur à celui du transport traditionnel puisque plusieurs usagers peuvent être servis sans nécessairement se déplacer jusqu'aux arrêts obligatoires.

Hypothèse 2 :

Concernant le scénario 2, en fixant les fenêtres de temps à 7 minutes, il est donc possible d'intégrer plus d'arrêts optionnels et servir ainsi plus d'usagers. Cependant, à cause d'une fenêtre de temps plus large, nous nous attendons à ce que les usagers qui utilisent les arrêts obligatoires devront attendre plus longtemps avant d'être servis. Le but de ce scénario est de savoir si le système DAS peut intégrer plus d'arrêts optionnels et optimiser en même temps le temps final d'arrivée au terminus. Finalement, on s'attend normalement que le système DAS réagisse bien face à l'augmentation de la demande de 25%.

Hypothèse 3 :

Puisque nous avons choisi le poids du GMLP qui est inférieur à 0.5 dans le scénario 3, nous nous attendons à ce que la ligne soit plus courte ainsi que la distance parcourue. Nous pouvons donc conclure que les usagers sont obligés d'utiliser les arrêts obligatoires et que les arrêts optionnels ne sont pas tous intégrés dans le trajet. Cela va certainement limiter le nombre des usagers sur le véhicule, mais au moins on s'attend à ce que le temps total du voyage soit court ainsi que la latence.

En conclusion, nous estimons que le système DAS répondra aux besoins des usagers de la rive sud quelque soit le scénario simulé. Nous nous attendons à une efficacité et efficacité opérationnelle supérieure de notre système de transport, durant la simulation du scénario 1 puisque la demande est inférieure par rapport aux autres scénarios et aussi parce que les autres paramètres tels que la probabilité de distribution, le poids de la latence et autres. Chose qui permet au véhicule un intervalle de temps qui donne une flexibilité au service afin de servir plus de clients possible.

Cependant, cette conclusion est une hypothèse générale qui reste à vérifier puisqu'il s'agit de trois lignes différentes. Il se peut donc que le système DAS réagisse différemment pour chacune des trois lignes dépendamment aux changements de paramètres et scénarios choisis.

7.4. Conclusion

Comme il l'a été précisé plus haut, nous ne disposons pas de résultats de simulation mais il est intéressant de constater que les hypothèses présentées dans ce travail donnent une idée sur les résultats attendus et pourront être des perspectives pour des recherches futures. Normalement, l'analyse de tels résultats aurait dû apporter des informations intéressantes sur le comportement du système DAS tant au niveau stratégique qu'au niveau opérationnelle. Selon nos estimations, les intervenants dans le domaine du transport publique seront très intéressés par ce nouveau système de transport suite à ces nombreux avantages et aussi étant donné qu'il ne représente pas d'obstacles au niveau tactique (conception de lignes).

CHAPITRE VIII

CONCLUSION

Dans les chapitres précédents nous avons démontré que les grandes tendances d'évolution de la mobilité sont la conséquence du phénomène de l'étalement urbain et de l'apparition de nouveaux pôles attractifs en périphérie des villes centres. Les réseaux de transport en commun semblent donc de moins en moins adaptés à ces nouvelles demandes dès que l'on sort des grands axes de déplacements.

Pour la desserte de zones géographiques peu denses et/ou en heures creuses, les services traditionnels sont peu rentables. Il semblait donc intéressant d'analyser la mise en place de nouveaux services de transport qui complètent les services de transport existants et répondent à des besoins individuels en terme de desserte, de fréquence et d'horaires.

Dans notre projet, nous avons choisi d'étudier un nouveau système de transport : Il s'agit du système de transport DAS. C'est un service de desserte souple qui trouve le plus fréquemment sa place là où les lignes régulières n'offrent pas un service adéquat.

La première retenue dans ce mémoire est de présenter les outils nécessaires à l'étude et l'évaluation du système DAS. Ceci est rendu possible au travers de recherches et expériences antérieures. Les documents consultés sont principalement les études effectuées par Crainic *et al*, 2005 ; 2008 ; 2009 et Errico (2008). De tels recherches nous ont permis d'avoir tous les outils constituant les bases principales pour la planification et l'évaluation de la ligne DAS.

Une fois ces notions assimilées, la deuxième étape est la simulation du système DAS. Le site choisi est l'agglomération de la rive sud de Montréal, localité ayant fait l'objet de plusieurs enquêtes origine destination. À partir de l'enquête effectuée en 2003 par le RTL, il est possible d'avoir des informations concernant les habitudes de déplacements des citoyens qui utilisent le transport en commun, décrivant ainsi précisément leur itinéraire, soit la séquence des lignes empruntées. Les données recueillies à partir de cette enquête sont explorées en utilisant le logiciel *ArcMap*. Il est donc possible de transformer les données numériques en cartes géographiques de la région étudiée. Cela nous a permis d'avoir une idée sur la densité de la demande et déterminer ainsi les trois lignes de transport à simuler. À partir de la conception de ces lignes, il était possible d'identifier les matrices de la demande et de la distance pour chaque ligne. L'étape de la simulation consiste à simuler les données de ces matrices en variant plusieurs paramètres, et ce, en utilisant le code établi par Crainic *et al*, (2005), avec le langage C++, sous le système d'exploitation LINUX. Dans notre projet, trois scénarios différents ont été choisis.

Étant donné qu'un problème technique est survenu, nous n'étions pas en mesure de simuler le système DAS mais nous nous sommes basé sur les indicateurs de performance pour formuler des hypothèses sur les résultats attendus. Pour le scénario 1, nous nous attendons à ce que la distance parcourue soit acceptable et ne représente pas un obstacle pour les usagers du service DAS alors que pour le scénario 2, nous nous attendons à ce que le système DAS intègre plus d'arrêts optionnels et réagisse bien face à l'augmentation de la demande de 25%. En ce qui concerne le scénario 3, nous pensons que la ligne sera plus courte ainsi que la distance parcourue. Ainsi, les arrêts optionnels ne seront pas tous intégrés dans le trajet ce qui va certainement limiter le nombre des usagers sur le véhicule.

Si nous considérons que les trois lignes de transport conçues réagissent de la même façon envers les changements des paramètres et scénarios choisis, nous pouvons conclure qu'avec le scénario 1, le système DAS fonctionne avec une efficacité et efficience opérationnelle supérieure en comparaison avec le scénario 1 et 2.

En conclusion, la prise en compte de ces hypothèses permet de penser à des perspectives pour des recherches futures afin de continuer notre projet et ainsi bien comprendre le fonctionnement du nouveau système de transport DAS. Ce mode de transport mérite une évaluation fine afin qu'il devienne un réel mode de transport dans la région de la rive sud de Montréal où les besoins de mobilité sont de plus en plus difficiles à capter par les transports publics.

ANNEXE 1

MATRICES DE LA DEMANDE DE LA LIGNE 1

ANNEXE 2

MATRICE DE LA DISTANCE DE LA LIGNE 1

Ligne 1 : Matrice de la distance

DESTINATIONS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																								
1	0	1004	1286	1868	1877	1877	2535	2471	3262	3307	3665	5262	4261	5085	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
2	1004	0	1286	1868	1877	1877	2535	2471	3262	3307	3665	5262	4261	5085	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
3	1286	1286	0	843	861	1330	2259	2104	2802	2259	3108	4161	3251	3985	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
4	1868	1868	843	0	1208	1544	1774	1800	1482	2277	3235	3309	2486	3203	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
5	1877	1877	1330	1208	0	900	1577	1525	1602	2277	3235	3309	2486	3203	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
6	2535	2535	2259	2104	1577	0	841	700	1544	2542	3273	1813	2527	3271	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
7	2471	2471	2104	2104	1544	2542	0	841	700	1544	2542	3273	1813	2527	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
8	3262	3262	3108	3108	2277	3235	3235	0	910	1040	1593	1398	2077	2873	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
9	3665	3665	3665	3665	3665	3665	3665	3665	0	910	1040	1593	1398	2077	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	4	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400
10	4261	4261	4261	4261	4261	4261	4261	4261	4261	0	910	1040	1593	1398	1112	1112	1112	1114	1115	1116	1117																																																																																																							

ANNEXE 3

MATRICES DE LA DEMANDE DE LA LIGNE 2

Ligne 2
Scénario 1
DESTINATIONS

	5	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	6	2111	2112	2113	2114	7	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	9999			
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2012	1	0	0	0	1	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	
2013	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	4	
2014	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	4	4	
2015	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
2016	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
2017	0	0	2	0	1	1	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	3	
2018	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3	
2019	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
6	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
2111	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2112	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
2113	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2114	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	
2211	1	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
2212	0	1	2	1	0	0	2	1	3	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1	0	0	4	
2213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2215	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2216	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	5	
2217	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
2218	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2219	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	3
2220	1	1	2	1	2	1	0	0	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
2221	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
9999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Légende
s, 6, 7 : Numéro des amets obligatoires
2011 : 2: Numéro de la ligne (2)
0: Numéro du siège (0)
11: Numéro de l'arrêt optionnel (11)
9999 : Arrêt Obligatoire à Montréal

Ligne2
Scénario 3
DESTINATIONS

	5	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	6	2111	2112	2113	2114	7	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	9999		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2011	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	4
2012	1	0	0	0	1	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
2013	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	1	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0	0	1	
2014	0	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	5	5	
2015	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
2016	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
2017	0	0	0	2	0	1	1	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	4	
2018	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	4	
2019	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
6	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
2111	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
2112	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	
2113	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2114	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	3	
2211	1	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	
2212	0	1	2	1	0	0	2	1	3	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	1	0	0	5	
2213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
2214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2215	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2216	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
2217	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	3
2218	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2219	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	4	
2220	1	1	2	1	2	1	0	0	2	1	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	
2221	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
9999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

ORIGINES

Légende
 5, 6, 7 : Numéro des arrêts obligatoires
 2011 : 2: Numéro de la ligne (2)
 0: Numéro du segment (0)
 11: Numéro de l'arrêt optionnel (11)
 9999 : Arrêt Obligatoire à Montréal

ANNEXE 4

MATRICE DE LA DISTANCE DE LA LIGNE 2

Ligne 2 : Matrice de la distance

Origine	DESTINATIONS																													
	5	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	6	2111	2112	2113	2114	7	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	9999	
5	0	1064	1775	2261	1825	1974	2372	3201	3287	3919	4680	5288	5571	4717	4706	4065	3519	2246	3119	4336	3181	2760	2811	1883	2319	1505	1828	9582		
2011	0	0	681	1254	922	1074	1562	2194	2260	2912	3683	4281	4564	3710	3700	3078	2512	1239	2112	3329	2174	1753	1904	876	1496	892	834	10327		
2012	0	0	0	775	310	625	950	1715	1780	2432	3204	3802	4085	3230	3220	2663	2032	759	1671	2915	2581	2170	2021	1283	1903	1308	1250	10498		
2013	0	0	0	0	468	854	548	1317	1363	2035	2807	3405	3687	2833	3030	2576	1758	672	1583	2827	2671	2312	1963	1467	2087	1503	1515	10886		
2014	0	0	0	0	0	385	640	1628	1508	2229	3001	3589	3882	3027	3447	2939	2175	1035	1947	3191	2832	2411	2282	1533	2144	1549	1481	10533		
2015	0	0	0	0	0	0	635	2014	1866	2615	3387	3985	4268	3413	3833	3298	2561	1384	2295	3540	2984	2563	2414	1686	2296	1701	1643	10194		
2016	0	0	0	0	0	0	0	1509	1242	2111	2883	3480	3763	2908	3331	3009	2265	1178	2088	3333	3177	2818	2500	1983	2604	2009	2021	10484		
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	1383	1423	2363	2877	2978	2123	2113	1791	1086	1635	1610	3201	3044	2885	2421	2075	2760	2242	2576	12142		
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1065	1827	2425	2708	1853	2379	2057	1897	1629	2420	3785	3628	3269	2851	2463	3073	2478	2491	11559		
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	940	1538	1717	862	1745	2083	2020	2569	2543	4104	3878	3618	3354	3008	3684	3175	3485	12735		
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1477	1780	805	2144	2575	2851	2645	3174	4508	4609	4250	3987	3480	4090	3495	3507	12716		
2111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1274	1341	2846	3129	3374	3681	3917	5150	5381	5021	4757	4411	5096	4540	4552	13401		
2112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	688	1936	2419	2788	3782	3330	4440	4888	4628	4364	4221	4807	4388	4854	14063		
2113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1408	1893	2258	3160	2801	3914	4482	4102	3838	3691	4377	3958	4022	13230		
2114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	808	1889	2883	1917	2827	3375	3016	2751	2818	3686	3289	3838	13780		
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1375	2138	1181	2081	2639	2280	2015	2180	2929	2690	3346	13282		
2211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1523	1153	2988	2632	2473	2208	1962	2648	2130	2779	12703		
2212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	911	2155	1999	1640	1321	981	1572	977	1628	11562		
2213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1834	1678	1319	1054	1219	1969	1729	2385	12321		
2214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2247	1907	1778	2450	3189	2960	3618	13551		
2215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	448	813	1288	2046	1807	2464	12399		
2216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	433	877	1626	1386	2043	11978		
2217	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	728	1477	1237	1884	11829		
2218	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	755	516	1166	11101			
2219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	433	877	1626	1386	2043	11978	
2220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	755	516	1166	11101		
2221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	433	877	1626	1386	2043	11978
9999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Légende :
Unité = mètre

ANNEXE 5

MATRICES DE LA DEMANDE DE LA LIGNE 3

ANNEXE 6

MATRICE DE LA DISTANCE DE LA LIGNE 3

BIBLIOGRAPHIE

- ACTU (2002). Rapport de l'association canadienne du transport urbain 1 Fédération canadienne des municipalités, Un partenariat pour améliorer la qualité de vie.
- Aldaihani M. M. and Dessouky M. M (2003). Hybrid Scheduling Methods for Paratransit Operations", *Computers and Industrial Engineering*, 45/1, 75-96.
- Aldaihani, MM and Dessouky, MM (2003). Hybrid Scheduling Methods for Paratransit Operations", *Computers and Industrial Engineering*, 45, 75-96.
- Arrillaga, B. and G. E. Mouchahoir (1974). Demand-Responsive Transportation System Planning Guidelines, UMTA-VA-06-0012-74-6. Washington, DC: Urban Mass Transportation Administration.
- Babin , A, Florian, M, James-Lefebvre L and Spiess H (1982). An interactive graphic method for road and transit planning, *transportation Research Record* 866, 1-9.
- Bailey, WA Jr. and Clark, TD Jr. (1987). A simulation analysis of demand and fleet size effects on taxicab service rates, *Proceedings of the 19 th e conference on Winter simulation*, ACM Press, 838-844.
- Bearwood, J., Halton, H. & Hammersley, J (1959). The Shortest Path Through Many Points. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 55, 299-327.
- Ceder, A. & Wilson, N (1997). "Public Transport Operations Planning." in "Design and Operation of Civil and Environmental Engineering Systems" Revelle, C. & McGarity, A.E. (Eds.) John Wiley & Sons Pub. pp. 395-434.

- Chevrier R., Canalda P., Chatonnay P (2007). Une approche heuristique génétique pour résoudre le Transport à la Demande en multi-convergence. In ROADEF'07, 5ème journées Francophones de Recherche Opérationnelle (FRANCORO) et 8ème Congrès de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision, Grenoble, 20, 133-134.
- Chevrier R., Canalda P., Chatonnay P., Josselin D (2006). Vers une Solution Robuste et Flexible du Transport à la Demande en Convergence : Étude Trans-disciplinaire et Mise en oeuvre. Actes du Workshop International : Logistique et Transport, Hammamet, Tunisie, 49-55.
- Cole, L. M (1968). Tomorrow's Transportation: New Systems for the Urban Future. Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development.
- Cordeau, J.-F., and Laporte, G. (2003): \The Dial-a-Ride Problem (DARP): Variants modelling issues and algorithms. *4Or*, 1, 89-101.
- Cortes, C, Jayakrishnan, R. (2002). Design and operational concepts of high-coverage point-transit system. *Transportation Research Record*, 1783, 178-187.
- Crain & Associates, Inc., Paratransit Technical Assistance Program (1999). Five Year Implementation Plan, Metropolitan Transportation Commission, Oakland, Calif.
- Crainic T.G. (2000). Service network design in freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 272-288.
- Crainic T.G. Nicoletta R, Giovanni S (2009). Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems. *Transportation Science*, 432-454.
- Crainic T.G., Malucelli F., Nonato M., Guertin F (2001). Meta-heuristics for a Class of Demand-adaptive Transit Systems, Publication, Centre for Research on Transportation, Université de Montréal.

- Crainic, T. G., F. Malucelli, M. Nonato, and F. Guertin (2005). Meta-Heuristics for a Class of Demand-Responsive Transit Systems. *INFORMS Journal on Computing* 17 (1), 10–24.
- Crainic, T.G., F. Malucelli, and M. Nonato (2000). A Demand Responsive Feeder Bus System. In CD-ROM of 7th World Congress on Intelligent Transport Systems. 7WC-ITS, Torino, Italia.
- Crainic, TG., F. Errico, F. Malucelli, et M. Nonato (2008). Designing the master schedule for demand-adaptive transit systems. In *Proceedings of the 7th International on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, CD-ROM
- Daganzo, CF (1984) Checkpoint Dial-a-Ride Systems, *Transportation Research* , 18B, 315-327.
- De Florio V., Deconinck G (2002). A Formal Model and an Algorithm for Generating the Permutations of a Multiset," *WSEAS Transactions on Systems* , World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), ISSN 1109-2777, 1, 23-28.
- Descotes Genon (2005). Use of a meta-heuristics for a retail merchandise transportation application. *Revue REE*, 1, 34-40.
- Dessouky, M., K. Palmer, T. Abdelmaguid (2003). Benchmarking Best Practices of Demand Responsive Transit Systems, California PATH Research Report, Richmond, California
- Diana, M. and Dessouky, M. (2004). A New Regret Insertion Heuristic for Solving Large-scale Dial-a-ride Problems with Time Windows," *Transportation Research, Part B: Methodological*, 38; 539-557, 2004
- Diana, M., Dessouky, MM, and Xia, N. (2006). A model for the fleet sizing of demand responsive transportation services with time windows," *Transportation Research, Part B: Methodological*, 40, 651-666.

- Durvasula, P.K., B.L. Smith, R.E. Turochy, S.C. Brich, and M.J (1998). Demetsky, Peninsula Transportation District Com-mission Route Deviation Feasibility Study, FHWA/VTRC 99-R11, Final Report, Virginia Transpor-tation Research Council, Charlottesville, 73.
- Eilon, S., Watson-Gandy, D. & Christofides, N (1971). Distribution Management: Mathematical Modelling and Practical Analysis, New York, Hafner.
- Errico, F (2008). The design of flexible transit systems: models and solution methods. PhD thesis, Politecnico di Milano, Italy.
- Feuerstein, E. and Stougie, L. (2001). On-line single-server dial-a-ride problems, Theoretical Computer Science , 268, 91-105.
- Flood, M.M. (1956). "The TSP". Operation Research. 4-6.
- Florian M (1986). Nonlinear cost network models in transportation analysis, Mathematical Programming Study, 26, 167-196.
- Fu, L. (2002). A simulation model for evaluating advanced dial-a-ride paratransit systems", Transportation Research A , 36A, 291-307.
- Ambrosino G, J. Nelson, and M. Romazzo (2004). Demand Responsive Transport Services: Towards the flexible Mobility Agency. ENEA.
- GART (1999). Les politiques de transport collectif dans les collectivités, Ed. Voiron, La lettre du cadre territorial, pp 258.
- Glover F (1986). Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence, Computers and Operations Research 13, 533-549.
- Haghani, A. and Banihashemi, M. (2002). Heuristic approaches for solving large-scale bus transit vehicle scheduling problem with route time constraints, Transportation Research A , 36A, 309-333.

- Hall, CH (2006). A framework for evaluation and design of an integrated public transport system. Ph. D. thesis, Linkopings Universitet, Sweden.
- Hasselström, D (1981). Public transportation planning." PhD dissertation, Univ. of Gothenburg, Gothenburg, Sweden.
- Hauptmeier, D., Krumke, SO and Rambau, J. (2000). The online dial-a-ride problem under reasonable load, *Lecture Notes in Computer Science*, 1767, 125–133.
- Hickman, M. and K. Blume (2001). Modeling cost and passenger level of service for integrated transit service. In S. Voß and J. Daduna (Eds.), *Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Springer, 505, 233–251.
- Hickman, M. et Blume, K (2000). A method for scheduling integrated transit service. 8th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport (CASPT), Berlin, Allemagne
- Horn, M. (2002). Multi-modal and demand-responsive passenger transport systems: a modelling framework with embedded control systems. *Transportation Research Part A* 36, 167–188.
- Cordeau J.F, G. Laporte (2004). The dial-a-ride problem darp, variants modelling issues and algorithms. *4OR A Quarterly Journal of Operations Research*, 1(2)-89.
- Jaillet, P (1988). Apriori Solution Of A Traveling Salesman Problem In Which A Random Subset Of The Customers Are Visited. *Operations Research*, 36, 929-936.
- Jaw, J.-J., Odoni, A. R., Psaraftis, H. N., and Wilson, N. H. M (1986). A heuristic algorithm for the multi-vehicle advance request dial-a-ride problem with time windows. *Transportation Research Part B*, 20(3), 243–257.

- Khattak A., Yim Y (2004). Traveler response to innovative Personalized demand-responsive transit in the San Francisco Bay area *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 130(1), 42-55.
- Kruskal, J.B (1956). "On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem". *Proceedings of the American Mathematical Society*, 2, 48-50.
- Larson, R. C. & Odoni, A. R. (1981). *Urban Operations Research*, Prentice-Hall, Inc.
- Lau H.C., Liang Z (2001). Pickup and Delivery with Time Windows: Algorithms and Test Case Generation", In *Proceedings of the 13th International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 333 - 340.
- Li H., Lim A (2001). A metaheuristic for the pickup and delivery problem with time windows", In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, 13, 160-167
- Liaw, CF, blanc, CC et Bander, JL (1996). A Decision Support System for the Bimodal Dial-A-Ride Problem. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 26 (5), 552-565.
- Lipmann, M., Xiwen L., Willem P., René S., Leen S.. (2002). On-line dial-a-ride problems under a restricted information model, *Lecture Notes in Computer Science*, 2461, 674-685.
- Lu, Q. and Dessouky M. (2006) "New Insertion-based Construction Heuristic for Solving the Pickup and Delivery Problem with Hard Time Windows," *European Journal of Operational Research*, 175, 672-687.
- Madsen, OBG, Ravn, HF, and Rygaard, JM (1995). A Heuristic Algorithm for a Dial-a-Ride Problem with Time Windows, Multiple Capacities, and Multiple Objectives, *Annals of Operations Research*, 60, 193-208.

- Mageean J., Nelson J.D. (2003). The evaluation of demand responsive transport services in Europe. *Journal of Transport Geography*, 11(4), 255-270.
- Malucelli, F., M. Nonato and S. Pallottino (1999). Demand Adaptive Systems: some proposals on flexible transit, in *Operational Research in Industry*, T.A. Ciriani, et al., Editors. McMillan Press: London. pp. 157-182.
- Malucelli, F., M. Nonato, T. G. Crainic, F. Guertin. (2001). Adaptive memory programming for a class of demand-responsive transit systems. S. Voss, J. R. Daduna, eds. *Computer-Aided Scheduling of Public Transport*, Vol. 505. Lecture Notes in Econom. Math. Systems, Springer, Berlin, Germany, 253-273.
- OCDE (2000). Organisation de coopération et de développement économique. Intégrer les transports dans la ville. Réconcilier les dimensions économiques, sociales et environnementales. Paris : pp 133.
- Palmer, K., Dessouky, MM, and Abdelmaguid, T (2004). Impacts of Management Practices and Advanced Technologies on Demand Responsive Transit Systems, *ransportation Research, Part A: Policy and Practice*, 38, 495-509.
- Quadrioglio L., and Dessouky M. (2007). Insertion heuristic for scheduling Mobility Allowance Shuttle Transit (MAST) services: sensitivity to service area, *Computer-Aided Systems in Public Transport. Journal of Scheduling*, 10, 25-40.
- Quadrioglio L., Hall R.W. and Dessouky M (2006). Performance and Design of MAST Services: Bounds on the Maximum Longitudinal Velocity," *Transportation Science*, 40, 351-363
- Rosenbloom, S (1996). Service Routes, Route Deviation, and General Public Paratransit in Urban, Suburban, and Rural Transit Systems, FTA-AZ-26-7000-96-1, Federal Transit Administration, Washington, D.C, 90.
- RTL. Réseau de transport de Longueuil (2003). Statistique sur la répartition de la population de l'Enquête Origine-Destination 2003.

- Savelsbergh M.W.P (1995). Local Search for Routing Problems with Time Windows", *Annals of Operations Research* 4, 285- 305.
- Schofer, J.L., Nelson, B.L., Eash, R., Daskin, M., Yang, Y., Wan, H., Yan, J., and Medgyesy, L (2003). Resource requirements for Demand-Responsive Transportation Services, Transportation research Board, Transit Cooperative Research Program, Report 98.
- Sexton T.R., Bodin L.D (1983). The multiple-vehicle subscriber dial-a- ride problem, Working paper MS /S 83-009, College of Business and Management, University of Maryland..
- Shinoda, K., Noda, I., Ohta, M., Kumada, Y., Nakashima, H (2004). Is dial-a-ride bus reasonable in large scale towns? Evaluation of usability of dial-a-ride systems by simulation, *Lecture Notes in Computer Science*, 3012, 105-119.
- Spielberg F., Pratt R.H. (2004). TCRP Report 95: Traveler Response to Transportation System Changes, Chapter 6: Demand Responsive/ ADA." Transportation Research Board, Washington DC.
- Stein, DM (1977). Scheduling Dial-a-Ride Transportation Systems: An Asymptotic Approach, Harvard University, Division of Applied Science, Technical Report No. 670.
- Stein, DM (1978). Scheduling Dial-a-Ride Transportation Systems, *Transportation Science*, 12, 232-249.
- TCRP (2004). 53eme synthèse des pratiques de transport dans le cadre d'une conférence de Transportation Research Board Executive Committee Subcommittee for TCRP.
- Toth, P., and Vigo, D (1997). Heuristic Algorithm for the Handicapped Persons Transportation Problem, *Transportation Science*, 31, 60-71.

- Ward, D. E (1975). A Theoretical Comparison of Fixed Route Bus and Flexible Route Subscription Bus Feeder Service in Low Density Areas. U.S. Department of Transportation.
- Welch, W., R. Chisholm, D. Schumacher, and S. R. Mundle (1991). Methodology for evaluating out-of-direction bus route segments. *Transportation Research Record* 1308, 43-50.
- Wilson, NHM, and Hendrickson, C. (1980). Performance Models of Flexibly Routed Transportation Services, *Transportation Research – Part B*, 14B, 67-7.
- Wilson, NHM, Sussman JM, Wong Ho-Kwan, and Higonnet, T. (1971). Scheduling Algorithms for a Dial-a-Ride System, MIT, Urban Systems Laboratory, Technical Report USL TR-70-13.
- Zhao, Z and Dessouky, M (2008). Optimal Service Capacity for a Single-Bus Mobility Allowance Shuttle Transit (MAST) System," *Transportation Research, Part B: Methodological* , 42, 135-146.
- Zhou. Z and Li (2003). Li. Single hoist cyclic scheduling with multiple tanks: A material handling solution. *Computers and operations Research*, pp 811.