

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'OPTIMISATION D'UN PROJET DE
TRANSPORT EN COMMUN EN SITE PROPRE :
UNE PROPOSITION DE MÉTHODE
POUR LE CAS DU TRAMWAY DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉTUDES URBAINES

PAR TIMOTHÉE MILLET

MAI 2016

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.07-2011). 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.»

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
RÉSUMÉ	ix
SUMMARY	x
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
PROBLÉMATIQUE	4
1.1 Les TCSP et leur développement dans la région de Montréal	4
1.1.1 Les TCSP actuels et projetés	4
1.1.2 Les facteurs appuyant le développement des TCSP	8
1.1.3 Les facteurs freinant le développement des TCSP	10
1.2 Le projet de tramway de la Ville de Montréal	14
1.2.1 L'évolution du projet de tramway	14
1.2.2 La problématique du projet de tramway	20
1.2.3 Les constats et l'intérêt d'une recherche sur le projet de tramway	23
1.3 L'optimisation de projet de TCSP	27
1.3.1 La visée de l'optimisation de projet de TCSP	27
1.3.2 L'optimisation des projets de tramway de Portland, Ottawa et Besançon	29
1.3.3 La définition de l'optimisation de projet de TCSP et la question de recherche appliquée au projet de tramway de la Ville de Montréal ...	35
CHAPITRE II	
MÉTHODOLOGIE.....	37
2.1 La théorie d'optimisation de projet de TCSP.....	37
2.1.1 Les études de préféabilité et de faisabilité en gestion de projet	38

2.1.2	Les méthodes d'évaluation de projet et d'aide à la décision et leurs principales critiques.....	42
2.1.3	La proposition de méthode d'optimisation de projet de TCSP	47
2.2	Les concepts de TCSP.....	51
2.2.1	La diversité morphologique des TCSP.....	51
2.2.2	L'attractivité des TCSP.....	55
2.2.3	La faisabilité des TCSP	60
2.2.4	Les coûts d'investissement et d'exploitation des TCSP.....	64
2.3	Les concepts de l'environnement urbain.....	69
2.3.1	La mobilité	70
2.3.2	La rugosité	73
2.3.3	L'accessibilité	75
2.3.4	La productivité	78
2.4	La méthode d'optimisation de projet de TCSP	80
2.4.1	Les documents et les informations requis à l'optimisation de projet de TCSP	81
2.4.2	Le processus et les résultats de l'optimisation de projet de TCSP	84
2.4.3	L'étape du choix et dimensionnement du TCSP.....	90
2.4.4	L'étape de l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé	95
2.4.5	L'étape de la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements	98
2.4.6	L'étape de la conception du site propre et du franchissement des intersections	102
 CHAPITRE III		
APPLICATION.....		109
3.1	Le choix et le dimensionnement du TCSP.....	109
3.1.1	Le choix et le dimensionnement de mode par rapport à la demande	110
3.1.2	Le choix et dimensionnement de ligne par rapport à la demande	119
3.1.3	L'arborescence des scénarios et leur tracé.....	128

3.2	L'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé	130
3.2.1	L'obstacle à la localisation de l'atelier-dépôt sur le site Victoria	131
3.2.2	Les conditions climatiques et les déclivités sur le chemin de la Côte-des-Neiges	134
3.2.3	L'arborescence des scénarios et leur tracé.....	138
3.3	La conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements.....	141
3.3.1	La desserte de l'hôpital Général et l'inclusion des personnes à motricité réduite	142
3.3.2	La distance moyenne d'interstation, la desserte du territoire et les connexions aux réseaux de transport	146
3.3.3	L'arborescence des scénarios et leur tracé.....	160
3.4	La conception du site propre et du franchissement des intersections	162
3.4.1	La vitesse commerciale	163
3.4.2	Le nombre de véhicules.....	168
3.4.3	L'arborescence des scénarios et leur tracé.....	171
3.5	La comparaison de l'efficacité et de l'efficience des scénarios du projet de TCSP.....	172
3.5.1	L'efficacité des scénarios et la critique des résultats	173
3.5.2	L'efficience des scénarios et la critique des résultats	177
3.5.3	La réponse à la question de recherche et la critique de la méthode d'optimisation de projet de TCSP.....	197
	CONCLUSION.....	204
	BIBLIOGRAPHIE.....	208

LISTE DES FIGURES

Carte

1. Le projet de première ligne de tramway de la Ville de Montréal en 2011 d'après l'étude de faisabilité 17
2. Les principales contraintes de rugosité sur le tracé de la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie 135
3. La solution optimisée d'implantation des stations selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d'atelier-dépôt 151
4. La densité d'activités autour des stations de la solution optimisée d'implantation selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d'atelier-dépôt 154
5. La typologie d'activités autour des stations de la solution optimisée d'implantation selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d'atelier-dépôt 157
6. Les connexions avec le réseau de TCSP et d'autobus fréquents autour des stations de la solution optimisée d'implantation selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d'atelier-dépôt 159
7. Le scénario optimisé 11 le plus efficace et le plus efficient développé par le processus d'optimisation 200

Image

1. La première ligne de tramway projetée sur le boulevard René-Lévesque dans le centre-ville de Montréal 19
2. La première ligne de tramway projetée sur la rue De la Commune dans la cité du Multimédia 19

3.	La première ligne de tramway projetée sur la rue Berri dans le faubourg Québec.....	19
4.	Le site propre partiel à la station Guy-Concordia située au sud de l'intersection entre la rue Guy et le Boulevard Maisonneuve.....	172
5.	Le site propre partiel démarqué de la voirie par un terre-plein et du trottoir par une variation de niveau et de pavement	172
6.	La ligne optimisée de tramway sur le chemin de la Côte-des-Neiges au sud du Mont-Royal.....	201
7.	La ligne optimisée de tramway sur le chemin de la Côte-des-Neiges au nord du Mont-Royal	201

LISTE DES TABLEAUX

Tableau

1.	Le choix et dimensionnement de mode de TCSP selon la demande estimée à court et à long terme.....	116
2.	Le choix et dimensionnement de ligne de TCSP selon la demande estimée à court terme	121
3.	Le choix et dimensionnement de ligne de TCSP selon la demande estimée à long terme.....	122
4.	Le choix et dimensionnement de mode de TCSP pour une dimension de ligne raccourcie selon la demande estimée à court et à long terme	127
5.	L'arborescence des scénarios à l'étape du choix et dimensionnement de TCSP	129
6.	L'arborescence des scénarios à l'étape de l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé	140
7.	L'arborescence des scénarios à l'étape de la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements	162
8.	La vitesse commerciale par scénario.....	167
9.	Le nombre de véhicules par scénario	170
10.	L'arborescence des scénarios à l'étape de la conception du site propre et du franchissement des intersections	171
11.	L'attractivité et la faisabilité par scénario	175
12.	La décomposition des coûts d'investissement	182
13.	Les coûts d'investissement par scénario	184
14.	Les coûts annuels d'exploitation par scénario	188

15.	La décomposition des coûts d'entretien majeur	190
16.	La décomposition de certains coûts d'investissement du poste de dépense système de transport	191
17.	Les coûts d'entretien majeur et les coûts globaux par scénario	196
18.	L'arborescence des scénarios à l'étape de la comparaison de l'efficacité et de l'effcience	199

RÉSUMÉ

TITRE : L'optimisation d'un projet de transport en commun en site propre : une proposition de méthode pour le cas du tramway de Montréal

Le transport en commun en site propre (TCSP) est une famille de modes de déplacement, comme le système rapide par bus, le tramway ou le métro, qui sont attractifs pour les voyageurs et qui permettent aux instances régionales de structurer l'urbanisation et les activités humaines sur leur territoire. Toutefois, ils requièrent d'importants coûts de construction et d'opération, ce qui peut retarder ou annihiler leur réalisation. Le projet de tramway de la Ville de Montréal, reliant le centre-ville au quartier Côte-des-Neiges, a par exemple déraillé pour cette raison. Or, d'après l'expérience de plusieurs villes extérieures au Québec, il semble possible d'optimiser un projet de TCSP pour qu'il soit plus efficient mais tout autant efficace, c'est-à-dire moins onéreux mais capable de répondre adéquatement à la demande de mobilité. La recherche propose alors une méthode d'optimisation et l'applique à titre d'exemple sur le projet de tramway montréalais. Ce processus a permis de concevoir un projet optimisé plus fonctionnel aux déplacements des personnes et plus abordable sur le long terme à l'investissement et à l'exploitation que le projet initial. Bien que plus court, le tracé optimisé justifie le besoin d'un tramway par le niveau estimé d'achalandage. Néanmoins, la méthode d'optimisation a présenté quelques limites, comme le manque de données, et le projet optimisé reste une échauche, puisque les solutions optimisées ont seulement été développées à un stade de préfaisabilité.

MOTS-CLÉS : optimisation, projet, transport en commun, tramway, montréal.

SUMMARY

TITLE : The optimization of a rapid transit project : a proposition of method for the case of the Montreal's light rail

The rapid transit on exclusive right-of-way (rapid transit) is a group of transportation modes, as the bus rapid transit, the light rail or the subway, which are attractive for travelers and which empower regional governments to structure urbanization and human activities onto their territory. However, they require substantial construction and operation costs, which can postpone or annihilate their implementation. The light rail project of the City of Montreal, linking the downtown to the Côte-des-Neiges neighborhood, has for example derailed because of this reason. Yet, according to the experience of several cities outside Quebec, it seems possible to optimize a rapid transit project in order to make it more efficient but equally effective, meaning less expensive but able to adequately supply the mobility demand. The research suggests then an optimization method and applies it as a case study to the Montreal's light rail project. This process enabled to design an optimized project which is more functional for passenger transportation and cheaper in investment and operation long term costs than the initial project. Although shorter, the optimized alignment justifies the need of a light rail by the estimated frequentation level. Nonetheless, the optimization method presented some limits, like the lack of data, and the optimized project remains a draft, since the optimized solutions have only been developed at a préfeasibility stage.

KEYWORDS : optimization, project, public transit, light rail, montreal.

INTRODUCTION

« La ville naît des besoins d'interactions des gens et des avantages que celle-ci procure »¹. Ces interactions sont rendues possibles au quotidien par les moyens de transport, « modes de locomotion permettant de déplacer les personnes »² sur le territoire. Au sein de plusieurs villes à travers le monde, il est possible de voyager par des modes de *transport en commun en site propre* (TCSP), qui ont comme particularité d'emprunter en tout temps des voies qui sont réservées exclusivement à l'exploitation de leurs services de déplacement. Cette famille de modes regroupe les *SRB*, ou *autobus en site propre*, les *SLR*, ou *systèmes légers sur rail* comme le *tramway en site propre*, et les *métro*. Ces derniers peuvent être exploités sur des sites propres partiels, voulant dire que les intersections sont franchies au même niveau que les autres modes, ou intégral, signifiant que les intersections sont étagées avec les autres modes. Dans la région de Montréal, il existe quatre lignes de métro construites en site propre intégral souterrain. Avec une importante fréquence de passage et une grande amplitude de service, le métro est un mode très attractif au sein du réseau de transport en commun de la métropole québécoise. Il est d'ailleurs le mode le plus achalandé de l'île de Montréal et le seul TCSP. Plusieurs projets de TCSP ont néanmoins été envisagés dans la région, comme des lignes de métro de surface ou un réseau de tramway au sein de la Ville de Montréal. Néanmoins, l'ensemble de ces services n'a jamais vu le jour. À présent, il est question d'un SLR entre le sud, l'ouest et le nord-ouest de la région et d'un SRB à entre l'est et le nord-est. Malgré leur estimation d'achalandage relativement importante et les effets bénéfiques, notamment économiques, qu'ils pourraient apporter à la métropole montréalaise et au Québec, la réalisation des projets de TCSP est incertaine. En effet, l'augmentation régulière du coût de ce type de projet et le manque de financement au développement du transport en commun peut retarder voire annihiler leur réalisation et, corollairement, aggraver les problèmes de gouvernance du transport en commun. Or, les documents de planification de la région de Montréal planifie la concentration du développement urbain sous une forme dense autour des stations de TCSP et de train de banlieue alors que plusieurs lignes sont à la limite de la saturation.

1 Merlin et Choay (2009), p.939.

2 Merlin et Choay (2009), p.568.

Le projet de tramway de la Ville de Montréal est à ce sujet un exemple. Au fur et à mesure de sa conception, sa faisabilité a été démontrée et des gains d'achalandage ont été anticipés sur cette ligne de transport collectif électrique. Cependant, ses coûts d'investissement et d'exploitation ont augmenté et sa réalisation est passée de prioritaire à *de facto* abandonnée. Toutefois, le projet peut être considéré comme faisable, ce que démontrent les études de préfaisabilité et de faisabilité, et attractif, puisqu'entre autres les gains d'achalandage qu'il aurait permis vont dans le sens des objectifs des documents de planification de la région en fournissant, entre autres, des externalités économiques positives. Il peut alors être imaginable que le projet ait plus de possibilités de se concrétiser si ses enjeux financiers, soit ses coûts d'investissement et d'exploitation, sont diminués tout en conservant son caractère faisable et attractif aux voyageurs. L'optimisation de projet est un processus utilisé lors de la planification d'une nouvelle offre de transport afin de diminuer son prix. De nature empirique, ce processus est spécifique à chaque projet de TCSP. Trois différents projets de tramway comparables au projet montréalais ont fait l'objet d'un processus d'optimisation en phase de conception. Ces référents peuvent donner une idée des possibilités et des limites de l'optimisation dans la gestion de projet de TCSP. Surtout, ils permettent de se questionner sur l'existence d'un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal.

Afin de structurer et d'aider au bon déroulement d'un projet de TCSP, il va tout d'abord être fait appel à la théorie de la gestion de projet. Celle-ci découpe le projet en plusieurs phases, dont celle de conception et d'évaluation. Les études de préfaisabilité et de faisabilité, comme celles produites dans le cadre du projet de tramway de la Ville de Montréal, démontrent de l'adéquation entre le besoin et le projet. Les informations qu'elles produisent sont ensuite analysées par des méthodes d'évaluation et d'aide à la décision pour émettre un avis quant à la poursuite du projet. Néanmoins, il va être montré que la méthode classique d'optimisation n'est pas pertinente à l'égard de projets complexes et contextualisés comme les TCSP. Les autres méthodes d'évaluations ne permettent pas, quant à elles, de corriger le projet selon les critiques qu'elles émettent. Ainsi, il va être proposé une méthode d'optimisation de projet de TCSP, rétroactive et préalable à une méthode d'évaluation prenant en compte la complexité et le contexte, pour développer des scénarios selon un optimum issu de critiques. Cette

méthode, en tendant vers la diminution des enjeux financiers tout en respectant les contraintes techniques et urbaines, pourrait participer au succès d'un projet de TCSP. Elle prend en effet en compte l'efficacité de ces modes, signifiant leur attractivité aux déplacements et leur faisabilité à la construction et à l'opération, mais aussi l'efficacité du projet, soit ses coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme. Elle considère aussi plusieurs éléments faisant partie de l'environnement urbain du tracé, c'est-à-dire le contexte du projet, comme la mobilité, la rugosité, l'accessibilité et la productivité. Dans le but de savoir si cette méthode fonctionne, elle va être appliquée à titre d'exemple au projet de tramway de la Ville de Montréal. Il va être essayé de proposer un projet de TCSP optimisé à partir du projet de tramway initial. Par le fil successif d'étapes d'optimisation ayant pour but la recherche d'une meilleure adéquation entre les éléments du TCSP et de l'environnement urbain, il sera proposé la modification de certaines caractéristiques des éléments du tramway ou de son contexte. Ces modifications se constitueront en diverses solutions optimisées, alternatives aux solutions initiales, qui respectent des critères d'efficacité, les contraintes techniques et urbaines, et qui tendent vers des critères d'efficacité, les enjeux financiers. Au fur et à mesure de la conception de solutions optimisées, seront alors développés des scénarios optimisés qui oscillent quant à l'adoption des solutions initiales et optimisées. Cela esquissera une arborescence de scénarios optimisés à même de remplacer les scénarios initiaux qui, de leur côté, ne combinent que les solutions initiales. Ces scénarios initiaux et optimisés seront enfin comparés, en appréciant leur respect des contraintes, par leur attractivité et faisabilité, et l'atteinte des enjeux, par l'estimation de leurs coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme. Cela permettra alors de faire ressortir les avantages et les limites du processus d'optimisation tel que proposé, tout en démontrant s'il existe ou non un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficace pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

1.1 Les TCSP et leur développement dans la région de Montréal

La région de Montréal (Québec, Canada) est le lieu de vie de 3,8 millions d'individus qui se répartissent sur presque 3 800 kilomètres carré³. Elle dispose d'une des plus grandes proportions d'utilisateurs du transport collectif des régions métropolitaines d'Amérique du Nord⁴, derrière New York (New York, États-Unis) et à égalité avec Toronto (Ontario, Canada). L'achalandage régional des services de transport en commun dépasse les 470 millions de passagers annuels⁵, dont 80 % des déplacements sont effectués par la *Société de transport de Montréal (STM)*⁶ qui dessert l'île de Montréal située au centre de la région éponyme. Le réseau régional de transport collectif dispose de trois modes : le train de banlieue, l'autobus et le métro. Plusieurs lignes de TCSP le composent et différents projets de TCSP pourraient le compléter à l'avenir. Néanmoins, ce développement reste incertain. En effet, bien que plusieurs facteurs économiques positifs pour la région et pour le Québec appuient le développement des TCSP, d'autres facteurs peuvent le freiner, dont notamment le financement des projets.

1.1.1 Les TCSP actuels et projetés

À partir de la moitié du XIX^{ème} siècle, la région de Montréal se dote d'un réseau de train de banlieue qui comptera jusqu'à neuf lignes. Un siècle plus tard, celles-ci disparaissent graduellement, à l'exception de deux d'entre elles qui subsistent jusqu'aux années 1990. À ce moment, le Gouvernement du Québec choisit d'investir dans ce

3 CCMM (2010a), p.19.

4 Les régions métropolitaines d'Amérique du Nord (Canada et États-Unis) sont comparées d'après le nombre de déplacements domicile-travail effectués en transport en commun par rapport à l'ensemble des déplacements domicile-travail effectués sur leur territoire tous modes confondus en 2006. CMM (2010), p.45.

5 CCMM (2010a), p.19.

6 CCMM (2010a), p.19.

mode, en modernisant ces deux lignes restantes et en ajoutant quatre nouvelles⁷. Ainsi, le réseau de train de banlieue actuel comporte six lignes, cumulant 255 kilomètres d'infrastructures et 59 stations en exploitation commerciale. Le train de banlieue n'est toutefois pas un TCSP. Bien que le réseau soit en site propre, les infrastructures peuvent être partagées entre trois services de transport différents. Les trains de banlieue peuvent en effet circuler sur le même réseau ferroviaire que les trains interurbains de passagers ou de marchandises. De plus, ce mode n'est ni de haute fréquence ni de grande amplitude, ce qui se traduit par un plutôt faible achalandage par rapport au métro. En effet, 80 000 passagers par jour fréquentent le réseau de six lignes, soit l'équivalent de 8% de l'achalandage du métro. La ligne de Deux-Montagnes fait néanmoins exception, avec un service relativement plus fréquent et avec un achalandage de 31 000 passagers par jour, soit presque 40% du réseau de train de banlieue⁸.

Les services de tramway apparaissent dans la région de Montréal de manière concomitante à ceux de train de banlieue. D'abord hippomobiles, les tramways deviennent électriques à la fin du XIX^{ème} siècle. Bien que fréquents, ces services sont exploités en site banal, au milieu de la circulation des individus et des véhicules. Quelques sections sont néanmoins exploitées en site propre, le plus souvent en zone suburbaine. Les lignes d'autobus, apparues au début du XX^{ème} siècle, complètent premièrement les lignes de tramway. Au milieu du XX^{ème} siècle, ces premières remplacent définitivement ces dernières⁹. Pouvant être fréquentes, les lignes d'autobus ne reprennent pas les sites propres des tramways. L'établissement d'une première voie réservée aux services d'autobus a lieu sur le pont Champlain en 1978 et plusieurs suivront sporadiquement sur le réseau routier régional¹⁰. Néanmoins, ces voies ne sont réellement effectives que durant les heures de pointe¹¹. Même si elles ne sont pas des TCSP, les lignes d'autobus peuvent toutefois avoir un achalandage relativement important. En effet, sur les 1,4 millions de voyageurs utilisant chaque jour le transport en commun sur l'île de

7 Hanna (1993), pp.8-27.

8 AMT (2014a), p.17.

9 Hanna (1993), pp.49-58.

10 AMT (2007), p.18.

11 La STM, par exemple, appelle ce type de système des Mesures Préférentielles pour Bus (MPB). STM (2014), *Infos pratiques, Nos réseaux, Bus, Mesures préférentielles pour bus*. Récupéré de < <http://www.stm.info/fr/infos/reseaux/bus/mesures-preferentielles-pour-bus> > le 18 avril 2014.

Montréal, 812 000 empruntent le réseau d'autobus de la STM, soit 58%¹². Cela représente plus de dix fois l'achalandage du réseau de train de banlieue. Certaines lignes d'autobus sont particulièrement utilisées, d'un niveau similaire à celui de la ligne de train de banlieue Deux-Montagnes. Ainsi, entre 27 000 et 34 000 usagers quotidiens sont décomptés sur chacune des cinq lignes les plus achalandées de la STM¹³. Ces cinq lignes cumulent donc environ 150 000 clients journaliers, ce qui représente presque le double celui du réseau de train de banlieue.

Inauguré en 1966, le réseau initial de métro de la région de Montréal comporte 26 stations réparties sur trois lignes : les lignes jaune, orange et verte. Entre 1976 et 1988, le réseau subit plusieurs extensions successives, prolongeant les lignes orange et verte et ajoutant une autre, la bleue, pour un total de 39 stations supplémentaires. En 2007, un nouveau prolongement de la ligne orange ajoute trois nouvelles stations. De nos jours, le réseau dispose de quatre lignes, cumulant 71 kilomètres d'infrastructures et 68 stations en exploitation commerciale. Exploité en site propre intégral à une fréquence élevée, le métro est le seul TCSP de la région de Montréal. Construit uniquement en souterrain et sans intersection à niveau, le réseau est entièrement dédié à l'exploitation de services pour les passagers du métro¹⁴. En outre, ce mode offre un intervalle de passage variant de trois à onze minutes et une amplitude de fonctionnement d'environ 19 heures par jour¹⁵. Son offre est ainsi significativement attractive pour les utilisateurs du transport collectif de la région de Montréal. En effet, environ un million de passagers fréquentent quotidiennement le réseau de métro, ce qui correspond à environ 71% des usagers du transport en commun sur l'île de Montréal¹⁶. La fréquentation des quatre lignes de métro équivaut donc à presque sept fois celui des cinq lignes d'autobus les plus achalandées de la STM et presque treize fois celui des six lignes de train de banlieue.

12 STM (2014), p.9.

13 STM (2014), p.16.

14 Hanna (1993), pp.59-69 ; Clairoux (2001).

15 STM (2014), *Infos pratiques, Nos réseaux, Métro*. Récupéré de < <http://www.stm.info/fr/infos/reseaux/metro> > le 18 avril 2014.

16 Il est à noter que 28% des passagers de la STM utilisent à la fois un service de métro et un service d'autobus. STM (2014), p.9.

Si les 4 lignes de métro sont les seules lignes de TCSP actuellement en service dans la région de Montréal, plusieurs projets sont néanmoins en planification. Ainsi, concernant le métro, bien qu'aucune nouvelle ligne ne soit envisagée, des prolongations sont mentionnées, toujours en souterrain, de la ligne bleue du réseau de métro à Montréal, de la ligne jaune à Longueuil et de la ligne orange à Montréal et Laval¹⁷. Environ 80 000 passagers par jour sont attendus sur la ligne bleue, une fois l'extension complétée¹⁸. Pour les SLR, il a été question de la création d'un réseau de tramway à Montréal, en site propre partiel, avec une première ligne entre le centre-ville et le quartier Côte-des-Neiges¹⁹. Cette dernière avoisinerait les 68 000 usagers quotidiens²⁰. Deux autres lignes de SLR, en site propre intégral et à conduite automatique, ont aussi été projetées entre, d'une part, le centre-ville de Montréal et la Rive-Sud²¹, en remplacement de la voie réservée pour autobus sur le pont Champlain, et, d'autre part, entre le centre-ville de Montréal et l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau²². Ces deux projets ont évolué pour former un réseau reliant la Rive-Nord à la Rive-Sud *via* Laval et Montréal, dont le centre-ville, l'Ouest-de-l'île et l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau. Ce nouveau projet intègre, entre autres, la ligne de train de banlieue de Deux-Montagnes et accueillerait en totalité 150 000 usagers par jour²³. Quant aux SRB, il est proposé l'implantation de plusieurs lignes à Montréal, à Laval et à Longueuil, dont une sur le boulevard Pie-IX reliant Montréal et Laval qui accueillerait à terme 70 000 passagers quotidiens²⁴. Ce ne sont toutefois pas les seuls projets en transport en commun, puisqu'il est aussi prévu, entre autres, l'amélioration des services aux voyageurs comme l'implantation de systèmes d'information en temps réel, des prolongements et améliorations de service pour le réseau de train de banlieue, l'établissement de voies temporairement réservées pour bus et le remplacement des matériels roulants de type métro, bus et train de ban-

17 Ville de Montréal (2008), pp.72-75 ; AMT (2011), pp.90-93 ; CMM (2011), pp.31-35.

18 AMT (2016), *Projets, nouvelles et événements, Projets, Prolongement du métro*. Récupéré de < <https://www.amt.qc.ca/fr/actualites/projets/prolongement-metro> > le 15 avril 2016.

19 Ville de Montréal (2008), pp.77-80 ; CMM (2011), pp.44-46.

20 CMM (2012), p.28 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.4.

21 Ville de Montréal (2008), p.92 ; AMT (2011), pp.90-93 ; CMM (2011), pp.43-44.

22 Ville de Montréal (2008), p.91 ; CMM (2011), pp.31-35.

23 Corriveau, J. (2016, 23 avril), *Un train électrique de 5,5 milliards*. Le Devoir (Montréal), Politique. Récupéré de < <http://www.ledevoir.com/politique/montreal/468947/transport-collectif-dans-la-region-de-montreal-projet-de-5-5-milliards> > le 24 avril 2016.

24 Ville de Montréal (2008), pp.80-82 ; AMT (2011), pp.90-93 ; CMM (2011), p.48.

lieue²⁵. Cependant, beaucoup de ces projets sont encore au stade de la conception²⁶ et aucune construction de nouvelle ligne de TCSP n'a été amorcée. Il est toutefois possible de noter que ces projets de TCSP déplaceraient, chacun, un nombre important d'usagers en comparaison aux lignes de train de banlieue et d'autobus actuellement les plus achalandées de la région de Montréal.

1.1.2 Les facteurs appuyant le développement des TCSP

Chaque jour, les habitants de la région de Montréal effectuent 63% de leurs déplacements en automobile. Les transports collectifs représentent moins de 19% des trajets quotidiens, bien que ces modes soient utilisés pour 66% des déplacements en période de pointe du matin à destination du centre-ville de Montréal. Les individus ayant recours aux transports actifs (principalement la marche et le cyclisme) ou à d'autres modes de transports motorisés (autobus scolaire, taxi, motocyclette) sont respectivement 13% et 5% de l'ensemble²⁷. La voiture est donc le mode de transport majoritaire dans la région. Or, sachant que le transport est pour les ménages montréalais un secteur de dépenses important, il est, tous coûts pris en compte, deux à trois fois plus dispendieux pour un individu de se déplacer en automobile qu'en transport collectif. Si elles étaient réinjectées dans leurs dépenses personnelles au lieu de leurs dépenses automobiles, les économies que les individus dégageraient en empruntant les transports en commun auraient plus de retombées sur l'économie québécoise²⁸. Comme les TCSP sont des modes attractifs pour les individus, ils permettraient plus que d'autres modes de transport en commun ces effets économiques bénéfiques. En outre, toute dépense en transport collectif a un impact deux fois et demi à trois fois supérieur en emploi et en valeur ajoutée au Québec qu'une dépense en transport automobile. La province est en effet un important producteur et exportateur d'électricité et d'équipements de transport collectif alors qu'elle doit importer le pétrole et les automobiles que ses habitants consomment. Ainsi, le développement d'une politique industrielle tournée vers le développement des services de transport en commun, comme les TCSP électriques, permettrait de générer de nombreux emplois québécois en deux temps,

25 Ville de Montréal (2008) ; AMT (2011) ; CMM (2011).

26 Ville de Montréal (2013), pp.39-42.

27 Ces parts modales sont issues de l'enquête Origine-Destination 2008. CMM (2012), p.131 et p.134.

28 CCMM (2010a), pp.26-27 ; Schepper (2016), pp.5-7.

lors de la production de l'énergie et des équipements de transport et, au quotidien, pour l'exploitation des services et l'entretien du réseau²⁹.

Par ailleurs, les transports collectifs participent à l'attractivité économique en facilitant les déplacements car ils augmentent la zone de chalandise des entreprises et le bassin d'emplois des travailleurs. Cet effet bénéfique est d'autant plus importants avec des TCSP puisque, avec une fréquence importante, ils intensifient l'offre de déplacement. Les transports collectifs permettent aussi de fluidifier le réseau routier montréalais, dont les coûts de congestion en proportion du produit intérieur brut régional sont parmi les plus élevés d'Amérique du Nord. Ces derniers sont en constante progression et ont été estimés à 1,4 milliards de dollars³⁰. Par ailleurs, les transports collectifs produisent au moins un tiers d'émissions de gaz à effet de serre en moins, presque quatre fois moins d'émissions polluantes, utilisent six fois moins d'espace et génèrent moins d'accidents, et dix fois moins de coûts qui y sont reliés, que les automobiles circulant dans la région de Montréal³¹. Enfin, tout comme la construction de nouvelles routes, le développement de nouveaux axes de transport collectif stimule le développement immobilier et a un impact valorisant sur les propriétés montréalaises, et particulièrement à proximité des points d'arrêts des TCSP³². « Le développement du transport en commun génère [donc] des externalités économiques positives, lesquelles contribuent significativement à la création de richesse et à la productivité »³³ au Québec comme dans la région de Montréal. Ils permettent aussi de réduire significativement les effets néfastes du transport sur l'environnement, les individus et la société, dont les coûts sont parfois difficiles à évaluer comme dans le domaine de la santé³⁴, sans toutefois grever la capacité des individus à se déplacer.

Ce sont pour ces raisons que les différentes administrations de la région montréalaise, en premier lieu la Ville de Montréal, la *Communauté Métropolitaine de Montréal* (CMM, institution regroupant les municipalités de la région) et le gouvernement provincial, se basent sur le développement du réseau de transport collectif pour réduire

29 CCMM (2010a), pp.23-24 ; Séguin *in* Delorme (2012), pp.13-24 ; Schepper (2016), pp.5-7.

30 Estimation pour 2003. CMM (2012), p.138.

31 CCMM (2010a), pp 28-31 et pp.37-40 ; Schepper (2016), pp.4-5.

32 CCMM (2010a), pp.32-35.

33 CCMM (2010a), p.25.

34 Schepper (2016), p.10.

les impacts négatifs de l'automobile et pour assurer les besoins grandissants en déplacement de la population, elle-même en croissance³⁵. Les projets de TCSP ont donc été produits afin de proposer une nouvelle offre aux individus, mais aussi pour répondre à la demande actuellement en hausse. Cette dernière se traduit à Montréal par « une pression grandissante sur l'utilisation des réseaux de transport en commun. Les modes lourds (métro, trains) sont particulièrement fréquentés, ce qui génère une saturation des véhicules (nombre maximum de places) et de plusieurs portions du réseau (fréquence maximale de passage) »³⁶. Cette pression sur les transports collectifs est d'ailleurs encline à se pérenniser si, comme le souhaite le *Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement* (PMAD) de la CMM, l'urbanisation et la croissance de la population sont canalisées à l'avenir aux abords des stations de trains de banlieue ou de TCSP actuels et projetés³⁷.

1.1.3 Les facteurs freinant le développement des TCSP

Dans la région de Montréal, la planification du transport en commun est effectuée par différents organismes, aux premiers desquels se trouvent l'*Agence métropolitaine de transport* (AMT), qui relèvent directement du gouvernement provincial et qui est légalement responsable de la planification des TCSP³⁸, et le *Ministère des Transports du Québec* (MTQ), qui finance les projets. Ensuite viennent les municipalités, comme la Ville de Montréal et bientôt celles de Laval et Longueuil, qui, par l'adoption d'un plan de transport, organisent la mobilité de leurs citoyens et des marchandises à une dimension plus locale. De plus, les seize³⁹ différentes *autorités organisatrices de transport* (AOT), que sont la STM, la Société de transport de Laval, le Réseau de transport de Longueuil, les conseils intermunicipaux de transports ou d'autres organismes en couronne ainsi que l'AMT, élaborent leur propre plan stratégique ou plan d'affaire sur leur territoire respectif⁴⁰. Enfin, la CMM a la responsabilité de définir le réseau métropoli-

35 CCMM (2010a), pp.15-17 ; CCMM (2010b), p.63 ; CMM (2012), p.130.

36 CMM (2012), p.135.

37 CMM (2012), pp.80-93 et pp.148-153.

38 L'AMT n'est légalement responsable que des projets de TCSP guidé seulement, ce qui peut ne pas inclure le SRB non-guidé, sauf si le projet est considéré comme métropolitain, c'est-à-dire situé sur le territoire d'au moins deux AOT. *Loi sur l'Agence métropolitaine de transport* (1995), art.27 et art.47.

39 CCMM (2010a), p.19 ; Meloche (2012), pp.10-11.

40 CMM (2011), pp.9-13.

tain et d'approuver les plans de l'AMT et des AOT⁴¹. La compétence de planification est donc diluée entre de multiples instances qui s'imbriquent selon leur secteur spatial et leur pouvoir défini par la province. Ce « morcellement [...] nuit à l'émergence d'une vision intégrée et cohérente de l'aménagement du territoire et du développement des transports dans la région », comme la construction de nouvelles lignes de TCSP⁴². Ainsi, des tensions existent entre les différentes administrations métropolitaines et locales, dépendamment de leurs intérêts, au sujet du développement du réseau. Elles se font sentir sur le choix des modes de TCSP, de l'ordre de construction des lignes et des territoires à desservir. Cette conjoncture aboutit à une complexité du processus de décision, qui ralentit ou annihile la réalisation des projets en transport⁴³. Parce qu'il a l'autorité législative d'organiser le système de planification régional, cette situation est imputable au gouvernement québécois. Toutefois, la dilution de la compétence de planification tendrait à être résolue par le projet de loi 76. En effet, ce dernier diminuerait le nombre d'AOT, passant de seize à quatre, et instaurerait que seule la nouvelle *Autorité régionale de transport métropolitain* (ARTM) aurait la compétence de planification dans la région de Montréal, en se substituant à l'AMT⁴⁴. Néanmoins, ce projet de loi n'est pas encore approuvé, ces effets escomptés ne sont pas empiriquement démontrés et l'immiscement récent de la Caisse de dépôt et placement du Québec dans le développement de SLR dans la région⁴⁵ laisse penser que la compétence de planification, malgré la loi, ne sera factuellement pas qu'exclusive à l'ARTM.

Quel qu'il soit, ce morcellement de la planification nuit aussi au financement du réseau de transport collectif, à cause de l'empilement de projets distincts et de l'incapacité d'établir des priorités communes. L'ensemble des projets prévus par les diverses administrations se chiffrent en effet à presque 23 milliards de dollars pour les 20 prochaines années, la première moitié allant aux investissements destinés au maintien des actifs et la seconde à la construction d'une nouvelle offre destinée à répondre à l'augmentation

41 CCMM (2010b), p.64.

42 Rapport du Vérificateur Général du Québec à l'Assemblée nationale in CCMM (2010b), p.64.

43 CCMM (2010b), pp.64-66.

44 *Loi modifiant l'organisation et la gouvernance du transport collectif dans la région métropolitaine de Montréal* (2015).

45 *Loi visant à permettre la réalisation d'infrastructures par la Caisse de dépôt et placement du Québec* (2015).

actuelle et anticipée de la demande⁴⁶. Ainsi, par exemple, le prolongement de la ligne bleue du métro coûterait aux dernières nouvelles 2,9 milliards de dollars⁴⁷, la première ligne de tramway de la Ville de Montréal reviendrait à 1,023 milliards de dollars⁴⁸, le réseau de SLR reliant la Rive-Nord à la Rive-Sud nécessiterait 2,5 milliards de fonds publics⁴⁹ tandis que la construction du SRB sur le boulevard Pie IX est évalué à 416,5 millions de dollars⁵⁰. Or, « En termes de financement, l'enjeu se résume de la manière suivante : les besoins financiers nécessaires [aux] réseaux de transport dépassent les ressources financières des instances publiques »⁵¹. En outre, la méthode de subventionnement des coûts et la non-prise en compte des coûts globaux sur le cycle de vie des équipements participent aussi à la problématique du financement. Les subventions gouvernementales, plus conséquentes pour le développement que pour l'exploitation, incitent effectivement « un usage extensif du réseau plutôt qu'intensif, ce qui augmente de façon considérable les coûts d'opération et d'amortissement des équipements »⁵². De plus, « un autre effet pervers des subventions gouvernementales est d'encourager le développement de réseaux lourds en infrastructures plutôt que de réseaux légers »⁵³. En effet, les projets de TCSP sont subventionnés à hauteur de 100% par la province alors que les autres modes plus légers, mais moins attractifs pour les individus, ont 50% à 75% de leurs coûts subventionnés et sont donc en partie aussi financés par les municipalités et les AOT⁵⁴.

Le développement du réseau de transports collectifs, pour bénéficier de subventions gouvernementales, tendrait donc à prendre une forme plus dispendieuse que nécessaire. Dans le contexte de manque de ressources financières destinées aux transports

46 CMM (2011), p.53.

47 Lessard, D. (2016, 5 février), *Prolongement de la ligne bleue: deux fois plus cher que prévu*. La Presse (Montréal), Actualités. Récupéré de < <http://www.lapresse.ca/actualites/montreal/201602/05/01-4947482-prolongement-de-la-ligne-bleue-du-metro-deux-fois-plus-cher-que-prevu.php> > le 24 avril 2016.

48 CCMM (2012), p.31.

49 Corriveau, J. (2016, 23 avril), *Un train électrique de 5,5 milliards*. Le Devoir (Montréal), Politique. Récupéré de < <http://www.ledevoir.com/politique/montreal/468947/transport-collectif-dans-la-region-de-montreal-projet-de-5-5-milliards> > le 24 avril 2016.

50 Bisson, B. (2014, 26 avril), *Service rapide de bus sur Pie IX: une facture de 416,5 millions*. La Presse (Montréal), Actualités. Récupéré de < <http://www.lapresse.ca/actualites/montreal/201404/25/01-4761061-service-rapide-de-bus-sur-pie-ix-une-facture-de-4165-millions.php> > le 24 avril 2016.

51 CMM (2012), p.157.

52 Meloche (2012), p.77.

53 Meloche (2012), p.77.

54 Gouvernement du Québec (2008), pp.8-9.

collectifs, cette supposition limite d'autant plus la capacité des administrations, et en premier lieu la province, à assumer la réalisation de la totalité des projets de TCSP programmés dans la région. Pire, cette situation peut aggraver la concurrence entre projets en rapport à leur priorité de réalisation, signifiant que, par manque de financement, les projets mettraient plus de temps à se réaliser et qu'un projet moins prioritaire ne serait pas réalisé avant longtemps. Ce contexte peut alors aussi exacerber la concurrence entre territoire en rapport à leur desserte par un TCSP. De plus, des lacunes dans le processus de conception d'un projet peuvent entraîner une gestion catastrophique des coûts lors de la phase de réalisation, entraînant des doutes *a posteriori* sur la pertinence économique de l'investissement. Le Train de l'Est de l'AMT est un exemple : d'un projet prévu à 390 millions de dollars au début de sa conception, il a été estimé à 551 millions avant le début des travaux. Pendant les travaux, sa facture a grimpé à 671 millions de dollars, soit respectivement 72% puis 22% plus cher que pensé lors de chaque estimation précédente⁵⁵. À ce montant doivent être ajoutés d'autres opérations, comme la réalisation de la jonction de l'Est au coût de 60 millions⁵⁶. Il est attendu 11 000 déplacements par jour sur cette ligne⁵⁷, soit plus de 80 fois moins que sur les 4 lignes du réseau de métro ou plus de 3 fois moins que sur une des lignes de bus les plus achalandées de la STM. Les bénéfices de cet investissement peuvent donc être vus comme mineurs. D'une manière similaire, les estimations du coût de construction du prolongement de la ligne bleue de métro de la station Saint-Michel à Anjou ont quasiment triplées en huit ans, puisque ce projet devait initialement revenir à 945 millions⁵⁸. L'achalandage journalier sur cette ligne serait 14% plus élevé que la première ligne de tramway de la Ville de Montréal ou que la ligne de SRB sur le boulevard Pie-IX⁵⁹. Néanmoins, les coûts entre ces projets varient respectivement du simple au triple, à l'avantage du projet de tramway, ou du simple au sextuple, au bénéfice du SRB. On peut alors se demander s'il existe « des moyens d'atteindre les objectifs de transport sur les territoires desservis à moindre coût »⁶⁰. En conséquence, « avant de chercher de

55 AMT (2014), *Projets, Grands projets en cours, Train de l'Est, Échéancier et budget*. Récupéré de < <http://www.amt.qc.ca/tde/budget/> > le 22 avril 2014.

56 AMT (2014b), p.73.

57 AMT (2014), *Projets, Grands projets en cours, Train de l'Est, Historique en bref*. Récupéré de < <http://www.amt.qc.ca/tde/historique/> > le 22 avril 2014.

58 Ville de Montréal (2008), p.97.

59 Confer la partie 2.1.1 de la présente recherche.

60 Meloche (2012), p.77.

nouvelles formes de financement, il faut d'abord s'interroger sur les mesures à mettre en place pour contrôler les coûts »⁶¹ et pour s'assurer que les sommes dépensées aient le plus d'impacts positifs possibles sur la mobilité des individus, et par conséquent sur l'urbanisation, la santé, l'environnement et l'économie de la région de Montréal.

1.2 Le projet de tramway de la Ville de Montréal

Les quatre lignes de métro, seuls TCSP actuellement en service dans la région de Montréal, proposent une offre très attractive pour les usagers du transport collectif au regard de leur fréquentation. Plusieurs projets de TCSP sont envisagés dans la région de Montréal mais, malgré leur estimation d'achalandage relativement importante et les effets bénéfiques qu'ils pourraient apporter à la province et au Québec, leur réalisation reste incertaine. En effet, l'augmentation du prix des projets et le manque de financement peut retarder leur réalisation et, corollairement, aggraver les problèmes de gouvernance en planification du transport en commun. Le projet de tramway de la Ville de Montréal est à ce sujet un exemple. Au fur et à mesure de sa conception, sa faisabilité a été démontrée et des gains d'achalandage ont été anticipés sur cette ligne de transport collectif électrique. Cependant, ses coûts d'investissement et d'exploitation ont augmenté et sa réalisation est passée de prioritaire à *de facto* abandonnée. Cette situation peut porter intérêt à effectuer une recherche sur une possible diminution des enjeux financiers de ce projet.

1.2.1 L'évolution du projet de tramway

Le projet de tramway de la Ville de Montréal est officialisé pour la première fois en 2008 dans un document de planification, le Plan de transport de la Ville de Montréal. Au sein d'une série de 21 chantiers ayant pour but d'améliorer le réseau de transport en commun, le projet de tramway est ordonné premier, devant les autres projets de TCSP que sont le SLR entre le centre-ville et l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau (deuxième), la prolongation de la ligne bleue du métro vers l'est (quatrième), le SLR entre le centre-ville et la Rive-Sud (septième) et le SRB sur le boulevard Pie-IX (huitième)⁶².

61 Meloche (2012), p.78.

62 Ville de Montréal (2008), pp.17-18.

Le projet de tramway prend la forme d'un *réseau initial* d'une vingtaine de kilomètres, composé de trois lignes qui desservent le centre de l'île de Montréal, dont le coût d'investissement est estimé à 985 millions de dollars. La *première ligne* dessine une boucle entre le centre-ville et le Vieux-Montréal, en passant notamment par le Quartier latin et Griffintown. La réalisation de cette première ligne est prévue dans un horizon de zéro à cinq ans pour un coût d'investissement de 260 millions de dollars et un coût annuel de fonctionnement de 13 millions de dollars. Les deux autres lignes forment deux antennes qui se connectent sur la boucle : une sur l'avenue Du Parc et une autre sur le chemin de la Côte-des-Neiges. La construction de ces deux lignes est envisagée dans un horizon de cinq à dix ans pour, respectivement, un coût d'investissement de 475 et 250 millions de dollars et un coût annuel de fonctionnement de 13,4 et 11,6 millions de dollars. Le Plan prévoit enfin des extensions à ce réseau initial pour des phases ultérieures mais sans donner d'échéancier et sans évaluer les coûts⁶³.

Dès suite de l'adoption du Plan de transport, la Ville de Montréal entame les démarches de réalisation du projet et mandate en octobre 2008 une firme de génie-conseil pour la phase de conception et d'évaluation⁶⁴. Le projet de tramway fait alors l'objet d'*étude de préféabilité* nommée *Phase 1, Analyse du réseau initial de tramways*, réalisée par le Consortium Génivar-Systra et finalisée en 2009. Cette étude présente un réseau initial de 21,9 kilomètres dont la fréquentation est estimée à environ 97 000 passagers quotidiens en basse saison, 111 000 en haute saison, et dont les coûts d'investissement sont déterminés à environ 1,248 milliards de dollars⁶⁵. Elle précise le tracé de chacune des lignes, de terminus à terminus, et évaluent leur achalandage. Ainsi, la boucle entre le centre-ville et le Vieux-Montréal emprunte sur 6,6 kilomètres les rues Sainte-Catherine, Berri, De la Commune et Peel. Le coût d'investissement de cette ligne est évalué à environ 376 millions de dollars. Desservant des secteurs touristiques, la fréquentation varie significativement entre la haute et la basse saison, passant respectivement d'environ 15 000 utilisateurs par jour à 29 000. Les deux antennes ont toutefois un achalandage plus stable tout au long de l'année. L'antenne sur l'avenue Du Parc

63 Ville de Montréal (2008), pp.-77-80 et p.97.

64 Consortium Génivar-Systra (2009), Vol.A, p.1.

65 Les coûts d'exploitation ne sont pas estimés dans l'étude de préféabilité. Les références sont les mêmes pour les informations de tracé, coût et achalandage citées dans la suite de ce paragraphe. Consortium Génivar-Systra (2009), Vol.A, p.3, Vol.B1, p.7 et Vol.C3-2, p.18.

début son trajet de 6,9 kilomètres à la station de métro Parc et le termine aux intersections de la rue Guy et du boulevard René-Lévesque, après avoir circulé sur ce dernier boulevard, la rue Bleury et l'avenue Du Parc. Le coût d'investissement de cette ligne est envisagé à environ 393 millions de dollars. Sa fréquentation est estimée à environ 31 000 passagers journaliers. L'antenne sur le chemin de la Côte-des-Neiges, quant à elle, commence son itinéraire de 8,4 kilomètres au croisement du chemin de la Côte-des-Neiges et de la rue Jean-Talon et le finit au coin de la rue Berri et du boulevard René-Lévesque, après avoir sillonné ce dernier boulevard, la rue Guy et le chemin de la Côte-des-Neiges. Le coût d'investissement de cette ligne est jaugé à environ 479 millions de dollars. Son achalandage est évalué à environ 51 000 usagers quotidiens. De ce fait, l'antenne sur le chemin de la Côte-des-Neiges est significativement plus fréquentée en comparaison à celle sur l'avenue Du Parc, elle-même beaucoup plus achalandé que la boucle entre le centre-ville et le Vieux-Montréal durant la majeure partie de l'année⁶⁶. Enfin, l'étude de préfaisabilité du réseau initial ne prévoit pas de date de mise en service mais propose la réalisation du réseau en trois phases. « Bien que [la boucle] présente un achalandage intéressant [...], sa fréquentation ne permet pas de justifier les investissements de base nécessaires à la mise en oeuvre d'un tramway [...] »⁶⁷. Ainsi, il est suggéré une modification de la première ligne, telle qu'identifiée dans le Plan de transport, correspondant à l'adjonction de l'antenne Côte-des-Neiges à la boucle, à laquelle il est retranché la section sur la rue Sainte-Catherine⁶⁸. Cette dernière serait réalisée en deuxième phase, amenant à la création d'un réseau de deux lignes indépendantes. En troisième phase, la ligne sur l'avenue Du Parc, ou sur tout autre corridor stratégique de transport, serait construite⁶⁹.

Dans la continuité de l'étude de préfaisabilité, le projet de tramway fait l'objet d'*étude de faisabilité* nommée *Phase 2, Étude de faisabilité de la première ligne*, réalisée par le Consortium Génivar-Systra et finalisée en 2011. Cette étude approfondit celle de préfaisabilité et se concentre sur la première ligne. Longue de 13,2 kilomètres, cette dernière comporte 32 stations. Son tracé débute, au nord, à l'intersection des rues De

66 La haute saison correspond à la saison estivale d'environ trois mois. Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-2, p.18.

67 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-3, p.3.

68 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-3.

69 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.A, pp.12-16 et Vol.C3-3.



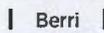
Carte 1. Le projet de première ligne de tramway de la Ville de Montréal en 2011 d'après l'étude de faisabilité



Ligne de tramway, station avec autour deux cercles d'un rayon de 250 et 800 mètres



Tracé spécifique à la variante en tunnel, entrée de l'ouvrage d'ingénierie, station souterraine



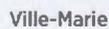
Délimitation des sections empruntées par la ligne de tramway



Axe de communication



Topographie ou hydrographie



Arrondissement de la ville de Montréal ou ville défusionnée

Fond de carte : Google Earth.

la Savane et Jean-Talon et prend fin, au sud, à l'intersection de la rue Peel et du boulevard René-Lévesque. La ligne prend la forme d'un lasso en empruntant successivement la rue Jean-Talon, le chemin de la Côte-des-Neiges, l'avenue du Docteur-Penfield puis le chemin de la Côte-des-Neiges à nouveau, la rue Guy, le boulevard René-Lévesque, et les rues Berri, De la Commune et Peel⁷⁰. L'achalandage journalier de cette première ligne est chiffré à plus de 68 000 passagers⁷¹. En outre, le coût d'exploitation annuel est, quant à lui, estimé à 19,2 millions de dollars⁷². Le coût d'investissement de ce projet de tramway est évalué entre environ 849 et 951 millions de dollars. La différence provient d'une alternative de tracé : une variante comporte la construction d'un ouvrage d'ingénierie souterrain nécessitant un surcoût⁷³. Par ailleurs, Les travaux de construction doivent être achevés pour le 375^{ème} anniversaire de la Ville de Montréal, c'est-à-dire en 2017. Toutefois, l'étude de faisabilité ayant démarré plus tardivement que prévu, un retard est d'ores et déjà expecté⁷⁴.

En définitive, le projet de tramway de la Ville de Montréal a fait l'objet de quatre études réalisées entre 2008 et 2012. Il s'agit de l'étude de pré-faisabilité, de l'étude de faisabilité, du *Rapport au maire de Montréal : Groupe de réflexion sur le financement du tramway* daté de 2012 et préparé par la Chambre de Commerce du Montréal Métropolitain (CCMM) et des *études socio-économiques* réalisées en 2011 par le regroupement PricewaterhouseCoopers (PwC) — les conseillers ADEC — Groupe IBI/DAA — Fasken Martineau, qui « viennent qualifier et quantifier la faisabilité de la première ligne »⁷⁵. Au passage, il est à noter que le rapport de la CCMM revoit, un an après l'étude de faisabilité, le coût d'investissement de la première ligne à 1,023 milliards de dollars pour la variante sans ouvrage d'ingénierie souterrain⁷⁶. Sur ces quatre études, les trois premières ont été rendues publiques⁷⁷ et seules les deux premières participent

70 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, Figure 1.

71 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.4.

72 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.19.

73 Le surcoût est donc de 102 millions de dollars. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, pp.11-13.

74 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B2, p.i et pp.3-6.

75 CCMM (2012), p.32.

76 Le montant des ouvrages d'ingénierie n'est estimé qu'à 21 millions de dollars. Le tunnel y est donc logiquement absent. CCMM (2012), pp.31-32.

77 Une majorité des volumes de l'étude de pré-faisabilité (Vol.A, B1, C1, C2, C3-1, C3-2, C3-3 et F1) et de l'étude de faisabilité (Vol.A, B1, B2, B5-1, B5-2, B6, C3-1, C4, C5-2, D1, D3, F1, Y3 et Y4) ont été un moment disponibles au téléchargement sur le site internet de la Ville de Montréal, entre les années 2011 et 2013 environ. Le rapport de la CCMM est toujours disponible.



Image 1. La première ligne de tramway projetée sur le boulevard René-Lévesque dans le centre-ville de Montréal



Image 2. La première ligne de tramway projetée sur la rue De la Commune dans la cité du Multimédia



Image 3. La première ligne de tramway projetée sur la rue Berri dans le faubourg Québec

à la conception urbanistique du projet, c'est-à-dire à la détermination des caractéristiques physiques (tracé, véhicules, stations et autres) de la future ligne de tramway.

1.2.2 La problématique du projet de tramway

Le projet de tramway de la Ville de Montréal est décrit comme un projet attractif. La première ligne aurait en effet été dotée d'une disponibilité équivalente à celle du métro, avec une fréquence de quatre minutes en période de pointe et des services offerts de 5h30 à 1h20 tous les jours, soit une amplitude de 20 heures et 30 minutes. Son site propre aurait permis une vitesse commerciale estimée à 18,1 kilomètres par heure, 30% à 40% plus rapide que les lignes d'autobus en site banal empruntant actuellement le tracé du projet⁷⁸. Ainsi, « le tramway répond bien aux orientations que Montréal veut donner au Plan de transport en raison de sa capacité de renforcer la structure urbaine et de revitaliser des artères et des quartiers. [...] Ce type de service est particulièrement adapté aux secteurs urbains où l'on retrouve une densité et une diversité d'activités générant une demande de déplacements de courte ou longue distance, durant toute la journée et dans les deux directions »⁷⁹. D'ailleurs, « à terme, la fréquentation de la [première] ligne est estimée à [environ 68 000] déplacements par jour. À titre de comparaison, les lignes de bus desservant l'axe du chemin de la Côte-des-Neiges [et de la boucle entre le centre-ville et le Vieux-Montréal] effectuent quotidiennement près de 40 000 déplacements », ce qui signifie que le gain d'achalandage attendu serait d'à peu près 70%, or « une première ligne de tramway se justifie à partir d'un achalandage de 30 000 à 40 000 déplacements par jour »⁸⁰. De plus, le projet de tramway répond aux « différents objectifs et orientations des différents plans stratégiques, municipaux et provinciaux », comme le *Plan d'urbanisme* (2004) et dans le *Plan stratégique de développement durable* (2005) de la Ville de Montréal, la *Politique québécoise en transport en commun* (2006) du Gouvernement du Québec ainsi que le *Plan stratégique* d'Hydro-Québec (2009)⁸¹. Pourtant, de nos jours, aucun tramway ne circule à Montréal et aucune ligne n'est prévue dans un avenir immédiat⁸².

78 Ces lignes ont une vitesse commerciale se situant entre 13 et 14 kilomètres par heure. Consortium Genivar-Systra (2009) Vol.C1, p.11 ; Consortium Genivar-Systra (2011) Vol.A, pp.6-7.

79 Ville de Montréal (2008), p.77.

80 CMM (2012), p.28.

81 Blanchet, M. *in* Delorme (2012), p.95.

82 Ville de Montréal (2013), p.39

Le projet de tramway aurait été victime d'aléas politiques et du morcellement de la planification du transport collectif entre plusieurs organismes aux visions divergentes. En effet, si Gérald Tremblay, maire de Montréal de 2001 à 2012, déclarait lors de l'adoption du Plan de transport que le tramway était « une priorité pour [son] administration »⁸³, il change d'avis trois ans plus tard, « ne [pouvant] pas convaincre les gens que le tramway, c'est plus important qu'un système de bus rapide sur Pie-IX ; ou que le tramway, c'est plus important pour prolonger, par exemple, la ligne bleue du métro [sic] »⁸⁴. Le projet est néanmoins repris par le *Plan métropolitain d'aménagement et de développement* (PMAD, 2012) de la CMM, en perdant toutefois de sa préséance au profit des projets de prolongement du métro, de SLR ou de SRB⁸⁵. La STM le recense toujours dans son *Plan stratégique 2020* (2012), mais à la 18^e place sur 20 dans l'ordre des investissements à réaliser⁸⁶. Pourtant, au contraire de ces instances, l'AMT ne le mentionne pas dans son plan stratégique *Vision 2020* (2011) alors qu'elle est légalement responsable de la planification des TCSP⁸⁷. De surcroît, le Gouvernement du Québec, qui finance l'intégralité des coûts d'investissement des TCSP, ne le soumet ni dans la liste des projets de transports électriques dans sa *Stratégie d'électrification des transports 2013-2017* (2013)⁸⁸ ni dans le *Plan québécois des infrastructures 2013-2023* (2013)⁸⁹. Depuis, Denis Coderre, élu maire de Montréal à la fin 2013, s'est prononcé contre le projet de tramway mis en place par l'administration précédente, car « la Ville n'a pas les ressources financières pour s'engager dans de tels projets »⁹⁰.

Le projet de tramway aurait aussi été victime de la problématique du financement des transports collectifs et de la concurrence des projets pour être prioritaire à en disposer. Sans imposer de moratoire sur sa construction, le Gouvernement du Québec n'a

83 *Adoption de la version finale du plan de transport - La Ville de Montréal enclenche les premières phases en vue de l'implantation d'un réseau de tramway en centre-ville* (2008, 11 juin), Canada NewsWire. Récupéré de la base de données Eureka.

84 *Le tramway, une solution aux problèmes de congestion envisagée à Stockholm* (2011, 30 août), SRC Télévision - Le Téléjournal / Le Point. Récupéré de la base de données Eureka.

85 CMM (2012), p.136 et pp.148-153.

86 STM (2012), p.28.

87 Confer la partie 2.1.3 de cette présente recherche. AMT (2011), pp.90-93.

88 Gouvernement du Québec (2013a).

89 Gouvernement du Québec (2013b).

90 *Transport à Montréal : Denis Coderre exclut tout projet de tramway* (2013, 24 septembre). SRC Télévision. Récupéré de < <http://ici.radio-canada.ca/sujet/Elections-Montreal-2013/2013/09/24/001-plateforme-transport-coderre-schnobb-conference-autobus.shtml> > le 26 avril 2014.

prévu aucun fond pour le réseau initial jusqu'en 2025⁹¹. Les ressources monétaires actuelles sont réservées à d'autres projets, à l'instar du renouvellement des rames de métro ou de la construction du SRB sur le boulevard Pie-IX⁹², si bien que la Ville de Montréal a regardé d'autres sources possibles de financement par l'entremise du rapport de la CCMM⁹³. Celui statut d'ailleurs que « confrontée à l'insuffisance des sources de financement du cadre actuel du transport collectif et aux limites financières des instances publiques, la réalisation du projet de la première ligne de tramway de Montréal requiert l'exploration de nouvelles pistes de stratégies de financement »⁹⁴. Le rapport propose alors six recommandations de mise en oeuvre et quatre scénarios de financement⁹⁵, dont aucun n'a été empiriquement appliqué. En outre, la gestion des coûts du projet de tramway a pu porté préjudice à sa réalisation. D'une première ligne de 6,6 kilomètres aux coûts d'investissement supputés en 2008 à 260 millions de dollars (985 millions de dollars pour le réseau de 21,9 kilomètres), le projet a évolué en une première ligne de 13,2 kilomètres aux coûts d'investissement estimés en 2011 à 849 millions de dollars puis en 2012 à 1,023 milliards de dollars⁹⁶. Ainsi, la longueur de la ligne a doublé pendant que son prix affiché a quadruplé, ce qui signifie que le prix rapporté à la longueur de la ligne a doublé⁹⁷. Dans le même temps, les coûts annuels d'exploitation sont passés d'environ 13 millions de dollars à 19,2 millions de dollars, soit presque moitié plus. On peut donc supposer que le projet de tramway est un exemple des symptômes dont souffre la région de Montréal pour développer son réseau de transport en commun. Ce projet a effectivement pu être perçu comme étant trop dispendieux à construire, comparativement à d'autres modes ou à d'autres projets de transport, malgré les bénéfices qu'il aurait probablement été en mesure d'apporter, en tant que TCSP, dans la résolution des enjeux régionaux de mobilité.

91 Gouvernement du Québec (2015).

92 Normandin, P.-A. (2012, 24 mars), *Pas de financement pour les tramways, dit Bachand*. La Presse (Montréal), Actualités. Récupéré de < <http://www.lapresse.ca/actualites/201203/24/01-4508963-pas-de-financement-pour-les-tramways-dit-bachand.php> > le 26 avril 2014.

93 CCMM (2012), pp.43-62.

94 CCMM (2012), p.43.

95 CCMM (2012), pp.65-67.

96 Confer la partie 2.2.1 de la présente recherche.

97 En comparaison, entre le premier trimestre de 2008 et le dernier trimestre de 2012, l'indice des prix de la construction non-résidentielle à Montréal a augmenté d'environ 13%. Statistique Canada (2011 et 2013).

1.2.3 Les constats et l'intérêt d'une recherche sur le projet de tramway

Les principaux constats qu'il est possible d'émettre sur le projet de tramway de la Ville de Montréal sont les suivants⁹⁸ :

- Le projet de tramway de la Ville de Montréal, du moins la première ligne, peut être considéré comme faisable, comme l'atteste les études de préfaisabilité et de faisabilité. Celles-ci ont en effet analysé le projet et précisé sa conception, c'est-à-dire déterminé les caractéristiques physiques (tracé, véhicules, stations et autres) de cette ligne de tramway.
- Le projet de tramway de la Ville de Montréal peut être considéré comme attractif, dans le sens où son offre fréquente et régulière permet des gains d'achalandage qui participent à l'atteinte d'objectifs contenus dans divers documents de planification. Ceux-ci souhaitent en effet augmenter le nombre de déplacements effectués avec un mode de transport collectif et électrique, à l'instar de cette ligne de tramway.
- Le projet de tramway de la Ville de Montréal peut être considéré comme non-financé, bien qu'une recherche ait été produite à cet égard. La problématique contextuelle du financement des transports collectifs et l'emphase mise sur la réalisation d'autres projets de TCSP jugés plus prioritaires laisse penser que cette ligne de tramway ne peut pas être financée à court terme.
- Le projet de tramway de la Ville de Montréal peut être considéré comme étant devenu dispendieux au regard des coûts d'investissement et d'exploitation qui avaient été anticipés dans le Plan de transport. Ceux-ci ont en effet respectivement doublé ou augmenté de moitié entre les premières et les dernières estimations faites pour cette ligne de tramway.

Bien que les coûts d'investissement et d'exploitation du projet de tramway de la Ville de Montréal aient augmentés au fur et à mesure de sa conception, les études dispo-

98 Confer les parties 2.2.1 et 2.2.2 de cette présente recherche.

nibles⁹⁹ témoignent d'objectifs ciblant une conception du projet selon une adéquation entre ses coûts et son attractivité aux passagers. Dans l'étude de préfaisabilité, l'analyse du réseau initial se donne ainsi comme finalité de proposer un service en transport qui puisse répondre efficacement à la demande, en maximisant l'attractivité de la ligne de tramway et du réseau de transport collectif, tout en optimisant les coûts de d'investissement et d'exploitation¹⁰⁰. Cependant, si l'étude de faisabilité effectue une analyse comparative entre différents modes de transport, cette dernière reste générale. Bien qu'elle soit raisonnée par rapport au contexte montréalais, par exemple en terme d'enjeux d'achalandage, d'urbanisation ou de conditions climatiques, elle n'est pas appliquée spécifiquement au projet de tramway de la Ville de Montréal. En effet, il n'est pas possible de confronter les avantages et les inconvénients, par exemple sur des critères comme la capacité, entre un mode tramway et plusieurs solutions alternatives, comme un mode SRB, sur le même tracé. De ces différentes solutions, il aurait d'ailleurs été possible de produire et comparer divers scénarios de coûts d'investissement et d'exploitation, ce qui n'est pas effectué¹⁰¹.

En outre, le tracé choisi pourrait ne pas maximiser l'achalandage de la première ligne, et en parallèle celui de l'ensemble du réseau de transport collectif. Un autre corridor, faisant pourtant parti du réseau initial et actuellement exploité par 3 lignes de bus, accueille 64 200 voyageurs par jour¹⁰² alors que l'achalandage prévu de la première ligne est d'environ 68 000 usagers quotidiens¹⁰³, soit 6% de plus. Pourtant, le tramway est sensé permettre des gains d'achalandage importants, de l'ordre de 20 à 30%¹⁰⁴. La raison vient peut-être du fait que le projet de première ligne de tramway inclut la conversion d'une ligne de bus actuelle dont l'achalandage est pour le moins très faible, avec seulement 900 passagers en une journée¹⁰⁵. La question du tracé est cependant primordiale pour choisir un nouveau mode de transport qui soit, sur le long terme, ni sensiblement sous-capacitaire ni significativement surcapacitaire. En effet, si une part manifeste de la ligne envisagée pourrait être exploitée par un autre mode de transport

99 Confer la partie 2.2.1 de la présente recherche.

100 Consortium Genivar-Systra (2009) Vol.C1, pp.2-3.

101 Consortium Genivar-Systra (2011) Vol.Y3, pp.14-19.

102 STM (2010), p.24.

103 Consortium Genivar-Systra (2011) Vol.C3-1, p.4.

104 CERTU (2004), pp.144-152 ; Consortium Genivar-Systra (2011) Vol.Y3, p.19.

105 CCMM (2012), p.28.

déjà en service à Montréal ou un autre dont les coûts d'investissement et d'exploitation sont plus faibles, il serait difficile de pouvoir justifier la nécessité de la réalisation de l'intégralité du projet. Inversement, si la ligne prévue serait en majorité surachalandée par rapport à sa capacité, alors il serait possible de justifier des coûts d'investissement et d'exploitation plus importants dès la conception du projet.

Enfin, la construction de la première ligne montréalaise serait plus onéreuse que celle des tramways français dont le projet fait néanmoins référence. En effet, l'étude de préfaisabilité sélectionne des projets français réalisés et comparables à celui montréalais. Ceux-ci ont un coût d'investissement moyen estimé à 57 millions de dollars par kilomètre de ligne¹⁰⁶; alors que celui du projet montréalais est évalué de 62,5 millions à 76,3 millions de dollars du kilomètre, soit respectivement environ 10% à 39% de plus¹⁰⁷. Plus particulièrement, en comparaison au projet de tramway de la Ville de Besançon (Franche-Comté, France) dont il sera question ultérieurement au sein de cette recherche, le projet de tramway de la Ville de Montréal a un coût d'investissement au kilomètre 2,5 à 3,2 fois supérieurs¹⁰⁸. Cela signifie que pour un même montant d'argent, Montréal ne construirait qu'approximativement le tiers de ce que Besançon serait capable d'édifier. Si le contexte urbain entre Besançon et Montréal est différent et pourrait expliquer un écart de coût, l'importance de cet écart peut susciter l'intérêt d'étudier les possibilités d'optimisation du projet montréalais. Certaines pistes de diminution des enjeux financiers du projet de tramway de Montréal pourraient en effet être trouvées, concernant peut-être le mode de transport, possiblement le tracé par rapport à l'achalandage attendu ou éventuellement d'autres solutions.

L'intérêt d'effectuer une recherche sur le projet de tramway de la Ville de Montréal réside alors dans la conjecture de proposer un nouveau projet dont les coûts d'investisse-

106 Ce coût est estimé aux conditions économiques de janvier 2008. Consortium Genivar-Systra (2009) Vol. B1, p.5.

107 Le coût kilométrique du projet de tramway de Montréal évolue car le premier est issu de l'étude de faisabilité et le second du rapport sur le financement, qui l'évaluent respectivement aux conditions économiques de décembre 2009 et de janvier 2011. En comparaison, entre le premier trimestre de 2008 et le dernier trimestre de 2009, l'indice des prix de la construction non-résidentielle à Montréal a augmenté d'environ 7% et, entre le premier trimestre de 2008 et le premier trimestre de 2011, celui-ci a augmenté d'environ 10%. Consortium Genivar-Systra (2011) Vol.B1, p.12 ; CCMM (2012), pp.31-32 ; Statistique Canada (2011 et 2013).

108 Le coût d'investissement du projet de tramway est d'environ 346,6 millions de dollars aux conditions économiques de 2008 (1 EUR = 1,52 CAD). L'ordre de grandeur est issu du coût kilométrique du tramway de Besançon, c'est-à-dire 23,9 millions de dollars. Grand Besançon (2010) Vol.C, pp.47-48.

ment et d'exploitation seraient moins importants que ceux annoncés. Ce projet peut en effet être considéré comme une utilité publique, qui serait capable de répondre aux différents enjeux régionaux de mobilité. La région montréalaise a besoin d'un plus grand nombre de TCSP à l'instar du métro, du tramway ou du SRB¹⁰⁹, qui permettent d'améliorer l'attractivité du réseau de transport en commun et la compétitivité de l'économie québécoise. Or, le projet de tramway a été gelé par choix politiques basées sur des raisons financières. Si un rapport sur le financement de ce projet a été effectué, aucun ne vise spécifiquement un processus d'optimisation ou de diminution des coûts d'investissement et d'exploitation. On s'est donc penché à trouver de nouvelles sources de financement au lieu de s'attarder à chercher des pistes d'économies pour améliorer l'efficacité du projet¹¹⁰. La présente recherche vise donc à combler ce manque. Enfin, l'abandon ou du moins l'immobilisation empirique du projet de tramway permet d'effectuer une recherche relativement dénuée d'aléas politiques lors de sa rédaction, ce qui apporte une stabilité des éléments à étudier. Trois études ont été rendues publiques, dont l'étude de préfaisabilité du réseau initial de tramway et l'étude de faisabilité de la première ligne, ce qui autorise de manière transparente et argumentée la critique des choix effectués dans les étapes préliminaires à la réalisation de ce projet.

L'intérêt d'une recherche sur le projet de tramway de la Ville de Montréal réside donc dans la supposition suivante :

- Considérant que le projet de tramway de la Ville de Montréal est faisable et attractif mais que, d'une part, ses coûts d'investissement et d'exploitation ont respectivement doublés et augmentés de moitié alors que, d'autre part, le manque de financement et la concurrence à la réalisation entre projets de TCSP ont restreint ses chances de voir le jour, il peut être pensable que le projet ait plus de chances de se réaliser si les enjeux financiers que représentent ses coûts d'investissement et d'exploitation sont diminués.
- Cependant, il serait vain de chercher à diminuer les enjeux financiers du projet de tramway de la Ville de Montréal si cette action altère son caractère fai-

109 CCMM (2010a), p.44.

110 Meloche (2012), p.78.

sable et attractif. Ainsi, il peut être concevable que le projet ait d'autant plus de chances de se réaliser si, à la fois, ses enjeux financiers sont diminués et, à la fois, par le respect de l'ensemble de ses contraintes techniques et urbaines, son caractère faisable et attractif est conservé.

1.3 L'optimisation de projet de TCSP

Le projet de tramway de la Ville de Montréal a vu ses coûts d'investissement et d'exploitation augmenter durant sa phase de conception. Sa réalisation est passée de prioritaire à *de facto* abandonnée, n'ayant pas réussi à être financé et n'étant plus porté politiquement. Toutefois, le projet peut être considéré comme faisable, ce que démontrent les études de préfaisabilité et de faisabilité, et attractif, puisque son offre permet des gains d'achalandage qui vont dans le sens des objectifs des documents de planification de la région en fournissant, entre autres, des externalités économiques positives. Il peut alors être imaginable que le projet ait plus de possibilités de se concrétiser si ses enjeux financiers, soit ses coûts d'investissement et d'exploitation, sont diminués et son caractère faisable et attractif est conservé. L'optimisation de projet est un processus utilisé lors de la planification d'une nouvelle offre de transport afin de diminuer son prix. De nature empirique, ce processus est spécifique à chaque projet de TCSP. Trois différents projets de tramway comparables au projet montréalais ont fait l'objet d'un processus d'optimisation en phase de conception. Ces référents peuvent donner une idée des possibilités et des limites de l'optimisation de projet de TCSP permettant d'induire une définition de ce processus et de proposer une question de recherche appliquée au projet montréalais.

1.3.1 La visée de l'optimisation de projet de TCSP

« Créer une ligne de TCSP, et notamment une nouvelle ligne, constitue un investissement lourd pour les collectivités, non seulement au moment de sa mise-en-oeuvre mais également à long terme. En effet, [outre les coûts de construction,] les coûts d'exploitation et de maintenance pèsent sur les finances publiques tout au long de la vie des systèmes, c'est-à-dire sur plusieurs dizaines d'années »¹¹¹. Toutefois, la création de

111 CERTU (2011b), p.1.

lignes de TCSP permet d'amplifier la performance des transports en commun dans une région urbaine. La croissance de la demande en déplacement par des modes collectifs est alors significativement plus importante que l'augmentation de l'offre. En d'autres termes, la capacité supplémentaire issue de la mise en service d'un TCSP intensifie l'achalandage des lignes préalablement situées sur son tracé et, par connexion, la fréquentation du réseau tout entier¹¹². Dans des villes qui en ont construits, « les lignes de TCSP ont ainsi permis de redynamiser les réseaux, [justifiant] bien les investissements qui leur sont attribués. Il reste que le financement de ces lignes et des réseaux est un casse-tête difficile appelant à de nouvelles réponses dans le récent contexte de crise des finances publiques »¹¹³.

« Les objectifs [des organismes de planification des transports et] des AOT sont d'optimiser à la fois les coûts d'investissement et d'exploitation de leurs réseaux pour répondre de façon la plus durable possible aux besoins de déplacement en prenant en compte des contraintes financières de plus en plus draconiennes. Afin de maîtriser les coûts et les réseaux, l'usage élargi des outils d'évaluation *a priori* et *a posteriori* est indispensable. Ils permettent de mesurer *a priori* l'opportunité et la faisabilité de ces politiques, d'ajuster les réponses au plus près de l'évolution des besoins, de vérifier *a posteriori* l'adéquation entre les résultats obtenus et les attentes initiales, tirer des enseignements pour l'avenir »¹¹⁴. L'optimisation doit alors précéder la phase de réalisation des projets, c'est-à-dire avant que les premières dépenses d'investissement s'effectuent, mais aussi après leur concrétisation, de manière à disposer d'un retour d'expérience pour de futurs projets. Dans le cadre d'un nouveau projet, l'optimisation serait donc requise pendant le processus de conception. Les connaissances acquises par d'autres projets seraient alors prises en compte à titre de référents, leurs caractéristiques jugées comme réussites ou échecs venant aider à optimiser le nouveau projet.

Cependant, « les différents contextes urbains, les particularités de chaque système, la variété de l'offre des constructeurs et des choix locaux... ne permettent pas d'établir des grilles figées sur lesquelles pourraient s'appuyer les décideurs. Néanmoins, les

112 CERTU (2004), pp.144-156.

113 CERTU (2011b), p.7.

114 CERTU (2011b), p.8.

écarts de coûts entre les systèmes s'expliquent par des particularités liées à la fois au niveau de service, à l'insertion urbaine, au matériel, à l'innovation... dont les mécanismes sont connus »¹¹⁵. Les outils d'évaluation ne pourraient alors, par leur empirisme, être universels. Dans certains cas, ces outils permettraient d'optimiser un projet, dans certains autres cas, de part un environnement différent, ils n'en seraient pas capables. Toutefois, leur application à chaque projet serait nécessaire *a fortiori* car cela permettrait de n'oublier aucune éventualité d'amélioration d'un projet. De plus, si certaines pistes d'optimisation sont connues, elles n'ont pas la légitimité à être exhaustives. La nature unique de chaque projet autorise l'apparition fortuite de solutions d'optimisation encore inconnues, bien que les domaines d'application des outils d'évaluation sont relativement déjà cernés par les expériences passées. Ces domaines « portent à la fois sur la performance des systèmes, l'infrastructure (emprise au sol, mesures de déplacements des réseaux, profondeur et matériau de la plate-forme...), le matériel (en investissements et en maintenance), l'exploitation des infrastructures... Les choix à faire sont de fait parfois cornéliens, les priorités souvent contradictoires mais, dans tous les cas, les économies ne devraient pas être faites au détriment de l'utilisateur ni aboutir, à terme, à une mise en échec de la dynamique actuelle de développement des transports collectifs urbains »¹¹⁶.

1.3.2 L'optimisation des projets de tramway de Portland, Ottawa et Besançon

Devant la nature empirique de l'optimisation de projet de TCSP, il est intéressant d'analyser *a fortiori* plusieurs projets de tramway référents¹¹⁷ et ayant fait l'objet d'un processus d'optimisation afin d'apporter *a priori* au projet de tramway de la Ville de Montréal un retour d'expérience. Ces projets peuvent en effet nous éclairer quant aux possibilités et aux limites d'optimisation d'un TCSP. Le tramway de la Ville de Portland (Oregon, États-Unis d'Amérique) est un exemple. Il est nommé localement *Portland Streetcar* et ne doit pas être confondu avec le *MAX Light Rail* régional. Pendant

115 CERTU (2011b), p.1.

116 CERTU (2011b), p.8.

117 Les projets de tramways de Portland, Ottawa et Besançon sont comparables au projet de tramway de la Ville de Montréal par la présence à bord d'un conducteur, qui donne à ces projets la possibilité d'être conçus selon une variété de voie, allant du site propre intégral au site banal, partagé avec les piétons, cyclistes et automobilistes. Ce point commun autorise donc une démarche d'optimisation libre du critère *obligatoire* de site propre intégral, lequel est relativement onéreux à la construction mais requis pour les SLR à conduite automatique afin d'empêcher les intrusions sur la voie. CERTU (2004), pp.57-58 et pp.108-112.

la phase de conception de ce système de transport collectif, une approche d'optimisation des coûts de construction a été utilisée¹¹⁸. L'enjeu de cette *conception à bas coût* (*low-cost design*) était de produire un projet de transport en commun techniquement faisable tout en contenant l'investissement à un faible financement disponible, c'est-à-dire de *concevoir selon le budget* (*designing to budget*). Des économies ont notamment été faites en intégrant le tracé du tramway au sein du réseau artériel, dans le but d'éviter des expropriations onéreuses et de manière à ce que la réalisation du tramway modifie peu la morphologie routière. En effet, les profils des rues ont été le plus possible maintenus comme ils étaient, signifiant, entre autres, que les trottoirs et les puits de drainage sont restés les mêmes. Les stations ont été par exemple intégrées, quand la situation le permettait, à l'espace public pré-existant et aménagées, par ailleurs, avec du mobilier urbain standard. En outre, la plate-forme sur laquelle la route est asphaltée est réutilisée grâce à la conception d'une infrastructure ferroviaire peu profonde. Ainsi, peu de déviations de réseaux souterrains (conduites d'eau ou de gaz, câbles de transmission d'informations ou d'acheminement d'électricité) sont requises pour la construction. De plus, peu de déviations sont réalisées afin d'éviter l'interruption de la ligne de tramway lorsque les compagnies opérant ces réseaux souterrains ont besoin d'y accéder : un service de bus de substitution est alors mis en place temporairement. Avec moins de travaux de démolition et de reconstruction nécessaires lors de l'édification du système de transport, la Ville de Portland, instigatrice du projet de tramway, a pu ainsi diminuer les enjeux financiers de l'investissement : le coût de l'infrastructure et du matériel roulant est revenu à 10,6 millions de dollars américains par kilomètre¹¹⁹.

Les effets du tramway de Portland sur l'urbanisation peuvent être considérés comme positifs. Les promoteurs immobiliers ont construit à 90% de la densité permise par la réglementation lorsque leurs biens se situaient dans un îlot directement adjacent à la ligne et 75% avec un îlot de distance, alors que ce taux atteint 40 % au-delà¹²⁰. La valeur des investissements privés à proximité du tramway est sensiblement plus importante que le coût de construction de la ligne supporté par la municipalité, ce qui

118 Dorn, M. in Ohland et Poticha (2009), pp.65-69.

119 Portland Streetcar (2012), *Cost/Alignment mile*. Récupéré de < http://www.portlandstreetcar.org/pdf/cost_per_alignment_mile_20120413.pdf > le 29 avril 2014.

120 Arrington, G. B. in Ohland et Poticha (2009), p.29.

lui permet un retour d'investissement *via* des taxes foncières¹²¹. Néanmoins, il pourrait être réducteur d'attribuer la provenance de cet engouement immobilier uniquement à ce moyen de transport, même s'il y contribue fortement¹²² et de façon plus importante qu'une ligne d'autobus¹²³. En outre, malgré le fait que le nombre de résidents ait augmenté le long du tracé, l'achalandage du tramway est plutôt faible. De fait, si la fréquentation et la taille du réseau ont triplé en 10 ans, atteignant environ 16 000 passagers quotidiens¹²⁴ pour 24 kilomètres¹²⁵, la fréquentation reste plus de deux fois inférieure au potentiel de ce mode¹²⁶. Cette attractivité limitée peut être due à la relative grande capacité de ce mode qui, devant la proportionnellement faible demande en déplacement et afin de contenir les coûts d'exploitation, oblige à diminuer la fréquence de l'offre. L'intervalle minimum de passage est effectivement de 14 minutes¹²⁷. Elle peut être aussi le fait de n'avoir aucun avantage de régularité par rapport à d'autres modes de transport. En effet, dans le but de faire des économies, le tramway de Portland ne bénéficie quasiment d'aucun site propre et d'aucune priorité aux signaux de régulation¹²⁸. Il circule alors avec d'autres véhicules privés mais, ayant à s'arrêter à chaque arrêt, sa vitesse commerciale est logiquement plus basse que ceux-ci. Le tramway de Portland n'est donc pas, par définition, un TCSP.

En définitive, si ce processus d'optimisation est un exemple en terme de réduction des coûts de construction et de respect des contraintes techniques, il a amené le projet à faire l'impasse sur les contraintes urbaines, comme la demande en déplacement, la signalisation ou la circulation routière, ce qui a réduit l'attractivité du mode de transport¹²⁹. Les résultats en terme d'achalandage sont donc contrastés, puisque les gains, proportionnellement élevés, sont assez faibles en nombre absolu pour un tramway. La diminution des enjeux financiers s'est donc faite au bénéfice des économies d'investis-

121 Ohland et Poticha (2009), pp.2-7.

122 Quick, V. *in* Ohland et Poticha (2009), pp.53-63.

123 Hales, C. *in* Ohland et Poticha (2009), pp.23-24.

124 Portland Streetcar (2014), *Portland streetcar daily ridership 2011-2015*, Qur 2 FY 14. Récupéré de < http://www.portlandstreetcar.org/pdf/combined_ridership_graphs_20140120.pdf > le 29 avril 2014.

125 Portland Streetcar (2014), *Streetcar history*. Récupéré de < <http://www.portlandstreetcar.org/node/33> > le 29 avril 2014.

126 CERTU (2004), p.70.

127 Portland Streetcar (2014), *Streetcar schedule*. Récupéré de < <http://www.portlandstreetcar.org/node/3> > le 29 avril 2014.

128 Dorn, M. *in* Ohland et Poticha (2009), pp.65-69.

129 Cela était toutefois voulu par la Ville de Portland. Dorn, M. *in* Ohland et Poticha (2009), pp.65-69.

sement, en respectant la faisabilité mais au détriment de l'attractivité de ce moyen de transport pour les usagers sur le tracé choisi, ce qui limite l'efficacité globale du projet. Un processus d'optimisation devrait par conséquent nécessiter une analyse comparative des modes de transport afin d'effectuer, selon le contexte urbain, un choix qui soit du meilleur rapport entre les coûts d'investissement, la faisabilité et l'attractivité. Toutefois, ce projet permet de voir que le tramway peut être conçu comme un levier de développement urbain. L'accroissement démographique qui en résulte peut notamment amener un phénomène de hausse à long terme des gains d'achalandage, tout en permettant à la municipalité de récolter, par des taxes, des externalités monétaires positives qui diminuent sur le long terme les enjeux financiers de cette ligne de tramway.

À Ottawa (Ontario, Canada), une ligne de *train léger sur rail* (TLR) est actuellement en construction¹³⁰. Celle-ci va remplacer une partie du SRB actuellement en service, appelé localement *Transitway*, sur 12,5 kilomètres et 13 stations, dont 2,5 kilomètres et 3 stations en tunnel lors de la traversée du centre-ville. Le budget est de 2,1 milliards de dollars, soit 168 millions de dollars par kilomètre¹³¹. L'intérêt de ce projet de TCSP réside dans la comparaison, en phase de conception, entre divers modes pouvant améliorer le réseau de transport collectif par une analyse fine de leurs coûts, de leur faisabilité et de leur attractivité¹³². Ainsi, un TLR partiellement souterrain a été préféré à un TLR intégralement en site propre de surface¹³³ et à un SRB partiellement en tunnel¹³⁴. Ces deux dernières variantes, bien que faisables et attractives, ne pouvaient en effet pas répondre à la hausse de la demande à long terme en transport collectif avec les mêmes facilités d'exploitation ou sans requérir à de nouveaux investissements majeurs. De plus, le scénario choisi, malgré ses coûts de construction plus importants, fera économiser par an jusqu'à 100 millions de dollars en coûts d'exploitation, soit presque 5% de l'investissement. Un quart de ces gains provient de la transition d'un mode routier vers un mode ferroviaire, qui est plus capacitaire et qui nécessite donc moins de main-d'oeuvre par passager transporté, et les trois quarts restant proviennent

130 Ce TLR, terme équivalent à SLR, est un hybride entre le tramway et le métro. Son infrastructure en site propre est construite majoritairement en surface et parfois en tunnel lorsque cela est jugé nécessaire, ce qui rapproche ce projet d'un métro et influe sur diverses caractéristiques d'exploitation comme la signalisation ferroviaire. Néanmoins, les véhicules utilisés sont de type tramway. CERTU (2004), p.46.

131 Ville d'Ottawa (2012).

132 Metropolitan Knowledge International (2011).

133 Ville d'Ottawa (2010).

134 Schepers (2010).

d'une réorganisation du réseau de bus autour du TLR¹³⁵. Par cette analyse de divers scénarios, l'exemple d'Ottawa est intéressant car il démontre que la recherche d'efficacité, soit la diminution des enjeux financiers sur le long terme, doit prendre en compte tant les coûts d'investissement que d'exploitation. Elle peut se faire aussi suivant le principe de ne pas nuire à l'efficacité du mode du transport, en assurant tant sa faisabilité que son attractivité aux usagers sur une longue période.

« Avec 176 000 habitants, [Besançon] est à ce jour l'agglomération [française] la plus modeste par la taille à se lancer dans un projet de tramway »¹³⁶. Le choix du mode de TCSP s'est fait après une analyse comparative de scénarios, entre un tramway et différentes variantes de SRB : avec ou sans guidage matériel ou immatériel, à alimentation électrique ou thermique. Après la réalisation de divers études techniques, financières et environnementales ainsi qu'avec la concertation de la population, le tramway s'est imposé par le fait que les modes routiers, faisables mais moins capacitaires, risquaient la saturation à moyen terme. En effet, après le lancement du TCSP, « un bond corollaire de 25% de la fréquentation du réseau [de transport collectif] est attendu »¹³⁷. En outre, « en matière de coûts globaux, les systèmes de [SRB] ne sont pas significativement inférieurs à certains systèmes de tramway, ces derniers présentant une durée de vie environ deux fois supérieure. Les coûts globaux doivent intégrer les coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien (matériel, équipements et infrastructures) et être ramenés à la durée de vie du système considéré (15-20 ans pour un [SRB] et 30-40 ans pour un tramway) »¹³⁸. Comme à Ottawa, la capacité du projet de TCSP et la relative de ses coûts d'investissement par rapport à ses coûts d'exploitation ont donc dicté, sur la base du long terme, le choix du moyen de transport collectif. La diminution des enjeux financiers du projet a donc été réalisée par l'étude de différents scénarios, comprenant divers modes devant répondre à un achalandage futur, selon leurs coûts globaux, leur faisabilité et leur attractivité. Cette démarche de scénarisation serait donc à prendre en compte lors d'un processus d'optimisation d'un projet de TCSP.

135 Schepers (2009).

136 Laisney (2011), p.402.

137 Laisney (2011), p.404.

138 Grand Besançon (2010) Vol.C, pp.46-47.

Par ailleurs, Besançon a aussi pris le parti d'optimiser la réalisation du projet de tramway pour le contenir à 228 millions d'euros car il « s'inscrit dans un cadre budgétaire contraint du fait des capacités financières [limitées] de l'agglomération »¹³⁹. Ces 14,5 kilomètres et 31 stations vont alors revenir à environ 16 millions d'euros du kilomètre, « le coût le plus bas pour la création d'un tramway en France »¹⁴⁰. L'objectif de ce processus d'optimisation était de diminuer les enjeux financiers à l'investissement sans dégrader la faisabilité du projet et la qualité du service de transport. Le TCSP devait en effet garder une importante fréquence et régularité, notamment par la continuité du site propre et par l'intervalle de passage fixé à 5 minutes en période de pointe¹⁴¹. Pour cela, la maîtrise d'ouvrage s'est par exemple faite le plus possible sans avoir recours à des sociétés d'expertise externes à l'AOT. Les courants faibles, billettique exceptée, est repris du système de bus existant¹⁴². Les sous-stations de courant fort sont en nombre réduit¹⁴³. Le centre d'entretien est construit de manière compacte mais fonctionnelle, avec le remisage des rames à l'air libre. Le matériel roulant, issu d'un appel d'offre très concurrentiel, est très peu personnalisé. Les stations et le mobilier urbain sont standards et issus du catalogue des constructeurs. Les matériaux de construction utilisés sont sobres. Les plantations et autres revêtements du site propre sont des végétaux ne nécessitant aucun arrosage. Très peu d'aménagements urbains sont effectués en complément du système de transport. Le site propre emprunte la voirie publique existante dans le but d'éviter des expropriations, quitte à condamner définitivement certains espaces à l'automobile ou au contraire à le partager momentanément, dépendamment des situations. Le montant de ces économies se chiffre à environ 50 millions d'euros¹⁴⁴, soit 22% du montant final. Néanmoins, certaines sources d'économies n'ont pas été retenues, à l'instar d'un tramway unidirectionnel (une seule cabine de conduite), pour des raisons de facilités d'exploitation, ou comme une voie sur ballast, pour des raisons d'insertion urbaine. Comme à Portland, plusieurs sources d'économie

139 Ce montant équivaut à environ 346,6 millions de dollars, aux conditions économiques de 2008 (1 EUR = 1,52 CAD). Grand Besançon (2010) Vol.C, pp.47-48.

140 Ce montant de 15,7 millions plus précisément équivaut à 23,9 millions de dollars (1 EUR = 1,52 CAD). Grand Besançon (2010) Vol.C, pp.47-48 ; Laisney (2011), p.404.

141 Gudefin, P. (2011, mai), *Un tramway à 16 M.Euros/Km pour Besançon ?*. Le Rail magazine (France), numéro 176, pp.38-41.

142 Il s'agit de l'ensemble des systèmes de contrôle et d'exploitation d'un TCSP, à destination de la gestion du service par l'AOT ou de l'information des voyageurs. CERTU (2004), p.186.

143 Il s'agit d'éléments situés le long de la ligne par lesquels l'énergie électrique est distribuée aux véhicules via la caténaire. CERTU (2004), p.185.

144 Ce montant équivaut à environ 76 millions de dollars (1 EUR = 1,52 CAD).

ont en parallèle pu être trouvées pour concevoir un projet de tramway faisable selon un budget restreint. Une importante différence entre ces deux projets réside néanmoins dans le fait qu'aucune baisse de coût ne se fait au détriment du respect de contraintes techniques et urbaines d'efficacité, ce qui ne diminue alors en rien l'attractivité pour les futurs usagers. En conséquence, parce qu'il prend en compte l'efficacité du mode de transport et l'efficience du projet à long terme, comme à Ottawa, mais qu'il cherche aussi à diminuer les coûts d'investissement avant même la mise en service, comme à Portland, tout en préservant la faisabilité et l'attractivité du projet, le tramway de Besançon est un bon exemple de l'optimisation d'un projet de TCSP.

1.3.3 La définition de l'optimisation de projet de TCSP et la question de recherche appliquée au projet de tramway de la Ville de Montréal

Devant la nature empirique de l'optimisation de projet de TCSP, les exemples de processus d'optimisation des projets de tramway de Portland, Ottawa et Besançon permettent d'induire une définition de l'*optimisation de projet de TCSP* de la manière suivante :

- L'optimisation de projet de TCSP est un processus en phase de conception de projet consistant à rechercher, par le développement de scénarios alternatifs, le rapport idéal entre la respect de contraintes techniques et urbaines et la diminution des enjeux financiers.
- Autrement dit, il s'agit d'un processus de rationalisation des caractéristiques d'un mode de transport en commun en site propre par la propositions de solutions qui, sans nuire à l'efficacité du mode, ont pour but une meilleure efficience du projet, via la recherche d'économies en argent à long terme.
- L'efficacité d'un projet de TCSP est appréciée sur le long terme par sa faisabilité, soit sa possibilité d'être construit et exploité, et son attractivité, c'est-à-dire la faculté de son offre à être disponible et régulière pour permettre des gains d'achalandage.

- L'efficience d'un projet de TCSP est appréciée sur le long terme par ses coûts d'investissement, requis ponctuellement pour la construction du système de transport, et ses coûts d'exploitation, issus continuellement de la production des services de déplacement et de l'entretien des infrastructures et équipements.
- L'optimisation de projet de TCSP, quelles que soient les pistes d'économies possiblement applicables, ne doit en aucune manière compromettre l'efficacité du TCSP, que ce soit au niveau de sa faisabilité que de son attractivité. Tout comme un léger bénéfice en efficacité ne doit pas, réciproquement, se faire au prix d'un relatif trop grand effort monétaire à l'investissement ou l'exploitation, nuisant à l'efficience du projet.

Ainsi, puisqu'il peut être pensable que le projet de tramway de la Ville de Montréal soit plus enclin se réaliser si, à la fois, ses enjeux financiers sont diminués et, à la fois, par le respect de l'ensemble de ses contraintes techniques et urbaines, son caractère faisable et attractif est conservé, alors il est possible de se poser la question suivante :

- Existe-t-il un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal tel que défini dans les études de préfaisabilité et de faisabilité ?

CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE

2.1 La théorie d'optimisation de projet de TCSP

« Une structure (ou théorie) est essentielle si l'on veut interpréter et relier entre elles efficacement nos observations dans n'importe quel domaine de connaissance. [...] Sans une structure pour mettre en relation faits et observations, il est difficile d'apprendre quelque chose de l'expérience, d'utiliser le passé pour s'éduquer dans le futur »¹⁴⁵. Afin de structurer et d'aider au bon déroulement d'un projet de TCSP, il est fait appel à la théorie de la gestion de projet. Celle-ci découpe le projet en plusieurs phases, dont celle de conception et d'évaluation. Les études de préfaisabilité et de faisabilité, produites par exemple dans le cadre du projet de tramway de la Ville de Montréal, démontrent de l'adéquation entre le besoin et le projet. Les informations qu'elles produisent sont ensuite analysées par des méthodes d'évaluation et d'aide à la décision pour émettre un avis quant à la poursuite du projet. Si la méthode classique d'optimisation n'est pas pertinente à l'égard de projets complexes et contextualisés comme les TCSP, les autres méthodes d'évaluations ne permettent pas, quant à elles, de corriger le projet selon les critiques qu'elles émettent. Ainsi est proposée une méthode d'optimisation de projet de TCSP, rétroactive et préalable à une méthode d'évaluation prenant en compte la complexité et le contexte, pour développer des scénarios selon un optimum issu de critiques. Cette méthode, en tendant vers la diminution des enjeux financiers tout en respectant les contraintes techniques et urbaines, a pour but de participer au succès du projet.

2.1.1 Les études de préfaisabilité et de faisabilité en gestion de projet

Au sein de cette recherche, le TCSP est un *projet*, terme qui peut être défini comme un « ensemble d'opérations formant un tout cohérent, complet et autonome »¹⁴⁶, un « exercice éphémère réalisé pour créer un unique produit, service ou résultat »¹⁴⁷ ou encore comme « la mise en oeuvre d'activités spécifiques et temporaires ayant pour but la production de biens livrables uniques permettant l'atteinte de résultats précis »¹⁴⁸. La discipline qui s'applique à concourir à la réalisation des projets est la *gestion de projet*. Cette dernière se définit comme « l'application des connaissances, des compétences, des outils et des techniques aux activités du projet afin que ce dernier réponde aux exigences »¹⁴⁹. Autrement dit, cela « [...] consiste à mettre en oeuvre un ensemble d'habiletés, de processus, de méthodes de travail, d'outils et de techniques appropriés de façon à maximiser l'utilisation des ressources affectées aux différentes activités du projet [...] »¹⁵⁰. La gestion de projet perçoit le projet comme un système ouvert, qui utilise des intrants, les activités spécifiques et temporaires, pour fabriquer des extrants, les *biens livrables* uniques, selon une fonction globale ou but ultime, l'atteinte de *résultats* précis¹⁵¹. Concernant cette recherche, les biens livrables sont le TCSP et les résultats précis peuvent être multiples. De manière directe, les résultats recherchés peuvent être l'accroissement de l'usage des transports collectifs, l'amélioration de la qualité du service de déplacement et de l'intermodalité, l'intégration des caractéristiques de mobilité réduite à l'offre publique de transport, la cohérence entre l'urbanisation du territoire et le développement du réseau de transport en commun, la desserte de quartiers denses, à revitaliser, à redévelopper ou à construire, voire tout autre objectif particulier au contexte local. De façon indirecte, les résultats souhaités peuvent inclure des effets bénéfiques sur l'économie, l'emploi, la santé, la sécurité, l'atmosphère ou encore les milieux naturels¹⁵².

146 CERTU (2002), p.85.

147 Project Management Institute (2000), p.4 ; Richardson (2010), p.3 ; Schwalbe (2009), p.4. Traduction libre.

148 O'Shaughnessy (2005-2006), p.6.

149 Project Management Institute (2000), p.6 ; Richardson (2010), p.3 ; Schwalbe (2009), p.7. Traduction libre.

150 O'Shaughnessy (2005-2006), p.11.

151 Charron (1991), pp.209-210 ; Forrester (1984), pp.1-5 ; Merlin et Choay (2009), p.855.

152 CERTU (2002), p.29.

Par ailleurs, le projet « fait partie d'un ensemble plus ou moins flou, complexe ou multidimensionnel et parfois difficile à cerner »¹⁵³, qui est appelé son *environnement* et qui, dans le cadre d'un TCSP, est dit *urbain*¹⁵⁴. Cet environnement urbain est spécifique à chaque projet. Il est composé de l'environnement humain, avec toutes les parties prenantes¹⁵⁵ dont notamment les citoyens et futurs utilisateurs du TCSP, les gestionnaires qui conduisent le projet et les politiciens qui prennent les décisions, ainsi que l'organisme et les employés qui exploitent les futurs services du TCSP. Il est aussi composé de l'environnement territorial, espace géographique où prendront place les biens livrables du projet¹⁵⁶. La linéarité des services de transport collectif fait en sorte que l'environnement urbain immédiat d'un projet de TCSP prend la forme d'un *tracé*, ou milieu territorialisé et continu dans lequel s'inscrivent les futurs services de déplacement. De même, le projet de TCSP est un projet daté, ce qui signifie qu'il a un ancrage temporel défini, dans un présent où sa concrétisation est souhaitée dans un futur proche¹⁵⁷. Entre le projet et son environnement existent des liens multiples d'influence ou d'interaction nulle, unilatérale ou réciproque¹⁵⁸. De cet environnement provient la finalité du projet, puisque ce dernier n'est pas une fin en soi mais bien un moyen d'atteindre des résultats précis, dont l'utilité ne lui revient pas. Le projet a donc comme but de répondre à des *besoins* formulés par l'environnement et notamment ceux aux abords du tracé. En ce sens, la gestion de projet aide à clarifier les besoins de l'environnement urbain local pour que le projet puisse apporter les résultats escomptés qui lui sont imposés¹⁵⁹.

Un projet est une somme d'activités temporaires qui lui délimite un cycle de vie, qui correspond « à la période comprise entre le moment de l'émergence de l'idée du projet jusqu'à la réalisation des biens livrables »¹⁶⁰ et qui peut être divisée en plusieurs *phases*. Chaque phase est composée individuellement d'activités en relation les unes avec les autres qui amènent à des résultats communs. Si ces derniers sont considérés

153 O'Shaughnessy (2005-2006), p.19.

154 CERTU (2004), pp.23-32.

155 Les parties prenantes sont les mandataires, les gestionnaires, les accompagnateurs et les destinataires du projet. Project Management Institute (2000), pp.16-17.

156 Merlin et Choay (2009), pp.726-729 ; Project Management Institute (2003), p.4 et pp.107-116.

157 Ces délais varient selon le type TCSP et la gestion du projet.

158 O'Shaughnessy (2005-2006), pp.22-24.

159 Coriveau (2012), pp.12-14.

160 O'Shaughnessy (2005-2006), p.45.

comme convenables ou souhaitables, la phase suivante peut commencer. Les activités alors complétées, dont l'information et les documents qui ont été produits, servent de données de base aux nouvelles activités. Les phases sont donc les sous-systèmes temporaires et successifs du système projet. Elles ont comme fonction l'obtention de résultats partiels participant à l'ensemble des résultats attendus du projet et permettant de nourrir la décision quant à la poursuite et, en définitive, la réalisation du projet. De manière générale, la première phase définit la finalité du projet, la deuxième les moyens de le réaliser, la troisième le réalise et la quatrième contrôle que les résultats obtenus correspondent à la finalité identifiée au début¹⁶¹. Enfin, un projet peut être considéré comme un succès s'il a été réalisé dans le respect des objectifs, des échéances et des coûts et quand les résultats produits conviennent aux besoins anticipés¹⁶². « Parmi les conditions de succès d'un projet, la clarification de la mission ou de la finalité du projet est probablement l'un des aspects les plus importants à bien circonscrire »¹⁶³. La première phase du projet, appelée *conception et évaluation*, est donc stratégique pour la réussite du projet de TCSP¹⁶⁴. En effet, elle définit les besoins de l'environnement urbain, elle conceptualise comment, quand et à quel prix le projet de TCSP va les combler et, par dessus tout, elle évalue d'après ces informations si le TCSP vaut la peine d'être construit ou non¹⁶⁵.

À l'intérieur de la phase de conception et d'évaluation sont produites divers études, parmi lesquelles se trouvent l'*étude de pré faisabilité* et l'*étude de faisabilité*. Celles-ci se définissent comme des analyses d'un projet proposé pour déterminer de sa viabilité¹⁶⁶. La principale différence entre l'étude de pré faisabilité et l'étude de faisabilité repose sur le fait que la dernière est beaucoup plus précise et exhaustive. En effet, l'étude de pré faisabilité a des résultats plus approximatifs et globaux car elle s'appuie sur des données préalablement existantes et facilement accessibles, au contraire de l'étude de faisabilité qui les produit avec rigueur. Cependant, l'étude de faisabilité, plus onéreuse et chronophage à produire, s'effectue à la suite et en complément de l'étude de pré fai-

161 O'Shaughnessy (2005-2006), pp.46-50 ; Project Management Institute (2000), pp.11-16.

162 O'Shaughnessy (2005-2006), p.24 ; Schwalbe (2009), pp.12-13.

163 O'Shaughnessy (2006), p.67.

164 Cette phase est appelée *Feasibility* en anglais. Project Management Institute (2000), p.15.

165 Griffin (2004), pp.47-49 ; O'Shaughnessy (2005-2006), pp.46-50 ; Project Management Institute (2000), pp.11-16.

166 Project Management Institute (2000), p.153.

sabilité si cette dernière formule un avis nécessaire¹⁶⁷. Ainsi, l'étude de pré-faisabilité a pour but « d'analyser d'une façon non-détaillée les différentes composantes d'un projet, d'identifier les aspects ou les variables du projet pouvant nécessiter une étude plus en profondeur et de prendre une décision sur les suites à donner au projet, soit : continuer, modifier ou abandonner le projet »¹⁶⁸. L'étude de faisabilité, quant à elle, a pour finalité « de procéder à une analyse approfondie d'une ou plusieurs composantes du projet, de statuer sur la faisabilité de chacune des composantes étudiées, de décider si l'on doit réaliser ou non le projet ou formuler toutes autres recommandations relativement aux diverses composantes du projet »¹⁶⁹. Les principales composantes des études de pré-faisabilité et de faisabilité sont le besoin, le marché, la technique, les ressources humaines, les aspects juridiques, l'impact social et environnemental et les ressources financières¹⁷⁰. Toutefois, la présence et l'importance de ces composantes varient selon le type de projet. Dans le cadre d'un projet de TCSP, le marché et la technique sont les composantes les plus importantes. En effet, l'analyse de marché évalue la demande en déplacement du futur TCSP, au moment de la mise en service du projet et à long terme, des individus ayant pour transit, origine ou destination les environs du projet ou transitant par son tracé. Ainsi, le besoin du projet est relatif à cette estimation d'achalandage et à la manière dont l'offre de transport collectif actuelle ne peut y répondre. À partir de ces informations, l'analyse technique détermine la ligne, le système de TCSP et les caractéristiques de l'offre qui serait le mieux à même de supporter cette demande, tout en prenant en compte l'environnement urbain. De cette analyse technique sont estimés l'échéancier de réalisation ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation du projet, respectivement pour construire et opérer le système de TCSP¹⁷¹. Une fois le besoin et la faisabilité technique démontrée, les autres composantes des études de pré-faisabilité et de faisabilité peuvent être explorées. Enfin, grâce à l'information produite par ces études, une décision peut être prise quant à la suite à donner au projet¹⁷². Des méthodes d'évaluation de projet et d'aide à la décision ont d'ailleurs été développées à cette fin.

167 Corriveau (2012), p.15 ; O'Shaughnessy (2005-2006), pp.70-72.

168 O'Shaughnessy (2006), p.103.

169 O'Shaughnessy (2005-2006), p.103.

170 Corriveau (2012), p.17 ; O'Shaughnessy (2006), p.103.

171 O'Shaughnessy (2006), pp.247-249. Wright et Ashford (1989), pp.255-261.

172 Project Management Institute (2003), p.11.

2.1.2 Les méthodes d'évaluation de projet et d'aide à la décision et leurs principales critiques

Les projets de TCSP sont des projets publics : ils sont le plus souvent gérés et financés par les organismes publics¹⁷³ car leurs biens livrables fournissent ce qui peut être considéré comme des services publics¹⁷⁴. Pour décider de leur réalisation, ces organismes les évaluent afin d'apprécier le rapport entre l'usage de l'argent de public qu'ils requièrent et les résultats escomptés qui leur sont estimés. La logique sous-jacente est logiquement de minimiser l'argent public requis en fonction de la valeur attribués aux résultats ou, à l'inverse, de maximiser les résultats à l'égard des sommes consenties¹⁷⁵. Les projets publics ont comme principe commun de tendre vers le bien-être de la société. Ils sont donc évalués selon leurs résultats escomptés sur l'économie, l'emploi, la santé, la sécurité, l'atmosphère ou encore les milieux naturels¹⁷⁶. Il est à noter que, dans les cas des projets de TCSP, les effets bénéfiques recherchés se situent avant tout au sein de l'environnement urbain, avec notamment le souhait d'améliorer à long terme la mobilité des individus¹⁷⁷. Ainsi, pour prendre une décision éclairée à l'égard d'un projet de TCSP, les organismes publics font une *évaluation de projet*, processus qui se décompose en plusieurs catégories dont l'*évaluation socioéconomique*. Celle-ci compare financièrement la faisabilité du projet avec ses effets sur son environnement urbain¹⁷⁸. Afin de réaliser une évaluation socioéconomique du projet de TCSP selon un processus normalisé et scientifique, soit rigoureux, objectif et impartial, il est utilisé des *méthodes d'évaluation et d'aide à la décision*. Ces méthodes se fondent sur les résultats techniques des études de pré-faisabilité et de faisabilité, et notamment sur leur composante de marché et de technique. Ces méthodes ont donc pour but de « prescrire, ou simplement favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre [le projet de TCSP] d'une part, et les objectifs et valeurs [des organismes publics] d'autre part »¹⁷⁹. Ces méthodes aident aussi « les décideurs à choisir judicieusement dans des

173 Le projet de SLR dans la région de Montréal peut être vu comme un contre-exemple. Confer la partie 2.1.3 de cette présente recherche. *Loi visant à permettre la réalisation d'infrastructures par la Caisse de dépôt et placement du Québec* (2015).

174 Ferland (2008), p.1.

175 CERTU (2002), p.8 ; Griffin (2004), pp.46-47.

176 O'Shaughnessy (2006), pp.227-230.

177 Confer la partie 3.1.1 de cette présente recherche.

178 Jeong-Hwa (2011), pp.40-41.

179 Roy (1985), p.15.

contextes d'incertitude »¹⁸⁰ en analysant aussi les risques liés à l'atteinte des résultats escomptés d'après les coûts indiqués. En outre, ces méthodes s'opposent à une prise de décision basée « sur l'intuition, le gros bon sens, le pif ou encore, tout simplement, sur la promotion d'intérêts particuliers, privés ou collectifs, ou sur l'arbitrage en fonction des pressions politiques du moment ou en fonction des lignes de parti »¹⁸¹. Ces méthodes sont de multiples natures et, dans le cadre des projets de TCSP, cinq d'entre elles peuvent notamment être utilisées : la méthode classique d'optimisation, la méthode multicritère, la méthode socioéconomique, la méthode avantages-coûts et la méthode coûts-efficacité.

La *méthode classique d'optimisation* perçoit le projet comme un problème mathématique et modélisable à résoudre, avec deux composantes essentielles. Ainsi, la première composante à l'optimisation est un ensemble de variables ou de paramètres indépendants qui inclue des conditions ou des limites, appelées les *contraintes*, qui définissent les valeurs acceptables de ces variables ou paramètres. Dans le cadre d'un projet de TCSP, ces contraintes peuvent être de nature technique, en concernant le système de transport, ou de nature urbaine, en se rapportant à l'environnement urbain. L'autre composante essentielle de l'optimisation est une échelle de mesure unique d'un optimum qui implique un *enjeu* de maximisation ou de minimisation. Dans l'optique d'un projet de TCSP, l'enjeu peut par exemple être la minimisation des besoins financiers. La résolution du problème est une situation où un ensemble de variables, dotées de valeurs acceptables eu égard aux contraintes, maximise ou minimise l'enjeu sur son échelle de mesure, soit par exemple minimise les coûts d'investissement et d'exploitation. Le problème alors résolu est qualifié d'*optimisé*¹⁸². De fait, cette méthode est utilisée à la fois pour modifier le projet et analyser sa faisabilité technique et urbaine, puisqu'elle participe à la définition de valeurs à des variables du projet, et à la fois pour l'évaluer, puisque elle amène à produire le meilleur projet relatif à l'échelle de mesure de l'optimum. La méthode d'optimisation classique, issue de la gestion scientifique ou recherche opérationnelle, est néanmoins d'une réussite variable. Dans le domaine de l'évaluation de projet, elle est performante quand il est possible d'iso-

180 Schuyler (1996), p.3. Traduction libre.

181 Tellier (1995), p.1.

182 Gill *et al.* (1981), p.1. Traduction libre.

ler le problème de son contexte et de mesurer la préférence de manière scientifique. En effet, l'utilisation de cette méthode doit tenir compte du postulat que « dans toute situation devant entraîner une décision, il existe au moins une décision qui, avec suffisamment de temps et de moyens, puisse être objectivement démontrée comme étant optimale, et ceci en restant neutre par rapport au processus de décision »¹⁸³. Autrement dit, l'axiome de cette méthode est qu'il existe « une décision (solution, action, ...) qui soit la meilleure pour tous les points de vue »¹⁸⁴. Cependant, l'état des contraintes d'un projet de TCSP peut être efficace et efficiente dans un environnement urbain mais ne pas l'être dans un autre, car chaque environnement urbain est spécifique. De plus, évaluer un projet d'après un optimum unique peut être réducteur face au nombre de ses composantes et à leur complexité, dont les interactions entre le futur TCSP et des besoins de son environnement urbain¹⁸⁵. Enfin, la nature différente des variables peut conduire à des préférences faibles, indécises voire contradictoires où aucune solution optimale ne se dégage clairement¹⁸⁶. Cela signifie qu'il est possible que plus d'un scénario atteignent un même niveau sur l'échelle de l'optimum alors que, eu égard aux contraintes, ils aient été dotés de caractéristiques diverses. N'évaluant que sur une échelle, cette méthode ne peut alors démontré d'aucun scénario optimal. La méthode d'optimisation classique a donc « [...] un objectif trop ambitieux : celui de désigner en toutes circonstances la meilleure décision, l'optimum... même dans les cas où cette notion est vide de sens »¹⁸⁷.

À l'opposé de l'évaluation selon un optimum unique se trouvent les méthodes multicritère, socio-économique, avantages-coûts et coûts-efficacité. Premièrement, la *méthode multicritère* sert « à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte »¹⁸⁸. En d'autres termes, l'analyse multicritère « vise à expliciter une famille cohérente de critères [...] destinée à être un instrument de communication intelligible, acceptable, exhaustif devant permettre, au sein

183 Roy (1985), p.XX ; Schärli (1985), p.18.

184 Vincke (1989), p.18.

185 CERTU (2002), pp.26-27.

186 Schärli (1985), pp.15-33.

187 Schärli (1985), p.18.

188 Vincke (1989), p.18.

du processus de décision, de concevoir, justifier et transformer les préférences »¹⁸⁹. La méthode multicritère comprend trois variantes d'agrégation, dont le choix de l'une ou l'autre dépend de la forme souhaitée de l'évaluation : une sélection, un tri ou un ordre¹⁹⁰. Elle se décompose en quatre étapes formant le processus d'évaluation : la première dresse la liste des *actions potentielles*, ou *scénarios* du projet, la deuxième liste de manière exhaustive les critères d'évaluation, la troisième évalue chaque scénario au regard de chaque critère et la quatrième agrège toutes les évaluations par scénario en une évaluation générale de forme souhaitée. De la deuxième et troisième étapes provient la prise en compte des préférences faibles, multiples et contradictoires entre scénarios d'un projet de TCSP eu égard à des critères reflétant les différentes spécificités de sa technique, de son environnement urbain et de ses coûts d'investissement et d'exploitation. De la quatrième étape découle l'aide à la décision puisque les scénarios du projet de TCSP ont été scientifiquement comparés puis sélectionnés, triés ou ordonnés¹⁹¹. Deuxièmement, la *méthode socioéconomique* est « une analyse des avantages et inconvénients d'un investissement pour la collectivité pendant la durée de vie de cet investissement »¹⁹². Plus précisément, l'analyse socioéconomique se fait en deux étapes qui permettent aux décideurs d'avoir une vision à la fois globale et synthétique des scénarios d'un projet de TCSP. La première étape est l'évaluation qualitative et quantitative des divers scénarios selon, d'une part, leurs impacts et avantages sur l'environnement urbain et, d'autre part, selon les risques et incertitudes liés à la réalisation du projet et à l'exploitation des biens livrables. À la seconde étape, chaque scénario est caractérisé par des coûts d'investissement et d'exploitation, calculés selon la durée des biens livrables du projet. À ces coûts directs sont ajoutés les coûts indirects qui sont issus de la monétarisation, lorsque possible, des impacts, avantages, risques et incertitudes sur la même durée définie. Une analyse selon la méthode avantages-coûts est alors effectuée comme bilan à la seconde étape¹⁹³. Ceci amène donc, troisièmement, à la *méthode avantages-coûts*, dont les résultats peuvent servir, aussi, comme un des critères de décision à l'analyse multicritère. L'analyse avantages-coûts, « appliquée aux projets publics, sert à comparer les avantages et les coûts des projets, ou des solu-

189 Roy (1985), pp.326-327.

190 Les trois variantes correspondent à une agrégation complète, partielle ou totale. Schärliig, A. et Roy, B. *in* Vincke (1989), p.18 ; Schärliig (1985), pp.65-66.

191 Roy (1985), pp.44-48 ; Schärliig (1985), pp.54-68.

192 CERTU (2002), p.11.

193 CERTU (2002), pp.11-34.

tions possibles d'un projet, afin de déterminer celui qui permet de retirer le meilleur avantage économique, soit celui qui maximise le rendement des investissements pour la société »¹⁹⁴. Dans un projet de transport, les avantages pris en considération sont les gains en argent issus de diverses composantes de l'environnement urbain, comme la réduction du coût de déplacement ; tandis que les coûts qui sont communément pris en compte sont les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation du projet. Ainsi, cette méthode attribue une valeur monétaire aux avantages et aux coûts des scénarios du projet, actualise ces valeurs sur la durée de vie du projet, puis compare les scénarios selon la valeur actualisée nette, soustraction entre la valeur actualisée des avantages et la valeur actualisée des coûts, ou selon le rapport avantages-coûts, division de la valeur actualisée des avantages par la valeur actualisée des coûts¹⁹⁵. Enfin, quatrièmement, la *méthode coûts-efficacité* produit une analyse semblable à la méthode avantages-coûts, sauf qu'elle prend en compte les coûts et les avantages qui sont difficilement monétarisables, comme les vies humaines, en leur attribuant à la place une valeur numérique, à l'instar du nombre de morts évités¹⁹⁶.

Les méthodes multicritère, socioéconomique, avantages-coûts et coûts-bénéfices sont donc capables d'évaluer la complexité des interactions entre le futur TCSP et des besoins de son environnement urbain. Les préférences faibles, indécises voire contradictoires sont mises en valeur par l'agrégation de critères exhaustifs, par la comparaison d'impacts, d'avantages, de risques et d'incertitudes liés à l'environnement urbain avec les coûts du projet, par la différence ou la division des avantages monétarisables sur l'environnement urbain et les coûts du projet ou encore par le rapport entre des avantages dénombrables sur l'environnement urbain et les coûts du projet. Ces méthodes d'évaluation et d'aide à la décision ont ainsi un objectif empirique : celui de désigner d'après l'environnement urbain le meilleur scénario relativement aux autres scénarios présentées. Elles sont par conséquent mieux à même de refléter la complexité du contexte de décision que la méthode classique d'optimisation. Cependant, les trois dernières méthodes, c'est-à-dire les méthodes socioéconomique, avantages-coûts et coûts-efficacité, n'ont pas vocation à prendre en compte la faisabilité technique des

194 Ferland (2008), p.3.

195 Brent (2006), pp.3-31 ; Ferland (2008), pp.9-33.

196 Ferland (2008), p.46.

scénarios, soit leur efficacité, alors que ce critère peut faire partie de la méthode multicritère et de la méthode classique d'optimisation. En effet, ces trois méthodes évaluent un projet de TCSP d'après les effets sur son environnement urbain rapportés à ses coûts, soit seulement à son efficience. En outre, les méthodes multicritère, socioéconomique, avantages-coûts et coûts-bénéfices comparent des scénarios d'un projet entre eux¹⁹⁷. Ces scénarios ont été préalablement conçus, étudiés et proposés par les études de préfaisabilité et de faisabilité. Contrairement à la méthode classique d'optimisation qui peut modifier un projet de TCSP en analysant sa faisabilité technique et urbaine tout en l'évaluant d'après un optimum, ces quatre méthodes ne font qu'évaluer des scénarios intangibles de ce projet. En effet, hormis l'optimisation, la méthodologie d'évaluation et d'aide à la décision « n'est pas de nature à remettre en cause la définition initiale [des scénarios] ; de ce fait, [elle] peut prendre appui sur un ensemble [de scénarios] considéré comme imposé *a priori* ; elle n'a donc pas à prendre en compte d'éventuelles révisions de [scénarios] qu'elle susciterait »¹⁹⁸. Par conséquent, il est possible de se demander ce qu'il serait possible de faire si les résultats de ces quatre méthodes, ou bien même les décideurs, suscitent des questions quant au projet de TCSP, notamment quant à son efficience.

2.1.3 La proposition de méthode d'optimisation de projet de TCSP

L'objet de cette recherche est de savoir s'il existe un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal, tel qu'il a été défini dans les études de préfaisabilité et de faisabilité. De manière ultérieure à ces études, se trouvent dans le processus de gestion de projet, en phase de conception et d'évaluation, les méthodes d'évaluation et d'aide à la décision. Parmi ces dernières, les méthodes socioéconomique, avantages-coûts et coûts-efficacité ne prennent pas en compte l'efficacité du projet. Ces trois méthodes ainsi que la méthode multicritère ne sont, de plus, pas destinées à modifier les caractéristiques techniques et urbaines des scénarios d'un projet. Afin de rechercher un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient que le projet de tramway montréalais, la méthode classique d'optimisation semblerait la meilleure, puisqu'elle mo-

197 Elles peuvent aussi comparer plusieurs projets entre eux, mais là n'est pas l'objectif de la présente recherche.

198 Roy (1985), p.63.

diffie les caractéristiques d'un projet à la recherche d'une scénario optimal sur un enjeu, mais elle décontextualise le projet de ses autres composantes, sauf si elles agissent à titre de contraintes au sein de ce processus. Il serait toutefois laborieux de transcrire en contraintes l'ensemble exhaustif des composantes menant à l'efficacité du projet de TCSP, que ces composantes soient de nature technique, urbaine ou autre. De plus, cette méthode, qui évalue selon un critère unique, peut échouer à faire ressortir un scénario d'efficience optimale dans des situations où il y a une préférence faible, contradictoire ou même nulle dans le respect des contraintes entre scénarios d'un même projet. Cependant, l'objet de cette recherche est de connaître s'il est possible de concevoir *un projet* au moins autant efficace mais *plus efficient* et non de développer *le projet* au moins autant efficace mais *le plus efficient*. « L'efficience d'un projet porte sur le respect de la qualité [et] des coûts au cours de sa période de réalisation. Il s'agit en définitive du résultat obtenu au regard des ressources et des moyens mis en oeuvre. L'efficacité pour sa part porte sur l'atteinte des buts ou des résultats ciblés par le projet au cours de sa période d'exploitation ou de sa vie active. Sommairement, l'efficience consiste à bien faire la chose et l'efficacité à faire la bonne chose »¹⁹⁹. D'un côté, la recherche a besoin d'une méthode capable de modifier les caractéristiques du projet développé dans les études de préfaisabilité et de faisabilité d'après un optimum d'efficience tout en respectant des contraintes d'efficacité. De l'autre côté, elle n'a pas besoin d'évaluer l'ensemble des scénarios potentiels pour désigner le meilleur, puisqu'elle se doit juste de démontrer l'existence d'un scénario optimisé au moins autant efficace mais plus efficient que le scénario initial du projet de tramway de la Ville de Montréal. La recherche peut par conséquent utiliser la méthode classique d'optimisation, en révisant toutefois sa portée.

Ainsi, les principes de la *méthode d'optimisation de projet de TCSP* proposée par la présente recherche sont les suivants²⁰⁰ :

- La méthode d'optimisation perçoit le projet de TCSP comme un problème empirique et contextuel à résoudre, avec deux composantes essentielles. Ce problème est défini par l'opinion des décideurs ou par le questionnement sus-

199 O'Shaughnessy (2005-2006), p.10.

200 Cette méthode est inspirée de l'optimisation classique. Gill *et al.* (1981), p.1.

citée *via* les résultats de méthodes d'évaluation et d'aide à la prise de décision, à l'instar des méthodes multicritère, socioéconomique, avantages-coûts ou coûts-efficacité. Le projet de TCSP est en phase de conception et d'évaluation et a été déterminé par les études de préfaisabilité et de faisabilité.

- La première composante à l'optimisation est une échelle de mesure unique d'un optimum qui implique un *enjeu* de maximisation ou de minimisation. L'atteinte de cet enjeu tend à diminuer le problème défini. L'optimum est la situation où le problème n'existerait plus. Dans le cadre de l'optimisation de projet de TCSP, l'enjeu est l'efficacité. Celle-ci est appréciée à longue échéance par les coûts d'investissement du projet, requis ponctuellement pour la construction du système de transport, et les coûts d'exploitation, issus continuellement de la production des services de déplacement et de l'entretien des infrastructures et équipements. La recherche tend ainsi à la diminution des enjeux financiers sur le long terme, où l'optimum serait une valeur nulle.
- La seconde composante à l'optimisation est un ensemble de variables indépendantes dotées de conditions ou de limites appelées *contraintes*, qui définissent les situations ou les valeurs acceptables de ces variables. Les variables sont des éléments du projet ou de son environnement. Les contraintes portent sur les caractéristiques de ces éléments, afin de singulariser partiellement, de manière exhaustive mais concise, le projet à son contexte. Le respect des contraintes est obligatoire pour assurer le succès du projet. Dans le cadre de l'optimisation de projet, les contraintes concernent l'efficacité. Celle-ci est appréciée sur le long terme par la faisabilité des biens livrables dans leur environnement urbain, c'est-à-dire la possibilité à les construire et à les exploiter, et par l'attractivité des biens livrables dans leur environnement urbain, soit notamment la disponibilité et la régularité de leur offre pour permettre des gains d'achalandage. La recherche doit ainsi respecter les contraintes techniques et urbaines.
- L'optimisation de projet de TCSP est le processus qui tente de résoudre le problème défini en tendant vers l'enjeu tout en respectant les contraintes. Pour cela, il modifie progressivement les éléments du projet et de son environnement,

pour que leurs caractéristiques soient acceptables eu égard aux contraintes tout en maximisant ou en minimisant l'enjeu sur son échelle de mesure. Chaque modification crée une solution *optimisée* d'éléments, par opposition à la solution *initiale* issue des études de préfaisabilité et de faisabilité, aboutissant à un scénario optimisé différent du scénario initial. Chaque scénario est alors unique dans son rapport entre l'atteinte de l'enjeu et le respect des contraintes.

- La méthode d'optimisation de projet de TCSP n'a pas pour fonction d'évaluer les scénarios mais d'en proposer. Son but est d'élargir le champ d'actions potentielles pour contribuer au succès du projet, en comblant un manque de rétroactivité de certaines méthodes d'évaluation et d'aide à la décision mais ne voulant pas s'en substituer. Les scénarios initial et optimisés sont donc ensuite soumis à la sagacité des décideurs ou à des méthodes d'évaluation et d'aide à la décision, à l'instar des méthodes multicritère, socioéconomique, avantages-coûts ou coûts-efficacité.

Formulée de manière synthétique, la méthode d'optimisation de projet de TCSP proposée par la présente recherche est la suivante :

- La méthode d'optimisation développe de nouvelles actions potentielles, ou scénarios, d'un projet en tendant vers un enjeu défini, l'optimum, tout en respectant des contraintes, contextualisant partiellement le projet à son environnement. Dans le cadre de l'optimisation de projet de TCSP, la méthode diminue les enjeux financiers tout en respectant les contraintes techniques et urbaines.
- Elle s'appuie sur le projet de TCSP déterminé par les études de préfaisabilité et de faisabilité. Elle est rétroactive et préalable à l'opinion des décideurs et aux méthodes d'évaluation et d'aide à la décision et a pour but d'élargir le spectre d'opinion et d'évaluation.

2.2 Les concepts de TCSP

La méthode d'optimisation de projet de TCSP a pour but de développer de nouveaux scénarios d'un projet de TCSP en phase de conception et d'évaluation de projet. Un TCSP est une forme modale de transport en commun qui a comme critère exclusif le site propre où sont exploitées les services de déplacement. Le site propre, accompagné d'autres éléments, a pour but de rendre attractifs les services de déplacement, en offrant une régularité et une disponibilité appréciées des individus. Les caractéristiques du site propre, tout comme celles d'autres éléments techniques à l'image du guidage ou des véhicules, peuvent varier d'un TCSP à un autre. Pour qu'un projet de TCSP soit faisable, c'est-à-dire constructible et exploitable, il est nécessaire de concevoir les éléments du système de transport selon une approche globale, intégrée et itérative avec son environnement urbain. Le projet doit alors respecter des contraintes techniques et urbaines, qui sont déterminées selon l'attractivité et les possibilités techniques et technologiques des modes de transport en commun ainsi que selon la nature et les besoins de l'environnement urbain. Ce processus permet d'assurer l'efficacité du projet de TCSP et module les coûts d'investissement et d'exploitation à long terme. Or, pour assurer l'efficacité du projet, il faut tendre vers la diminution de ces enjeux financiers.

2.2.1 La diversité morphologique des TCSP

Les TCSP forment une famille hétérogène de modes de transport collectif²⁰¹. Ils peuvent aussi être appelés les *systèmes rapides de transport en commun*²⁰². De manière à résumer l'étendue des possibilités morphologiques des TCSP, c'est-à-dire des variations des caractéristiques de chacun de leurs éléments, la présente recherche les regroupe en trois catégories : les *TCSP non-guidés en site propre partiel*, les *TCSP guidés en site propre partiel* et les *TCSP guidés en site propre intégral*. Cette catégorisation se fonde sur deux éléments : le type de site sur lequel repose l'infrastructure et le type de guidage du véhicule par l'infrastructure. Ces trois catégories peuvent aussi être simplifiées respectivement en *TCSP routier (léger)*, comme l'autobus en site propre ou SRB, en *TCSP ferroviaire léger*, comme le tramway en site propre ou le SLR, et *TCSP*

201 Amar (2010), pp.102-107.

202 TCRP (2013), Chap.11, p.53. Traduction libre.

ferroviaire lourd, comme les métro. Cette simplification des catégories est produite à toute fin pratique, pour correspondre au langage courant, puisque l'habitude revient à nommer par la synecdoque un mode de transport d'après le type de véhicule ou d'infrastructure utilisé²⁰³. Néanmoins, elle peut être vue comme réductrice tant la diversité morphologique des TCSP devient de plus en plus importante, notamment par le biais du concept de transmodalité²⁰⁴. Par exemple, les TCSP routiers peuvent être guidés et même être exploités en site propre intégral²⁰⁵, à l'instar des TCSP ferroviaire, et la différence entre les notions de léger et de lourd pour un TCSP ferroviaire peut parfois être difficile à établir²⁰⁶.

L'élément commun aux TCSP, d'où provient leur acronyme, consiste au *site* ou *environnement d'exploitation* qui se définit par l'espace linéaire dans lequel les services de déplacement sont produits²⁰⁷. La largeur du site est, avec celle des stations, le profil en large de la ligne de TCSP. Le site fait partie du tracé et, plus largement, de l'environnement urbain²⁰⁸. Le *site propre* ou *environnement exclusif* se réfère à un type d'infrastructure dont les voies sont exclusivement et en tout temps réservées à l'usage d'un même mode et service de déplacement. Ce type d'espace de circulation se définit par son contraire, le *site banal* ou *environnement à trafic mixte*, où les voies sont destinées à l'usage de plusieurs modes et services de déplacement. Le caractère *partiel* ou *intégral* du site propre, ou respectivement le caractère *à croisements à niveau* et *à croisements dénivelés* de l'environnement exclusif, provient de la nature du traitement des intersections avec les autres voies de transport. En effet, un site propre partiel a des intersections au même niveau, accompagnées le plus souvent d'un dispositif de priorités au système lumineux de régulation de la circulation, tandis qu'un site propre intégral

203 Le mode automobile et le mode autobus est une synecdoque de leurs véhicules respectifs tandis que le mode métro et le mode tramway est une synecdoque de leurs infrastructures respectives.

204 Le concept de transmodalité met en valeur le métissage des modes de transport lors de leur phase de conception. En effet, dans le but de mieux s'adapter à l'environnement urbain, il peut être choisi qu'un mode de transport empruntent des caractéristiques ou même des éléments à un ou plusieurs autres modes. Amar (2004), pp.191-210 ; Amar (2010), pp.147-191.

205 Le O-bahn d'Adélaïde, Australie-Méridionale, ou le TVR de Caen et Nancy, France, sont des exemples. CERTU (2004), pp.51-52.

206 Un TCSP ferroviaire ayant, de manière réductrice mais possible, un site propre de type à moitié partiel et à moitié intégral peut être difficile à classer entre léger et lourd. Toutefois, d'autres éléments peuvent concourir à ce classement, comme la dimension des véhicules et les normes de sécurité et d'exploitation.

207 CERTU (2004), pp.43-45 ; Merlin et Choay (2009), pp.568-569 ; TCRP (2013), Chap.2, p.31 ; Walker (2012), pp.99-103.

208 Confer la partie 3.1.1 de la présente recherche.

dispose d'aucune intersection à niveau avec d'autres voies. Ainsi, un site propre partiel est généralement établi en surface, à proximité et en parallèle des autres voies de circulation, tandis qu'un site propre intégral est communément construit en surface mais isolé, en aérien ou en souterrain. Néanmoins, comme le site propre intégral, le site propre partiel est dissocié des autres voies de circulation par une séparation physique, qui prend ici la forme d'un muret, d'une barrière ou d'une légère différence de niveau. Si la séparation est immatérielle, le site est qualifié de *réservé*, ou l'environnement de *semi-exclusif*, et il ne sera, toute proportion gardée, plus question d'un TCSP²⁰⁹.

Le *guidage* est un élément important des TCSP bien qu'il n'en soit pas un caractère obligatoire : il permet de distinguer l'une des trois catégories de cette famille de modes. Il s'agit d'un dispositif qui pilote et maintient selon une *trajectoire monotrace* le matériel roulant sur les voies de l'infrastructure, le matériel roulant et l'infrastructure étant tous deux conçus à cet effet. Cela signifie que la trajectoire est déterminée par la voie et ne comporte donc qu'un seul degré de liberté : les véhicules guidés ne peuvent qu'avancer (vers l'avant ou vers l'arrière) et freiner²¹⁰. Les TCSP dont le guidage est *immatériel*, par exemple par le biais d'un dispositif optique ou magnétique, et dont le guidage est *matériel*, c'est-à-dire mécanique, mais *débrayable*, faisant en sorte que le TCSP n'adopte pas une trajectoire monotrace à tout moment de son exploitation, sont considérés comme des TCSP non-guidés²¹¹. Les TCSP guidés sont donc exclusivement des TCSP à guidage *matériel permanent*, grâce à un ou plusieurs rails ou un système équivalent, comme le tramway, le SLR ou le métro²¹². Les *TCSP non-guidés en site propre intégral* sont rares car le caractère intégral nécessite une infrastructure plus onéreuse, compensée par une réduction de l'emprise et justifiée par l'emploi d'un mode de grande capacité, par conséquent guidé²¹³.

209 CERTU (2004), pp.43-63 ; TCRP (2013), Chap.2, pp.31-35, Chap.6, pp.24-52, Chap.8, pp.8-23.

210 CERTU (2004), pp.59-63. TCRP (2013), Chap.11, p.21.

211 Cette considération est basée sur des aspects techniques et réglementaires. Entre autres, un guidage matériel non-débrayable permet « une capacité élevée et évolutive, non soumise aux limitations dimensionnelles du Code de la route ; la réduction d'emprise ; le couplage possible des rames ; la réversibilité de rames (non-obligatoire) ; un accostage régulier à quai et de bonne qualité quel que soit le nombre d'essieux ; la facilité de l'alimentation électrique (retour du courant continu par le rail) ». CERTU (2004), p.53.

212 CERTU (2009b), pp.1-3.

213 Bien que rares, les TCSP non-guidés en site propre intégral peuvent exister sur des sections où la circulation a tendance à être congestionnée, comme à Seattle, Washington, avec le *Downtown Seattle Transit Tunnel* ou des axes entiers, comme à Brisbane, Queensland, avec les *South East, Northern et Eastern Busways*. TCRP (2013), Chap.2, p.35.

Le *véhicule* est un élément des TCSP et se définit comme un appareil mobile permettant le déplacement d'individus. Selon le TCSP, le véhicule peut s'appeler *autobus*, *voiture* ou *rame* ; cette dernière étant un ensemble de voitures. Les TCSP non-guidés en site propre partiel peuvent être exploités par plusieurs types de véhicules routiers, c'est à dire avec un roulement pneumatique. Ce sont des autobus *standards*, *mono-articulés* ou *bi-articulés* qui font, respectivement, une longueur d'environ 12, 18 et 24,5 mètres. L'emploi d'autobus plus petits est techniquement possible mais inusité pour des raisons de moindre capacité. Les TCSP non-guidés peuvent par ailleurs avoir plusieurs types d'alimentation : thermique, électrique ou hybride, tandis que les TCSP guidés sont généralement électriques. Les TCSP non-guidés sont de longueur variable mais il est rare qu'elle soit plus courte que des autobus bi-articulés, pour une question, là encore, de rapport entre la capacité du système et son coût. À cause de contraintes d'insertion urbaine, notamment des stations, les TCSP guidés en site propre partiel font en général environ 30 à 40 mètres de long alors que les TCSP guidés en site propre intégral, peuvent avoir une longueur très importante, supérieure à 50 mètres. Ces derniers peuvent néanmoins être aussi plus courts car le site propre intégral leur garantit un très court intervalle de passage qui compense la plus faible capacité. Ce site propre intégral autorise en outre la conduite entièrement automatisée des véhicules, ce qui procure le même effet bénéfique sur la fréquence. Enfin, les TCSP guidés peuvent avoir deux types de roulement, ferroviaire ou pneumatique. Cependant, le terme ferroviaire est donné aux TCSP guidés non pas en la qualité du roulement mais en celle du guidage matériel permanent. Ainsi, les TCSP guidés en site propre partiel prennent la forme de véhicules *rames* ou *voitures de tramways sur fer* ou *sur pneus* tandis que les TCSP guidés en site propre intégral correspondent à des véhicules *rames* ou *voitures de métros sur fer* ou *sur pneus*²¹⁴.

Enfin, les TCSP sont des modes de transport en commun opérés par *ligne*. Cette dernière est une forme d'exploitation des services de déplacement qui a comme éléments un *itinéraire fixe*, des *arrêts déterminés* en station et une *disponibilité programmée* par un horaire quotidien. L'itinéraire correspond à un même trajet répétitif proposé dans les deux sens, aller et retour. Il peut être linéaire, avec deux terminus, ou circulaire, composé d'un ou d'aucun terminus. De manière ponctuelle, comme pour cause de tra-

214 CERTU (2004), pp.43-63 ; TCRP (2013), Chap.2, pp.31-35, Chap.6, pp.24-52, Chap.8, pp.8-23.

vaux ou de manifestations, l'itinéraire peut être momentanément raccourci ou dévié, si les infrastructures existent et le permettent²¹⁵. Ce trajet est effectué sur des axes viaires successifs, pré-existants ou créés pour l'occasion, qui forment son profil en long et qui sont localisés à la surface, en aérien ou en souterrain. Ces axes forment le tracé des services de déplacement qui couvre une partie des individus, de leurs activités et de leurs artefacts qui prennent place dans l'environnement urbain²¹⁶.

2.2.2 L'attractivité des TCSP

De manière à accroître l'attractivité des réseaux de transports collectifs, il serait nécessaire de séduire, au sens large, les individus²¹⁷. Pour cela, une des premières stratégies à adopter, et peut-être une des plus efficaces, consisterait à réduire les diverses causes d'inconforts des transports en commun qui impactent les individus²¹⁸. « Parmi ces sources d'inconfort, les travaux menés dans les années 1960 ont mis en évidence l'importance de l'attente des modes de transport [...] »²¹⁹. En effet, au court d'un voyage, les phases d'attente sont ressenties comme les plus pénibles. « Le temps de déplacement est également un temps perçu (déduit des comportements des individus), [qui tient] compte de la perception plus ou moins négative associée aux différents moments du déplacement. Par exemple, pour les transports collectifs, les temps [...] d'attente apparaissent comme étant au moins deux fois plus pénibles que les temps en [mouvement] »²²⁰. En outre, une augmentation de la durée de l'attente est synonyme d'accroissement du temps de trajet. Or, le temps de trajet, au côté de la sécurité ou de l'abordabilité financière, est l'un des critères les plus importants lorsque les individus choisissent un mode de transport²²¹. L'attente d'un moyen de transport collectif par les individus peut avoir comme origine deux facteurs : une fréquence de passage faible ou aléatoire et une irrégularité de la durée du trajet²²². Cela signifie que l'attente peut se

215 À moins d'un réseau maillé, il n'est pas possible de dévier un TCSP ferroviaire, à guidage permanent.

216 TCRP (2013), Chap.4, p.17, Chap.5, pp.3-46 et Chap.11, p.3 et p.54.

217 Louvet *et al.* (2013), p..151-152.

218 Il existe plusieurs sources d'inconfort, comme des temps d'attente et de retard, des services irréguliers, un sentiment d'insécurité, un mauvais service à la clientèle et un environnement passager désagréable. TCRP (2013), Chap.5, pp.3-39.

219 Merlin et Choay (2009), p.208.

220 Bonnel (2003), p.28.

221 Merlin et Choay (2009), p.547.

222 Merlin et Choay (2009), p.208.

dérouler aussi bien avant le moment même du déplacement, lorsque l'individu patiente à l'arrivée de son moyen de transport, que pendant le déroulement du trajet, lorsque les passagers subissent les aléas dûs aux différents types de retard. De manière à pouvoir diminuer l'attente des individus, il faudrait alors influencer sur deux paramètres : la disponibilité et la régularité des transports collectifs.

L'attractivité des transports collectifs pour les individus peut prendre la dimension de « la disponibilité qui [...] supprime ou réduit l'attente, les correspondances, les trajets terminaux »²²³. La disponibilité en transport collectif se traduit par la notion de fréquence et d'amplitude du service. Ainsi, plus la fréquence est ressentie comme élevée et l'amplitude comme longue, plus la disponibilité est grande et plus le service de transport collectif est attractif²²⁴. Cette attractivité perçue s'inscrit dans les principes de la spontanéité : la liberté d'effectuer un déplacement, planifié ou imprévu, sans se soucier de la disponibilité du service, c'est-à-dire avoir la capacité d'être mobile à n'importe quelle heure et n'importe quel jour, autant que possible. La *fréquence* d'un mode de transport collectif est le nombre de véhicules qui s'arrête à un arrêt selon une période²²⁵. Généralement, la fréquence est indiquée par l'intervalle de temps, exprimé en minutes, entre deux passages de véhicules. Cet intervalle est la durée d'attente maximum pour un utilisateur. Ainsi, par le terme de service *haute fréquence*, on décrit une ou plusieurs lignes de transport collectif qui dispose d'un intervalle de passage entre deux véhicules de moins de 10 minutes, ce qui est considéré comme *attractif*, au contraire d'un service *basse fréquence*, avec un intervalle moins attractif de plus de 20 minutes²²⁶. L'*amplitude-horaire* d'un moyen de transport en commun est la durée quotidienne au sein de laquelle le service de déplacement est effectué, soit le temps écoulé entre le premier départ et le dernière arrivée d'un véhicule à un terminus²²⁷. L'amplitude indique à l'utilisateur quand le service voulu est en opération. Généralement, l'amplitude est indiquée par les heures de début et de fin du service de transport ou par période de temps : en journée, en soirée et/ou la nuit. Par ailleurs, un service concentré aux heures où les individus se déplacent le plus, soit pendant les jours ouvrés en

223 Merlin et Choay (2009), p.208.

224 TCRP (2013), Chap.4, pp.17-32 ; Walker (2012), p.85.

225 Merlin et Choay (2009), p.405 ; TCRP (2013), Chap.11, p.21 et p.43.

226 CERTU (2004) p.69 ; TCRP (2013), Chap.5, pp.3-8 ; Walker (2012), p.28.

227 TCRP (2013), Chap.11, p.22 ; Walker (2012), p.85.

début de matinée et en fin d'après-midi, lorsqu'ils se rendent par exemple à leur lieu de travail ou d'étude, est appelé un *service d'heures de pointe*²²⁸. Un service de *grande amplitude* est, quant à lui, un service disponible tous les jours de la semaine, au moins en journée et en soirée²²⁹. Il s'agit de l'amplitude-horaire minimum pour considérer un service comme *attractif* ; il existe en effet un service continu, caractérisé de *24 heures*, qui est plus attrayant encore.

L'attractivité des transports collectifs pour les individus peut aussi prendre la dimension de la régularité qui est « source de satisfaction pour l'utilisateur »²³⁰. La régularité en transport collectif peut se traduire par la notion d'une relative constante et grande vitesse de déplacement, quelle que soit l'heure ou la journée où s'effectue le voyage, et donc d'une stabilité du temps de trajet²³¹. Ainsi, plus le trajet est effectué à vitesse ressentie comme convenable et homogène, plus la régularité est grande et plus le transport collectif est attractif. Cette attractivité perçue s'inscrit dans le principe de la fiabilité : la sécurité perçue par l'utilisateur d'effectuer un déplacement à l'intérieur de la période de temps qu'il accepte d'y consacrer, sans avoir l'impression de perdre son temps, sans subir des inconvénients liés à un retard dont il ne serait pas responsable individuellement. La régularité des transports collectifs urbains est analysée par leur *vitesse moyenne* ou *commerciale*²³². Celle-ci se définit par la vitesse d'une ligne durant toute son exploitation commerciale, de terminus à terminus, en comptant aussi bien les temps en mouvement que les temps à l'arrêt. De manière générale, une vitesse commerciale est considérée comme *attractive* lorsqu'elle excède environ 18 kilomètres par heure pour un site propre partiel et 25 pour un site propre intégral, lorsque la ligne est exploitée en milieu urbain et comporte de multiples points d'embarquement et de débarquement²³³.

Par ailleurs, la régularité d'un service de transport en commun est appréciée selon le respect, par les véhicules, des horaires de passage prévus aux différents arrêts de la

228 Le contraire est un service d'heures creuses. Merlin et Choay (2009), p.445.

229 TCRP (2013), Chap.5, pp.3-8 ; Walker (2012), p.85.

230 Merlin et Choay (2009), p.208.

231 La régularité peut aussi être appelée la stabilité ou la fiabilité du temps de trajet. TCRP (2013), Chap.11, p.38 ; Walker (2012), p.28-29.

232 CERTU (2004), pp.71-77 ; Merlin et Choay (2009), p.569 ; TCRP (2013), Chap.11, p.58 ; Walker (2012), p.97.

233 CERTU (2004), p.46 ; TCRP (2013), Chap.3, pp.10-13.

ligne²³⁴. Pour augmenter la régularité, il faut s'intéresser aux différentes sources de retard, qui n'impactent pas obligatoirement la vitesse de pointe, mais qui ont des répercussions négatives sur la vitesse moyenne. Il existe ainsi trois types de retards courants qui détériorent l'attractivité du service de transport en commun²³⁵. Premièrement, les retards de *circulation*, causés par des interférences avec d'autres véhicules, peuvent être les moins prévisibles de part leur apparition et leur durée. Ils sont d'ailleurs les plus anxiogènes pour les individus. Deuxièmement, les retards de *signalisation*, dus aux multiples arrêts à des signaux de régulation de la circulation, peuvent être les moins perceptibles à cause de leur faible étendue temporelle. Cependant, la somme de ces étendues est capable de diminuer sensiblement la vitesse moyenne des véhicules. Troisièmement et dernièrement, les retards de *charge*, causés lors de l'embarquement et du débarquement des passagers aux arrêts (ou stations), sont inhérents au transport en commun. Or, un TCSP est conçu de manière à supprimer ces trois types de retard. En effet, le site propre, au contraire du site banal, supprime par sa nature les retards de circulation. Lorsque le site propre est intégral, le TCSP est protégé en tout temps des retards de signalisation. Cette protection est aussi valable pour les sites partiels qui disposent d'un système de signalisation accordant la priorité au franchissement des intersections, sauf à quelques occasions²³⁶. Néanmoins, une certaine proportion de la ligne de TCSP peut ne pas être en site propre tout comme un certain nombre d'intersections peuvent ne pas être équipées de système de priorité au TCSP. De plus, les TCSP sont construits de manière à diminuer les retards de charge²³⁷. En effet, des gains de temps sont permis à chaque arrêt grâce à un large dimensionnement du système de transport collectif²³⁸ ou encore grâce à un système rapide de perception tarifaire²³⁹. Néanmoins,

234 Merlin et Choay (2009), p.569 ; TCRP (2013), Chap.11, p.38.

235 Les retards courants se retrouvent dans des conditions normales d'exploitation. Cela n'inclut pas des retards exceptionnels dus à des accidents, des véhicules d'urgence, des conditions météorologiques, des grèves ou autres causes. TCRP (2013), Chap.3, pp.3-27 ; Walker (2012), pp.98-103.

236 Un véhicule de TCSP arrivant après un autre véhicule de TCSP passé en sens inverse peut avoir à s'arrêter à l'intersection. De même, un véhicule routier privé arrêté au milieu de l'intersection entraîne l'arrêt du véhicule TCSP à l'intersection. Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1, p.16 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.46.

237 CERTU (2004), p.77 ; TCRP (2013), Chap.3, pp.28-43 ; Walker (2012), pp.99-103.

238 Le temps d'embarquement et de débarquement des passagers se réduit plus l'espace disponible à bord des véhicules, la largeur des portes et la profondeur du quai sont grands et plus l'espace et la différence d'hauteur entre le véhicule et le quai sont petits. TCRP (2013), Chap.3, pp.23-27 ; Walker (2012), p.101.

239 Une validation requise en rentrant en station ou une validation sollicitée à l'intérieur du véhicule à de multiples bornes provoquent moins de retard de charge qu'une validation des titres de transport à bord du véhicule, passager par passager et sous le contrôle du conducteur, empêchant ce dernier de continuer le trajet jusqu'à la validation effective de tous les usagers. CERTU (2004), p.73 ; TCRP (2013), Chap.3, p.39 ; Walker (2012), p.102.

ces deux derniers facteurs sont communs aux systèmes de TCSP. Ainsi, en plus de la vitesse commerciale, la régularité des transports collectifs peut-être appréciée par le *type* et la *proportion du site propre sur la ligne* ainsi que, dans le cas d'un site propre partiel, le *type de priorité accordée par le système signalisation au franchissement des intersections* et la *proportion d'intersections équipées*. Pour disposer de services de déplacements *attractifs*, il est alors préféré un site propre de type intégral plutôt que de type partiel, une ligne exploitée entièrement en site propre et, dans le cas d'un site propre partiel, une priorité de type absolue à toutes les intersections à niveau²⁴⁰.

De ce fait, grâce aux sites propres ou réservés, la vitesse commerciale est plus élevée, la régularité est meilleure et la conduite des véhicules est plus confortable²⁴¹. La régularité des TCSP permet alors de proposer une offre de déplacement fréquente, avec un intervalle minimale entre les passages d'une minute²⁴². Le débit des lignes de TCSP peut donc être très important. Les sites réservés peuvent en effet acheminer de 500 à 2000 voyageurs par heure et par sens, les sites propres partiels de 1000 à 7000 et les sites propres intégraux de 3000 à 70 000, contre 150 à 1200 pour les sites banals²⁴³. De part cette grande capacité de déplacement, il est attribué aux TCSP une place importante dans la hiérarchie des réseaux de transport collectif²⁴⁴. Ils en sont couramment les modes les plus achalandés, en heure de pointe surtout, mais aussi en heures creuses²⁴⁵. Ces modes ont d'ailleurs généralement une grande amplitude de service²⁴⁶. La substantielle disponibilité des TCSP est donc un facteur d'attractivité non-négligeable pour les individus, qui peuvent voir en eux une certaine aisance pour effectuer tout type de déplacement, planifié ou spontané. Les TCSP sont donc une offre séduisante et compétitive en déplacement par rapport à d'autres modes. En effet, un gain d'achalandage est observé sur les axes qui en sont convertis. Les correspondances possibles entre la ligne de TCSP nouvellement créée et les autres lignes permettent de faire croître la fréquentation de l'ensemble du réseau de transport en commun. Par ailleurs, par changements d'habitudes des individus, cette attractivité renforcée peut provoquer un

240 CERTU (2004), p.77 ; TCRP (2013), Chap.3, p.39.

241 Lebreton et Beaucire (2000), p.63.

242 Ceci n'est valable que pour les systèmes automatisés en site propre intégral. CERTU (2004), p.46.

243 CERTU (2004), p.46 ; TCRP (2013), Chap.3, pp.4-10.

244 CERTU (2004), pp.98-99.

245 CERTU (2004), p.70 ; TCRP (2013), Chap.4, pp.37-39.

246 Walker (2012), p.85.

transfert modal à court terme plus ou moins important depuis d'autres modes de déplacements, notamment l'automobile, vers la ligne de TCSP. Ce transfert modal peut aussi se produire à plus long terme par le changement de localisation des individus et des entreprises, grâce à une planification du développement urbain plus dense et mixte d'activités le long du tracé de la ligne de TCSP²⁴⁷. En définitive, grâce entre autres au fait qu'ils aient comme élément exclusif un site propre, les TCSP disposent d'une bonne régularité qui leur permet d'avoir une vitesse commerciale relativement élevée. Conjugée à une disponibilité appréciée grâce à des services de haute fréquence et de grande amplitude-horaire, les TCSP forment donc une offre attractive de déplacement.

2.2.3 La faisabilité des TCSP

Un TCSP ne doit pas être choisi ou décidé en fonction du fait que cela soit un autobus, un tramway ou un métro établi en surface, en tunnel ou en viaduc. Le choix d'un mode de TCSP est dicté par les besoins de son environnement urbain et de l'ensemble des *éléments urbains* qui le composent²⁴⁸, dont notamment la demande en déplacement. Ces éléments sont dotés de *caractéristiques urbaines*, telles qu'un nombre précis d'individus à qui son offre en déplacement est destinée. Toutefois, un mode TCSP est aussi contraint par sa propre nature, soit ses *éléments techniques* voire technologiques²⁴⁹, comme les véhicules ou le site propre, et leurs *caractéristiques techniques*, à l'instar de leur longueur ou de leur largeur. Or, en ce qui concerne un système de transport, « [...] le choix de caractéristiques nettement différentes concernant l'un ou l'autre des sous-systèmes [conduit] à des offres de transports très différentes »²⁵⁰. Autrement dit, de la variation d'état des éléments urbains et techniques et de leurs caractéristiques découlent des offres en déplacement singulières, c'est-à-dire des actions potentielles différentes ou encore des scénarios uniques de projet de TCSP. Ces scénarios doivent proposer un TCSP faisable, signifiant que le projet « doit parvenir à configurer un système réunissant un ensemble d'éléments bien distincts, mais qui existeront en étroite interrelation et en interdépendance capitale »²⁵¹. Autrement dit, le choix des

247 CERTU (2004), pp.144-162 ; TCRP (2013), Chap.4, pp.2-14.

248 Confer la partie 3.3 de la présente recherche.

249 Confer la fin de la partie 3.2.3 de la présente recherche.

250 CERTU (2004), p.12.

251 Corriveau (2012), p.161.

caractéristiques des éléments doit rendre possible la construction et faciliter l'exploitation du système de transport. Tout en devant faire en sorte que le TCSP réponde aux besoins, le projet établit des *contraintes urbaines*, ou caractéristiques spécifiques à l'environnement urbain, auxquelles le mode de déplacement doit être adapté afin d'être *urbainement faisable*, c'est-à-dire constructible et exploitable dans son environnement urbain²⁵². Une contrainte urbaine peut, par exemple, être la desserte d'un territoire dont la demande en déplacement est forte présentement ou le sera ultérieurement. Par ailleurs, tout en prenant en compte que le TCSP doit être attractif, le projet définit des *contraintes techniques* selon chaque mode, soit les caractéristiques possibles des systèmes de TCSP, pour que ce dernier soit *techniquement faisable*, voulant dire constructible et exploitable selon les techniques et les technologies disponibles²⁵³. Une contrainte technique peut, par exemple, être l'atteinte d'une vitesse commerciale considérée comme attractive. En conséquence, le projet de TCSP se doit de respecter l'ensemble des *contraintes techniques et urbaines* issues de l'environnement urbain particulier au projet et des techniques et technologies disponibles quant aux modes de TCSP²⁵⁴. Ainsi, ce n'est qu'en connaissance des contraintes techniques et urbaines qu'un mode de TCSP peut être sélectionné et optimisé. On ne choisit donc pas un autobus, un tramway ou un métro établi en surface, en tunnel ou en viaduc, par exemple, parce qu'il est désiré comme finalité d'avoir un autobus, un tramway ou un métro établi en surface, en tunnel ou en viaduc. On choisit un autobus, un tramway ou un métro établi en surface, en tunnel ou en viaduc parce qu'il est le meilleur moyen de respecter les contraintes d'efficacité du projet : un TCSP attractif, c'est-à-dire disponible et régulier, et faisable, soit constructible et exploitable.

De manière à respecter les contraintes techniques et urbaines, un projet définit précisément les caractéristiques des éléments techniques du TCSP dans les études de pré-faisabilité et de faisabilité. En outre, les besoins de l'environnement urbain et l'attractivité dévolue aux modes de TCSP peuvent être contradictoires quant au respect des contraintes techniques et urbaines, à l'exemple d'un besoin de desservir un territoire disposant d'un réseau viaire d'une largeur trop faible pour accueillir un site propre

252 CERTU (2004), pp.20-32 ; Griffin (2004), pp.43-62 ; TCRP (2013), Chap.6, pp.3-59 et Chap.8, pp.3-43.

253 CERTU (2004), pp.10-19 ; Griffin (2004), pp.63-166 ; TCRP (2013), Chap.6, pp.3-59 et Chap.8, pp.3-43.

254 Confer la partie 4 de la présente recherche.

partiel. Dans ce cas-ci, le projet se place devant une alternative où il est possible d'adapter soit les éléments techniques soit les éléments urbains. Il peut être alors proposer, d'un côté, un site propre banal voire un site propre intégral souterrain ou, d'un autre côté, une expropriation de propriétés privées adjacentes au réseau viaire avec possiblement une démolition de bâtiments. La conception d'un TCSP doit donc être l'objet d'une approche globale, intégrée et itérative des éléments techniques et des éléments urbains, qui sont interdépendants²⁵⁵. Pour cela, les caractéristiques de chaque élément tant technique qu'urbain sont configurées parallèlement avec celles d'autres éléments, de manière à répondre aux besoins de l'environnement urbain, notamment à ceux des individus à qui le service de déplacement est destiné, et à assurer une offre de transport attractive, c'est-à-dire fréquente et régulière. De part la complexité interne aux éléments, la sophistication des relations qui les unissent et leur fonction globale partagée, il est possible de qualifier chacun des modes de cette famille de transports collectifs de *système de TCSP*²⁵⁶. Les TCSP peuvent être vus *a priori* comme des systèmes ouverts. Ils n'observent pas, ne réagissent pas à leur fonctionnement ou à leur inexactitude et ne sont régis ni par les lieux passés ni par un but futur. Ils sont, individuellement, un ensemble de composants permettant, avec l'action d'autres éléments et systèmes, d'assurer leur fonction globale qui est le déplacement d'individus le long de leur tracé²⁵⁷. En outre, plusieurs éléments peuvent être regroupés ensemble pour former des sous-systèmes au système TCSP. Ainsi, ce dernier peut être divisé en trois sous-systèmes : *matériel roulant, infrastructures associées et équipements de gestion et modalités d'exploitation*²⁵⁸. Chacun de ces sous-systèmes est composé d'éléments spécifiques.

Dans le sous-système matériel roulant, qui peut être affecté à une ligne de TCSP ou être géré globalement sur plusieurs lignes, on trouve les éléments suivants²⁵⁹ :

- Les *véhicules* nécessaires à l'exploitation, y compris ceux de réserve.

255 CERTU (2004), p.13 ; Griffin (2004), pp.104-105.

256 CERTU (2004), pp.10-19 ; TCRP (2013), Chap.11, p.52.

257 Charron (1991), pp.209-210 ; Forrester (1984), pp.1-5 ; Merlin et Choay (2009), p.855.

258 CERTU (2004), p.10.

259 CERTU (2004), pp.10-11. Les termes de la liste suivante sont repris de cette source.

- Les *options techniques* choisies, notamment quant à la traction, au guidage, aux aménagements intérieurs, au confort, aux différentes fonctions disponibles pour la conduite.

Dans le sous-système infrastructures associées, qui peut représenter la plus grosse part des investissements, on trouve les éléments suivants²⁶⁰ :

- La *plate-forme* et la *voie* sur laquelle sont exploités les matériels roulants. Cette infrastructure ou l'une de ses parties peut-être copartagée (exploitée en tronçon commun par d'autres services) ou même partagée avec d'autres usages que le transport collectif, voire à l'extrême constituer un site banal. Ce partage n'est pas possible pour tous les systèmes. L'infrastructure peut représenter la plus grosse part des investissements.
- Les *équipements d'alimentation en énergie*.
- Les *ateliers et dépôts* et les voies pour y parvenir.
- Les *points d'arrêts* et leurs zones d'attente et de commodités associées, les lieux d'échange, les espaces de vente et d'accueil de la clientèle.
- Les *équipements techniques* telles que les ascenseurs et escaliers mécaniques.
- Les *aménagements nécessaires à l'insertion du projet*, dont notamment les dispositions constructives de déplacement et rétablissement de réseaux et de voies existantes.
- Les *aménagements qualitatifs complémentaires*. Concernant les TCSP de surface, pour lesquels une réfection de façade à façade est décidée, il est parfois très difficile d'identifier la part des investissements strictement concernée par le système.

260 CERTU (2004), p.11. Les termes de la liste suivante sont repris de cette source.

Dans le sous-système équipements de gestion et modalités d'exploitation, très souvent partagé par plusieurs lignes de TCSP, on trouve les éléments suivants²⁶¹ :

- Les *lieux d'exploitation* tels que le poste de commande centralisé, les bureaux et lieux de vie du personnel.
- Tous les équipements nécessaires au *système d'aide à l'exploitation* (SAE) : les opérations de graphicage, d'habillage, de régulation, de maintenance, de sécurité des biens et des personnes.
- Les modalités et équipements choisis pour la *régulation du mode nominal et des modes dégradés*, y compris celles qui concernent la sécurité des biens et des personnes.
- Les modalités et équipements choisis pour l'*information de la clientèle*, y compris lors des perturbations du service.
- Les modalités et équipements choisis pour la *billettique*.
- Le *personnel d'intervention sur la production des services* (conducteurs, régulateurs, chefs de ligne ou de secteur, personnel de maintenance, personnel de maintenance, agents d'information, etc).

2.2.4 Les coûts d'investissement et d'exploitation des TCSP

Les variations d'état des éléments techniques et urbains façonnent des modes de TCSP dont les enjeux financiers, lors de la construction du projet puis de son opération et de son entretien, diffèrent fortement. En effet, les caractéristiques du TCSP déterminées durant les études de préfaisabilité puis de faisabilité « sont déterminantes au plan de l'évaluation des coûts d'investissement et d'exploitation du projet »²⁶². Les *coûts d'investissement*, aussi appelés coûts de construction ou coût du capital, sont en transport

261 CERTU (2004), p.11 et p.13. Les termes de la liste suivante sont repris de cette source.

262 Griffin (2004), pp.122-123 ; O'Shaughnessy (2006), p.247.

la « dépense en capital nécessaire à la mise en service d'un moyen de transport, qui se décompose [selon les sous-systèmes du mode] »²⁶³. Ces coûts sont assumés de manière ponctuelle dans le temps, lors de l'érection puis de la rénovation des structures, ainsi que lors de l'achat puis du remplacement du matériel roulant. Les *coûts d'exploitation*, aussi appelés coûts d'opération et d'entretien, sont en transport les « dépenses nécessaires pour mettre en oeuvre un véhicule disponible sur une infrastructure existante »²⁶⁴. Les coûts d'opération varient suivant la longueur de la ligne et l'attractivité du service, à l'instar des coûts d'entretien qui augmentent avec l'usure du système. Ces coûts sont défrayés par l'entreprise qui exploite le service de transport en commun, puis sont par la suite transférés à d'autres entités, via tarification, subvention ou imposition²⁶⁵. Ils sont en grande partie récurrents, car assumés à chaque fois qu'un service est réalisé, et leur montant est alors annualisé. En outre, l'entretien continu et annualisé peut être complété par des périodes d'entretien majeur, ponctuelles et répétitives à moyenne échéance. Bien que n'étant pas annualisés, les coûts d'entretien majeur font partie des coûts d'exploitation.

Par ailleurs, pour apprécier les coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme, les méthodes de gestion de projet évaluent sur les coûts sur le cycle de vie des biens livrables. Le *coût du cycle de vie* comprend les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation sur la durée d'exploitation des biens livrables et les coûts de cession ou d'élimination, qui correspondent à la vente ou à la destruction des biens livrables une fois leur exploitation terminée²⁶⁶. Néanmoins, dans le cadre d'un projet de TCSP, le concept du coût sur le cycle de vie est remplacé par celui de *coût global*. Ce dernier remplace les coûts de cession ou d'élimination par les *coûts de régénération*, soit le coût de réinvestissement dans le système de transport en commun afin d'assurer la pérennité des services de déplacement dans le temps. Ce coût de régénération ne doit pas être confondu avec les coûts d'entretien majeur. En effet, ces derniers permettent font partie d'une période d'exploitation alors que les coûts de régénération du système permettent une nouvelle période. Ainsi, le coût global est cyclique et est composé des coûts d'investissement et d'exploitation d'une durée définie par l'investissement, puis

263 Merlin et Choay (2009), p.233 ; TCRP (2013), Chap.11, p.9.

264 Merlin et Choay (2009), p.232 ; TCRP (2013), Chap.11, p.30.

265 Merlin et Choay (2009), p.857.

266 Project Management Institute (2000), p.203.

des coûts de régénération et d'exploitation d'une durée définie par la régénération, puis à nouveau des coûts de régénération et d'exploitation d'une durée définie par la nouvelle régénération, et ainsi de suite. Dans le cadre d'un projet de TCSP, le coût global ne prend donc en compte que les coûts d'investissement et d'exploitation d'une durée définie par l'investissement. De plus, la durée d'exploitation est admise comme étant la durée entre la mise en service du système et sa régénération, correspondant plus ou moins à la durée de vie du matériel roulant²⁶⁷. Ainsi, le calcul du coût global est effectué de la manière suivante :

$$CG = CI + CE$$

CG est le coût global, en unité monétaire sur une période.

CI est le coût d'investissement ou de régénération, en unité monétaire.

CE est le coût d'exploitation sur la durée d'exploitation, en unité monétaire, et se calcule :

$$CE = CA \times DE + CM$$

CA est le coût annuel d'exploitation, en unité monétaire.

DE est la durée d'exploitation, en année.

CM est le coût d'entretien majeur sur la durée d'exploitation.

De manière à réaliser une estimation des coûts d'investissement et à pouvoir comparer plusieurs estimations entre elles, il existe une méthode de décomposition en 16 *postes de dépenses*, aussi appelés rubriques. La somme de ces différents postes équivaut au coût total d'investissement du TCSP, durant toutes les phases de projet avant l'exploitation du système. Ils sont les suivants²⁶⁸ :

1. Les études d'avant-projet et de projet.

²⁶⁷ CERTU (2009b), p.8.

²⁶⁸ CERTU (2004), pp.184-186. Les termes de la liste suivante sont repris de cette source. Cette décomposition est de source française et certains postes peuvent ne pas exister dans un autre contexte, par le fait probable d'un encadrement législatif différent des projets d'infrastructures. Néanmoins, cette décomposition permet d'estimer les coûts d'investissement de manière exhaustive et chaque poste a une définition précise délimitant la provenance des sommes à y inscrire.

2. *La maîtrise d'ouvrage.*
3. *La maîtrise d'oeuvre des travaux.*
4. *Les acquisitions foncières et la libération des emprises.*
5. *La déviation des réseaux.*
6. *Les travaux préparatoires.*
7. *Les ouvrages d'ingénierie.*
8. *La plateforme.*
9. *La voie spécifique des systèmes ferrés et guidés.*
10. *Le revêtement du site propre.*
11. *La voirie (hors site propre) et les espaces publics.*
12. *Les équipements urbains.*
13. *La signalisation.*
14. *Les stations.*
15. *L'alimentation en énergie de traction.*
16. *Les courants faibles et le poste de contrôle centralisé.*
17. *Le dépôt.*
18. *Le matériel roulant.*

19. Les opérations induites.

De façon à accomplir une estimation des coûts d'exploitation et à pouvoir comparer plusieurs estimations entre elles, il existe une méthode de décomposition en 4 postes de dépenses. La somme de ces différents postes équivaut au coût total d'opération et d'entretien du TCSP pendant sa période d'exploitation. Ils sont les suivants²⁶⁹ :

20. L'énergie pour l'exploitation et l'entretien du TCSP.

21. Les charges de personnel pour l'exploitation et l'entretien du TCSP.

22. Les autres achats (hors énergie), les services extérieurs et les sous-traitances.

23. Les frais généraux et les autres charges de structure indirectement liés à l'exploitation et à l'entretien.

Ainsi, les moyens de transport se différencient, entre autres, par leurs coûts d'investissement et d'exploitation²⁷⁰. Les différentes morphologies de systèmes de TCSP font en sorte que ceux-ci peuvent significativement varier. Généralement, plus un mode est capacitaire, plus il est dispendieux à l'investissement et à l'exploitation²⁷¹. Un mode à conduite automatique est toutefois moins cher à l'exploitation qu'un mode à conduite manuelle. En outre, plus la proportion du site propre est importante sur la ligne, en comparaison à un site banal, plus les coûts d'investissement augmente mais plus des économies peuvent être faites à long terme sur les coûts d'exploitation. Il est de même pour le site propre de type intégral, en comparaison à un site propre de type partiel non-doté d'une priorité absolue aux intersections²⁷². Ainsi, pour un projet identique dans un même environnement urbain qui pourrait accueillir l'un ou l'autre des modes de TCSP, il serait possible de présenter un ordre de grandeur théorique des coûts par

269 CERTU (2004), p.187. Les termes de la liste suivante sont repris de cette source. Cette décomposition est de source française et certains postes peuvent ne pas exister dans un autre contexte, par le fait probable d'un encadrement législatif différent des projets d'infrastructures. Néanmoins, cette décomposition permet d'estimer les coûts d'exploitation de manière exhaustive et chaque poste a une définition précise délimitant la provenance des sommes à y inscrire.

270 Merlin et Choay (2009), pp.568-569 ; CERTU (2004), pp.108-112 ; TCRP (2013), Chap.4, pp.41-42.

271 Ces montants plus onéreux sont relatif à leur plus grande capacité, sans toutefois être proportionnels. Des économies d'échelle peuvent en effet être effectuées. Mirabel et Reymond (2013), pp.32-41.

272 CERTU (2004), pp.108-112 ; CERTU (2011b).

mode²⁷³ en comparant leur indice²⁷⁴. Au niveau des coûts d'investissement, si une ligne d'une ligne de métro en site propre intégral vaut 100, une ligne de SLR automatique en site propre intégral vaut 80, une ligne de SLR ou tramway en site propre partiel vaut 30 et une ligne de SRB ou autobus en site propre partiel vaut 10. Quant aux coûts d'exploitation, si une ligne d'une ligne de métro en site propre intégral vaut 100, une ligne de SLR automatique en site propre intégral vaut 75, une ligne de SLR ou tramway en site propre partiel vaut 30 et une ligne de SRB ou autobus en site propre partiel vaut 5. « Mais les niveaux d'offre et de qualité de service sont bien évidemment très différents »²⁷⁵. Pour qu'un projet de TCSP soit *efficient*, il importe alors de contenir les coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme, soit le coût global du projet. Néanmoins, cette *diminution des enjeux financiers* ne doit pas se faire au détriment de l'efficacité du TCSP qui lui permet d'être attractif et faisable tout en répondant aux besoins. L'efficacité est donc déterminée par l'efficacité, les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation à longue échéance. Si l'efficacité permet d'identifier un mode attractif qui répond le mieux aux besoins, l'efficacité autorise alors à justifier objectivement les coûts associés au mode choisi. Les deux démontrent, par conséquent, la faisabilité technique et urbaine ainsi que l'atteinte des enjeux financiers liés au projet. En définitive, un autobus, un tramway ou un métro établi en surface, en tunnel ou en viaduc n'ont pas la même valeur de construction tout comme ils ne représentent pas la même dépense d'opération et d'entretien. On choisit donc un autobus, un tramway ou un métro établi en surface, en tunnel ou en viaduc parce qu'il est le meilleur moyen de respecter les contraintes d'efficacité du projet de TCSP tout en diminuant ses enjeux financiers.

2.3 Les concepts de l'environnement urbain

La méthode d'optimisation de projet de TCSP a pour but de développer de nouveaux scénarios d'un projet de TCSP en phase de conception et d'évaluation de projet. Elle

273 La comparaison de ces modes est effectuée selon les coûts bruts d'investissement et d'exploitation pour un système entièrement à bâtir. Elle ne prend donc pas en compte par exemple les éléments de système de transport préexistants et réutilisables, la demande en déplacement ou la congestion routière. Or, ces facteurs peuvent faire grandement varier les coût d'investissement et d'exploitation.

274 L'ordre de grandeur permet de comparer les systèmes de TCSP entre eux d'après les coûts d'investissement et d'exploitation de manière séparée. Il est établie d'après la méthode des indices, dont la base 100 est le métro en site propre intégral. CERTU (2004), pp.108-112.

275 CERTU (2004), p.110.

tend alors vers la diminution des enjeux financiers tout en respectant les contraintes techniques et urbaines. Pour cela, elle modifie progressivement les caractéristiques du projet de TCSP et de son environnement urbain, de manière à ce qu'elles soient efficaces et efficientes. Ce processus prend en compte l'attractivité des services de TCSP mais aussi les besoins de son environnement urbain, qui sont *in globo* de quatre types. Un TCSP se doit en effet d'être capacitaire et confortable, intégré à son environnement, accessible et pratique ainsi qu'attractif et exploitable aisément²⁷⁶. Dans le cadre de l'optimisation de projet de TCSP, ces besoins peuvent alors être respectivement conceptualisés par la mobilité, la rugosité, l'accessibilité et la productivité. La mobilité correspond à la demande en déplacement des individus. Sa connaissance est primordiale pour produire *in fine* des scénarios avec et sans projet de TCSP, à court et à long terme. Par ailleurs, la rugosité représente les éléments spatiaux, naturels ou humains, qui se trouvent le long du tracé du projet de TCSP. Elle sert à adapter les éléments du TCSP aux obstacles, ou l'inverse, et aux influences biophysiques et anthropiques. En outre, l'accessibilité symbolise la facilité d'emprunter les services du système de TCSP et la praticabilité de ceux-ci pour atteindre divers éléments de l'environnement urbain. Elle permet ainsi de concevoir un TCSP adapté à la diversité des mobilités ainsi qu'utile à rejoindre les lieux d'activités et d'intermodalité. Enfin, la productivité est le rapport entre l'attractivité des services et les moyens financiers mis en oeuvre pour l'obtenir. Elle dépend de la vitesse commerciale, de l'intervalle d'exploitation minimal et du nombre de véhicules du TCSP.

2.3.1 La mobilité

D'un côté, la *mobilité* quotidienne « est la propension d'une population à se déplacer »²⁷⁷ au sein d'un ensemble urbain et correspond à la demande en déplacement. Cette dernière « désigne un changement de localisation qui s'exprime dans le temps [et] englobe l'ensemble des déplacements dans un programme d'activité »²⁷⁸, comme le fait d'aller et revenir de son domicile à un lieu de travail, d'études ou de loisirs. De l'autre côté, les transports forment l'offre en déplacement en « [rassemblant] tous les

276 CERTU (2004), pp.65-112 ; TCRP (2013), Chap.5, pp.3-46 ; Walker (2012), pp.23-37.

277 Merlin et Choay (2009), p.542.

278 Bavoux *et al.* (2005), p.218.

moyens mis à la disposition des voyageurs [...] »²⁷⁹. Cette offre se caractérise par la capacité du mode utilisé, soit le montant maximum d'individus théoriquement déplaçables par ce moyen²⁸⁰. Dans le cas d'un TCSP, l'offre se traduit aussi par des services de déplacement opérés sur une ligne, c'est-à-dire sur un itinéraire fixe d'après une disponibilité programmée²⁸¹.

L'offre de transport permet alors de satisfaire une partie de la demande en déplacement qui est appelée, dans ce cas, la demande *exprimée* ou *effective*²⁸². Il arrive néanmoins qu'une partie de la demande en déplacement ne puissent, pour toutes sortes de raisons, être exprimée ; elle est alors nommée la demande *latente*. L'ensemble de cette demande n'est qu'*actuelle*, c'est-à-dire valable dans un réseau de transport et un ensemble urbain aux caractéristiques géographiques et temporelles définies. Logiquement, la variation dans le temps et dans l'espace des caractéristiques de l'ensemble urbain peut amener à une modification de la demande en déplacement à court, moyen ou long terme en incluant, notamment, une nouvelle demande *induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain*²⁸³. Parallèlement, la variation des caractéristiques du réseau de transport, par exemple par la *mise en service* d'un nouveau système TCSP, peut également changer à court, moyen ou long terme la demande en déplacement ; la demande nouvelle provenant de cet événement est appelée la demande *induite par le projet de TCSP*²⁸⁴. Ces deux types de demande induite peuvent provenir, en tout ou partie, d'une ancienne demande latente, d'une augmentation démographique, d'une mobilité résidentielle ou économique.

Dans le cadre de l'optimisation d'un projet de TCSP, il est important de connaître deux types de demande à deux stades différents. Dans un premier temps, il est nécessaire de savoir si la présente offre en déplacement, sans projet de TCSP, nécessite des investissements afin de satisfaire la demande exprimée actuelle et celle à long terme, comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain. Si

279 Bavoux *et al.* (2005), p.219.

280 Merlin et Choay (2009), p.145.

281 Confer la partie 3.2.1 de cette présente recherche.

282 TCRP (2013), Chap.11, p.14 et p.28.

283 Une fois développé, l'ensemble urbain évolue dans le temps, ce qui peut faire varier la demande. Si cette variation est négative, on peut parler de demande *désinduite*. SÉTRA (2012), p.6.

284 Offner, Jean-Marc *in* Espace Géographique (1993), p.238 ; SÉTRA (2012), pp6-7.

aucun investissement n'est requis, le projet de TCSP peut être difficilement recevable, à moins d'une économie réalisée sur les coûts d'exploitation. Dans un second temps, il faut être capable d'évaluer la demande que l'offre du futur TCSP doit absorber lors de sa mise en service, comprenant la demande induite par lui-même, et à long terme, comprenant la demande induite par lui-même et par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain. Le but est d'éviter toute surcapacité ou sous-capacité du mode, c'est-à-dire tout surinvestissement ou sous-investissement²⁸⁵. Ainsi, la mobilité est un concept permettant de prévoir une offre de transport adaptée à la demande en déplacement. Ce concept, en tant que contrainte, participe à l'efficacité du système de TCSP en phase d'exploitation. En outre, en tant qu'enjeu, il permet la comparaison de deux scénarios, avec ou sans projet, qui concourt à la démonstration du besoin d'investissement dans un nouveau système et donc à l'efficacité du projet en phase de conception et évaluation de projet. En conséquent, la mobilité peut être considérée comme un concept issu de l'environnement urbain et qui a pour fonction l'efficacité et l'efficacité du projet de TCSP. On y trouve alors les éléments suivants :

- *La demande en déplacement exprimée actuelle.*
- *La demande en déplacement exprimée à long terme, comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain.*
- *La demande en déplacement exprimée et induite par le projet de TCSP à sa mise en service, comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain.*
- *La demande en déplacement exprimée et induite par le projet de TCSP à long terme, comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain.*

285 Merlin et Choay (2009), p.233.

2.3.2 La rugosité

« En matière de transport, comme pour toutes les autres fonctions sociétales, on ne fait pas tout ce que l'on veut n'importe où dans l'espace. La Terre n'est pas une boule de billard et sa surface, loin d'être lisse, oppose aux volontés humaines de mobilité parfaite des rugosités et opacités de toutes sortes. Malgré les progrès techniques, nos déplacements ne sont pas libérés de toutes les influences biophysiques et restent confrontés aux frictions différenciées des lieux, compliquées par les inégalités entre modes de transport et entre niveaux socioéconomiques des aires considérées »²⁸⁶. Les *rugosités*, se définissent « par référence à l'état d'une surface qui présente des aspérités, [comme un] ensemble de toute ce qui contrarie et freine la circulation en s'opposant à sa fluidité. Divers éléments physiques (nature du substrat, topographie, couvert végétal, etc) ou humains (état du réseau de transport, densité de l'habitat, frontière, etc) génèrent des frictions et des résistances au mouvement. La rugosité peut se traduire par un allongement des parcours, une augmentation des temps de déplacement, de la consommation d'énergie, des coûts, etc »²⁸⁷. Confrontés aux combinaisons variées de diverses particularités biophysiques et anthropiques de l'environnement urbain, les caractéristiques des modes de transport sont inégalement efficaces²⁸⁸.

La région de Montréal dispose d'un territoire particulier, à cause principalement de l'hydrographie, mais aussi de la topographie. Elle est en effet située au sein du delta fluvial de la rivière des Outaouais dans le fleuve Saint-Laurent, qui forme un archipel d'îles dont la principale est l'île de Montréal. La topographie est relativement plane, à l'exception des collines Montérégiennes, dont le Mont-Royal au centre de l'île de Montréal et d'autres collines en Rive-Sud, le Plateau Montréalais, entre Montréal et Laval et dont font partie les coteaux Saint-Jacques, Sherbrooke et Cap Saint-Martin, ainsi que le Grand coteau en Rive-Nord, traversant par exemple Sainte-Thérèse, Lorraine et Terrebonne. La Ville de Montréal est située sur cette île éponyme et son centre-ville se trouve entre le fleuve, au sud, et le Mont-Royal, au nord. Les quartiers centraux de Montréal, composés par une morphologie de type urbain, se situent sur le

286 Bavoux *et al.* (2005), p.63.

287 Bavoux *et al.* (2005), p.220.

288 CERTU (2004), p.23 ; TCRP (2013), Chap.3, pp.30-37.

pourtour du Mont-Royal, ainsi qu'à l'est et au sud-ouest du centre-ville. Ces lieux sont plutôt denses en artefacts et en espaces accueillant diverses activités humaines²⁸⁹.

Les dénivellations et les coupures hydrographiques peuvent avoir des effets contradictoires concernant l'établissement d'un TCSP. En effet, il peut ne pas exister « [...] d'itinéraire alternatif pour reporter ailleurs la circulation automobile [...] »²⁹⁰ ou être nécessaire de construire de nouveaux ponts ou tunnels pour le TCSP ou la circulation reportée. Néanmoins, elles peuvent « favoriser l'émergence d'un site propre par un effet de concentration des lignes de transport public sur l'axe de franchissement [des rugosités] »²⁹¹ et même d'un site propre intégral correspondant à l'ouvrage d'ingénierie permettant le franchissement. En outre, la présence de bâtiments ou de propriétés foncières peut être gênant pour l'établissement d'un TCSP ; la démolition des premiers ou l'expropriation des seconds peut donc être nécessaire. De plus, la traversée d'un lieu par un TCSP peut parfois être considérée comme nuisible au paysage, ce qui peut entraîner l'adoption de dispositifs visuellement palliatifs. Par ailleurs, le réseau viaire est morphologiquement très varié et, de la sorte, il peut influencer le choix de localisation des éléments du TCSP si ces derniers sont établis en surface. En effet, outre la largeur des emprises, la connectivité des voies est différente selon les lieux, offrant parfois une multiplicité d'itinéraires ou obligeant dans d'autre cas l'emprunt d'un seul axe de communication²⁹². Par exemple, dans la région de Montréal, le réseau viaire peut être regroupé en deux catégories. D'une part, il existe un réseau dit *urbain*, en grille orthogonale où la majorité des rues sont connectées. Il est situé au centre de l'île de Montréal et au nord de Longueuil. D'autre part, il se trouve un réseau dit *suburbain*, de forme curviligne et arborescent, donc peu connecté, qui relègue sur quelques grands axes la circulation de transit. Ce dernier se localise sur le pourtour de la région²⁹³.

Dans le cadre de l'optimisation d'un projet de TCSP, il est important de prendre en compte la rugosité de manière à configurer les éléments du mode choisi pour qu'ils

289 Hanna (1993).

290 CERTU (2004), p.23.

291 CERTU (2004), p.23.

292 Bavoux *et al.* (2005), p.88.

293 Hanna (1993), p.5.

puissent les atténuer, sans hausser significativement les coûts d'investissement voire d'exploitation, ou, à défaut, afin de choisir un autre mode qui puisse répondre aux rugosités de manière plus économique. Ainsi, la rugosité s'oppose au fait de circuler partout sur le territoire car diverses particularités naturelles et humaines qui y sont présentes peuvent se traduire en contraintes et en enjeux de transport. La rugosité est un concept permettant de prévoir une offre de déplacement adaptée aux aspérités du territoire. Ce concept, en tant que contrainte, participe à l'efficacité du système de TCSP en phase d'exploitation. En outre, en tant qu'enjeu, il permet l'intégration *a priori* des coûts d'atténuation des rugosités et participe donc à l'efficience du projet en phase de conception et évaluation. En conséquent, la rugosité peut être considérée comme un concept issu de l'environnement urbain et qui a pour fonction l'efficacité et l'efficience du projet de TCSP. On y trouve alors les cinq éléments du tissu urbain²⁹⁴ suivants :

- Les particularités biophysiques du tracé, rugosité d'origine naturelle, qui correspondent au *site*. Ce sont le relief, les cours d'eau et le climat variant selon les saisons.
- Les particularités anthropiques du tracé, rugosité d'origine humaine, qui correspondent au *réseau viaire*, l'ensemble des voies de communication, du *découpage parcellaire*, à la division de l'espace en de multiples propriétés foncières, aux *bâtiments*, les artefacts immobiliers, et aux *espaces vides* tant publics que privés, résultant de l'absence d'artefacts immobiliers et dont fait partie le réseau viaire et une partie du découpage parcellaire.

2.3.3 L'accessibilité

« L'accessibilité d'un lieu est la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce lieu peut être atteint à parti d'un ou de plusieurs autres lieux, à l'aide de tout ou partie des moyens de transport existants. [...] Or les transports n'ont d'intérêt que parce qu'ils répondent à des besoins de déplacements. En tant que support des activités humaines, ils doivent satisfaire au mieux la demande. [...] Il s'agit par exemple de l'accessibilité

²⁹⁴ Merlin et Choay (2009), p.886.

aux lieux d'emplois, aux commerces, aux services, à la population ou à la richesse. L'accessibilité d'une fonction à partir d'un lieu sera d'autant plus forte que les opportunités attirant les déplacements seront nombreuses et proches. Dans cette acceptation, la propension du lieu d'origine à émettre les flux n'est pas prise en compte. Seul importe l'attrait des destinations et donc de leur capacité à attirer »²⁹⁵.

« La prise en compte d'une très bonne accessibilité des piétons [est] essentielle pour les [transports collectifs urbains] »²⁹⁶. En effet, un individu est, à toute fin pratique de déplacement, d'abord et avant tout un piéton. La marche est donc le mode de déplacement privilégié entre les stations du projet de TCSP et les lieux d'activités humaines, comme il l'est entre ces mêmes stations et les arrêts d'autobus, stations de tramway ou de métro, gares de train, stationnements incitatifs pour automobiles, ancrages pour vélos ou toutes autres interfaces entre le projet de TCSP et d'autres modes de transport permettant un trajet multimodal²⁹⁷ jusqu'aux lieux d'activités. Hormis la marche, le vélo et les autres modes de transport en commun seront, avant et après l'emploi de la ligne de TCSP projetée, les moyens de déplacement privilégiés en zone urbaine alors qu'en zone suburbaine, ce seront principalement l'automobile voire les autres modes de transport en commun²⁹⁸. Ces interfaces de transport, où les individus sont piétons jusqu'à l'emploi d'un autre mode de déplacement, sont par ailleurs appelées des lieux d'intermodalité²⁹⁹. Toutefois, comme la marche impose une vitesse de déplacement plutôt faible ainsi qu'une certaine aptitude physique, il est nécessaire que les distances entre les stations du projet de TCSP et les lieux d'activités ou d'intermodalité soient raisonnables³⁰⁰, soit à l'intérieur d'un rayon de 5 à 10 minutes de marche³⁰¹.

Enfin, la demande n'est pas uniforme, dans le sens où les êtres humains ne se déplacent pas physiquement de la même manière. La mobilité des individus peut en effet être plus ou moins réduite selon l'âge et le niveau de handicap (moteur, sensoriel, etc),

295 Bavoux *et al.* (2005), p.41.

296 CERTU (2004), p.62.

297 La multimodalité qualifie une combinaison de plusieurs modes de déplacement lors d'un même trajet. Bavoux *et al.* (2005), p.218.

298 CERTU (2004), pp.105-106 ; TCRP (2013), Chap.5, p.78.

299 L'intermodalité qualifie une transition d'un mode de transport à un autre. Bavoux *et al.* (2005), p.217.

300 CERTU (2004), p.105 ; TCRP (2013), Chap.4, pp.17-36.

301 Ce temps de marche est toutefois relatif à la morphologie et à la connectivité du réseau viaire ; conférer la partie 3.3.2 de cette présente recherche. Duany *et al.* (2010), 6.1 et 6.6.

qu'il soit d'ailleurs permanent ou temporaire³⁰². L'éthique et les lois imposent de nos jours que les systèmes de transport en commun soient accessibles à tous les handicaps de mobilité³⁰³. De plus, les coûts d'investissement importants pour rendre les systèmes de transport accessibles aux individus présentant des limitations physiques supposent la contrainte à tout nouveau système TCSP d'être conçu à l'origine selon des normes d'accessibilité précises³⁰⁴. En outre, les mesures d'accessibilité profitent à tous les voyageurs ainsi qu'à une meilleure productivité et attractivité du TCSP³⁰⁵.

Dans le cadre de l'optimisation d'un projet de TCSP, il est important de veiller à ce que le projet de TCSP soit accessibles à tout individu et rende accessible les lieux d'activités et les moyens de déplacement complémentaires y menant. L'accessibilité est alors une contrainte en phase d'exploitation du TCSP et, par le fait, un enjeu en phase de conception et d'évaluation de projet. L'accessibilité peut donc être considérée comme un concept issu de l'environnement urbain et qui a pour fonction l'efficacité et l'efficience du projet de TCSP. Ainsi, on y trouve les éléments suivants :

- *L'accessibilité aux lieux d'activités* présents sur le territoire de desserte, c'est-à-dire la capacité d'atteindre par biais d'une distance de marche raisonnable les lieux résidentiels, d'emplois, de loisirs et institutionnels.
- *L'accessibilité aux lieux d'intermodalité* présents sur le territoire de desserte, c'est-à-dire la capacité d'atteindre par la marche les lieux de correspondance avec par exemple le vélo, les transports en commun ou l'automobile.
- *L'accessibilité de la diversité des mobilités*, c'est-à-dire l'ensemble hétérogène des capacités physiques³⁰⁶ de déplacement, au projet de TCSP.

302 D'autres typologies de mobilité existent mais ne sont pas incluses dans le cadre de cette recherche. TCRP (2013), Chap.2, p.10.

303 *Loi assurant l'exercice des droits des personnes handicapées en vue de leur intégration scolaire, professionnelle et sociale* (2004).

304 Bu *et al.* (2010), pp.153-154.

305 CERTU (2004), p.94.

306 Les moyens et le temps de la recherche étant limités, elle ne prend pas en compte les incapacités sensorielles. Néanmoins, les dispositifs palliant ces incapacités présentent des coûts plutôt faibles en comparaison aux équipements destinés aux incapacités moteurs. Ils sont donc moins significatifs dans le cadre de l'optimisation.

2.3.4 La productivité

Le système TCSP peut être considéré comme un système ouvert³⁰⁷. Toutefois, parce qu'il est opéré par une AOT qui veille à la pérennité de leur service en organisant, au quotidien, leur exploitation et leur entretien tout en étant capable de réagir, ponctuellement, en cas d'incident, il est possible de le considérer comme un système clos à rétroaction négative. Comme chaque entreprise, une AOT veille à la productivité de son offre, c'est-à-dire au « [...] rapport qui existe entre la production d'un [...] service et le coût des moyens mis en oeuvre pour le produire »³⁰⁸. Le service d'une AOT est le déplacement d'individus, ce qui correspond également à la fonction du TCSP. La productivité est donc une forme de relation entre la fonctionnalité du service de transport et les coûts d'exploitation, coût unitaire nécessaire à la production du service, et les coûts d'investissement, dépense forfaitaire requise pour implanter puis exploiter un TCSP³⁰⁹. Ainsi, la productivité fait le lien entre l'efficacité du TCSP en phase d'exploitation et l'efficience du projet en phase de conception et d'évaluation.

Un système de TCSP impose un type de service précis le rendant attractif pour les individus : disponible et régulier³¹⁰. Ces deux éléments sont antagonistes quant aux coûts d'exploitation qu'ils induisent. D'une part, plus l'offre est disponible, plus les coûts d'exploitation augmentent puisque les services, plus nombreux et plus longtemps en déplacement, requièrent plus de moyens pour les produire. D'autre part, plus l'offre est régulière, plus les coûts d'exploitation diminuent puisque les services, plus rapides en déplacement, nécessitent moins de moyens. La vitesse commerciale du TCSP est toutefois un élément transcendant l'antagonisme financier de la disponibilité et de la régularité. En effet, pour une même disponibilité de l'offre, plus la vitesse commerciale est élevée, plus les services du TCSP sont rapides et nécessitent, en conséquent, moins de moyens de production. Ainsi, la régularité permet d'abaisser le prix de la disponibilité. Or, pour obtenir une haute vitesse commerciale, il faut que l'offre soit régulière, sans retard de toute sorte. Cette économie est en outre bénéfique, puisqu'elle participe à l'attractivité du TCSP. Elle est réalisable par le biais d'éléments de l'infrastructure

307 Confer la partie 3.2.1 de cette présente recherche.

308 Bavoux *et al.* (2005), p.219.

309 Merlin et Choay (2009), p.233 ; TCRP (2013), Chap.3, p.8.

310 Confer la partie 3.2.2 de cette présente recherche.

et des équipements de gestion et modalités d'exploitation, comme le site propre ainsi que, dans le cas d'un site propre partiel, la priorité accordée aux intersections³¹¹.

En parallèle, pour une même offre, plus la fréquence de passage d'un TCSP est faible, plus l'intervalle d'exploitation augmente et requiert, logiquement, moins de moyens de production. Nonobstant le fait que cet intervalle ne doit pas être trop court pour ne pas représenter d'importants coûts de production, il doit aussi ne pas être trop long afin de veiller à la disponibilité et donc à l'attractivité du TCSP. Comme l'intervalle d'exploitation dépend de la capacité du matériel roulant et de la demande en déplacement, il est décisif qu'il soit pris en compte de manière théorique dès le dimensionnement du TCSP, c'est-à-dire lors du choix de caractéristiques du système de transport en rapport aux nombres d'individus souhaitant l'emprunter. Cependant, l'intervalle d'exploitation est un élément du système productivité car, avec la vitesse commerciale, il détermine le nombre de véhicules requis pour l'exploitation. Or, ces derniers, qui constituent directement en soi une dépense d'investissement et d'exploitation, représentent aussi indirectement un coût d'opération, en influant sur la taille de la masse salariale et sur la consommation d'énergie³¹². Les salariés représentent un moyen de production significatif pour les services de transport collectif, que ce soit pour conduire les véhicules, réguler l'exploitation ou assurer la sécurité et l'entretien. Néanmoins, comme les frais de personnels peuvent représenter les deux tiers des coûts d'exploitation des AOT, l'optimisation de projet doit veiller à utiliser cette ressource à bon escient³¹³. Il en est de même pour les coûts d'énergie, qui équivalent à environ un dixième des coûts d'exploitation³¹⁴.

Dans le cadre de l'optimisation d'un projet de TCSP, il est important de veiller à ce que la disponibilité et la régularité soient attractives pour les individus, sans toutefois alourdir les coûts d'investissement et d'exploitation³¹⁵. En effet, la productivité peut être vue comme une contrainte en phase d'exploitation du TCSP et, par le fait, un enjeu en phase de conception et d'évaluation de projet. La productivité peut donc être

311 CERTU (2004), pp.73 et 112 ; TCRP (2013), Chap.5, p.78.

312 CERTU (2004), p.72 ; TCRP (2013), Chap.4, pp.40-41.

313 Merlin et Choay (2009), p.232 ; CERTU (2004), p.112.

314 CERTU (2004), p.112.

315 Bavoux *et al.* (2005), pp.202-203 ; Merlin et Choay (2009), pp.404-405.

considérée comme un concept issu de l'environnement urbain et qui a pour fonction l'efficacité et l'efficience du projet de TCSP. Ainsi, on y trouve les éléments suivants :

- La *vitesse commerciale*, qui représente la régularité moyenne et qui caractérise le nombre de véhicules.
- L'*intervalle d'exploitation minimal*, qui décrit la disponibilité maximale et qui définit le nombre de véhicules.
- Le *nombre de véhicules*, qui influe sur diverses dépenses directes et indirectes en exploitation et en investissement.

2.4 La méthode d'optimisation de projet de TCSP

La méthode d'optimisation de projet de TCSP a pour but de développer de nouveaux scénarios d'un projet de TCSP en phase de conception et d'évaluation de projet. Elle tend alors vers la diminution des enjeux financiers tout en respectant les contraintes techniques et urbaines. Pour ce faire, plusieurs documents et informations sont requis, comme les études de préféabilité et de faisabilité décrivant le projet de TCSP à optimiser, des guides théorisant les possibilités de conception d'un TCSP voire tout autre documents disposant d'informations utiles à l'optimisation. Une fois ceux-ci obtenues, le processus d'optimisation peut s'effectuer en quatre étapes distinctes, bien que devant faire l'objet d'une approche globale, intégrée et itérative, qui reprennent les concepts de l'environnement urbain : le choix et dimensionnement du TCSP, l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé, la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements ainsi que la conception du site propre et du franchissement des intersections. Ces étapes disposent de contraintes techniques et urbaines à respecter et d'enjeux financier vers lesquels tendre. Elles peuvent amener à la transformation des éléments du TCSP et de leurs caractéristiques, permettant alors de développer des solutions optimisées et alternatives à la solution initiale. Adjointe au scénario initial, chacune des solutions optimisées créent un scénario optimisé. Enfin, lors d'une cinquième étape, les scénarios initial et optimisés peuvent être comparé selon leur niveau d'efficacité et d'efficience, autori-

sant par la même à dégager la portée et les limites de la méthode d'optimisation de projet de TCSP et des résultats qu'elle produit.

2.4.1 Les documents et les informations requis à l'optimisation de projet de TCSP

Les documents requis à l'optimisation de projet de TCSP sont de trois types. Le premier type correspond aux documents qui définissent le projet de TCSP. La méthode d'optimisation perçoit le projet de TCSP comme un problème empirique et contextuel à résoudre. Ce problème est caractérisé par l'opinion des décideurs ou par le questionnement suscité *via* les résultats de méthodes d'évaluation et d'aide à la prise de décision. Cette opinion ou questionnement se fonde selon les informations produites dans le cadre des études de préfaisabilité et de faisabilité réalisées en phase de conception et d'évaluation³¹⁶. Ces études ont pour but l'analyse d'un projet proposé selon divers composantes pour déterminer de sa viabilité. Dans le cadre d'un projet de TCSP, les composantes du marché et de la technique sont les plus importantes. En effet, l'étude de marché estime la demande en déplacement sur le tracé du futur TCSP et l'étude technique définit la ligne, le mode, les caractéristiques de l'offre et potentiellement des modifications à l'environnement urbain ainsi que les coûts d'investissement et d'exploitation qui en découlent. Les études de préfaisabilité et de faisabilité sont donc le premier type de documents que la méthode d'optimisation nécessite, puisqu'elles produisent des informations sur l'achalandage estimé, sur les éléments techniques du TCSP, sur les éléments urbains du tracé, et sur les coûts du projet. L'ensemble de ces informations définit donc le projet de TCSP à optimiser et est par conséquent utile au processus d'optimisation en tant que tel. Afin d'appliquer cette méthode, la présente recherche prend pour exemple le projet de tramway de la Ville de Montréal tel qu'il a été planifié de 2008 à 2012 par l'administration du maire Gérald Tremblay. La majeure partie des volumes des études de préfaisabilité et de faisabilité a été rendue publique³¹⁷ et permet de détailler de manière exhaustive³¹⁸ le projet de tramway. En outre, il est

316 Confer la partie 3.1.1 de la présente recherche.

317 Une majorité des volumes de l'étude de préfaisabilité (Vol.A, B1, C1, C2, C3-1, C3-2, C3-3 et F1) et de l'étude de faisabilité (Vol.A, B1, B2, B5-1, B5-2, B6, C3-1, C4, C5-2, D1, D3, F1, Y3 et Y4) ont été un moment disponibles au téléchargement sur le site internet de la Ville de Montréal, entre les années 2011 et 2013 environ. Le rapport de la CCMM est toujours disponible.

318 Les volumes rendus publics de l'étude de préfaisabilité font, en totalité, 282 pages et ceux de l'étude de faisabilité 963 pages. Ils incorporent textes, tableaux, figures, cartes et images et présentent un ensemble varié de caractéristiques du projet de TCSP.

à noter que le projet n'est pas allé au-delà de cette phase et que les informations produites dans l'étude de faisabilité, qui font suite à celles de l'étude de pré-faisabilité, sont les dernières³¹⁹ à l'égard du projet de TCSP. Enfin, il doit être souligné que l'optimisation n'est réalisable que grâce à l'existence et la disponibilité de ces documents.

Le deuxième type sont les documents qui permettent une critique théorique de la conception du projet de TCSP. Ce sont des manuels ou guides de conception des systèmes de TCSP qui ont été édités par des centres de recherche en sciences appliquées et rédigés par des chercheurs spécialisés dans l'élaboration et l'accompagnement de projets de transport en commun, notamment dans le cadre d'une nouvelle offre de déplacement s'intégrant au réseau existant. Ces manuels accordent une grande place à l'efficacité des systèmes de transport, c'est-à-dire leur attractivité, soit leur capacité à être régulier et disponible, et leur faisabilité, soit leur capacité à être constructible et exploitable. Néanmoins, ils abordent aussi leurs coûts d'investissement et d'exploitation de ces systèmes, ce qui permet d'apprécier les solutions efficaces d'après leur efficacité. Dans le cadre de la méthode d'optimisation de projet de TCSP, les informations de ces manuels sont primordiales. En effet, ces informations sont théoriques avec des critères, ou caractéristiques-cadres, tels que des valeurs minimales, moyennes et/ou maximales utiles à la définition des caractéristiques du système de TCSP. Ces informations sont aussi pratiques, puisqu'elles permettent de calculer ou d'argumenter le choix précis de caractéristiques pour le TCSP en projet. Afin d'appliquer la méthode d'optimisation, la présente recherche s'appuie sur deux manuels différents. Le premier manuel s'appelle *Les modes de transport collectif urbain, Éléments de choix pour une approche globale des systèmes* et a été réalisé par le *Centre d'études sur les réseaux, les transports l'urbanisme et les constructions publiques* qui a été financé par la *Direction des Transports terrestres du ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer* de la République Française³²⁰. Ce manuel aide à comprendre la complexité des modes de transport collectif urbain en les présentant selon une approche globale où, pour chaque critère, tous les modes sont comparés selon une démarche systématique et répétitive. Il permet aussi d'entrevoir le choix d'un mode

319 Ce fait est à l'exception d'une étude rendue publique sur le financement et une autre non-rendue publique sur l'aspect socio-économique du projet. Ces dernières ne participent toutefois pas à la conception du système TCSP. Il est possible que d'autres informations aient été produites dans des études non-rendues publiques. CCMM (2012), p.31.

320 CERTU (2004).

et d'une ligne ainsi que la conception des éléments du projet selon une approche intégrée et itérative. Enfin, il met en exergue les fondamentaux d'efficacité des systèmes de transport avec leurs effets sur l'environnement urbain et les coûts d'investissement et d'exploitation. Le second manuel s'appelle *Transit Capacity and Quality of Service Manual* et correspond au rapport numérotée 165 du *Transit Cooperative Research Program* du *Transportation Research Board* qui a été financé par la *Federal Transit Administration* des États-Unis d'Amérique³²¹. Ce manuel fournit des conseils sur les modes de transport en commun eu égard à la faisabilité et l'attractivité, notamment sur la question de la capacité. Il offre aussi un cadre de conception des éléments du projet selon une multitude de facteurs et d'effets interreliés sur le mode et l'environnement urbain. Il permet, par ailleurs, de comprendre les fondamentaux de l'efficacité des transports en commun et de les mettre en pratique, en abordant la question des coûts qu'ils provoquent. Par rapport à l'ouvrage du CERTU, le manuel du TCRP est beaucoup plus exhaustif sur les critères d'efficacité selon l'environnement urbain. Néanmoins, il n'aborde pas les modes selon une approche globale : chaque mode fait l'objet d'un chapitre différent, doté de critères parfois variables qui complique la comparaison entre modes.

Le troisième type prend la forme de documents qui permettent une critique empirique du projet de TCSP. Ce sont des articles ou des ouvrages spécialisés dans la conception de système de transport en commun, permettant un retour d'expérience sur l'efficacité et l'efficience de projets de TCSP existants et construits dans un environnement urbain particulier. Certains articles et ouvrages induisent même une aide à la conception d'après un nombre significatif de retours d'expériences, permettant de dégager des critères génériques d'efficacité et d'efficience. Dans le cadre de la méthode d'optimisation, les informations de ces articles et ouvrages sont utiles pour appuyer le pragmatisme des scénarios optimisés. Contrairement aux deux premiers types de documents, qui interviennent de manière régulière au sein du processus d'optimisation, ces documents sont apportés de manière opportuniste, en réaction à un besoin précis de retours d'expérience pour argumenter sur l'efficacité ou l'efficience d'une solution. L'usage de ce type de documents n'est donc ni obligatoire ni restrictif : il concerne tous types de documents disposant d'informations qui composent une aide à la réalisa-

321 TCRP (2013).

tion du processus d'optimisation. Néanmoins, ces sources peuvent être regroupées en deux groupes : un premier groupe rassemble des articles et ouvrages sur la conception d'un projet de TCSP pouvant servir de référence à adapter au projet de tramway de la Ville de Montréal³²² ; tandis qu'un second groupe concerne les articles et ouvrages qui considèrent un nombre significatif d'expériences pour établir des solutions génériques³²³. Enfin, l'usage de ce dernier type de documents, au contraire des deux premiers, ne paraît pas obligatoire au déroulement du processus d'optimisation, bien qu'il y aide grandement.

2.4.2 Le processus et les résultats de l'optimisation de projet de TCSP

L'optimisation de projet de TCSP est le processus qui tente de résoudre le problème défini en tendant vers un enjeu tout en respectant des contraintes. Dans le cadre de la présente recherche, le problème à résoudre concerne le projet de tramway de la Ville de Montréal qui peut être considéré comme étant devenu dispendieux au regard des coûts d'investissement et d'exploitation tels qui avaient été anticipés dans le Plan de transport. Ceux-ci ont en effet respectivement doublé ou augmenté de moitié entre les premières et les dernières estimations faites pour cette ligne de tramway. La recherche tend ainsi à la diminution des enjeux financiers, appréciés par les coûts d'investissement et d'exploitation du projet, où l'optimum serait une valeur nulle. Pour cela, il modifie progressivement les éléments du projet et de son environnement urbain, pour que leurs caractéristiques respectent les contraintes techniques et urbaines tout en minimisant l'enjeu financier. Les contraintes techniques et urbaines ont pour but de contextualiser partiellement, de manière exhaustive mais concise, le processus d'optimisation, pour que le projet de TCSP puisse être attractif et faisable. Chaque modification crée un scénario *optimisé*, par opposition au scénario *initial* issu des études de préfaisabilité et de faisabilité. Chaque scénario est alors unique dans son rapport entre l'atteinte de l'enjeu et le respect des contraintes. La méthode d'optimisation de projet de TCSP n'a pas pour fonction d'évaluer les scénarios mais d'en proposer. Cependant, ces scénarios peuvent être appréciés selon leur respect ou non des contraintes

322 Ces articles et ouvrages ont été utilisés de manière très ponctuelle.

323 Ces articles et ouvrages ont souvent été consultés : Amar (2004) ; Bavoux (2005) ; CERTU (2009a) ; CERTU (2009b) ; CERTU (2011a) ; CERTU (2011b) ; CERTU (2012) ; Griffin (2004) ; Muller (2007a) ; Muller (2007b) ; Muller (2008) ; Muller (2011) ; Muller (2012a) ; Muller (2012b) ; Walker (2012) ; Wright et Ashford (1989).

techniques et urbaines ainsi que selon leur coûts d'investissement et d'exploitation. La méthode peut alors les comparer et dégager un scénario qui est efficace et le plus efficient d'après ces critères, sans toutefois affirmer qu'il s'agit du meilleur scénario eu égard à l'ensemble du contexte dans lequel le projet de TCSP s'établit.

Le processus d'optimisation présenté ci-après est original à la présente recherche et s'inspire librement, entre autres, de deux manuels de conception des systèmes de transport en commun³²⁴. La modification progressive des éléments du TCSP voire de l'environnement urbain, en respectant les contraintes techniques et urbaines et en tendant vers le enjeux financiers, se fait en quatre *étapes* :

- *Le choix et le dimensionnement du TCSP*, qui sélectionne un mode et une ligne d'après leurs dimensions pour qu'ils soient capacitaires à la demande en déplacement actuelle et future, en tenant compte de l'évolution de l'environnement urbain et de scénarios avec ou sans projet de TCSP. La contrainte technique et urbaine et les six enjeux financiers sont adaptés du concept de mobilité.
- *L'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé*, qui accommode les caractéristiques techniques du mode de transport avec celles des différentes particularités d'origine naturelle ou humaine du site, du réseau viaire, des parcelles, des bâtiments ou des espaces vides situées sur l'itinéraire de la ligne et sur son pourtour. Les trois contraintes techniques et urbaines et les deux enjeux financiers sont adaptés du concept de rugosité.
- *La conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements*, qui définit l'accessibilité aux lieux d'activités et d'intermodalité présents sur le tracé ainsi que l'accessibilité de la diversité des mobilités au projet TCSP. Les six contraintes techniques et urbaines et les deux enjeux financiers sont adaptés du concept d'accessibilité.
- *La conception du site propre et du franchissement des intersections*, qui concerne l'attractivité des services de déplacements et la faisabilité de leur

324 CERTU (2004) ; TCRP (2013).

exploitation en se souciant de la vitesse commerciale, de l'intervalle d'exploitation minimal et du nombre de véhicules. Les trois contraintes techniques et urbaines et les cinq enjeux financiers sont adaptés du concept de productivité.

Ces quatre étapes vont être définie plus exhaustivement³²⁵. Elles contiennent, chacune, des contraintes techniques et urbaines et des enjeux financiers qui leur sont propres et qui guident les potentielles modifications de la conception des caractéristiques des éléments du TCSP, voire des caractéristiques de l'environnement urbain situé sur le tracé du projet. Ainsi, l'optimisation a pour but de se conformer, de manière obligatoire, à chaque contrainte technique et urbaine et de tendre le plus possible, de façon incitative, vers l'atteinte de chaque enjeu financier. La *résolution* des étapes d'optimisation de projet de TCSP se fait suivant la démarche suivante :

- D'après les informations des études de pré faisabilité et de faisabilité, il est vérifié selon une appréciation argumentée ou mathématique que le projet de TCSP, dit *scénario initial*, respecte les contraintes et tend vers les enjeux énoncés à toutes les étapes.
- Si le scénario initial respecte les contraintes et tend vers les enjeux énoncés à toutes les étapes, le scénario initial est conservé.
 - Alors il est considéré que le projet de TCSP n'a pu être optimisé selon les contraintes et les enjeux énoncés.
- Si le scénario initial ne respecte pas les contraintes et/ou ne tend pas vers les enjeux énoncés à toutes les étapes, il est recherché une ou plusieurs *solutions d'optimisation* qui respectent les contraintes et tendent vers les enjeux. Cette recherche est expliquée par étape mais doit tenter de trouver des solutions qui, chacune, respectent le plus de contraintes possibles et tendent vers le plus d'enjeux possibles à toutes les étapes. Une solution est une meilleure *adéquation*, au regard du respect des contraintes et de l'atteinte des enjeux, entre les

325 Confer les parties 3.4.3, 3.4.4, 3.4.5 et 3.4.6 de la présente recherche.

caractéristiques des éléments techniques du TCSP et les caractéristiques des éléments urbains provenant de l'environnement circonscrit au tracé.

- Si aucune solution n'est trouvée, le scénario initial est conservé.
 - Alors il est considéré que le projet de TCSP n'a pu être optimisé selon les contraintes et les enjeux énoncés.
- Si une ou plusieurs solutions sont trouvées, le scénario initial est conservé et il est créé en parallèle, à chaque étape et selon le nombre de solutions, un ou plusieurs *scénarios optimisés*. La résolution des étapes d'optimisation peut donc former une *arborescence de scénarios* initial et optimisés. Ces scénarios optimisés diffèrent du scénario initial que par leurs solutions d'optimisation. Le projet de TCSP étant territorialisé, il est possible de différencier les scénarios par leur *tracé*.
 - Alors il est considéré que le projet de TCSP a pu être optimisé selon les contraintes et les enjeux énoncés et cohabitent alors un scénario initial et un ou plusieurs scénarios optimisés.

La résolution des étapes d'optimisation d'un projet de TCSP s'effectue selon une approche globale, intégrée et itérative avec son environnement urbain. Une *approche globale* considère l'ensemble des scénarios potentiels, chacun formé d'une combinaison unique de solutions d'optimisation potentielles. Plus particulièrement, une approche globale appréhende l'ensemble des systèmes de TCSP comme une solution potentielle au remplacement à l'offre actuelle de transport en commun. Elle prend aussi en compte l'abandon du projet de TCSP comme une solution d'optimisation. En outre, si un ou plusieurs scénarios optimisés sont développés, l'approche globale permet de représenter ces scénarios en arborescence où les branches symbolisent, étape par étape, soit la solution du scénario initial, soit les solutions d'optimisation. Une *approche intégrée*, quant à elle, s'attache à concevoir ensemble les caractéristiques des éléments techniques et urbains, en s'attachant aux effets que la modification d'une ou plusieurs caractéristiques peut avoir sur le respect des contraintes et l'atteinte des

enjeux d'une ou plusieurs autres caractéristiques. Par ailleurs, une *approche itérative* a pour but de vérifier à chaque modification de caractéristique le respect de toutes les contraintes et l'atteinte de tous les enjeux des caractéristiques préalablement transformées, dans le but de seconder la démarche intégrée. En effet, un projet de TCSP doit composer avec l'importante complexité des systèmes de transport en commun et des environnements urbains.

Cependant, les moyens et le temps de cette recherche étant limités, la portée de l'approche globale est diminuée. Si plusieurs solutions d'optimisation peuvent être développées pour une contrainte non-respectée ou pour un enjeu non-atteint, la recherche ne prend en compte qu'une solution parmi l'ensemble et ne qualifie donc qu'un scénario optimisé face au scénario initial. Ceci signifie qu'il est possible de représenter ces scénarios en arborescence où deux branches symbolisent, étape par étape, soit la solution du scénario initial, soit la solution d'optimisation sélectionnée. Cette restriction des solutions est toutefois conforme au fait que cette recherche se doit de démontrer l'existence d'un seul scénario optimisé au moins autant efficace mais plus efficient que le scénario initial du projet de tramway de la Ville de Montréal³²⁶. En outre, par le prisme des étapes et de leurs contraintes et enjeux, le projet développe potentiellement des *esquisses* de scénarios optimisés. Le terme *esquisse* est employé car, les moyens et le temps de cette recherche étant, là encore, limités, le processus d'optimisation se contente de proposer des solutions d'optimisation au stade de préfaisabilité, même si le projet étudié se situe au stade de la faisabilité. Cela veut dire que les solutions sont développées selon des informations préalablement existantes et facilement accessibles, au contraire de la faisabilité qui les produit avec rigueur³²⁷. La faisabilité, par opposition à la préfaisabilité, des solutions proposées par cette recherche restent donc à vérifier. Enfin, les modifications proposées ne sont logiquement valables que dans le cadre technique et technologique contemporain.

Au terme de ce processus, il est possible de rajouter une cinquième étape. Celle-ci n'est pas une étape d'optimisation à proprement parler, puisqu'il ne s'agit pas de réaliser de potentielles modifications à la conception du TCSP, voire à l'environnement

326 Confer la partie 3.1.3 de la présente recherche.

327 Confer la partie 3.1.1 de la présente recherche.

urbain situé sur le tracé du projet. Elle correspond à l'appréciation entre scénarios des résultats de ces modifications. Cette comparaison des scénarios n'est pas pour autant une évaluation, au sens des méthodes d'évaluation et d'aide à la décision³²⁸. En effet, elle ne prend pas en compte le contexte et la complexité de l'environnement urbain autrement que par les contraintes techniques et urbaines de l'optimisation, elle ne parle pas d'impacts, d'avantages, de risques et d'incertitudes, elle n'émet pas de préférences faibles, indécisives voire contradictoires et, surtout, n'a pas vocation à se soustraire à la sagacité des décideurs ou à des méthodes d'évaluation et d'aide à la décision une fois les solutions d'optimisation proposées. Cette comparaison a pour but de conclure le processus d'optimisation en appréciant l'efficacité et l'efficience de l'ensemble des scénarios, tant initial qu'optimisés, entre eux³²⁹. Ainsi, la visée de cette étape est simplement de démontrer qu'un scénario est autant, plus ou moins efficace et autant, plus ou moins efficient qu'un autre. Aucun scénario n'est donc présenté comme optimal. La cinquième et dernière étape du processus d'optimisation de projet de TCSP est donc la suivante :

- *La comparaison de l'efficacité et de l'efficience des scénarios du projet de TCSP, qui apprécie l'efficacité des scénarios initial et optimisés par leur faisabilité et leur attractivité ainsi que l'efficience par leurs coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme*³³⁰.
- La faisabilité est appréciée par le respect des contraintes techniques et urbaines, de manière effective ou non-effective.
- L'attractivité est appréciée par la disponibilité et la régularité des services de déplacements.
 - Une disponibilité attractive correspond à une haute fréquence, c'est-à-dire un intervalle d'exploitation inférieure à 10 minutes, et à une grande amplitude-horaire, soit des services offerts en journée et en soirée à tous les jours de la semaine.

328 Confer la partie 3.1.2 et 3.1.3 de la présente recherche.

329 Confer la partie 2.3.3 de la présente recherche.

330 Confer la partie 3.2 de la présente recherche.

- Une régularité attractive correspond à une vitesse commerciale supérieure à 18 kilomètres par heure pour un site propre partiel ou 25 kilomètres par heure pour un site propre intégral, à une proportion du site propre tendant vers l'ensemble de la ligne en exploitation commerciale, à une préférence pour un site propre de type intégral plutôt que de type partiel, sauf si ce dernier dispose d'une priorité absolue accordée par le système de signalisation au franchissement de toutes les intersections à niveau.
- Les coûts d'investissement et d'exploitation sont appréciés par la diminution des enjeux financiers sur le long terme, soit le coût global le plus faible.

Une fois la comparaison de l'efficacité et de l'efficience des scénarios, une critique peut être effectuée sur la méthode d'optimisation de projet de TCSP et sur les résultats qu'elle produit, en soulignant leurs portées et leurs limites.

2.4.3 L'étape du choix et dimensionnement du TCSP

La première étape s'appelle le *choix et dimensionnement du TCSP* et a pour but de déterminer les caractéristiques du mode et de la ligne de TCSP selon la mobilité et le tracé du projet. Les éléments du concept de mobilité, à prendre en compte pour assurer l'efficacité et l'efficience du projet de TCSP dans son environnement urbain, sont, d'une part, la demande en déplacement exprimée actuelle ; la demande en déplacement exprimée à long terme, comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain ; la demande en déplacement exprimée et induite par le projet de TCSP lors de sa mise en service, comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain ; et la demande en déplacement exprimée et induite par le projet de TCSP à long terme, comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain. Dans le cadre d'un projet de transport, la demande en déplacement a comme caractéristique la *charge cumulée*, ou achalandage en nombre de passagers, qu'elle forme à l'intérieur des véhicules dans chaque trajet entre deux stations, appelé *interstation*, et dans les deux directions selon

une période définie. De façon à choisir et dimensionner le système de TCSP, la période choisie correspond à l'*hyperpointe* du trafic, c'est-à-dire le moment de la journée où la demande est à son maximum relativement à sa durée³³¹. L'*hyperpointe* est un moment fictif d'une *durée* d'un quart d'heure (15 minutes) et d'une *demande* équivalent à 16% de l'achalandage de la période de pointe du matin, allant de 6 heures à 9 heures les jours de semaine³³². La charge cumulée doit être estimée de manière multiple afin de refléter les quatre types de demande issus du concept de mobilité.

Les éléments du système TCSP devant être adéquats aux éléments de mobilité sont les véhicules, issus du sous-système matériel roulant, la plate-forme et la voie, issues du sous-système infrastructures associées, ainsi que les modalités choisies pour la régulation du mode nominal³³³, issues du sous-systèmes équipements de gestion et modalités d'exploitation. En effet, les véhicules, la plate-forme et la voie ainsi que la régulation du mode nominale sont les principaux éléments participants au choix et dimensionnement du système TCSP. La caractéristique des véhicules prise en considération est la *capacité* en nombres de passagers assis ou debout à raison de quatre personnes par mètre carré. Cette caractéristique est appliquée pour plusieurs types de véhicules, reflétant plusieurs modes de différentes dimensions : un autobus standard (environ 12 mètres), un autobus mono-articulé (environ 18 mètres), un autobus bi-articulé (environ 25 mètres), un tramway d'environ 30 mètres et un tramway d'environ 45 mètres ; ou autres si nécessaire. Comme un mode de TCSP n'est pas disponible instantanément, une fréquence, ou nombre de passage de véhicules selon une durée, doit être proposée pour refléter l'offre en déplacement qui doit répondre à la demande durant la période d'*hyperpointe*. Une caractéristique de la fréquence, en *hyperpointe*, est l'intervalle d'exploitation minimal, qui est un élément de productivité. Bien que faisant l'objet de contraintes techniques et urbaines ainsi que d'enjeux financiers à résoudre à l'étape de conception du site propre et du franchissement des stations, l'intervalle d'exploitation minimal doit être défini à cette étape-ci pour permettre de choisir et de dimensionner

331 CERTU (2004), pp.67-71 ; TCRP (2013), Chap.6, pp.15-19 et pp.60-85, Chap.8, pp.3-17 et pp.44-80.

332 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1, p.7 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.5.

333 La régulation du mode nominale prend en compte, entre autres, le dispositif de régulation lumineuse de la circulation permettant la priorité du TCSP en site propre partiel aux intersections.

le mode et la ligne de TCSP³³⁴. Ainsi, la relation entre l'intervalle d'exploitation minimal et la capacité du véhicule permet alors de représenter l'*offre* en hyperpointe. Cette offre doit être estimée de manière multiples afin de représenter la capacité des différents types de véhicules. Enfin, un TCSP a des services exploités sous la forme d'une ligne. Une caractéristique de la plate-forme et la voie est alors l'*étendue de l'offre*, qui correspond à un itinéraire fixe à double sens³³⁵ de longueur variable, où des stations d'arrêt sont déterminées pour l'embarquement et le débarquement des passagers, la demande, selon une disponibilité programmée, l'offre.

Le choix et dimensionnement du TCSP fait, en première partie, l'objet d'une appréciation mathématique. En effet, la résolution de cette étape, soit la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines de mobilité, peut se faire à moitié théoriquement, selon la logique et le retour d'expérience sur le choix et dimensionnement de mode de projets de TCSP antérieurs. Elle se base sur le calcul de l'intervalle d'exploitation minimal selon la charge cumulée maximale de chaque type de demande et la capacité de chaque type de véhicules. Le résultat, exprimé en minutes, permet de choisir un ou plusieurs modes de dimensions multiples. Ce choix et dimensionnement du mode est effectué d'après les contraintes et enjeux de productivité quant à l'intervalle d'exploitation minimal, qui sont exprimés à l'étape de conception du site propre et du franchissement des intersections. Par ailleurs, le choix et dimensionnement du TCSP fait, en seconde partie, l'objet d'une appréciation argumentée. En effet, la résolution de cette étape ne peut se faire qu'empiriquement, au regard de la demande, de son évolution et des spécificités du tracé. Ainsi, l'offre doit être étendue là où la demande la justifie, signifiant qu'elle doit avoir un relatif faible nombre de charges cumulées en surcapacité et aucune en sous-capacité³³⁶. De plus, l'étendue peut être trop longue par rapport à la demande sur l'intégralité du tracé tel que prévu ; mais elle peut aussi se justifier à court ou long terme au regard

334 De la demande en déplacement dépend le choix et le dimensionnement du système de TCSP, par exemple un tramway ou un métro sur une ligne plus longue ou plus petite, qui est préalable mais modifiable selon la conception du site propre et du franchissement des intersections, par exemple un site propre partiel ou intégral sur une longueur plus grande ou plus courte. Ceci est donc un exemple de la globalité, de l'intégrité et de l'itérativité du processus d'optimisation. Des exemples ultérieurs vont confirmer ce fait.

335 Chaque sens peut se trouver sur un axe viaire différent. Cependant, ces axes doivent appartenir à un même tracé, en étant plus ou moins proches et parallèles. Walker (2012), pp.39-58.

336 La surcapacité signifie que l'offre est plus importante que la demande. La sous-capacité correspond à l'état inverse. CERTU (2004), pp.67-71 ; TCRP (2013), Chap.6, pp.15-19, Chap.8, pp.3-17.

de l'environnement urbain, dont la *desserte* des activités et les *connexions* avec les autres modes de transport qu'elle peut avoir, deux éléments qui sont définis à l'étape de conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements. D'un côté, l'efficacité correspond au choix et au dimensionnement de mode capacitaire à la demande à court et à long terme, de manière à ce que le projet soit attractif et faisable. Ce processus s'effectue par le respect de la contrainte technique et urbaine suivante :

- Le choix et dimensionnement de mode capacitaire à la demande actuelle et future, c'est-à-dire la sélection de mode, de dimensions véhiculaires précises, d'après l'intervalle d'exploitation minimal qui permet, selon les contraintes et enjeux de productivité, de proposer une offre qui n'est pas sous-capacitaire à l'interstation dotée de la charge cumulée maximale dans les deux directions durant la période d'hyperpointe. La charge cumulée est estimée en différents scénarios de demande, avec ou sans projet de TCSP et à court ou long terme.

De l'autre côté, l'efficience tend à trouver la solution la moins coûteuse, en investissement comme en exploitation, de choisir et dimensionner le mode et la ligne selon, d'une part et de manière significative, la demande à court et long terme présent sur le tracé et, d'autre part et à la marge, la desserte d'activités et les connexions avec les autres modes de transport. Cela a pour but permet d'éviter toute surcapacité et donc tout surinvestissement menant à une sous-exploitation, mais aussi toute sous-capacité et tout sous-investissement menant à une surexploitation³³⁷. Néanmoins, le changement de modes peut être pris en compte à long terme, si toutefois le réinvestissement n'est pas anticipé comme trop onéreux. Les enjeux financiers sont donc les suivants :

- Le choix et dimensionnement de mode capacitaire à la demande actuelle et future, c'est-à-dire la sélection de mode, de dimensions véhiculaires précises, d'après l'intervalle d'exploitation minimal qui permet, selon les contraintes et enjeux de productivité, de proposer une offre qui n'est pas surcapacitaire à l'interstation dotée de la charge cumulée maximale dans les deux directions

³³⁷ Une sous-exploitation peut diminuer l'attractivité du mode par rapport à son offre potentielle issue d'une capacité, dans ce cas-ci, trop importante. Une surexploitation peut nuire à la régularité de l'exploitation et engendrer des coûts supplémentaires importants. CERTU (2004), pp.108-112.

durant la période d'hyperpointe. La charge cumulée est estimée en différents scénarios de demande, avec ou sans projet de TCSP et à court ou long terme.

- Le choix et dimensionnement de mode selon les éléments de matériel roulant, d'infrastructures et d'équipements de gestion et modalités d'exploitation du système de transport actuel qui peuvent être réutiliser par le projet de TCSP. À cette fin, les modes sont regroupés dans deux familles : routière et ferroviaire. Les véhicules routiers et ferroviaires nécessitent en effet chacun respectivement peu ou prou les mêmes infrastructures et équipements de gestion et modalités d'exploitation³³⁸.
- Le choix de véhicules extensibles ou remplaçables à long terme sans investissement significatif dans les deux sous-systèmes du TCSP autres que matériel roulant, dans le but d'augmenter la capacité des véhicules sans avoir à modifier lourdement les infrastructures et les équipements de gestion et modalités d'exploitation. À cette fin, les modes sont regroupés dans deux familles : routière et ferroviaire.
- Le choix et dimensionnement de ligne capacitaire à la demande actuelle et future, c'est-à-dire la sélection de ligne, de dimensions linéaires précises, d'après l'intervalle d'exploitation minimal qui permet, selon les contraintes et enjeux de productivité, de n'avoir qu'un relatif faible nombre d'interstations où l'offre est significativement surcapacitaire aux interstations selon leur charge cumulée durant la période d'hyperpointe, à moins d'une desserte d'activités ou de connexions avec d'autres modes de transport qui justifie à la marge une offre surcapacitaire. Les charges cumulées sont estimées en différents scénarios de demande, avec ou sans projet de TCSP et à court ou long terme.
- Le choix et dimensionnement de mode et de ligne qui permet les gains d'achalandage les plus élevés à long terme³³⁹.

338 CERTU (2004), pp.43-63 ; TCRP (2013), Chap.2, pp.2-30.

339 Confer la partie 3.2.2 de la présente recherche.

- L'abandon du projet, la modification du projet ou la modification du tracé si le TCSP est sous-capacitaire ou significativement surcapacitaire. Si la deuxième ou troisième option est choisie, il est alors nécessaire d'effectuer à nouveau le choix et le dimensionnement du TCSP.

Enfin, le calcul du choix et dimensionnement de mode est le suivant³⁴⁰ :

$$I = \frac{T \times C}{D}$$

I est l'intervalle minimum d'exploitation, en seconde.

T est la durée de l'hyperpointe, en seconde.

C est la capacité du matériel roulant, en nombre de passagers.

D est la charge cumulée maximale en hyperpointe entre deux stations d'après les deux directions, en nombre de passagers.

2.4.4 L'étape de l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé

La deuxième étape se nomme *l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé* et a pour but de déterminer les caractéristiques du mode et de la ligne de TCSP selon la rugosité et le tracé du projet, une fois réalisée le choix et dimensionnement du TCSP. Les éléments du concept de rugosité, à prendre en compte pour assurer l'efficacité et l'efficience du projet de TCSP dans son environnement urbain, sont les différentes particularités d'origine naturelle ou humaine du site, du réseau viaire, des parcelles, des bâtiments ou des espaces vides qui sont situées sur l'itinéraire de la ligne et sur son pourtour. Variables selon le tracé, certaines caractéristiques de ces éléments peuvent parfois modifier la faisabilité et l'attractivité du projet de TCSP, voire faire fluctuer ses coûts d'investissement et d'exploitation. Les premières caractéristiques de rugosité sont les *obstacles* spatiaux, pouvant être causés par la présence de cours d'eau, de parcelles privées, de bâtiments ou l'absence de réseau viaire en surface, en tunnel ou en aérien pour l'établissement de la ligne de TCSP

³⁴⁰ CERTU (2004), p.67 ; TCRP (2013), Chap.6, pp.60-119, Chap.8, pp.44-123.

projetée. Les deuxièmes caractéristiques sont les *déclivités*, venant d'une topographie mouvementée. Les troisièmes caractéristiques sont les *conditions climatiques*, prenant en considération d'abondantes précipitations, d'extrêmes températures ou tout facteur saisonnier récurrent d'origine naturelle. Enfin, les quatrièmes caractéristiques sont les *paysages* et concernent la préservation de milieux naturels ou de biens patrimoniaux.

Les éléments du système TCSP devant être adéquats aux éléments de rugosité sont les véhicules et les options techniques choisies, issus du sous-système matériel roulant, tous les éléments du sous-système infrastructures associées, à l'exception des aménagements qualitatifs complémentaires, et les lieux d'exploitation, les équipements nécessaires à l'exploitation du système, les modalités choisies pour la régulation du mode nominal et des modes dégradés, les modalités choisies pour l'information à la clientèle et le personnel d'intervention sur la production de services, issus du sous-système équipements de gestion et modalités d'exploitation. Les éléments du sous-système infrastructures associées et les lieux d'exploitation ont une *emprise spatiale* localisée sur le tracé³⁴¹ et doivent par ce fait s'adapter aux obstacles, déclivités, conditions climatiques et paysages. Si cela est partiellement ou entièrement impossible ou indésirable, pour des raisons d'efficacité ou d'efficience, d'autres éléments du TCSP peuvent s'y conformer comme les véhicules. À défaut, le tracé voire les caractéristiques d'obstacles et de déclivités de l'environnement urbain peuvent être modifiées³⁴².

L'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé fait l'objet d'une appréciation argumentée. En effet, la résolution de cette étape, soit la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines de rugosité, ne peut se faire qu'empiriquement, au regard des obstacles, déclivités, conditions climatiques et paysages propres au tracé. Il se peut d'ailleurs qu'un projet de TCSP respectent toutes les contraintes techniques et urbaines de rugosité tout en tendant vers la diminution des enjeux financiers ; comme il est probable qu'une solution d'optimisation apportée à un endroit précis du tracé ne soit pas valable à un autre emplacement. Les solutions sont donc contextualisées au

341 Les aménagements qualitatifs complémentaires, issus du sous-système infrastructures associées, ont une emprise spatiale. Néanmoins, leur caractère complémentaire ne les rend pas indispensable à cette recherche.

342 Les conditions climatiques sont impossibles à modifier, tandis que modifier le paysage serait contraire à la volonté de le conserver. Les deux autres caractéristiques de rugosité peuvent néanmoins être modifiées.

tracé du projet, mais peuvent s'inspirer de cas similaires à travers le monde d'adaptation entre un TCSP et ses particularités biophysiques et anthropiques. La résolution de cette étape peut néanmoins s'effectuer au regard d'un processus déterminé. D'un côté, l'efficacité correspond à l'adaptation entre les caractéristiques du TCSP et celles des particularités biophysiques et anthropiques du tracé de manière à ce que le projet soit attractif et faisable. Cela concerne particulièrement l'établissement en plan en long et en large des éléments du TCSP ayant une emprise foncière, ainsi que pour l'exploitation du matériel roulant³⁴³. Ce processus s'effectue par le respect des contraintes techniques et urbaines suivantes :

- L'adaptation des caractéristiques du TCSP, suivant les techniques et les technologies disponibles, de manière à ce qu'il soit attractif et faisable malgré les obstacles, les déclivités, les conditions climatiques et le paysage, à l'instar de :
 - L'achat de véhicules aux gabarit et options adaptés.
 - Le changement de localisation ou l'ajustement des dimensions des éléments du TCSP ayant une emprise foncière.
 - La construction d'ouvrages d'ingénierie³⁴⁴.
 - L'utilisation d'équipements sans impact paysager³⁴⁵.
 - La constitution de modalités spécifiques pour l'exploitation.
- L'adaptation des obstacles et des déclivités, suivant les techniques et les technologies disponibles et tout en assurant l'attractivité et la faisabilité du projet, de manière à ce que le TCSP soit attractif et faisable, à l'instar de :

343 L'établissement en plan signifie en largeur et en long correspond en longueur. CERTU (2004), pp.78-93.

344 Les ouvrages d'ingénierie, aussi appelés des ouvrages d'ingénierie, sont des ponts, des tunnels ou d'autres constructions de grande importance ayant pour fonction le franchissement d'une rugosité ou l'établissement d'un site propre intégral. CERTU (2004), p.184 ; TCRP (2013), Chap.3, pp.28-37.

345 Sont par exemple entendus des moyens de captation énergétique alternatif aux fils d'alimentation aériens ou d'absorption de vibrations nuisibles aux constructions riveraines

- Le remblais de l'hydrographie.
 - Le nivellement de la topographie
 - L'élargissement ou l'ajout d'un axe au réseau viaire.
 - L'expropriation de parcelles foncières.
 - La démolition de bâtiments.
- Le changement de tracé si les deux contraintes de rugosité ne sont pas respectées. Il est alors nécessaire d'effectuer à nouveau le choix et dimensionnement du TCSP.

De l'autre côté, l'efficience tend à trouver la solution la moins coûteuse, en investissement comme en exploitation, d'adapter les caractéristiques du TCSP avec celles des particularités biophysiques et anthropiques du tracé. Les enjeux financiers sont donc les suivants :

- Le positionnement géographique du plus grand nombre possible d'éléments du TCSP dans des espaces dénués d'obstacle, de déclivité, de conditions climatiques ou de paysage qui ont un impact négatif sur l'attractivité ou la faisabilité du projet.
- La recherche de solutions adaptant plusieurs caractéristiques à la fois.

Enfin, pour démontrer l'adaptation entre le TCSP et la rugosité de son tracé, des argumentations appuyées et adaptées à chaque contrainte et enjeu peuvent être effectuées.

2.4.5 L'étape de la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements

La troisième étape correspond à la *conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements* a pour but de déterminer les caractéristiques du

mode et de la ligne de TCSP selon l'accessibilité et le tracé du projet, une fois réalisée l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé. Les éléments du concept d'accessibilité, à prendre en compte pour assurer l'efficacité et l'efficience du projet de TCSP dans son environnement urbain, sont l'accessibilité aux lieux d'activités et d'intermodalité présents sur le tracé ainsi que l'accessibilité de la diversité des mobilités au projet TCSP. De façon exhaustive mais concise, chaque élément d'accessibilité va être circonscrit à une caractéristique. Variables selon le tracé, ces caractéristiques peuvent parfois modifier la faisabilité et l'attractivité du projet de TCSP, voire faire fluctuer ses coûts d'investissement et d'exploitation. La première caractéristique est la *desserte*, soit la capacité d'atteindre à la marche une pluralité de zones d'activités diverses, de milieux à revitaliser ou à densifier³⁴⁶ et de pôles générateurs d'achalandage. Les deuxièmes caractéristiques sont les *connexions*, c'est-à-dire la capacité à rejoindre à la marche les gares, stations ou arrêts de transport collectif ainsi que les stationnements incitatifs à l'usage d'autres modes de déplacement. Enfin, la troisième caractéristique est l'*inclusion*, entendue comme la possibilité d'usage du TCSP par les personnes à motricité réduite³⁴⁷.

Les éléments du système TCSP devant être adéquats aux éléments d'accessibilité sont les véhicules et les options techniques choisies, issus du sous-système matériel roulant, les points d'arrêts et leurs zones d'attente et de commodité associées, les lieux d'échange, les espaces de vente et d'accueil de la clientèle, les installations techniques telles que les ascenseurs et escaliers mécaniques, les aménagements nécessaires à l'insertion du projet et les aménagements qualitatifs complémentaires, issus du sous-système infrastructures associées, ainsi que les lieux d'exploitation, les modalités choisies pour l'information de la clientèle et pour la billettique, issus du sous-système équipements de gestion et modalités d'exploitation. Ces éléments du système TCSP sont en effet ceux permettant *l'accès et la circulation des individus* au sein du système TCSP et qui doivent être adaptés à la diversité des mobilités. *L'implantation géographique des stations*, ou points d'arrêts, sur le tracé est quant à elle déterminante pour l'accessibilité des lieux d'activités et d'intermodalité.

346 Confer la partie 2.1.2 de cette présente recherche.

347 Les moyens et le temps de la recherche étant limités, elle ne prend pas en compte les incapacités sensorielles. Néanmoins, les dispositifs palliant ces incapacités présentent des coûts plutôt faibles en comparaison aux dispositifs destinés aux incapacités moteurs. Ils sont donc moins significatifs dans le cadre de l'optimisation.

La conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements fait l'objet, dans son ensemble, d'une appréciation argumentée. En effet, la résolution de cette étape, soit la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines d'accessibilité, ne peut se faire qu'empiriquement, au regard de la desserte, des connexions et de l'inclusion propre au tracé. Les solutions sont en effet différentes selon la morphologie du TCSP, comme la distribution des lieux d'activités et des lieux d'intermodalité est inéquitable sur le territoire. Elles sont donc contextualisées au projet et au divers documents d'urbanisme concernant spécifiquement le territoire du tracé. La résolution de cette étape peut néanmoins s'effectuer au regard d'un processus déterminé. D'un côté, l'efficacité correspond à la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements selon une conception des stations, véhicules, lieux d'exploitation et de leurs équipements de manière à ce que le projet soit attractif et faisable. Les moyens et le temps de cette recherche étant limités, les installations techniques telles que les ascenseurs et escaliers mécaniques, les aménagements nécessaires à l'insertion du projet et les aménagements qualitatifs complémentaires, issus du sous-système infrastructures associées, ainsi que les lieux d'exploitation, les modalités choisies pour l'information de la clientèle et pour la billettique, issus du sous-système équipements de gestion et modalités d'exploitation, sont des éléments du TCSP considérés comme respectant l'inclusion. Ce processus s'effectue par le respect des contraintes techniques et urbaines suivantes³⁴⁸ :

- L'implantation géographique de la totalité des stations au sein de secteurs établis en zone résidentielle dense, commerciale ou institutionnelle, ou dans des secteurs à transformer, à construire ou à revitaliser sous la forme de secteurs établis en zone résidentielle dense, commerciale ou institutionnelle.
- L'implantation géographique des stations, lorsque le tracé le permet, dans un rayon de 800 mètres³⁴⁹ autour des pôles générateurs d'achalandage, considérés comme les établissements hospitaliers et universitaires.

348 CERTU (2004), pp.95-107 ; TCRP (2013), Chap.2, pp.38-43, Chap.5, pp.71-78, Chap.10.

349 Cette distance équivaut à 10 minutes de marche. Duany *et al.* (2010), 6.1.

- L'implantation géographique des stations, lorsque le tracé le permet, à proximité immédiate des stations d'autres modes de TCSP et des stationnements incitatifs ainsi que dans un rayon de 250 mètres³⁵⁰ des gares, stations ou arrêts de modes de transport collectif ayant une disponibilité ou une régularité équivalente aux TCSP.
- L'accès et la circulation des individus au sein de stations conçues selon les normes d'inclusion des personnes à motricité réduite, à l'instar de³⁵¹ :
 - La planéité des surfaces de circulation des individus depuis l'entrée ou la sortie des points d'arrêts du TCSP jusqu'aux quais d'accès aux véhicules, c'est-à-dire sans marche et d'une pente de 2% ou moins, et l'absence d'entrave, soit d'équipements ou d'éléments architecturaux venant obstruer le passage³⁵².
 - L'accostage des véhicules aux points d'arrêt minimisant la différence de niveau verticale et horizontale entre les quais et le seuil des portes des véhicules³⁵³.
 - La construction d'arrêts aux quais rectilignes d'une longueur équivalente à la distance entre les portes d'extrémité des véhicules³⁵⁴.
- L'accès et la circulation des individus au sein de véhicules conçus selon les normes d'inclusion des personnes à motricité réduite, à l'instar de³⁵⁵ :
 - La planéité d'au moins 35% du plancher des véhicules, son accessibilité par au moins une porte et l'absence dans cet espace d'entrave réduisant le passage à une largeur égale ou inférieure à un fauteuil roulant.

350 Cette distance équivaut à 3 minutes de marche. Duany *et al.* (2010), 6.1.

351 TCRP (2013), Chap.10, p.2 et pp.25-30.

352 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C5-2, p.3. Les rampes d'accès peuvent atteindre une pente plus prononcée mais elle ne doit pas dépasser 12%. CERTU (2004), p.94.

353 CERTU (2004), pp.94-95.

354 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B5-1, p.4.

355 CERTU (2004), p.94.

- La présence de barres de maintien adaptées à toutes tailles et positionnements d'individus.
- Le changement de tracé si les cinq contraintes d'accessibilité ne sont pas respectées. Il est alors nécessaire d'effectuer à nouveau le choix et dimensionnement du TCSP ainsi que l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé.

De l'autre côté, l'effcience tend à trouver la solution la moins coûteuse, en investissement comme en exploitation, de concevoir des stations localisées d'après un équilibre entre la desserte et la connexion, d'une part, et la productivité des services faisant l'objet de l'étape ultérieure, d'autre part. Elle prend aussi la forme d'une inclusion sans concession mais tendant à être la moins dispendieuse possible. Les enjeux financiers sont donc les suivants :

- Une distance moyenne entre les stations équivalente à celle d'un métro, soit d'environ 700 à 800 mètres³⁵⁶.
- L'intégration des caractéristiques d'inclusion des personnes à motricité réduite lors de la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements.

Enfin, pour démontrer l'adaptation du TCSP à l'accessibilité, des argumentations appuyées et adaptées à chaque contrainte et enjeu peuvent être effectuées.

2.4.6 L'étape de la conception du site propre et du franchissement des intersections

La quatrième et dernière étape est la *conception du site propre et du franchissement des intersections* et a pour but de déterminer les caractéristiques du mode et de la ligne de TCSP selon la productivité et le tracé du projet, une fois réalisée la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements. Les éléments du concept de productivité, à prendre en compte pour assurer l'efficacité et l'effcience

³⁵⁶ CERTU (2004), p.77 ; TCRP (2013), Chap.3, p.39.

du projet de TCSP dans son environnement urbain, sont la vitesse commerciale, l'intervalle d'exploitation minimal et le nombre de véhicules. De manière exhaustive mais concise, les éléments de productivité vont être circonscrits à 14 caractéristiques différentes, dont certaines disposent de sous-caractéristiques. Les trois caractéristiques de la vitesse commerciale sont la *longueur du tracé*, du *nombre de stations*, le *temps de parcours* et le *temps de retard*. Le temps de parcours est constitué des *temps en accélération*, des *temps à vitesse de déplacement*, des *temps en décélération* et des *temps en station*. Le temps de retard, que ce retard soit de charge, de circulation ou de signalisation, est composé de divers *temps de ralentissement* ou d'*arrêt* provoqués par des interférences entre l'exploitation du TCSP et la circulation d'autres modes de transport ou l'embarquement et le débarquement de passagers. Néanmoins, la conception des stations et des véhicules selon les normes d'inclusion des personnes à motricité réduite, qui sont deux contraintes de l'étape précédente, permet de minorer le temps de retard dû à la charge des passagers quelque soit leur motricité, de diminuer le temps de parcours, de maintenir une régularité d'exploitation et d'obtenir une haute vitesse commerciale³⁵⁷. À cette étape-ci, le temps de retard provient donc d'autres facteurs, comme le site propre ou le franchissement des carrefours à niveau. En outre, les caractéristiques de l'intervalle d'exploitation minimal sont la *demande à l'hyperpointe* et la *durée de l'hyperpointe* qui a été défini à l'étape du choix et dimensionnement du TCSP. Cet intervalle est dit minimal car, étant le moment où la demande est maximale, il représente le plus petit écart de passage entre deux véhicules dans une même journée. Enfin, les caractéristiques du nombre de véhicules sont le *temps de parcours*, le *temps de battement d'exploitation*, le *temps de battement provisionnel*, l'*intervalle d'exploitation minimal*, le *nombre de véhicules en exploitation*, le *nombre de véhicules en réserve d'exploitation*, en cas de panne, et le *nombre de véhicules en réparation*. Le temps de battement d'exploitation est nécessaire à chaque terminus pour le retournement des véhicules et le changement de conducteurs ou de cabines de conduite ; alors que le temps de battement provisionnel est réparti entre les deux terminus et est prévu afin d'absorber les temps de retard afin de ne pas affecter le service suivant³⁵⁸.

357 CERTU (2004), p.94 ; TCRP (2013), Chap.3, pp.3-22.

358 CERTU (2004), pp.71-77 ; Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1.

Les éléments du système TCSP devant être adéquats aux éléments de productivité sont les véhicules, issus du sous-système matériel roulant, la plate-forme et la voies, issues du sous-système infrastructures associées, ainsi que les modalités choisies pour la régulation du mode nominal et des modes dégradés, issus du sous-systèmes équipements de gestion et modalités d'exploitation. La *continuité du site propre*, formé par la plate-forme et la voie, est caractérisée par ses interruptions ou son ininterruption sur la longueur du tracé, hormis, s'il s'agit d'un site propre partiel, aux intersections à niveau l'axe viaire sur lequel est localisée la ligne de TCSP et d'autres voies de circulation. Les modalités de régulation définissent, seulement dans le cas d'un site propre partiel, le *niveau de priorité accordée aux intersections* par des aménagements de voirie ou par le système de régulation lumineuse de la circulation, c'est-à-dire le dispositif de lumières tricolores et sa programmation en cycles alternatifs de passage ou d'arrêt.

La conception du site propre et du franchissement des intersections fait l'objet, en première partie, d'une appréciation argumentée. En effet, la résolution de cette étape, soit la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines de productivité, ne peut se faire à moitié qu'empiriquement, au regard des possibilités d'établir un site propre continue sur le tracé ou du niveau de priorité aux intersections qu'il est désiré d'accorder au TCSP au regard du besoin des autres modes de transports. La variation de ces deux caractéristiques façonnent dès lors des solutions dont la productivité est inégale. Par ailleurs, la conception du site propre et du franchissement des intersections fait l'objet, en seconde partie, d'une appréciation mathématique, formée par trois opérations successives. En effet, la résolution de cette étape peut se faire à moitié théoriquement, selon la logique et le retour d'expérience sur la productivité de projets de TCSP antérieurs. La première opération permet d'évaluer la vitesse commerciale, la deuxième l'intervalle d'exploitation minimal et la troisième le nombre de véhicules. Cependant, bien que répondant aussi à une contrainte et un enjeu de productivité, la deuxième opération a déjà été effectuée à la première étape, de façon à dimensionner le système de TCSP. D'un côté, l'efficacité correspond à la conception du site propre et du franchissement des intersections de manière à ce que le projet soit attractif et faisable. La vitesse commerciale, constituant la régularité du TCSP, et l'intervalle d'exploitation minimal, représentant la disponibilité du TCSP, doivent permettre de répondre aux besoins de l'environnement urbain

et d'assurer l'attractivité et la faisabilité des services de TCSP. Ce processus s'effectue par le respect des contraintes techniques et urbaines suivantes :

- L'atteinte d'une vitesse commerciale comprise entre 18 et 25 kilomètres par heure pour un système TCSP opéré sur site propre partiel et entre 25 et 35 pour un système en site propre intégral. Les valeurs basses représentent un frein à l'attractivité alors que les valeurs hautes une limite à l'exploitation et donc à la faisabilité³⁵⁹.
- L'atteinte d'un intervalle d'exploitation minimal compris entre trois³⁶⁰ et six³⁶¹ minutes, en-deçà duquel l'exploitation, et donc la faisabilité, du TCSP peut être problématique malgré un site propre continu et une priorité totale accordée aux intersections, et au-deçà duquel l'offre du TCSP perd en attractivité pour les utilisateurs en période d'hyperpointe³⁶².
- Le changement de tracé ou de l'implantation des stations si la productivité du TCSP mauvaise. Il est alors nécessaire d'effectuer à nouveau le choix et dimensionnement du TCSP, l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé ainsi que la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements.

De l'autre côté, l'efficience tend à trouver la solution la moins coûteuse, en investissement comme en exploitation, de concevoir le site propre et le franchissement des intersections de manière à ce qu'ils soient attractifs et faisable. De plus, ces deux éléments du système TCSP ont des impacts sur la vitesse commerciale et l'intervalle d'exploitation minimal qui, à leur tour, ont des conséquences sur le nombre de véhicules qui fait varier plusieurs de ces coûts. Les enjeux financiers sont donc les suivants :

359 CERTU (2004), p.77 ; TCRP (2013), Chap.4.

360 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1, p.4 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.22 et Vol.Y3, p.15. Cet intervalle peut parfois être fixé à 4 minutes. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.41.

361 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.22 et p.41. Cet intervalle peut parfois être fixé à 5 minutes. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.Y3, p.15.

362 CERTU (2004), pp.71-77 ; TCRP (2013), Chap.4.

- La conception d'un site propre continu sur la totalité du tracé, afin de minorer les temps de retard de circulation, de diminuer le temps de parcours, de maintenir une régularité d'exploitation et d'obtenir une haute vitesse commerciale.
- La conception d'un niveau de priorité aux intersections le plus favorable possible au TCSP, afin de minorer le temps de retard dû à la signalisation, de diminuer le temps de parcours, de maintenir une régularité d'exploitation et d'obtenir une haute vitesse commerciale.
- L'atteinte d'une vitesse commerciale la plus rapide, à l'intérieur de l'écart de vitesses déterminé par l'efficacité du TCSP, pour augmenter l'attractivité de la ligne tout en diminuant le nombre de véhicules nécessaires à son exploitation.
- L'atteinte d'un intervalle d'exploitation minimal le plus long, au sein de la fourchette d'intervalles statuée pour l'efficacité du TCSP, pour décroître le nombre de véhicules requis à l'opération du système tout en ne compromettant pas son attractivité.
- La nécessité d'un faible nombre total de véhicules, pour diminuer les coûts relatifs à leur investissement et leur exploitation, dont notamment la conduite, la consommation d'énergie et l'entretien³⁶³.

Enfin, logiquement, le calcul du nombre de matériels roulants doit se faire une fois réalisés ceux de la vitesse commerciale et de l'intervalle d'exploitation minimal. De manière à les simplifier, une seule unité de temps et une seule unité de distance sont employées pour l'ensemble de ces trois opérations. Le calcul de l'intervalle d'exploitation minimal ayant été réalisé à l'étape du choix et dimensionnement de TCSP, les deux autres sont les suivants³⁶⁴ :

$$V = \frac{L}{(TP + TR)}$$

363 CERTU (2004), p.72 ; TCRP (2013), Chap.4, pp.40-41.

364 TCRP (2013), Chap.6, pp.60-119, Chap.8, pp.44-123.

V est la vitesse commerciale, en mètre par seconde.

L est la longueur du tracé, en mètre.

TR est le temps de retard par direction, en seconde.

TP est le temps de parcours par direction, en seconde, et se calcule :

$$TP = TVD + TAC + TDC + TS$$

TVD est le temps à vitesse de déplacement, en seconde, et se calcule :

$$TVD = \frac{\left(L - \left(\frac{VD^2}{2 \times AD} \right) \times (S - 1) - \left(\frac{VD^2}{2 \times DC} \right) \times (S - 1) \right)}{VD}$$

TAC est le temps en accélération, en seconde, et se calcule :

$$TAC = \left(\frac{VD - VA}{AC} \right) \times (S - 1)$$

TDC est le temps en décélération, en seconde, et se calcule :

$$TDC = \left(\frac{VD - VA}{DC} \right) \times (S - 1)$$

TS est le temps en stations, en seconde, et se calcule :

$$TS = S \times TA$$

VD est la vitesse de déplacement, en mètre par seconde.

VA est la vitesse à l'arrêt, en mètre par seconde.

AD est une mesure d'accélération, en mètre par seconde carrée.

DC est une mesure de décélération, en mètre par seconde carrée.

S est le nombre de stations.

TA est le temps d'arrêt en station.

$$R = RE + RRE + RR$$

R est le nombre total de véhicules.

RR est le nombre de véhicules en réparation.

RRE est le nombre de véhicules en réserve d'exploitation.

RE est le nombre de véhicules en exploitation, arrondi au nombre entier supérieur, et se calcule :

$$RE = \frac{(REH \times I + TBP - TBER)}{I}$$

REH est le nombre de véhicules en exploitation, hors temps de battement provisionnel et arrondi au nombre entier supérieur, et se calcule :

$$REH = \frac{TT}{I}$$

I est l'intervalle d'exploitation minimal, en seconde.

TBP est le temps de battement provisionnel par direction, en seconde.

TBER est le temps de battement d'exploitation résiduel, en seconde, provenant de l'arrondissement au nombre entier supérieur de REH, et se calcule :

$$TBER = REH \times I - TT$$

TT est le temps total de parcours dans les deux directions; en seconde, et se calcule :

$$TT = 2 \times TP + 2 \times TR + 2 \times TBE$$

TP est le temps de parcours par direction, en seconde.

TR est le temps de retard par direction, en seconde.

TBE est le temps de battement d'exploitation par direction, en seconde.

CHAPITRE III

APPLICATION

3.1 Le choix et le dimensionnement du TCSP

Le choix et le dimensionnement du TCSP se fonde sur les informations présentes dans les études de préfaisabilité et de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal. Afin d'optimiser ce projet de TCSP initial, la méthode suit un processus défini et s'appuie sur les guides de conception de TCSP ainsi que sur des références ponctuelles³⁶⁵. Cette étape fait l'objet d'une appréciation argumentée et mathématique. En effet, sa résolution passe par la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines de mobilité, se fait empiriquement, au regard de la demande, exprimée par la charge cumulée de passagers au sein des véhicules entre deux stations en période d'hyperpointe, et l'offre, caractérisée par la capacité des véhicules selon l'intervalle d'exploitation minimal³⁶⁶. À cette première étape, aucune solution optimisée n'a encore été développée. Seul le scénario initial fait alors l'objet du processus d'optimisation. Les éléments du TCSP respecte la contrainte technique et urbaine mais ne tendent pas vers deux des enjeux financiers de mobilité. En effet, le projet de TCSP ne tend pas vers les enjeux financiers suivants :

- Le choix et dimensionnement de mode selon les éléments de matériel roulant, d'infrastructures et d'équipements de gestion et modalités d'exploitation du système de transport actuel qui peuvent être réutiliser par le projet de TCSP. À cette fin, les modes sont regroupés dans deux familles : routière et ferroviaire. Les véhicules routiers et ferroviaires nécessitent en effet chacun respectivement peu ou prou les mêmes infrastructures et équipements de gestion et modalités d'exploitation.

365 Confer la partie 3.4.1 et 3.4.2 de la présente recherche.

366 Confer la partie 3.4.3 de la présente recherche.

- Le choix et dimensionnement de ligne capacitaire à la demande actuelle et future, c'est-à-dire la sélection de ligne, de dimensions linéaires précises, d'après l'intervalle d'exploitation minimal qui permet, selon les contraintes et enjeux de productivité, de n'avoir qu'un relatif faible nombre d'interstations où l'offre est significativement surcapacitaire aux interstations selon leur charge cumulée durant la période d'hyperpointe, à moins d'une desserte d'activités ou de connexions avec d'autres modes de transport qui justifie à la marge une offre surcapacitaire. Les charges cumulées sont estimées en différents scénarios de demande, avec ou sans projet de TCSP et à court ou long terme.

Le projet de TCSP ne tend pas vers ces enjeux à cause des caractéristiques suivantes :

- Le choix et dimensionnement d'un mode ferroviaire qui ne réutilise pas les éléments de matériel roulant, d'infrastructures et d'équipements de gestion et modalités d'exploitation du système de transport routier actuel, alors que un mode routier en site banal est capacitaire selon la demande projetée en différents scénarios à court et à long terme.
- Le dimensionnement d'une ligne qui dispose d'un relatif fort nombre d'interstations où l'offre est surcapacitaire aux interstations selon leur charge cumulée estimée en différents scénarios de demande, ainsi qu'une desserte d'activités ou de connexions avec d'autres modes de transport qui ne justifie pas à la marge une offre significativement en surcapacité.

Il est néanmoins possible de développer des solutions optimisées résolvant cette étape, qui respectent la contrainte et qui tendent vers les enjeux. Cependant, une de ces solutions n'est pas scénarisée.

3.1.1 Le choix et le dimensionnement de mode par rapport à la demande

Le projet de TCSP étudié correspond à la première ligne de tramway de la Ville de Montréal dont le tracé dessine une boucle entre le centre-ville et le Vieux-Montréal, à laquelle il est adjoit une antenne desservant principalement le quartier Côte-des-

Neiges³⁶⁷. Pour les besoins de la description, la ligne est découpées en six sections correspondants aux axes viaires empruntés par le projet, qui incluent les stations qui s'y localisent. Ces sections sont les suivantes : Jean-Talon, Côte-des-Neiges et Guy, René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel³⁶⁸. De manière à résoudre cet étape, il est nécessaire d'estimer l'intervalle d'exploitation minimal. Pour cela, il faut définir les valeurs de capacité de modes, la durée de l'hyperpointe et les valeurs de charges cumulées, en nombre de passagers, à cette même période entre les stations et dans les deux directions de la ligne. Concernant la capacité de modes, cinq types de véhicules vont être utilisés : un autobus standard d'environ 12 mètres avec 80 passagers, un autobus articulé (mono-articulé) d'environ 18 mètres avec 112 passagers³⁶⁹, un autobus bi-articulé d'environ 25 mètres avec 150 passagers³⁷⁰, un tramway d'environ 30 à 35 mètres avec 204 passagers comme il est prévu dans le projet étudié³⁷¹ et un tramway d'environ 45 mètres avec 319 passagers³⁷². Ce choix est dicté par le fait que le calcul du choix et dimensionnement de TCSP nécessite des valeurs précises de capacité mais n'a d'objet que la représentation d'un certain ordre de grandeur entre les différents types de véhicule.

À propos des valeurs de charges cumulées, une simulation de l'achalandage de ce projet de TCSP a été effectuée dans l'étude de faisabilité³⁷³. Elle expose le montant des charges cumulées de la ligne projetée à l'horizon 2026 en hyperpointe, durée de quinze

367 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-3 ; Consortium Genivar-Systra (2011).

368 Confer la carte 1 de la présente recherche, p.17.

369 Cela correspond aux capacités d'un Nova LFS (standard) et d'un Nova LFS Artic (mono-articulé) communément utilisés dans la région de Montréal. Nova Bus (2014), *Caractéristiques techniques*. Récupéré de < http://www.novabus.com/documents/Fiche%20technique/Caractéristiques%20techniques%20FR_LR.pdf > le 20 mars 2015.

370 Cela correspond à la capacité du Van Hool ExquiCity 24, véhicule envisagé dans le cadre du projet de SRB Québec-Lévis. Transports Québec, Ville de Lévis et Ville de Québec (2015), *Étude de faisabilité tramway-SRB, Pour vivre et se déplacer autrement*. p.35. Récupéré de < https://www.ville.quebec.qc.ca/grandsprojetsverts/transport/srb/docs/etude_faisabilite_tramway_srb.pdf > le 20 mars 2015.

371 Cela correspond à la capacité du tramway d'environ 30 mètres de long et 2,65 mètres de large tel que défini dans les études de pré-faisabilité et de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal. Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.F1, p.3 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.3.

372 Cela correspond à la capacité d'un tramway Alstom Citadis X05 de 44,6 mètres de long et de 2,65 mètres de large. La longueur nominale, soit entre les portes d'extrémité, est de 40 mètres, équivaut à la longueur des quais prévus dans le projet. Alstom (2014), *Citadis on the move, The tram solution for each city*. p.6. Récupéré de < <http://www.alstom.com/Global/Transport/Resources/Documents/brochure2014/Citadis%20-%20Sales%20brochure%20-%20Eng%20-%20Sept%202014%20-%20LD.pdf?epslanguage=en-GB> > le 21 mars 2015 ; Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.F1, p.3 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.3 et Vol.B5-1, p.11.

373 Les données présentées proviennent de simulations réalisées pour la période de pointe du matin à l'aide de l'outil MADITUC. Elles se basent sur l'enquête Origine-Destination de 2003 et ont été projetées en 2026 avec le modèle ES-3 du Ministère des Transports du Québec. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C5-1.

minutes, dans les deux directions et entre chacune des 32 stations. La charge cumulée maximale dans les deux directions se forme entre les stations Ridgewood et Remembrance en direction sud. Cette simulation se base sur un réseau de transport collectif quelque peu modifié, avec l'ajout de TCSP actuellement en projet³⁷⁴ et une réorganisation du réseau existant d'autobus, dont la suppression ou le rabattement de certaines lignes empruntant le même tracé que le projet de tramway³⁷⁵. Si ce dernier reprenait son cours dès l'an prochain, cette demande aurait lieu trois à cinq ans après sa mise en service³⁷⁶, c'est-à-dire à court terme. Aucune donnée d'achalandage n'est présentée pour un horizon plus lointain. De manière à combler ce manque à cette étape, une conjecture va être employée par cette recherche. Celle-ci n'est développée qu'à des fins de poursuite du processus d'optimisation, puisqu'il y est nécessaire d'anticiper une probable variation ultérieure de la fréquentation. Cette conjecture est la suivante :

- À long terme, la demande en déplacement augmentera, en nombre absolu, de 40%. Cette estimation est basée sur la croissance du nombre des déplacements réalisés en transport collectif en quinze ans dans la région de Montréal, qui a été d'un peu plus de 40%, toutes lignes et tous modes confondus³⁷⁷. Ce long terme peut toutefois représenter une période plus longue que quinze ans.

En outre, la demande en déplacement telle que simulée peut être décomposée en cinq composantes différentes :

- La première composante correspond au scénario de référence, avec l'achalandage estimé en 2026 des lignes d'autobus exploitées actuellement sur le tracé du projet. Cette composante tient compte des TCSP actuellement en projet et de la réorganisation du réseau d'autobus.

374 Sont nommés les projets de la ligne 5-bleue du métro à Anjou, du train de l'Est et du SRB Pie IX.

375 Sont prévues la suppression des lignes de bus 74, 75, 150, 165, 515 (présentement 715), 535 (présentement 435) et 935, la modification des lignes 34, 80 et 166 ainsi que la création d'une ligne entre la gare de train Mont-Royal et la station de métro Savane.

376 Cette recherche est effectuée en 2015 et il est prévu un échéancier de cinq à sept ans une fois l'étude de faisabilité validée. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B2, p.3.

377 La croissance a été de 24,21% exactement, avec 252 000 déplacements en 1998 et 313 000 en 2013. AMT (2015), p.23.

- La seconde composante équivaut aux passagers attirés par l'augmentation de l'offre provenant de la mise en service d'un TCSP, comme une vitesse commerciale, une fréquence ou une capacité plus élevées.
- La troisième composante est la demande induite par le confort et l'accessibilité d'une ligne spécifiquement exploitée par un TCSP de type tramway, mode monorail, par rapport à un TCSP exploité avec des autobus.
- La quatrième composante coïncide avec le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain, dans le sens où elle constitue le nombre de passagers provenant de projets urbains situés à proximité du tracé. Entre autres, sont pris en compte les projets urbains appelés Griffintown, Bassin du Nouveau Havre, Chabouillez, Radio-Canada, Bonaventure et le Triangle Namur³⁷⁸.
- La cinquième et dernière composante est appelée le transfert modal et est constituée des individus qui empruntaient une automobile pour se déplacer avant la mise en service du projet de tramway, mais qui ont changé de mode de déplacement grâce au stationnement incitatif proposé au sein du projet ou à cause de la réduction de la voirie routière due au site propre.

Ces cinq composantes forment respectivement environ 43%, 29%, 12%, 13% et 3% de la demande en déplacement que l'offre de la première ligne de tramway se doit de satisfaire en 2026³⁷⁹. La valeur des charges cumulées aux interstations dans les deux directions présentées dans l'étude de faisabilité prend en compte ces cinq composantes de la demande. Afin d'établir un scénario de demande sans projet mais comprenant la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain, il va être déduit uniformément³⁸⁰ de ses valeurs la part des composantes de TCSP, de tramway et de transfert modal pour ne garder que le montant issu du scénario de référence et des projets urbains. Ce scénario est hypothétique. Il nécessite la création d'une ligne de

378 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.3.

379 Leur montant en nombre absolu de passagers, pour la période de pointe du matin, est respectivement de 6457, 4291, 1792, 1887 et 453 pour un total de 14880. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.4.

380 La proportion de chacune des composantes de la demande totale est valable pour l'ensemble du tracé. Ces proportions peuvent varier sur la longueur du tracé mais les données n'existant pas, il est alors considéré que les composantes gardent les mêmes proportions pour interstation dans les deux directions.

bus exploitée en site banal, disposant d'arrêts positionnés de manière similaire au station de tramway envisagées par le projet, ainsi que la modification analogue du réseau de transport collectif. De la même sorte, pour établir un scénario de demande avec un projet de TCSP exploité avec des autobus, il va être retranché proportionnellement de ses valeurs la part de la composante tramway. Ce dernier scénario est tout autant théorique. Il requiert la construction d'un site propre partiel routier sur lequel est opérée une ligne de bus reprenant les caractéristiques du projet de tramway, dont les stations et la réorganisation du réseau. Ainsi, l'étape du choix et dimensionnement présente trois scénarios de demandes différentes, auxquels il est possible d'appliquer la conjecture de variation de l'achalandage à long terme à ces trois scénarios de demandes, qui sont les suivants :

- Un scénario de demande sans projet de TCSP ou scénario de demande avec un transport en commun routier sans site propre, équivalent à environ 56% du scénario de demande avec un projet de TCSP ferroviaire.
- Un scénario de demande avec un projet de TCSP routier, équivalent à 88% du scénario de demande avec un projet de TCSP ferroviaire.
- Un scénario de demande avec un projet de TCSP ferroviaire.

Afin de choisir et de dimensionner le mode de TCSP, l'intervalle d'exploitation minimal doit se situer, d'après la contrainte technique et urbaine de mobilité qui réfère à une contrainte technique et urbaine de productivité, entre trois et six minutes³⁸¹. Lorsque l'intervalle se situe en-deça de trois minutes, l'offre est considérée comme sous-capacitaire à la demande, alors qu'au-dessus de six minutes, elle est vue comme surcapacitaire. Quand elle est comprise dans la fourchette des trois à six minutes, elle est considérée comme capacitaire. Le mode peut alors être choisi et dimensionné lorsqu'il est à capacité selon un même scénario de demande à court terme et à long terme. Par ailleurs, bien que les scénarios de demande soient établis en fonction d'une famille de véhicules, l'intervalle d'exploitation minimal est calculé selon tous les types de véhicules, y compris selon des véhicules n'appartenant pas à la même famille. Si cela

381 Confer la partie 3.4.6 de la présente recherche.

n'autorise pas le choix et le dimensionnement de mode de TCSP d'après un scénario de demande d'un autre type de véhicule, cela permet de comparer les modes et donc d'argumenter l'adéquation entre l'offre et la demande. Les résultats du choix et dimensionnement de mode sont par conséquent les suivants³⁸² :

- Au sein du scénario de demande sans projet de TCSP ou avec un projet de transport en commun routier sans site propre, l'autobus standard et l'autobus articulé sont capacitaires à court terme. À long terme, l'autobus standard devient sous-capacitaire mais l'autobus bi-articulé devient capacitaire. Le choix de mode se porte donc sur l'autobus articulé d'environ 18 mètres.
- Au sein du scénario de demande avec un projet de TCSP routier, l'autobus articulé, l'autobus bi-articulé et le tramway de 30 à 35 mètres sont capacitaires à court terme. À long terme, l'autobus articulé et l'autobus bi-articulé deviennent sous-capacitaires. Le choix de mode se porterait donc sur le tramway de 30 à 35 mètres, mais il serait paradoxal. Un TCSP routier n'est donc pas faisable.
- Au sein du scénario de demande avec un projet de TCSP par tramway, l'autobus bi-articulé et le tramway de 30 à 35 mètres sont capacitaires à court terme. À long terme, l'autobus bi-articulé devient sous-capacitaire et le tramway de 45 mètres devient capacitaires. Le choix de mode se porte donc sur le tramway d'environ 30 à 35 mètres.

382 Confer le tableau I de la présente recherche, p.116.

Tableau 1. Le choix et dimensionnement de mode de TCSP selon la demande estimée à court et à long terme

Intervalle d'exploitation minimum (minutes)						
Estimation d'achalandage 2024 (quart d'heure d'hyperpointe du matin)		Capacité selon le matériel roulant (nombre de places assises + 4 personnes debout par m ²)				
Type de scénario	Charge cumulée maximale (passagers)	Modes routiers			Modes ferroviaires	
		Autobus standard	Autobus articulé	Autobus bi-articulé	Tramway 30-35m	Tramway 45m
		80	112	150	204	319
Sans TCSP (TC routier)	358	3,4	4,7	6,3	8,5	13,4
Sans TCSP +40%	501	2,4	3,4	4,5	6,1	9,5
TCSP routier	561	2,1	3,0	4,0	5,5	8,5
TCSP routier +40%	785	1,5	2,1	2,9	3,9	6,1
TCSP ferroviaire	638	1,9	2,6	3,5	4,8	7,5
TCSP ferroviaire +40%	893	1,3	1,9	2,5	3,4	5,4
Légende		Sous-capacité	À capacité	Surcapacité		

Données d'achalandage : Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.5.

Face à ces résultats, il est possible de s'apercevoir que, selon le scénario de demande, le tramway n'est pas le seul mode capacitaire. Ainsi, s'il n'est pas souhaité de réaliser une ligne de TCSP, le mode autobus articulé suffit à court et à long terme. Toutefois, s'il est envisagé d'ériger une ligne de TCSP routier ou de TCSP ferroviaire, alors le tramway de 30 à 35 mètres est adéquat dans les deux cas, à l'instar de ce que proposent les études de préféabilité et de faisabilité. Néanmoins, ces études ne suggèrent pas cette première solution de choix de mode. Une solution optimisée peut donc être développée, soit une ligne de transport en commun en site banal exploitée avec des autobus articulés. Elle est alternative à la solution initiale, qui consiste en une offre de TCSP ferroviaire exploitée avec des tramways de 30 à 35 mètres.

Les systèmes opérés en site banal ont néanmoins une régularité difficile lorsque leur intervalle se situe en-deçà de 10 minutes et presque impossible au-dessous de 4 minutes³⁸³. D'ailleurs, les lignes de bus 165 et 435 présentement opérées par la STM sur le tracé du projet, plus précisément sur la section Côte-des-Neiges et Guy pour la première, à laquelle s'ajoute René-Lévesque pour la seconde, sont doré et déjà dotées d'autobus articulés. Des nos jours, sur la section Côte-des-Neiges et Guy, ces deux

383 Un système en site banal peut toutefois améliorer sa régularité par l'emploi d'un système de priorité sur aux dispositifs de régulation lumineuse de la circulation. CERTU (2004), p.46 TCRP (2013), Chap.6, pp.24-52.

lignes proposent ensemble 29 services dans la même direction, appelée sud pour la première et est pour la seconde, sur la période de pointe du matin, allant de 6 heures à 9 heures. Cela correspond à un intervalle moyen d'exploitation d'un peu plus de 6 minutes. Il descend à environ 5 minutes aux alentours de 8 heures sur la ligne 165 simplement, c'est-à-dire sans compter l'offre supplémentaire des autobus articulés de la ligne 435³⁸⁴. Cela signifie que si le maintien de la régularité du service est souhaité, il serait possible de descendre l'intervalle jusqu'à 4 minutes avec le même matériel roulant, puis nécessaire de remplacer les autobus articulés par des bi-articulés. En effet, la demande estimée à long terme nécessiterait normalement un intervalle de 3,4 minutes avec des autobus articulés. Sans projet de TCSP et si les données d'achalandage sont vérifiées, il est alors possible de dire que le système, comme actuellement, peut être dimensionné avec des autobus d'environ 18 mètres en site banal, potentiellement remplaçables par la suite par des autobus d'environ 25 mètres. Cette solution optimisée de choix de mode est faisable, car elle respecte la contrainte de choix et dimensionnement de mode capacitaire à court et à long terme. Elle tend, de plus, vers l'enjeu d'un mode qui n'est pas surcapacitaire. Elle permet, enfin, de réutiliser les éléments du système routier de transport en commun actuel, et notamment les véhicules, les infrastructures et d'autres équipements comme l'atelier-dépôt.

Concernant le scénario de demande avec un projet de TCSP routier, une exploitation de la ligne avec des tramways de 30 à 35 mètres est capacitaire. Si cette exploitation selon un intervalle de trois ou de quatre minutes est adéquat à court terme avec respectivement des autobus articulés ou des autobus bi-articulés, une hausse de l'achalandage telle qu'il pourrait se produire selon la conjecture ne peut être résorbée avec un choix et dimensionnement de mode routier, leur intervalle passant sous le seuil des trois minutes. Il n'est en effet pas possible d'augmenter la fréquence et les véhicules ne peuvent être agrandis ou remplacés par des plus grands au sein de la même famille de modes³⁸⁵. Cela se traduit, d'une part, par le fait qu'un système de TCSP routier ne peut répondre à la demande qu'il induit à long terme et donc, d'autre part, par le paradoxe qu'une demande selon un scénario de TCSP routier ne peut être satisfaite

384 STM (2015), *165 Côte-des-Neiges direction SUD et 435 Express Du Parc / Côte-des-Neiges direction EST*. Récupéré de < <http://www.stm.info/fr/infos/reseaux/bus/reseau-local/ligne-165-sud> > et < <http://www.stm.info/fr/infos/reseaux/bus/reseau-express/ligne-235-est> > le 20 avril 2015.

385 L'intervalle de passage le plus bas a déjà été atteint et il n'existe pas d'autobus tri-articulé.

qu'avec un mode ferroviaire. Ainsi, opter pour un TCSP routier comporte un risque de réinvestissement majeur à long terme. Avec un projet de TCSP routier et si les données d'achalandage sont vérifiées, il est alors possible de dire que le système ne peut pas être exploité avec des autobus en site propre, quelque soit leurs dimensions. Cette solution de choix de mode n'est pas faisable, car elle ne respecte pas la contrainte de choix et dimensionnement d'un mode capacitaire à long terme. Elle aurait cependant permis, dans un premier temps, de réutiliser certains éléments du système routier de transport en commun actuel, comme l'atelier-dépôt.

Quant au scénario de demande avec un projet de TCSP ferroviaire, une exploitation de la ligne avec des tramways de 30 à 35 mètres selon un intervalle de 4,8 puis 3,4 minutes est adéquate à court puis à long terme. Si la demande augmente dans le futur, l'intervalle pourra être encore abaissé ou les tramways pourront être allongés par le biais de modules, comprenant caisse et bogie³⁸⁶. Avec un projet de TCSP par tramway et si les données d'achalandage sont vérifiées, il est alors possible de dire que le système peut être dimensionné avec des tramways de 30 à 25 mètres en site propre. Cette solution initiale de choix de mode est faisable, car elle respecte la contrainte de choix et dimensionnement de mode capacitaire à court et à long terme. Elle tend, de plus, vers l'enjeu d'un mode qui n'est pas surcapacitaire. Elle ne permet pas, par contre, de réutiliser les éléments du système routier de transport en commun actuel. Toutefois, cette solution est celle qui permet le gain d'achalandage le plus important. Elle est donc celle qui tend le plus vers cet enjeu de l'étape de choix et dimensionnement de TCSP. En effet, il est attendu environ 68 300 passagers par jour sur cette ligne de tramway, dont plus de 2500 passagers provenant d'un report modal de l'automobile vers le tramway. Cette estimation descendrait à environ 60 100 pour un TCSP routier, incluant le même report modal, et à 38 300 pour un transport en commun routier en site banal, sans report modal³⁸⁷. Cela signifie que la solution initiale de TCSP ferroviaire permet à des automobilistes de délaissé leur véhicules et de devenir des utilisateurs du transport collectif, tout comme le ferait un TCSP routier, mais elle fait croître l'achalandage d'environ 13% par rapport à un TCSP routier et de 78% en comparaison à un transport en commun routier en site banal. Comme il a été vu qu'un TCSP routier ne peut être

386 CERTU (2004), p.53 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.3.

387 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, pp.3-4.

exploitable à long terme, alors les gains d'achalandage ne peuvent être permis que par l'investissement dans un TCSP ferroviaire.

Ainsi, la solution initiale de choix de mode est la seule qui tend vers l'enjeu de choix et dimensionnement en faveur d'un mode qui permette des gains d'achalandage. Par ailleurs, la solution optimisée correspond au scénario sans projet de TCSP, c'est-à-dire un scénario avec un transport en commun par autobus en site banal. Cette solution est donc très proche du scénario actuelle et de son évolution probable, si aucun projet de TCSP n'est mené sur son tracé. En conséquent, ce scénario ne demande logiquement pas d'optimisation de projet de TCSP, bien qu'il puisse peut-être faire l'objet d'une optimisation sous une autre forme. Pour ces raisons, la solution initiale est préférée de manière à poursuivre le processus d'optimisation de projet de TCSP effectuée par la présente recherche. Le fait de ne retenir qu'une seule solution est toutefois dicté par les moyens et le temps limités de la présente recherche. Cela n'enlève aucunement l'intérêt d'une étude approfondie de la solution optimisée développée dans cette partie.

3.1.2 Le choix et dimensionnement de ligne par rapport à la demande

Le choix et dimensionnement de ligne permet de sélectionner et de définir la longueur de la desserte linéaire du territoire, c'est-à-dire le tracé du projet, par les services de transport collectif. Cette action s'effectue selon l'intervalle d'exploitation minimal requis aux interstations d'après leur charge cumulée durant la période d'hyperpointe. L'enjeu réside dans le fait de n'avoir qu'un relatif faible nombre d'interstations où l'offre est significativement surcapacitaire, à moins d'une desserte d'activités ou de connexions avec d'autres modes de transport qui justifie à la marge une offre surcapacitaire. L'intervalle d'exploitation minimal doit se situer, d'après la contrainte technique et urbaine de mobilité qui réfère à une contrainte technique et urbaine de productivité, entre trois et six minutes³⁸⁸. En outre, les charges cumulées sont estimées à court et à long terme d'après le scénario de demande correspondant au mode choisi et dimensionné précédemment, soit le scénario de demande ferroviaire correspondant au choix du tramway d'une dimension de 30 à 35 mètres. Par ailleurs, bien que ce scénarios de demande soient établis en fonction de véhicules ferroviaires, l'intervalle

388 Confer la partie 3.4.6 de la présente recherche.

d'exploitation minimal est calculé selon tous les types de véhicules, y compris selon des véhicules routiers. Cela permet de comparer les modes et donc d'argumenter l'adéquation entre l'offre et la demande. Les résultats du choix et dimensionnement de ligne sont par conséquent les suivants³⁸⁹ :

- À court terme, l'autobus standard et l'autobus articulé sont sous-capacitaires sur la section Côte-des-Neiges et Guy mais capacitaires ou surcapacitaires sur les autres sections, soit Jean-Talon, René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel. L'autobus bi-articulé, le tramway de 30 à 35 mètres et le tramway de 45 mètres sont capacitaires ou surcapacitaires sur toutes les sections.
- À long terme, l'autobus standard est sous-capacitaire sur la section Côte-des-Neiges et Guy, ainsi que sur l'interstation de la section René-Lévesque la plus proche de Côte-des-Neiges et Guy, mais capacitaire ou surcapacitaire sur les autres sections, soit Jean-Talon, Berri, De la Commune et Peel. L'autobus articulé et l'autobus bi-articulé sont sous-capacitaires sur la section Côte-des-Neiges et Guy mais capacitaires ou surcapacitaires sur les autres sections. Le tramway de 30 à 35 mètres et le tramway de 45 mètres sont capacitaires ou surcapacitaires sur toutes les sections.

Autrement dit, les résultats du choix et dimensionnement de ligne sont les suivants :

- Selon le scénario de demande à court et à long terme pour un TCSP ferroviaire, la section Côte-des-Neiges requiert le tramway de 30 à 35 mètres.
- Selon le scénario de demande à court et à long terme pour un TCSP ferroviaire, toutes les autres sections, soit Jean-Talon, René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel, requiert l'autobus standard, à l'exception de l'interstation de la section René-Lévesque la plus proche de Côte-des-Neiges et Guy qui requiert à long terme des autobus articulés.

389 _____
Confer le tableau 2 et le tableau 3 de la présente recherche, pp.121-122.

Tableau 2. Le choix et dimensionnement de ligne de TCSP
selon la demande estimée à court terme

Intervalle minimum d'exploitation selon l'interstation (minute)													
Estimation d'achalandage 2024 (quart d'heure d'hyperpointe du matin)		Scénario de demande TCSP ferroviaire		Capacité selon le matériel roulant (nombre de places assises + 4 passagers debout/m2)									
				Modes routiers						Modes ferroviaires			
				Bus standard		Bus articulé		Bus bi-articulé		Tram 30-35m		Tram 45m	
		Charge cumulée (passagers)		80		112		150		204		319	
Sections	Stations (Terminus)	Direction		Direction		Direction		Direction		Direction		Direction	
		Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord
Jean-Talon	Savane (Nord)	128	0	9,4	-	13,1	-	17,6	-	23,9	-	37,4	-
	Jean-Talon	188	0	6,4	-	8,9	-	12,0	-	16,3	-	25,5	-
Côte-des-Neiges et Guy	Barclay	258	35	4,7	34,3	6,5	48,0	8,7	64,3	11,9	87,4	18,5	136
	Van Horne	473	71	2,5	16,9	3,6	23,7	4,8	31,7	6,5	43,1	10,1	67,4
	Dupuis	514	110	2,3	10,9	3,3	15,3	4,4	20,5	6,0	27,8	9,3	43,5
	Jean-Brillant	532	151	2,3	7,9	3,2	11,1	4,2	14,9	5,8	20,3	9,0	31,7
	Queen-Mary	578	203	2,1	5,9	2,9	8,3	3,9	11,1	5,3	15,1	8,3	23,6
	Ridgewood	638	355	1,9	3,4	2,6	4,7	3,5	6,3	4,8	8,6	7,5	13,5
	Remembrance	635	327	1,9	3,7	2,6	5,1	3,5	6,9	4,8	9,4	7,5	14,6
	Boulevard	624	326	1,9	3,7	2,7	5,2	3,6	6,9	4,9	9,4	7,7	14,7
	Des Pins	592	340	2,0	3,5	2,8	4,9	3,8	6,6	5,2	9,0	8,1	14,1
	Sherbrooke	518	367	2,3	3,3	3,2	4,6	4,3	6,1	5,9	8,3	9,2	13,0
De Maisonneuve	294	318	4,1	3,8	5,7	5,3	7,7	7,1	10,4	9,6	16,3	15,0	
René-Lévesque	Mackay	336	159	3,6	7,5	5,0	10,6	6,7	14,2	9,1	19,2	14,2	30,1
	De la Montagne	243	125	4,9	9,6	6,9	13,4	9,3	18,0	12,6	24,5	19,7	38,3
	Peel	151	5	7,9	240	11,1	336	14,9	450	20,3	612	31,7	957
	University	159	25	7,5	48,0	10,6	67,2	14,2	90,0	19,2	122	30,1	191
	Saint-Alexandre	135	69	8,9	17,4	12,4	24,3	16,7	32,6	22,7	44,3	35,4	69,3
	Saint-Urbain	111	144	10,8	8,3	15,1	11,7	20,3	15,6	27,6	21,3	43,1	33,2
	De Bullion	101	131	11,9	9,2	16,6	12,8	22,3	17,2	30,3	23,4	47,4	36,5
	Saint-Denis	50	119	24,0	10,1	33,6	14,1	45,0	18,9	61,2	25,7	95,7	40,2
Berri	Square-Viger	40	241	30,0	5,0	42,0	7,0	56,3	9,3	76,5	12,7	119	19,9
	Bonneau	37	251	32,4	4,8	45,4	6,7	60,8	9,0	82,7	12,2	129	19,1
De la Commune	Place-Jacques-Cartier	20	244	60,0	4,9	84,0	6,9	112	9,2	153	12,5	239	19,6
	Saint-Suplice	52	168	23,1	7,1	32,3	10,0	43,3	13,4	58,8	18,2	92,0	28,5
	D'Youville	42	147	28,6	8,2	40,0	11,4	53,6	15,3	72,9	20,8	113	32,6
	Queen	41	62	29,3	19,4	41,0	27,1	54,9	36,3	74,6	49,4	116	77,2
	Brennan	41	66	29,3	18,2	41,0	25,5	54,9	34,1	74,6	46,4	116	72,5
Peel	Ottawa	104	66	11,5	18,2	16,2	25,5	21,6	34,1	29,4	46,4	46,0	72,5
	Notre-Dame	136	4	8,8	300	12,4	420	16,5	562	22,5	765	35,2	1196
	Saint-Antoine	122	4	9,8	300	13,8	420	18,4	562	25,1	765	39,2	1196
	René-Lévesque (Sud)	0	3	-	400	-	560	-	750	-	1020	-	1595

Légende

Sous-capacité

À capacité

Surcapacité

Données d'achalandage : Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.5

Tableau 3. Le choix et dimensionnement de ligne de TCSP
selon la demande estimée à long terme

Intervalle minimum d'exploitation selon l'interstation (minute)													
Estimation d'achalandage 2024 (quart d'heure d'hyperpointe du matin)		Scénario de demande TCSP ferro- viaire +40%		Capacité selon le matériel roulant (nombre de places assises + 4 passagers debout/m2)									
				Modes routiers						Modes ferroviaires			
				Bus standard		Bus articulé		Bus bi-articulé		Tram 30-35m		Tram 45m	
Section	Station	Direction		Direction		Direction		Direction		Direction		Direction	
		Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud	Nord
Jean-Talon	Savane	179	0	6,7	-	9,4	-	12,6	-	17,1	-	26,7	-
	Jean-Talon	263	0	4,6	-	6,4	-	8,5	-	11,6	-	18,2	-
Côte-des-Neiges et Guy	Barclay	361	49	3,3	24,5	4,7	34,3	6,2	45,9	8,5	62,4	13,2	97,7
	Van Horne	662	99	1,8	12,1	2,5	16,9	3,4	22,6	4,6	30,8	7,2	48,1
	Dupuis	720	154	1,7	7,8	2,3	10,9	3,1	14,6	4,3	19,9	6,6	31,1
	Jean-Brillant	745	211	1,6	5,7	2,3	7,9	3,0	10,6	4,1	14,5	6,4	22,6
	Queen-Mary	809	284	1,5	4,2	2,1	5,9	2,8	7,9	3,8	10,8	5,9	16,8
	Ridgewood	893	497	1,3	2,4	1,9	3,4	2,5	4,5	3,4	6,2	5,4	9,6
	Remembrance	889	458	1,3	2,6	1,9	3,7	2,5	4,9	3,4	6,7	5,4	10,5
	Boulevard	874	456	1,4	2,6	1,9	3,7	2,6	4,9	3,5	6,7	5,5	10,5
	Des Pins	829	476	1,4	2,5	2,0	3,5	2,7	4,7	3,7	6,4	5,8	10,1
	Sherbrooke	725	514	1,7	2,3	2,3	3,3	3,1	4,4	4,2	6,0	6,6	9,3
De Maisonneuve	412	445	2,9	2,7	4,1	3,8	5,5	5,1	7,4	6,9	11,6	10,7	
René-Lévesque	Mackay	470	223	2,6	5,4	3,6	7,5	4,8	10,1	6,5	13,7	10,2	21,5
	De la Montagne	340	175	3,5	6,9	4,9	9,6	6,6	12,9	9,0	17,5	14,1	27,3
	Peel	211	7	5,7	171	7,9	240	10,6	321	14,5	437	22,6	683
	University	223	35	5,4	34,3	7,5	48,0	10,1	64,3	13,7	87,4	21,5	136
	Saint-Alexandre	189	97	6,3	12,4	8,9	17,4	11,9	23,3	16,2	31,7	25,3	49,5
	Saint-Urbain	155	202	7,7	6,0	10,8	8,3	14,5	11,2	19,7	15,2	30,8	23,7
	De Bullion	141	183	8,5	6,5	11,9	9,2	15,9	12,3	21,6	16,7	33,8	26,1
	Saint-Denis	70	167	17,1	7,2	24,0	10,1	32,1	13,5	43,7	18,4	68,4	28,7
Berri	Square-Viger	56	337	21,4	3,6	30,0	5,0	40,2	6,7	54,6	9,1	85,4	14,2
	Bonneau	52	351	23,2	3,4	32,4	4,8	43,4	6,4	59,1	8,7	92,4	13,6
De la Commune	Place-Jacques-Cartier	28	342	42,9	3,5	60,0	4,9	80,4	6,6	109	9,0	170	14,0
	Saint-Suplice	73	235	16,5	5,1	23,1	7,1	30,9	9,6	42,0	13,0	65,7	20,3
	D'Youville	59	206	20,4	5,8	28,6	8,2	38,3	10,9	52,0	14,9	81,4	23,3
	Queen	57	87	20,9	13,8	29,3	19,4	39,2	25,9	53,3	35,3	83,4	55,1
	Brennan	57	92	20,9	13,0	29,3	18,2	39,2	24,4	53,3	33,1	83,4	51,8
Peel	Ottawa	146	92	8,2	13,0	11,5	18,2	15,5	24,4	21,0	33,1	32,9	51,8
	Notre-Dame	190	6	6,3	214	8,8	300	11,8	401	16,1	546	25,1	854
	Saint-Antoine	171	6	7,0	214	9,8	300	13,2	401	17,9	546	28,0	854
	René-Lévesque	0	4	-	285	-	400	-	535	-	728	-	1139

Légende

Sous-capacité

À capacité

Surcapacité

Données d'achalandage : Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.5.

En se référant aux résultats, il est remarqué que la section Côtes-des-Neiges et Guy est de loin la section la plus achalandée du projet de tramway de la Ville de Montréal. Elle dicte, en quelque sorte, le choix et dimensionnement du mode tramway de 30 à 35 mètres pour une ligne reliant les sections Jean-Talon à Peel en passant par le Vieux-Montréal. Cependant, pour toutes les sections autres que Côte-des-Neiges et Guy, l'autobus standard permettrait à court et à long terme l'opération de services de transport collectif répondant à un scénario de demande pour un TCSP ferroviaire, sauf sur une interstation qui nécessiterait l'autobus articulé à long terme. Or, ce scénario de demande est le plus achalandé³⁹⁰. En conséquent, un mode ferroviaire n'est requis dans le cadre d'un scénario de demande pour un TCSP ferroviaire que sur la section Côte-des-Neiges et Guy. La desserte supplémentaire d'activités ou de connexions avec d'autres modes de transport ne justifie pas à la marge une offre significativement en surcapacité, car les sections Jean-Talon, René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel représentent presque 60% d'une ligne allant des sections Jean-Talon à Berri. Une solution optimisée pourrait alors prendre la forme d'une ligne de tramway de 30 à 35 mètres sur la seule section Côte-des-Neiges et Guy, tandis que les autres sections seraient desservies par des autobus standards voire articulés. Cette solution remettrait en question le choix et dimensionnement de ligne effectué par l'étude de préféabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal.

L'étude de préféabilité a en effet étudié l'achalandage en période de pointe du matin d'un réseau de trois lignes hypothétiques de tramway en site propre : une ligne sur la section Côte-des-Neiges et Guy, une ligne sur l'Avenue du Parc et une ligne reprenant quasiment le tracé de la boucle entre le centre-ville et le Vieux-Montréal, c'est à dire sur les sections Berri, De la Commune et Peel mais, au lieu de René-Lévesque, la rue Sainte-Catherine à environ 200 mètres au nord. Dans le cadre du scénario B sélectionné par l'étude de préféabilité pour l'organisation des lignes du réseau initial de tramway, cette ligne en boucle recevait un achalandage peu significatif si elle était comparée aux deux autres lignes³⁹¹. Pourtant, la ligne en boucle et la ligne sur la section Côte-des-Neiges et Guy ont été fusionnées pour former le tracé de la première

390 Confer la partie 4.1.1 de la présente recherche.

391 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-2, dont pp.15-21 et Annexe 2, acétates 14-15.

ligne de tramway en site propre, étudiée par la suite dans l'étude de faisabilité. Ce choix tient aux arguments suivants³⁹² :

- La desserte du centre-ville et du Vieux-Montréal par la ligne en boucle est souhaitée par le Plan de transport de la Ville de Montréal, qui l'identifie comme la première ligne à réaliser.
- L'achalandage ne justifie néanmoins pas le mode tramway sur la boucle contrairement aux lignes sur le chemin de la Côte-des-Neiges et l'avenue du Parc. Il est alors choisi de jumeler la boucle avec une des deux autres lignes.
- La ligne sur le chemin de la Côte-des-Neiges est préférée à celle sur l'avenue du Parc car elle dessert des pôles générateurs de déplacements, comme les lieux d'emplois et institutionnels, aussi bien au nord qu'au sud du Mont-royal.

Cependant, l'ajout de la section Côte-des-Neiges et Guy à cette boucle n'augmente pas pour autant l'achalandage sur cette dernière, selon les données de l'étude de faisabilité étudiées précédemment. La demande en mobilité ne justifie toujours pas le choix du mode tramway en site propre entre le centre-ville et le Vieux-Montréal, qui serait largement surcapacitaire. De plus, une ligne nommée 715 est présentement exploitée par la STM avec des autobus standards sur les sections Peel, De la Commune et Berri. Or, avec un total d'environ 900 passagers par jour³⁹³, son achalandage plutôt confidentiel n'incite pas à la conversion de ces sections du tracé en TCSP, même de type routier. Ce niveau de fréquentation justifierait une fréquence d'un peu plus de 11 autobus standards ou de 8 autobus mono-articulés *pour la journée entière*, alors qu'un autobus standard est nécessaire à toutes les 3,4 minutes pour satisfaire la demande *pendant le quart d'heure d'hyperpointe* sur Côte-des-Neiges et Guy, selon le scénario de demande sans projet de TCSP. Afin d'éviter tout surinvestissement, il est donc proposé d'abandonner tout projet de TCSP en boucle entre le centre-ville et le Vieux-Montréal.

392 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-3.

393 Ce montant n'est pas daté mais est postérieure à 2008, année de création de la ligne sous l'identifiant 515, et antérieure à octobre 2012, année de rédaction du rapport dont est tirée cette source. CCMM (2012), p.28.

La solution optimisée de dimension de ligne prend donc la forme d'une ligne de TCSP ferroviaire exploitée par des tramways de 30 à 35 mètres sur la seule section Côte-des-Neiges et Guy. La desserte de sections Peel, De la Commune et Berri continue à être effectuée par la ligne 715 accompagnée par tout ou partie des lignes 74, 75 et 101, la section Jean-Talon est invariablement parcourue par la ligne 92, opérée sur un parcours de plus de 6 kilomètres depuis la station de métro Namur à la station Jean-Talon³⁹⁴, tandis que la section René-Lévesque, à proximité des lignes verte et orange du métro, est toujours sillonnée en tout ou partie par les lignes 15, 80, 150, 178, 410, 420, 427, 430, 435, 747 et 935³⁹⁵. Toutes ces lignes d'autobus de la STM sont exploitées sur leur type de site actuel, c'est-à-dire sur un site banal avec des voies réservées en période de pointe sur la section René-Lévesque et sans voie réservée en d'autres moments et ailleurs. Cette solution optimisée de ligne raccourcie est alternative à la solution initiale de ligne inchangée, qui prévoit une ligne de TCSP ferroviaire exploitée par des tramways de 30 à 35 mètres sur les sections Jean-Talon, Côte-des-Neiges et Guy, René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel. Les services d'autobus dont la solution optimisée de dimension de ligne prévoit le maintien sont inclus dans les scénarios optimisés qui adoptent cette solution. Ils ne font cependant pas l'objet d'optimisation aux étapes ultérieures.

Enfin, un enjeu de l'étape de choix et dimensionnement prévoit le besoin de réaliser à nouveau l'étape du choix et dimensionnement de TCSP s'il advenait que le projet soit modifié. Comme la solution optimisée change la caractéristique de la dimension de la ligne de TCSP, il serait nécessaire de revoir le choix et dimensionnement de mode en fonction de cette ligne raccourcie. Pour cela, il faudrait estimer l'achalandage d'une ligne de tramway limitée à la seule section Côte-des-Neiges et Guy. La présente recherche ne dispose pas de moyens et de temps à cette fin. Toutefois, l'étude de pré-faisabilité montre une ligne de tramway sur cette section, avec une courte incursion sur le boulevard René-Lévesque Ouest, des rues Guy à Peel. Ce tracé, nommé le scénario B3 par l'étude de pré-faisabilité, s'apparente donc à celui du projet optimisé³⁹⁶.

394 STM (2015), *Plan du réseau*. Récupéré de < http://www.stm.info/sites/default/files/pdf/fr/plan_reseau.pdf > le 20 avril 2015.

395 STM (2015), *Plan du centre-ville*. Récupéré de < http://www.stm.info/sites/default/files/pdf/fr/plan_centre-ville.pdf > le 20 avril 2015.

396 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-2, p.14 et Annexe 2, acétates 24-25.

La donnée de charge cumulée aux interstations ne sont pas disponibles, à l'exception de l'interstation où la charge est maximale dans les deux directions. Cette donnée n'est toutefois pas comparable à celles de charges cumulées aux interstations utilisées précédemment³⁹⁷. D'abord, il s'agit d'une projection à l'horizon 2016, soit 8 ans avant. Elle comprend la demande induite par le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain ainsi que celle provoquée par l'attrait d'un TCSP ferroviaire, mais simplement sur le tracé de la boucle en centre-ville, c'est-à-dire sur les sections René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel³⁹⁸. Elle fait, de plus, l'impasse sur le transfert modal des automobilistes vers la nouvelle ligne de TCSP. En outre, si la ligne n'est pas tout à fait identique, elle fait aussi partie d'un réseau hypothétique de trois lignes de tramways. Il serait alors convenable de réaliser une simulation d'achalandage spécifique au projet de TCSP optimisé afin d'affirmer du besoin d'un tramway en site propre. Néanmoins, le temps et les moyens de cette recherche étant limités et ce scénario B3 ressemblant le plus à la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie, alors cette donnée va être employée. Pour refléter le développement ou l'évolution de l'ensemble urbain, notamment les développements immobiliers au Triangle Namur et l'agrandissement des hôpitaux Général Juif et Sainte-Justine, mais aussi pour prendre en compte le report modal manquant, la valeur de charge cumulée maximale du scénario B3 va être multiplié par un coefficient reflétant ces facteurs à l'échelle d'une ligne de dimension raccourcie à la section Côte-des-Neiges et Guy. Ces coefficient sont établis respectivement d'après la quatrième et cinquième composante de la demande en déplacement pour le projet de tramway de la Ville de Montréal³⁹⁹. Ainsi, la valeur de 3110 passagers en période de pointe, soit presque 498 pendant le quart d'heure d'hyperpointe, sera multipliée par un coefficient d'environ 1,15 et un autre d'environ 1,04. À cette valeur à court terme sera ensuite appliquée la conjecture d'une augmentation du nombre de déplacements de 40% pour connaître la valeur à long terme. Les résultats sont alors les suivants⁴⁰⁰ :

- Au sein du scénario de demande avec un projet de TCSP ferroviaire raccourcie à la section Côte-des-Neiges et Guy, l'autobus bi-articulé et le tramway de 30

397 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-2, Annexe 2, acétates 5-8.

398 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-2, Annexe 2, acétate 3, Annexe 3 et Annexe 4.

399 Confer la partie 4.1.1 de la présente recherche.

400 Confer le tableau 4 de la présente recherche, p.127.

à 35 mètres sont capacitaires à court terme. À long terme, l'autobus bi-articulé devient sous-capacitaire et le tramway de 45 mètres devient capacitaires. Le choix se porte donc sur le tramway d'environ 30 à 35 mètres.

Tableau 4. Le choix et dimensionnement de mode de TCSP pour une dimension de ligne raccourcie selon la demande estimée à court et à long terme

Intervalle d'exploitation minimum (minutes)						
Estimation d'achalandage 2016 (quart d'heure d'hyperpointe du matin)	Charge cumulée maximale (passagers)	Capacité selon le matériel roulant (nombre de places assises + 4 personnes debout par m ²)				
		Modes routiers			Modes ferroviaires	
		Autobus standard	Autobus articulé	Autobus bi-articulé	Tramway 30-35m	Tramway 45m
Solution optimisée de dimension de ligne raccourcie à la section Côte-des-Neiges et Guy avec développement ou évolution de l'ensemble urbain et report modal		80	112	150	204	319
TCSP ferroviaire	590	2,0	2,8	3,8	5,2	8,1
TCSP ferroviaire +40%	827	1,5	2,0	2,7	3,7	5,8
Légende		Sous-capacité		À capacité	Surcapacité	

Données d'achalandage : Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-2, Annexe 2, acétates 24-25 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.5.

Ainsi, avec un scénario de demande avec un projet de TCSP ferroviaire sur une ligne de dimension raccourcie à la seule section Côte-des-Neiges et Guy, une exploitation de la ligne avec des tramways de 30 à 35 mètres selon un intervalle de 5,2 puis 3,7 minutes est adéquate à court puis à long terme. Si la demande augmente dans le futur, l'intervalle pourra être encore abaissé ou les tramways pourront être allongés par le biais de modules, comprenant caisse et bogie⁴⁰¹. Avec un projet de TCSP par tramway et si les données d'achalandage sont vérifiées, il est alors possible de dire que le système peut être dimensionné avec des tramways de 30 à 25 mètres en site propre. Cette solution optimisée est faisable, car elle respecte la contrainte de choix et dimensionnement de mode capacitaire à court et à long terme. Elle tend, de plus, vers l'enjeu d'un mode qui n'est pas surcapacitaire. Elle ne permet pas, par contre, de réutiliser les éléments du système routier de transport en commun actuel. Elle n'est pas celle qui permet les meilleurs gains d'achalandage. En effet, il est attendu environ 7802 passagers en période de pointe sur cette ligne de tramway⁴⁰² mais, si on applique les coefficients représentant les facteurs de développement ou l'évolution de l'ensemble urbain et de

401 CERTU (2004), p.53 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.3.

402 Cette ligne est numérotée 5002. Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C3-2, p.17 et Annexe 2, acétate 25.

report modal, il peut en être espéré environ 9258 à court terme. Par un coefficient global de journalisation de presque 4,6⁴⁰³, il est alors possible de dire que plus ou moins 42 500 passagers emprunteraient cette ligne raccourcie à la section Côte-des-Neiges et Guy. Cela signifie que la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie permet de faire croître de 11% l'achalandage en comparaison à un transport en commun routier en site banal, alors que cette croissance est de 78% pour la solution initiale de dimension de ligne inchangée. Enfin, bien que les données d'achalandage doivent être vérifiées, dans l'état actuel des connaissances tous les calculs effectués d'après les données des études de préfaisabilité et de faisabilité indiquent que le choix de mode tramway est le plus approprié pour la section Côte-des-Neiges et Guy et n'est, au contraire, pas le plus approprié pour les autres sections. À une ligne de TCSP ferroviaire de dimension raccourcie à la seule section Côte-des-Neiges, le tramway est le seul mode capacitaire. Le processus d'optimisation s'appuie donc sur ces résultats.

3.1.3 L'arborescence des scénarios et leur tracé

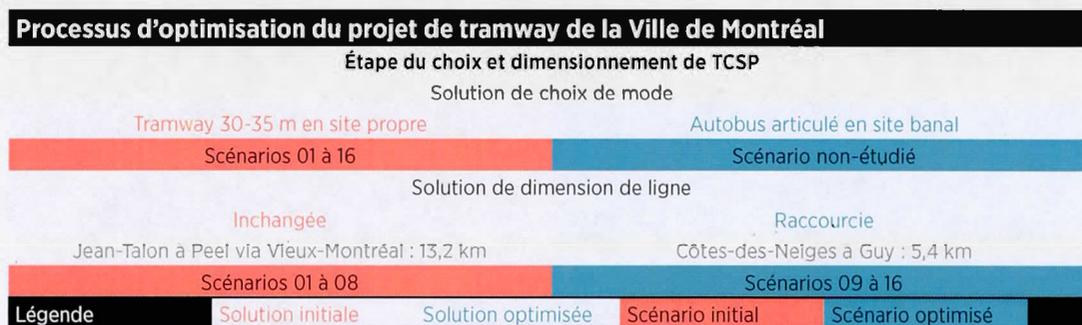
Le projet de tramway de la Ville de Montréal propose un scénario initial concernant le choix et dimensionnement de TCSP. Il s'agit d'un choix mode de TCSP ferroviaire composé tramways de 30 à 35 mètres et d'une dimension de ligne couvrant les sections Jean-Talon, Côte-des-Neiges et Guy, René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel. Le processus d'optimisation de projet de TCSP a cherché à tendre vers l'enjeu de réutiliser tout ou partie des éléments du mode routier actuel. Toutefois, la solution optimisée de choix de mode correspond peu ou prou à la situation actuelle, une ligne de transport en commun en site banal exploitée avec des autobus articulés d'environ 18 mètres. Pour cette raison, des scénarios optimisés ne seront pas développés à partir de cette solution optimisée pour la poursuite du processus d'optimisation. Par ailleurs, le processus d'optimisation a tendu vers l'enjeu de dimensionner une ligne qui dispose d'un relatif faible nombre d'interstations où l'offre est surcapacitaire. Il propose une solution optimisée de dimension de ligne raccourcie à la seule section Côte-des-Neiges et Guy, qui comprend le maintien d'un certain nombre de lignes actuelles d'autobus en site banal. Cette solution est alternative à la solution initiale de dimension de ligne inchangée, allant des sections Jean-Talon à Peel en passant par le Vieux-Montréal.

403 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.4.

De cette manière, le nombre de scénarios développés par le processus d'optimisation double à cette étape suivant la solution de dimension de ligne. Il existe alors deux scénarios, un initial (scénarios 01 à 08) et un optimisé (scénarios 09 à 16). Malgré seulement deux scénarios différents, le tracé varie sensiblement, puisque la solution optimisée de dimension de ligne le restreint à environ 40% de sa longueur initiale. Ainsi, les modifications à apporter à ce tracé sont donc les suivantes⁴⁰⁴ :

- Aucune modification de tracé n'est effectuée pour le scénario initial numéroté 01 à 08. Il mesure environ 13,2 kilomètres de long et parcourt, du nord au sud, la rue Jean-Talon, depuis son intersection avec l'avenue Victoria, puis le chemin de la Côte-des-Neiges, l'avenue du Docteur-Penfield, le chemin de la Côte-des-Neiges à nouveau, la rue Guy, le boulevard René-Lévesque ainsi que les rues Berri, De la Commune et Peel, jusqu'à son croisement avec le boulevard René-Lévesque.
- Une raccourcissement du tracé de 7,8 kilomètres est effectué pour le scénario optimisé numéroté 09 à 16. Il mesure environ 5,4 kilomètres et emprunte le chemin de la Côte-des-Neiges, depuis son intersection avec la rue Jean-Talon, l'avenue du Docteur-Penfield, le chemin de la Côte-des-Neiges à nouveau puis la rue Guy, jusqu'au croisement avec la rue Sainte-Catherine.

Tableau 5. L'arborescence des scénarios à l'étape du choix et dimensionnement de TCSP



404 Confer le tableau 5 de la présente recherche, p.129.

3.2 L'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé

L'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé se fonde sur les informations présentes dans les études de pré faisabilité et de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal. Afin d'optimiser ce projet de TCSP initial, la méthode suit un processus défini et s'appuie sur les guides de conception de TCSP ainsi que sur des références ponctuelles⁴⁰⁵. Cette étape fait l'objet d'une appréciation argumentée. En effet, sa résolution passe par la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines de rugosité, ne peut se faire qu'empiriquement, au regard des obstacles, déclivités, conditions climatiques et paysages propres au tracé⁴⁰⁶. À l'étape précédente du choix et du dimensionnement de TCSP, une solution optimisée a été développée, produisant un scénario optimisé conservé de manière alternative au scénario initial. Ces deux scénarios font alors l'objet du processus d'optimisation à cette étape. Les éléments du TCSP, quelque soit le scénario, respectent les contraintes techniques et urbaines et tendent vers les enjeux financiers de rugosité. Une exception existe toutefois. Le projet de TCSP ne tend pas vers l'enjeu suivant :

- Le positionnement géographique du plus grand nombre possible d'éléments du TCSP dans des espaces dénués d'obstacle, de déclivité, de conditions climatiques ou de paysage qui ont un impact négatif sur l'attractivité ou la faisabilité.

Le projet de TCSP ne tend pas vers cet enjeu à cause des caractéristiques suivantes :

- L'obstacle des parcelles privées et bâties à l'emplacement prévu de l'atelier-dépôt, nécessaire au remisage et à l'entretien des rames de tramway.
- La présence d'un climat qui peut être rigoureux, notamment en hiver.
- Les déclivités dues à la proximité et à la traversée du Mont-Royal.

405 Confer la partie 3.4.1 et 3.4.2 de la présente recherche.

406 Confer la partie 3.4.3 de la présente recherche.

Il est néanmoins possible de développer une solution optimisée face à l'obstacle et de confirmer un choix technique initial au regard du climat et des déclivités.

3.2.1 L'obstacle à la localisation de l'atelier-dépôt sur le site Victoria

D'après le projet de tramway de la Ville de Montréal décrit dans les études de préfaisabilité et de faisabilité, l'atelier-dépôt, élément des équipements de gestion et modalités d'exploitation, est établi sur un site nommé *Victoria*, au sud de la rue Jean-Talon, au nord de la voie ferrée du Canadien-Pacifique et à l'est de l'avenue Victoria⁴⁰⁷. Cette solution initiale de localisation de l'atelier-dépôt correspond à celle du scénario initial. Quant aux scénarios optimisés développés à l'étape du choix et dimensionnement du TCSP avec une dimension de ligne raccourcie (scénarios 09 à 16), l'application de la solution initiale demande un court prolongement des infrastructures au sein de la section Jean-Talon, qui avait pourtant été délaissée par cette première étape. Cette extension d'environ 800 mètres s'effectue sur la rue Jean-Talon, de l'intersection avec le chemin de la Côte-des-Neiges jusqu'à celle avec l'avenue Victoria. Elle se justifie par le fait de disposer d'un terrain ayant une surface capable d'accueillir l'atelier-dépôt. De façon similaire au scénario initial, cette section Jean-Talon peut être exploitée commercialement sur un site propre en voie double. Elle pourrait aussi se prendre la forme d'une voie unique, sans station et donc non-opérée commercialement, ce qui peut permettre de ne pas réaliser de site propre. La question de l'exploitation commerciale de cette extension va être étudiée à l'étape ultérieure. Quoiqu'il en soit, la localisation de l'atelier-dépôt sur le site Victoria demande l'expropriation de « l'ensemble des parcelles nécessaires à [l'atelier-dépôt] » et la démolition des « bâtiments en front de rue sur Jean-Talon » pour un coût total de 79 millions de dollars⁴⁰⁸. Ces expropriations et démolitions respectent les contraintes de cette étape puisque, pour être faisable, un TCSP doit disposer d'un atelier-dépôt. Néanmoins, elles peuvent être considérées comme n'étant pas adéquates pour sa résolution. En effet, elles ne tendent pas vers l'atteinte des enjeux financiers, qui souhaitent les éviter ou les réaliser de manière économe. En outre, la Ville de Montréal s'est opposée à cette localisation⁴⁰⁹.

407 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C5-2, Figure 3.2.1A.

408 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.6, p.12 et p.15.

409 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.i et Vol.B5-2, p.i.

La construction de l'atelier-dépôt pourrait se faire plus à l'ouest sur le site de l'ancien Hippodrome de Montréal, proche de la gare de triage du Canadien Pacifique. Ce site, appelé Hippodrome, est situé au nord des voies ferrées du Canadien Pacifique, à l'est de la gare de triage Côte-Saint-Luc, au sud de l'avenue Claranald et à l'ouest de la rue Jean-Talon et de l'autoroute Décarie. Il est aujourd'hui abandonné, dans le sens où plus aucune course hippique ne s'y déroule, et est en attente d'un projet de requalification urbaine⁴¹⁰. En comparaison avec le site Victoria, cette solution impose de prolonger encore la ligne d'environ 1,5 kilomètres sur la rue Jean-Talon, depuis son croisement avec l'avenue Victoria jusqu'à l'intersection de l'avenue Claranald et du chemin Devonshire⁴¹¹. Cette extension ne proposerait aucune contrainte technique ou urbaine supplémentaire et pourrait se réaliser en voie unique, sans station et peut-être sans site propre. Elle pourrait aussi être ouverte aux voyageurs en étant construite en voie double sur un site propre doté de stations, dont une en connexion avec la station de métro Namur. La question de l'exploitation commerciale de cette extension va être étudiée à l'étape ultérieure. Par ailleurs, une extension de la ligne en direction de ce site, ne comprenant toutefois pas la localisation de l'atelier-dépôt, a été proposée dans l'étude de faisabilité. Néanmoins, la partie la décrivant y est absente⁴¹² mais des bribes d'information diffusées dans d'autres volumes permettent de dire qu'elle est faisable techniquement⁴¹³. Quoiqu'il en soit, elle ne demande aucune expropriation, puisque le terrain appartient au Gouvernement du Québec et devrait être cédé à la Ville de Montréal⁴¹⁴. La solution ne demande aussi aucune démolition car l'atelier-dépôt peut être construit à l'écart des bâtiments existants, sur une surface équivalente à celle du site Victoria. S'agissant d'une emprise publique, la question du coût foncier reste toutefois duale. D'un côté, l'établissement de l'atelier-dépôt à Hippodrome représente un coût d'opportunité, puisque l'administration publique, qu'elle soit provinciale ou municipale, doit renoncer à la vente de cet emprise à des fins, par exemple, de redéveloppement immobilier. De l'autre côté, cela représente aussi des avantages économiques permettant à long terme d'économiser indirectement sur des coûts assumés par cette

410 Confer la partie 4.3.2 de cette présente recherche.

411 L'implantation exacte de ce terminus sur la voirie et la localisation précise de l'atelier-dépôt sont dictées par le fait de démontrer leur possibilité. Elles ne sont toutefois obligatoires et peuvent très bien varier dans l'espace.

412 La partie C du volume B6 est absente. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B6, p.i.

413 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3.

414 Métro (2014, 2 octobre), *Hippodrome de Montréal : l'entente visant le transfert du site n'a pas été signée*. Récupéré de < <http://journalmetro.com/actualites/montreal/568228/hippodrome-de-montreal-lentente-visant-le-transfert-du-site-na-pas-ete-signe/> > le 30 avril 2015.

même administration publique ou par ses administrés⁴¹⁵. À long terme, il est alors attendu que les avantages économiques de l'existence de ce TCSP et de son utilisation par les citoyens représentent une valeur monétaire supérieure à celle du coût d'opportunité auquel l'administration publique a renoncé. Ces avantages prenant la forme d'économies, l'administration ne peut tirer de revenus et il est alors possible de statuer que le coût du foncier peut être nul. Enfin, comme les informations sur l'extension de la ligne sont manquantes et que la localisation de l'atelier-dépôt à Hippodrome n'a pas été étudiée, il n'est pas possible d'affirmer la faisabilité entière de cette solution, qui reste donc à l'étape de préfaisabilité.

La résolution de cette étape passe donc par une alternative sur la localisation de l'atelier-dépôt : la solution initiale à Victoria et la solution optimisée à Hippodrome⁴¹⁶. Comme cette alternative implique dans tous les cas une prolongation du tracé, et si celle-ci est ouverte à l'exploitation commerciale, une contrainte de cette étape nécessiterait de réaliser à nouveau l'étape du choix et du dimensionnement du TCSP. Néanmoins, la localisation de l'atelier-dépôt à Victoria, faisant partie du scénario initial, permet de savoir qu'une certaine demande est présente sur la section Jean-Talon, même si elle ne justifie pas en soi l'offre d'un TCSP de type tramway. Il en serait de même pour l'extension jusqu'à l'ancien hippodrome, qui ne permettrait que de bonifier l'achalandage de la ligne de tramway en plus d'offrir une connexion avec la ligne orange du métro à la station Namur⁴¹⁷. Néanmoins, la section Côtes-des-Neiges et Guy nécessite ce mode et ce dernier a besoin d'un atelier-dépôt spécifique présentement inexistant dans la région de Montréal. La nécessité de l'une ou l'autre des extensions proposées est donc exogène à une demande de mobilité sur les axes parcourus de manière supplémentaire. De plus, le choix d'une implantation de l'atelier-dépôt au nord de la section Côte-des-Neiges et Guy semble le plus réaliste, dans le sens où il serait difficile de trouver un terrain relativement grand, abordable et libre de bâtiments dans les quartiers bâtis de Côte-des-Neiges et du centre-ville ou dans le secteur naturel et sauvegardé du Mont-Royal. Ainsi, l'étape du choix et du dimensionnement du TCSP n'est pas réalisée de nouveau malgré les extensions du tracé, car ce sont les résultats

415 Confer la partie 2.1.2 de la présente recherche.

416 Confer la carte 2 de la présente recherche, p.135.

417 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.22 ; Vol.Y3, p.19.

de cette étape qui dictent, par l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé, l'érection de l'atelier-dépôt sur l'un des deux sites.

3.2.2 Les conditions climatiques et les déclivités sur le chemin de la Côte-des-Neiges

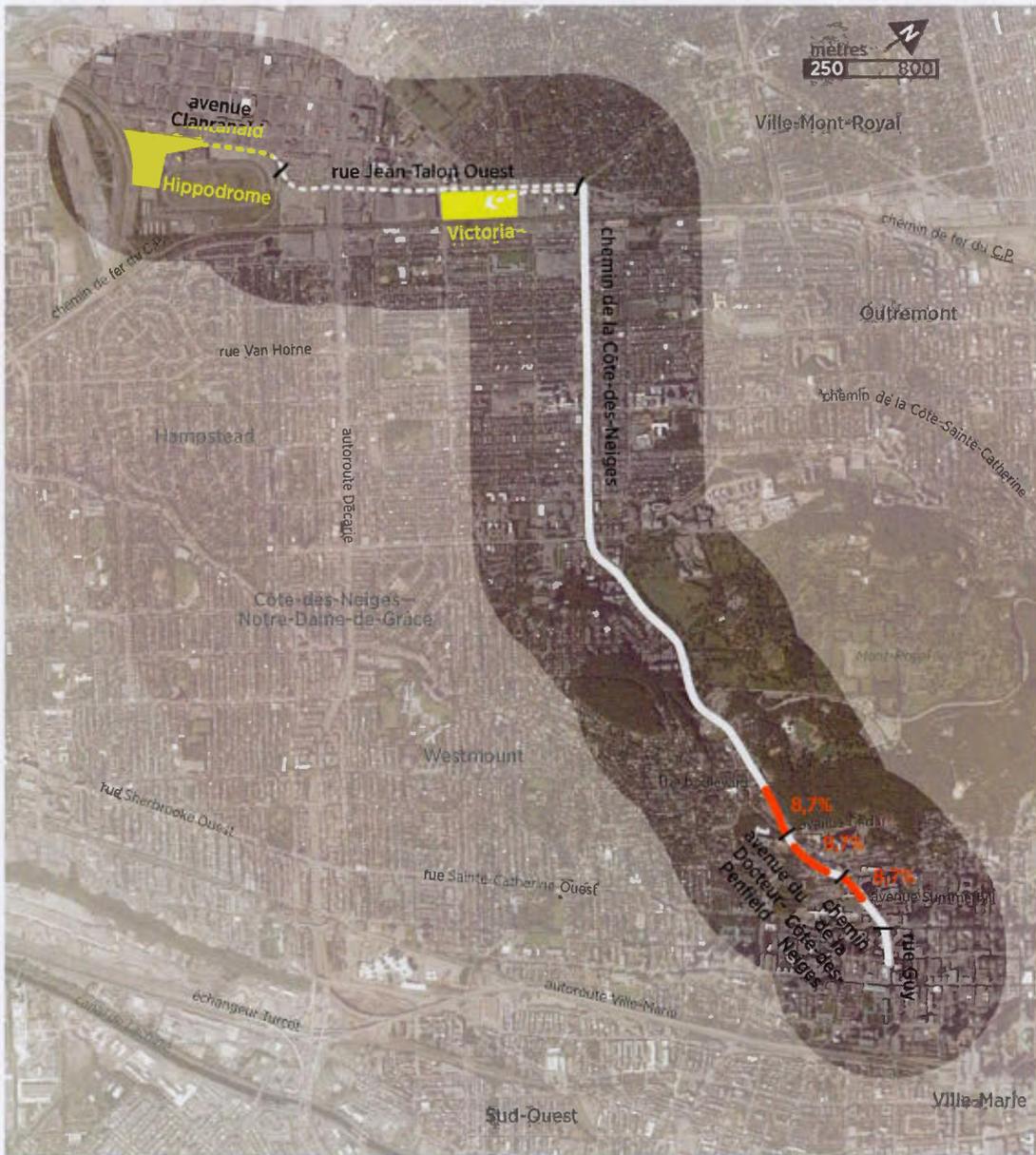
Le climat montréalais est marqué par des hivers froids et secs qui recouvrent le sol d'une couverture neigeuse environ trois mois par année avec, parfois, de la glace. Les étés sont chauds et humides, amenant de fortes précipitations orageuses sur un court laps de temps. Pendant l'automne, les arbres caducs sont la cause de la présence de feuilles à terre. Au sein de chaque saison, les températures peuvent connaître d'un jour à l'autre de fortes variations. Néanmoins, les caractéristiques climatiques locales ne sont pas un frein à l'exploitation d'un TCSP avec des tramways, si elles sont anticipées lors de sa conception. L'étude de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal a identifié divers éléments du TCSP pouvant être impactés par les conditions saisonnières et proposent divers actions à mettre en place. Ces dernières sont valables aussi bien pour la conception et la construction du système que pour son exploitation, en mode nominal ou dégradé. La température, le vent, l'hygrométrie, la pluviométrie, les accumulations de neige et de glace ainsi que la salinité ont été pris en compte pour le matériel roulant, l'infrastructure et les équipements de gestion et modalités d'exploitation⁴¹⁸. Une mission technique a même été effectuée de manière à identifier les contraintes et les enjeux climatiques que le projet pourrait connaître grâce au retour d'expériences des réseaux de tramway de Calgary, Minneapolis, Göteborg et Helsinki⁴¹⁹. Les feuilles ont, par exemple, été identifiées comme la problématique la plus importante à l'adhérence des tramways⁴²⁰. Aucune solution d'optimisation n'est donc à développer concernant le climat rencontré par le projet. Il doit être rappelé que Montréal disposait à la fin du XIX^{ème} siècle et durant la première moitié du XX^{ème} siècle d'un important réseau de tramways⁴²¹ qui étaient plus légers mais moins motorisés.

418 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.45 ; Vol.F1, pp.7-8.

419 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.Y4.

420 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.Y4, pp.6-7.

421 Hanna (1993), pp.49-59.



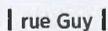
Carte 2. Les principales contraintes de rugosité sur le tracé de la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie



Ligne de tramway, section en déclivité supérieure à 8% et extension vers l'atelier-dépôt



Site proposé pour l'établissement d'un atelier-dépôt



Délimitation de l'axe viaire emprunté par la ligne de tramway



Axe de communication
Topographie ou hydrographie



Arrondissement de la ville de Montréal ou ville défusionnée

Fond de carte :
Google Earth.

La topographie du tracé est relativement plane, sauf à proximité et lors de la traversée du Mont-Royal. D'après l'étude de faisabilité, les éléments du TCSP sont conçus d'après le fait que les pentes maximales constantes ne devaient atteindre une valeur supérieure à 6% et les pentes maximales ponctuelles ne pouvaient dépasser les 8%⁴²². Cependant, le tracé du scénario initial compte quatre déclivités ponctuelles de plus de 8% : trois sur la section Côte-des-Neiges et Guy et une sur la section Peel⁴²³.

- Un segment d'environ 250 mètres de longueur sur le chemin de la Côte-des-Neiges, au sud de The Boulevard et au nord de l'avenue Cedar, comporte une pente de 8,7%.
- Un segment d'environ 225 mètres de longueur sur l'avenue du Docteur-Penfield, au sud de l'avenue Cedar et à l'ouest du chemin de la Côte-des-Neiges, comporte une pente de 9,7%.
- Un segment d'environ 160 mètres de longueur sur le chemin de la Côte-des-Neiges, au nord de l'avenue Summerhill et au sud de l'avenue du Docteur-Penfield, comporte une pente de 8,7%.
- Un segment d'environ 50 mètres de longueur sur la rue Peel, au nord de la rue Saint-Antoine Ouest et au sud du boulevard René-Lévesque Ouest, comporte une pente de 11,5%. Cette pente, présente sur la section Peel, ne concerne donc pas la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie développée à l'étape du choix et du dimensionnement du TCSP.

Confronté à ces pentes, le projet de tramway de la Ville de Montréal propose deux solutions. Un scénario initial est établi intégralement en surface tandis qu'un autre scénario initial propose de manière optionnelle un tronçon en souterrain, par le biais d'un ouvrage d'ingénierie, demandant une légère modification de tracé. Ainsi, au sud de The Boulevard, le TCSP emprunterait le chemin McDougall au lieu du chemin de la Côte-des-Neiges. Une dénivellation y serait créée de manière à ce que le TCSP rentre

422 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.45.

423 Confer la carte 2 de la présente recherche, p.135. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.8 et p.23.

dans un tunnel au nord-ouest de l'intersection entre l'avenue Cedar et le chemin de la Côte-des-Neiges. Le tunnel continuerait vers le sud par dessous ce chemin, sur une distance d'environ un demi kilomètre, alors que la variante en surface longe l'avenue du Docteur-Penfield. Le TCSP reviendrait ensuite à la surface à l'ouest de l'intersection entre le chemin et l'avenue des Pins, pour reprendre le tracé originel⁴²⁴. Cette variante souterraine supprime la contrainte de la pente de 9,7% sur l'avenue du Docteur-Penfield. Elle affiche un surcoût de 102 millions de dollars par rapport à la variante de surface, soit une hausse de 12% des dépenses d'investissement. Néanmoins, elle ne résout pas les contraintes d'adaptation du TCSP aux autres déclivités sur le chemin de la Côte-des-Neiges, puisque deux pentes de 8,7% sont toujours présentes à deux autres endroits différents. De plus, dans le cas du scénario initial, il est prévu de modifier le profil en long de la rue Peel pour lisser sa déclivité maximale, passant de 11,5% à 7,4%⁴²⁵. Toutefois, il n'est pas certain que ce lissage puisse se réaliser.

Ainsi, la solution du tunnel n'est pas présentée comme obligatoire à l'exploitation du TCSP. Les tramways peuvent en effet être motorisés à 100%, c'est-à-dire que tous les bogies sont moteurs. Ce niveau de motorisation permet de gravir des déclivités atteignant jusqu'à 11,5% dans des conditions d'exploitation dégradée, soit une perte d'adhérence due à la présence d'eau, de neige, de glace, de feuilles mortes ou à cause d'un bogie moteur inactif suite à une panne. Cette caractéristique des véhicules est recommandée dans l'étude de faisabilité, que le site propre comprenne l'ouvrage d'ingénierie souterrain ou non⁴²⁶. « En ce qui concerne les tramways à motorisation totale, on trouve un exemple de matériel moderne, à plancher bas intégral, franchissant des pentes de l'ordre de 10% à Würzburg »⁴²⁷ (Bavière, Allemagne). Il existe aussi le Pöstlingbergbahn, à Linz (Haute-Autriche, Autriche), dont les véhicules récents et accessibles aux personnes à mobilité réduite est conçu pour monter des côtes jusqu'à 11,6%⁴²⁸. Santa Cruz (Îles Canaries, Espagne) démontre tout autant qu'un tramway contemporain peut gravir des déclivités ponctuelles de 9,5%, sur un tracé dont la pente moyenne est de

424 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.9 ; Vol.A, pp.31-32 ; Vol.C5-2, Figures 3.2.10.A, 3.2.10.B, 3.2.10.C, 3.2.11.A, 3.2.11.B, 3.2.11.C ; Vol.D3, pp.70-97.

425 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.23.

426 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.9.

427 CERTU (2004), p.60.

428 Bombardier (2009), *Flexity Outlook, Linz Pöstlingbergbahn, Austria*. Récupéré de < http://www.trampicturebook.de/tram/download/bombardier/Poestlingbergbahn_10554_0509_EN.pdf > le 2 mai 2015.

5%⁴²⁹. Ces exemples d'exploitation à travers le monde permettent donc de penser que le niveau de motorisation du matériel roulant est un critère essentiel pour le respect des contraintes superposées de la topographie et du climat. Le processus d'optimisation confirme donc le choix technique initial de commander, dans le cadre de n'importe lequel des scénarios du projet, des tramways aux bogies intégralement moteurs. Il est ainsi démontré qu'il est important de penser, en phase de conception, aux décisions à prendre concernant la résolution simultanée et intégrée de plusieurs contraintes techniques et urbaines. En outre, ces décisions peuvent induire des surcoûts plus ou moins importants. Par exemple, dans le cas du matériel roulant à motorisation 100%, l'étude de faisabilité présente un surcoût d'environ 15% dû à son adaptation aux conditions hivernales et au franchissement des pentes⁴³⁰. Néanmoins, cette hausse se justifie pour l'adéquation du TCSP à son environnement urbain. Elle pourrait de plus être contenue par la mise en concurrence de plusieurs fournisseurs. Par ailleurs, le tunnel n'apparaît pas comme une solution à cette étape-ci de la recherche, bien qu'il contrevienne à l'enjeu de positionner les éléments du TCSP en surface. L'étude de faisabilité le présente en effet comme un moyen de respecter les normes d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite quant à l'implantation d'une station au droit de l'Hôpital Général⁴³¹. Cette problématique est donc une contrainte d'accessibilité, bien qu'elle permette de supprimer en partie une contrainte de rugosité.

3.2.3 L'arborescence des scénarios et leur tracé

Le projet de tramway de la Ville de Montréal propose un scénario initial concernant l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé. Ce scénario initial propose une localisation de l'atelier-dépôt sur le site Victoria, qui implique des expropriations et démolitions pour un surcoût de 79 millions de dollars. Le processus d'optimisation de projet de TCSP a cherché à tendre vers l'enjeu de positionner géographiquement le plus grand nombre possible d'éléments du TCSP dans des espaces dénués d'obstacle, de déclivité, de conditions climatiques ou de paysage

429 Transport public (2009), *Ténérife, une deuxième ligne de tramway au milieu de l'océan*. Récupéré de < . <http://support.carl-software.com/references/TEnErife--une-2Eme-ligne-de-tram-au-milieu-de-l-ocEan7349112519.pdf> > le 2 mai 2015.

430 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.10.

431 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3 ; Vol.B1, p.4.

qui ont un impact négatif sur l'attractivité ou la faisabilité du projet. À cette fin, une solution optimisée de localisation d'atelier-dépôt a été développée sur le site Hippodrome, à l'ouest de l'autoroute Décarie et au nord du chemin de fer du Canadien Pacifique. Pour y accéder, la solution optimisée comprend une extension de ligne vers l'ouest depuis son terminus nord, sur les rues Jean-Talon et Clanranald. Cette solution optimisée de localisation d'atelier-dépôt est alternative à la solution initiale. Par ailleurs, le processus d'optimisation de projet de TCSP a démontré la nécessité d'opter pour des véhicules tramways dont les bogies sont 100% motorisés afin de gravir les pentes aux alentours et lors de la traversée du Mont-Royal. En effet, la solution du tunnel dont il a été fait mention se rapporte à l'étape ultérieure, car elle a été développée afin de respecter des contraintes techniques et urbaines d'accessibilité.

De cette manière, le nombre de scénarios développés par le processus d'optimisation double à cette étape suivant la solution de localisation d'atelier-dépôt. Il existe alors quatre scénarios, un initial (scénarios 01 à 04) et trois optimisés (scénarios 05 à 08, scénarios 09 à 12 et scénarios 13 à 16). Avec quatre scénarios différents, le tracé varie relativement, puisque la solution optimisée de localisation d'atelier-dépôt nécessite une ligne plus longue d'1,5 kilomètres que la solution initiale. Ainsi, les modifications à apporter à ce tracé sont donc les suivantes⁴³² :

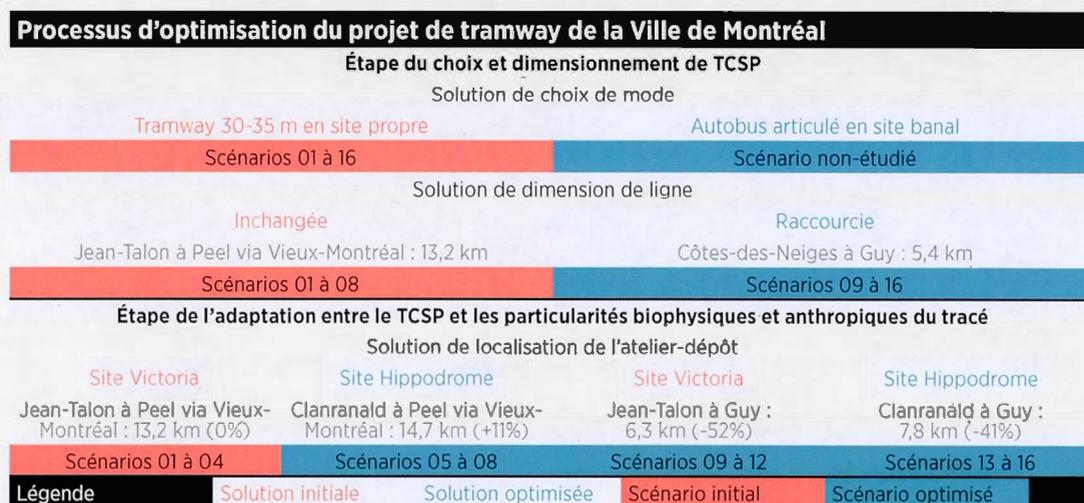
- Aucune modification de tracé n'est effectuée pour le scénario initial numéroté 01 à 04. Il mesure environ 13,2 kilomètres de long et parcourt, du nord au sud, la rue Jean-Talon, depuis son intersection avec l'avenue Victoria, puis le chemin de la Côte-des-Neiges, l'avenue du Docteur-Penfield, le chemin de la Côte-des-Neiges à nouveau, la rue Guy, le boulevard René-Lévesque ainsi que les rues Berri, De la Commune et Peel, jusqu'à son croisement avec le boulevard René-Lévesque.
- Par rapport au scénario initial numéro 01 à 04, une extension est effectuée pour le scénario optimisée numéroté 05 à 08 afin de rejoindre le site Hippodrome. Depuis le terminus nord, le tracé continue sur la rue Jean-Talon puis l'avenue

432 Confer le tableau 6 de la présente recherche, p.140.

Clanranald jusqu'à son intersection avec le chemin Devonshire. La longueur du tracé est de 14,7 kilomètres.

- Le scénario optimisée 09 à 12 reprend la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie. Néanmoins, cette solution ne prévoyait pas d'atelier-dépôt qui, selon la solution initiale de localisation d'atelier-dépôt, est positionné 0,9 kilomètres plus à l'ouest que le terminus nord proposé. Ainsi, une extension est effectué jusqu'au site Victoria. Le tracé mesure environ 6,3 kilomètres de long et parcourt, du nord au sud, la rue Jean-Talon, depuis son intersection avec l'avenue Victoria, puis le chemin de la Côte-des-Neiges l'avenue du Docteur-Penfield, le chemin de la Côte-des-Neiges à nouveau puis la rue Guy, jusqu'au croisement avec la rue Sainte-Catherine.
- Le scénario optimisée 13 à 16 reprend la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie. Par rapport au scénario initial numéro 09 à 12, une extension est effectué afin de rejoindre le site Hippodrome. Depuis le terminus nord, le tracé continue sur la rue Jean-Talon puis l'avenue Clanranald jusqu'à son intersection avec le chemin Devonshire. La longueur du tracé est de 7,8 kilomètres.

Tableau 6. L'arborescence des scénarios à l'étape de l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé



3.3 La conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements

La conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements se fonde sur les informations présentes dans les études de préfaisabilité et de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal. Afin d'optimiser ce projet de TCSP initial, la méthode suit un processus défini et s'appuie sur les guides de conception de TCSP ainsi que sur des références ponctuelles⁴³³. Cette étape fait l'objet d'une appréciation argumentée. En effet, sa résolution passe par la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines d'accessibilité, ne peut se faire qu'empiriquement, au regard de l'inclusion des personnes à motricité réduite, de la desserte des activités sur le territoire et des connexions possibles avec les réseaux de transport⁴³⁴. Aux étapes précédentes, le choix et dimensionnement de TCSP et l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé, deux solutions optimisées ont été développées, produisant trois scénarios optimisés conservés de manière alternative au scénario initial. Ces quatre scénarios font alors l'objet du processus d'optimisation à cette étape. Les éléments du TCSP, quelque soit le scénario, respectent les contraintes techniques et urbaines et tendent vers les enjeux financiers d'accessibilité. Deux exceptions existent toutefois. Le projet de TCSP ne respecte pas la contrainte technique et urbaine suivante :

- L'accès et la circulation des individus au sein de stations conçues selon les normes d'inclusion des personnes à motricité réduite, à l'instar de :
 - La planéité des surfaces de circulation des individus depuis l'entrée ou la sortie des points d'arrêts du TCSP jusqu'aux quais d'accès aux véhicules, c'est-à-dire d'une pente de 2% ou moins.

Le projet de TCSP ne respecte pas la contrainte technique et urbaine à cause des caractéristiques suivantes :

433 Confer la partie 3.4.1 et 3.4.2 de la présente recherche.

434 Confer la partie 3.4.4 de la présente recherche.

- Les stations Des Pins (scénario initial intégralement en surface), Sherbrooke et Saint-Antoine disposent de quais dont la pente est supérieure à 2%⁴³⁵.

Aussi, le projet de TCSP ne tend pas vers l'enjeu suivant :

- Une distance moyenne entre les stations équivalente à celle d'un métro, soit d'environ 700 à 800 mètres.

Le projet de TCSP ne tend pas vers cet enjeu à cause de la caractéristique suivante :

- La distance moyenne d'interstation est de 422 mètres⁴³⁶.

Il est néanmoins possible de développer une solution optimisée résolvant cette étape, qui respecte la contrainte et qui, de paire, tend vers l'enjeu.

3.3.1 La desserte de l'hôpital Général et l'inclusion des personnes à motricité réduite

L'accessibilité du TCSP recouvre principalement deux aspects : la possibilité des individus de rejoindre les différentes activités urbaines depuis les stations du système de transport projeté, ainsi que l'aisance que les personnes ont à utiliser ce dernier, qu'elles soient à motricité réduite ou non. Cette aisance va être premièrement étudiée. L'étude de faisabilité inclut des normes concernant l'accessibilité des véhicules depuis les quais et la facilité de circulation au sein des rames de tramways. Ainsi, il est proposé la planéité d'au moins 50% du plancher intérieur des véhicules, son accessibilité par toutes les portes contiguës et l'absence dans cet espace d'entrave réduisant le passage à une largeur égale ou inférieure à celle d'un fauteuil roulant. De plus, l'accostage des véhicules aux points d'arrêt est pensé de manière à ce que les différences de niveaux verticale et horizontale, entre les quais et le seuil des portes des véhicules, soient respectivement inférieures ou égales à 15 et 75 millimètres, ce qui est relativement faible⁴³⁷. Par ailleurs, il est prévu des surfaces de circulation planes depuis l'entrée ou la sortie des stations du TCSP jusqu'aux quais d'accès aux véhicules, c'est-à-dire sans

435 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3.

436 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, Figure 1 ; Vol.C5-2, p.12.

437 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.F1, p.5.

marche et d'une pente de 2% ou moins, et l'absence d'entrave, soit d'équipements ou d'éléments architecturaux venant obstruer le passage⁴³⁸. Néanmoins, seules les trois stations Des Pins (scénario initial intégralement en surface), Sherbrooke et Saint-Antoine ne remplissent pas tous ces critères, et particulièrement par le fait qu'elles disposent de quais d'une déclivité supérieure à 2%⁴³⁹. De ces trois stations, la station Des Pins (scénario initial intégralement en surface) est la plus problématique. En effet, elle permet, étant dans son voisinage immédiat, la desserte de l'hôpital Général par son entrée sud. Toutefois, elle est localisée sur un tronçon du chemin de la Côte-des-Neiges où la déclivité est de 4 à 6% qui est encadré par deux tronçons où la déclivité est de 9,7% et de 8,7%⁴⁴⁰. Or, la desserte des établissements hospitaliers, considéré comme des pôles d'achalandage, est aussi une contrainte de cette étape. Il ne peut donc pas être fait l'impasse d'une station dans ce secteur. Ceci est la raison pour laquelle l'étude de faisabilité propose la construction d'un ouvrage d'ingénierie souterrain afin de proposer une station Des Pins (scénario initial partiellement en tunnel) qui respecte les normes d'accessibilité, avec des quais dont la pente est de 2% ou moins, pour un surcoût de 102 millions de dollars⁴⁴¹. Cependant, ce montant peut sembler contraire à l'enjeu financier de concevoir les éléments du TCSP de manière accessible et d'après la solution diminuant le plus les coûts d'investissement et d'exploitation.

La présente recherche va alors s'employer à démontrer la préfaisabilité d'une solution optimisée d'implantation d'une station alternative à la station Des Pins souterraine pour la desserte de l'hôpital Général, qui respecte les normes d'accessibilités aux personnes à motricité réduite. De ce fait, cette solution optimisée ne vise qu'à se soustraire au scénario initial intégralement en surface qui, au contraire du scénario initial partiellement en tunnel, ne respecte pas toutes les contraintes. Ainsi, il pourrait être construit une station en surface nommée *Cedar*, à l'intersection des chemins de la Côte-des-Neiges et McDougall, au nord, du chemin de la Côte-des-Neiges et de l'avenue du Docteur-Penfield, au sud, et de l'avenue Cedar, à l'ouest et à l'est.

438 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B5-1, p.4. Les rampes d'accès ont une pente de 4%. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B5-1, p.12.

439 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.4.

440 Les stations Des Pins (variante en surface), Sherbrooke et Saint-Antoine du projet initial ne respectent pas le critère de conception d'accessibilité universelle requérant des quais d'une déclivité inférieure à 2%. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3.

441 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3 ; Vol.B1, p.4 et p.13.

Cette station Cedar est située dans une zone où la déclivité est de plus de 2%, avec un valeur entre 4 et 6%⁴⁴². En outre, pour le scénario initial partiellement en tunnel, l'étude de faisabilité envisage de faire passer le site propre du tramway non pas sur le chemin de la Côte-des-Neiges, au nord de l'intersection avec l'avenue Cedar, mais sur le chemin McDougall. Ce dernier axe viaire était par le passé une emprise réservée à l'exploitation des tramways de Montréal⁴⁴³. Il a, de par ce fait, l'avantage de n'avoir aucune entrée riveraine, aussi appelée entrée charretière, au contraire du chemin de la Côte-des-Neiges⁴⁴⁴. Ceci est la raison pour laquelle le scénario initial partiellement en tunnel n'emprunte pas le chemin de la Côte-des-Neiges : une dénivellation menant à l'entrée du site propre au sein d'un ouvrage d'ingénierie souterrain est plus facilement concevable sur le chemin McDougall. Or, s'il est possible de niveler le chemin McDougall de manière à faire pénétrer l'infrastructure dans un tunnel, il peut être tout autant imaginé de le niveler de manière moins importante, mais permettant de réduire la déclivité à un niveau égal ou inférieur à 2% au nord de l'intersection avec l'avenue Cedar. Le chemin de la Côte-des-Neiges étant parallèle au chemin McDougall sur une courte section au nord de cette avenue, il serait alors pensable de construire un talus ou un mur de soutènement entre les deux chemins, afin de combler la différence de niveau résultant du nivellement. Par ailleurs, l'étude de faisabilité propose des stations avec des quais rectilignes de 40 mètres, dans le cas où les tramways de 30 à 35 mètres seraient allongés⁴⁴⁵. Cette longueur correspond à la distance entre les portes d'extrémité d'un tramway de 45 mètres de long. À la station Cedar, l'espace semble suffisant mais la géométrie du carrefour entre le chemin McDougall, le chemin de la Côte-des-Neiges, l'avenue Cedar et l'avenue du Docteur-Penfield, telle que proposée dans l'étude de faisabilité pourrait être à revoir. En effet, le chemin McDougall emprunte un court virage d'environ 30 degrés à environ 50 mètres au nord de la limite entre les trottoirs nord et la chaussée de l'avenue Cedar⁴⁴⁶. Si cela n'hypothéquait pas la construction de quais rectilignes, cela demande toutefois d'étudier l'emplacement des accès à la station selon la morphologie de l'intersection qui, étant aujourd'hui compo-

442 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.4.

443 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C5-2, p.6.

444 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.D1, pp. 31 et 35.

445 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B5-1, p.12.

446 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.D3, p.79 et pp.90-91.

sée de trois à quatre voies pour chaque chemin, de quatre voies pour l'avenue Cedar et de trois bretelles de virage, est cependant relativement spacieuse.

De cette façon, une station en surface respectant les contraintes d'accessibilité pourrait être située à moins de 250 mètres de l'entrée nord de l'hôpital Général. Néanmoins, cette solution reste hypothétique et n'a pas été étudiée par l'étude de faisabilité. De plus, ce changement d'implantation de la station Des Pins à Cedar, bien que mineur, pourrait requérir de refaire l'étape du choix et dimensionnement du TCSP. Toutefois, cela ne peut être effectué car les données d'achalandage n'existent pas. De plus, il serait nécessaire de reproduire l'étape de l'adaptation entre le TCSP et les contraintes biophysiques et anthropiques du tracé, de manière à s'assurer que le nivellement de la partie sud du chemin McDougall ne crée pas une déclivité importante en partie nord, ce qui est cependant peu probable. Elle permet toutefois de présenter une solution atteignant l'objectif de cette étape précédente de placer les éléments du TCSP en surface, bien qu'elle nécessite le nivellement d'un segment du tracé en déclivité, à l'instar du tunnel mais avec des coûts d'investissement anticipés moins élevés. En effet, le tunnel sous le chemin de la Côte-des-Neiges et la station souterraine amène à un surcoût est de 102 millions de dollars, dont 60 sont consacrés au seul ouvrage d'ingénierie, soit le tunnel et la station souterraine en tant que tels⁴⁴⁷. Si cet ouvrage est soustrait du surcoût, une somme de 42 millions de dollars est affectée aux aménagements complémentaires à la création de celui-ci, comme le nivellement du chemin McDougall de manière à ce que les infrastructures puissent entrer en tunnel au nord de l'intersection avec l'avenue Cedar. Par rapport au scénario initial intégralement en surface, les coûts d'investissement de deux interventions supplémentaires présentes dans le scénario optimisée doivent être estimées : le nivellement du chemin McDougall et la création d'un mur de soutènement comblant la différence de niveau avec le chemin de la Côte-des-Neiges au nord l'intersection avec l'avenue Cedar. Cette intervention a pour but l'établissement de la station Cedar à la place de la station Des Pins en surface. De manière à envisager un montant pour cette opération, le surcoût du scénario initial comportant un ouvrage d'ingénierie souterrain est pris comme point de comparaison. Dans ce scénario, le nivellement pour l'entrée en tunnel est logiquement plus profond que celui proposé, dans le scénario optimisé, d'aplanir à moins de 2% une

447 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.13.

penne actuelle de 4 à 6%. De la même manière, les murs de soutènement comblant la différence de niveau entre la surface et la rampe d'accès au tunnel devraient être à l'évidence plus imposants que le mur de soutènement proposé, dans le scénario optimisé, pour combler la différence entre les chemins McDougall, alors nivelé, et de la Côte-des-Neiges. Quoiqu'il en soit, un montant de 42 millions y est en partie consacré et il s'agit de ce montant qui sera repris pour considérer le surcoût du nivellement et du mur de soutènement du scénario optimisé. En d'autres termes, il est estimé de manière conservatrice que le surcoût pour l'érection de la station Cedar équivaut à celui de l'ouvrage d'ingénierie, sans le montant spécifique au tunnel.

3.3.2 La distance moyenne d'interstation, la desserte du territoire et les connexions aux réseaux de transport

Le nombre de stations des scénarios initiaux, intégralement en surface et partiellement en tunnel, est relativement élevé, de l'ordre de 32 stations pour 13,2 kilomètres de voies dédiées au service voyageurs⁴⁴⁸. Les stations sont implantées au plus près des croisements du réseau viaire. Elles sont appelées de manière homonymique à l'axe viaire qui croise l'axe où est implantée la dite station ainsi que la voie et les infrastructures associées du TCSP. Ainsi, les stations proposées sont, du nord au sud, les suivantes :

- *Savanne et Jean-Talon*, sur la section Jean-Talon.
- *Barclay, Van Horne, Dupuis, Jean-Brillant, Queen-Mary, Ridgewood, Remembrance, Boulevard, Des Pins* en surface ou en tunnel, *Sherbrooke et Maison-neuve* sur la section Côte-des-Neiges et Guy.
- *Mackay, De la Montagne, Peel, University, Saint-Alexandre, Saint-Urbain, De Bullion et Saint-Denis* sur la section René-Lévesque.
- *Square-Viger et Bonneau* sur la section Berri.

448 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3 ; Vol.C3-1, p.13.

- *Place-Jacques-Cartier, Saint-Sulpice, D'Youville et Queen* sur la section De la Commune.
- *Brennan, Ottawa, Notre-Dame, Saint-Antoine et René-Lévesque*, sur la section Peel.

En ce qui concerne les scénarios optimisés qui sont voués à conserver cette solution initiale d'implantation des stations mais qui doivent prendre en compte les solutions d'optimisation des étapes précédentes (scénarios 05 à 16), il est proposé qu'ils soient modifiées de la manière suivante :

- Dans le cadre de la solution optimisée de la première étape, consistant au raccourcissement de la dimension de ligne à la section Côte-des-Neiges et Guy (scénarios 09 à 16), il est proposé la suppression de toutes les stations situées au sud de la station Maisonneuve.
- Dans le cadre de la solution optimisée de la seconde étape, consistant à la localisation de l'atelier-dépôt sur le site Hippodrome (scénarios 05 à 08 et 13 à 16), la solution optimisée propose de modifier l'implantation d'une station et d'ajouter deux stations supplémentaires. Ainsi, la station Savanne est remplacée par *Victoria* et cette dernière est précédée de *Namur* sur la rue Jean-Talon et *Devonshire* sur l'avenue de Clanranald.

La proposition d'une solution optimisée d'implantation des stations réside dans le fait de réduire les enjeux financiers liés à la faible distance moyenne d'interstation, tout en respectant l'intégralité des contraintes. La distance moyenne entre les stations doit alors passer de 422 mètres, comprenant une station Des Pins soit en surface soit en tunnel, à environ 700 à 800 mètres, comprenant une station Cedar en surface ou Des Pins en tunnel⁴⁴⁹. Cette solution est alternative à la solution initiale d'implantation des stations et reproduit les modifications qui permettent de prendre en compte les solutions d'optimisation des étapes précédentes, soit le raccourcissement de la dimension de ligne et la localisation de l'atelier-dépôt à Hippodrome. Elle a pour but principal de

449 Confer les parties 3.4.5 et 4.3.1 de la présente recherche.

démontrer la préfaisabilité d'une solution optimisée du projet. Le nombre et l'agencement des stations pourraient très bien être appelés à changer. Par ailleurs, les stations sont nommées selon le même facteur, à l'exception des stations du projet qui se situent au droit de stations de TCSP existant, comme le métro. À ce moment-là, la station du projet reprend le nom exact de la station préexistante avec laquelle elle est directement connectée. Inversement, une station du projet qui partage le même nom qu'une station de métro mais qui n'est pas directement connectée avec elle, c'est-à-dire avec que ses quais ne donnent pas accès de part ou d'autre de la rue à une entrée, change de nom. Il est alors suggéré de renommer les stations Jean-Talon par *Laird*, Jean-Brillant par *Côte-des-Neiges*, Maisonneuve par *Guy-Concordia* et Peel par *Metcalfe*. En outre, les nouvelles stations proposées se situent toutes sur des tronçons où la déclivité est comprise entre 0 et 4%, à l'instar des stations de la solution initiale qui sont considérées comme accessibles aux personnes à motricité réduite⁴⁵⁰ Ainsi, la solution optimisée propose les modifications suivantes⁴⁵¹ :

- Les stations Van Horne et Dupuis sont supprimées car les distances interstations sont considérées comme trop courtes, de 331 mètres avec Barclay pour la première et de 345 mètres avec Côte-des-Neiges pour la seconde. Elles sont remplacées par la station *Linton*, en aval d'une pente de 8 à 9%.
- Les stations Remembrance et Boulevard sont supprimées et ne sont pas remplacées car elles desservent le parc du Mont-Royal et la Ville de Westmount où l'intensité d'activités, récréative d'un côté et résidentielle de l'autre, est plutôt faible. L'accès à ce parc et à cette localité peut se faire par les stations précédentes ou suivantes.
- La station Cedar en surface remplace la station Des Pins en surface. La station Des Pins en souterrain est conservée de manière alternative⁴⁵².

450 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3-4.

451 Les distances interstations proviennent toutes de la même source. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.3 et Vol.C5-2, p.12. Confer la carte 3 de la présente recherche, p.151.

452 Confer la partie 4.3.1 de la présente recherche.

- La station Sherbrooke est supprimée et n'est pas remplacée car la distance interstation est considérée comme trop courte, de 310 mètres avec Guy-Concordia.
- Les stations Mackay et De la Montagne sont supprimées car la distance interstation de 255 mètres entre elles est considérée comme trop courte. Elles sont remplacées par la station *Bishop*.
- Les stations University et Saint-Alexandre sont supprimées car les distances interstations sont considérées comme trop courtes, de 313 mètres avec Metcalfe pour la première et de 364 mètres avec Saint-Urbain pour la seconde. Elles sont remplacées par la station *Côte-du-Beaver-Hall*.
- La station De Bullion est supprimée et n'est pas remplacée car la distance interstation est considérée comme trop courte, de 292 mètres avec Saint-Urbain.
- Dix des onze stations des sections Berri, De la Commune et Peel, c'est-à-dire toutes les stations sauf le terminus René-Lévesque, sont supprimées car les distances interstations sont inférieures à 500 mètres, à l'exception de l'une d'entre elles. Ainsi, elles sont remplacées par les stations *Saint-Paul*, sur la section Berri, *Saint-Jean-Baptiste*, *Soeurs-Grises*, sur la section De la Commune, et *William*, sur la section Peel.

Concernant la constructibilité de cette solution optimisée, l'étude de faisabilité propose des stations avec des quais rectilignes de 40 mètres, dans le cas où les tramways de 30 à 35 mètres seraient allongés⁴⁵³. Cette longueur correspond à la distance entre les portes d'extrémité d'un tramway de 45 mètres de long. L'ensemble des stations proposées dans le cadre de l'optimisation reprend donc ces caractéristiques. Les stations Savane, Laird, Barclay, Côte-des-Neiges, Queen-Mary, Ridgewood, Des Pins en souterrain, Guy-Concordia, Metcalfe, Saint-Urbain, Saint-Denis et René-Lévesque de la solution optimisée sont les mêmes que celles de la solution initiale, dont la faisabi-

453 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B5-1, p.12.

lité a été démontrée⁴⁵⁴. Quant aux autres stations proposées dans le cadre des solutions optimisées de cette étape ou des étapes précédentes, leur implantation ne devraient pas être problématiques. En effet, si, par manque d'espace, il n'est pas possible de construire la station Devonshire au sein de l'emprise du réseau viaire, il peut être aisément imaginé une reconfiguration des lieux grâce à l'espace disponible au sud sur le terrain de propriété publique des anciennes courses hippiques. La rue Jean-Talon a la même largeur au niveau des stations Victoria et Namur de la solution optimisée qu'au droit de l'emplacement des stations Laird et Savane de la solution initiale, soit 20 mètres⁴⁵⁵ ; leur disposition peut donc se faire de façon identique. La station Linton de la solution optimisée, bien que située plus au sud que la station Van Horne du projet initial, dispose de l'espace suffisant pour être réalisée de manière similaire⁴⁵⁶. Il en est de même pour les stations Bishop et Côte-du-Beaver-Hall sur le boulevard René-Lévesque, réalisables de manière similaire à celles de Mackay, De la Montagne, University ou Saint-Alexandre de la solution initiale, pour la station Saint-Paul sur la rue Berri, constructible de façon semblable à Bonneau, pour les stations Saint-Jean-Baptiste et Soeurs-Grises sur la rue De la Commune, édifiables analogiquement à Place-Jacques-Cartier, Saint-Sulpice, D'Youville ou Queen ainsi que pour la station William sur la rue Peel, érectible comparablement à Ottawa ou Notre-Dame⁴⁵⁷. Enfin, le cas de la station Cedar, remplaçant la station Des Pins en surface, a déjà été abordée⁴⁵⁸.

Ainsi, dans les deux scénarios initiaux, la distance moyenne d'interstation est de 422 mètres⁴⁵⁹. Le nombre de stations restant le même, le choix de l'un ou l'autre des solutions d'accès à l'hôpital Général n'a donc pas d'impact sur ce calcul. Par ailleurs, les scénarios optimisés qui conservent la solution initiale d'implantation des stations, bien que modifiées pour tenir compte des solutions optimisées des précédentes étapes, ont

454 Les stations Guy-Concordia et Côte-des-Neiges sont respectivement appelées De Maisonneuve et Jean-Brillant par le projet initial. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B5-1, pp.83-95 ; Vol.C5-2, Figures 3.2.3B, 3.2.6B, 3.2.7B, 3.2.8B, 3.2.11C et 3.2.13CB ; Vol.D3, pp.33-107.

455 La largeur inclue la chaussée et les trottoirs. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.D1, p.86.

456 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C5-2, Figure 3.2.4B ; Vol.D3, p.44.

457 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C5-2, Figure 3.2.14A à 3.2.32B ; Vol.D3, pp.112-179.

458 Confer la partie 4.3.1 de la présente recherche.

459 La dimension de ligne en exploitation commerciale est présentée dans l'étude de faisabilité comme faisant 13,2 kilomètres, sauf dans le calcul des distances interstations où elle est présentée comme égale à 13,071 kilomètres. Avec 13,2 kilomètres, la distance moyenne d'interstation serait 426 mètres. La dimension de ligne qui n'est pas exploitée commercialement fait 0,4 kilomètres. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, Fig.1, p.3 et p.13, Vol.B1, p.4 et p.12, Vol.C3-1 p.12, Vol.C5-2, p.12, Vol.Y3, p.4.



Carte 3. La solution optimisée d’implantation des stations selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d’atelier-dépôt



Ligne de tramway, station avec autour deux cercles d’un rayon de 250 et 800 mètres, tunnel

| rue Guy |

Délimitation de l’axe viaire emprunté par la ligne de tramway

rue Van Horne

Axe de communication

Mont-Royal

Topographie ou hydrographie

Ville-Marie

Arrondissement de la ville de Montréal ou ville défusionnée

Fond de carte : Google Earth.

une distance moyenne d'interstation légèrement plus élevée, en l'occurrence de 445 à 557 mètres selon les scénarios de dimension de ligne et de localisation de l'atelier-dépôt. Cependant, les scénarios optimisés qui adoptent la solution optimisée d'implantation des stations, parfois modifiées pour tenir compte des solutions optimisées des précédentes étapes, ont une distance moyenne d'interstation significativement plus élevée, en l'occurrence de 733 à 788 mètres selon les scénarios de dimension de ligne et de localisation de l'atelier-dépôt. De cette manière, ces derniers scénarios tendent vers l'atteinte de l'enjeu financier consistant à avoir une distance moyenne d'interstation située entre 700 et 800 mètres. Ceci étant dit, tous les scénarios optimisés continuent de respecter les contraintes techniques et urbaines de manière analogue aux scénarios initiaux, et notamment les contraintes d'accessibilité concernant la desserte des activités sur le territoire et des connexions possibles avec les réseaux de transport.

Concernant l'accessibilité aux différentes activités urbaines depuis les stations, la solution optimisée comme la solution initiale, quel que soit la variante d'atelier-dépôt et de passage en surface ou en tunnel, dispose d'un tracé parcourant quasi-intégralement des zones denses et diverses. D'après le *Schéma d'aménagement et de développement* de l'agglomération de Montréal, qui doit respecter les orientations du *Plan métropolitain d'aménagement et de développement*⁴⁶⁰ et auquel doit se conformer les plans d'urbanisme de la Ville de Montréal et des villes de l'île éponyme, le projet est situé à l'intérieur des limites du territoire central de l'agglomération défini comme un secteur prioritaire de densification⁴⁶¹. Les stations de la solution optimisée desservent ainsi trois zones à niveaux différents de seuils moyens de densité résidentielle, qui sont les plus élevés du schéma⁴⁶² :

- Une zone de 80 logements par hectare brut est située autour des stations Devonshire, Namur, Victoria ou Savane, Laird, Barclay et Ridgewood, au nord du Mont-Royal.
- Une zone de 110 logements par hectare brut est localisée autour des stations Queen-Mary, Côte-des-Neiges et Linton, dans le quartier Côtes-des-Neiges.

460 Confer la partie 2.1.2 de cette présente recherche.

461 Agglomération de Montréal (2015), pp.134-141.

462 Confer la carte 4 de la présente recherche, p.154.

- Une zone de 150 logements par hectare brut en centre-ville est desservie grâce aux stations Des Pins ou Cedar, Guy-Concordia, Bishop, Côte-du-Beaver-Hall, Saint-Paul, Saint-Jean-Baptiste, Soeurs-Grises, William et René-Lévesque.

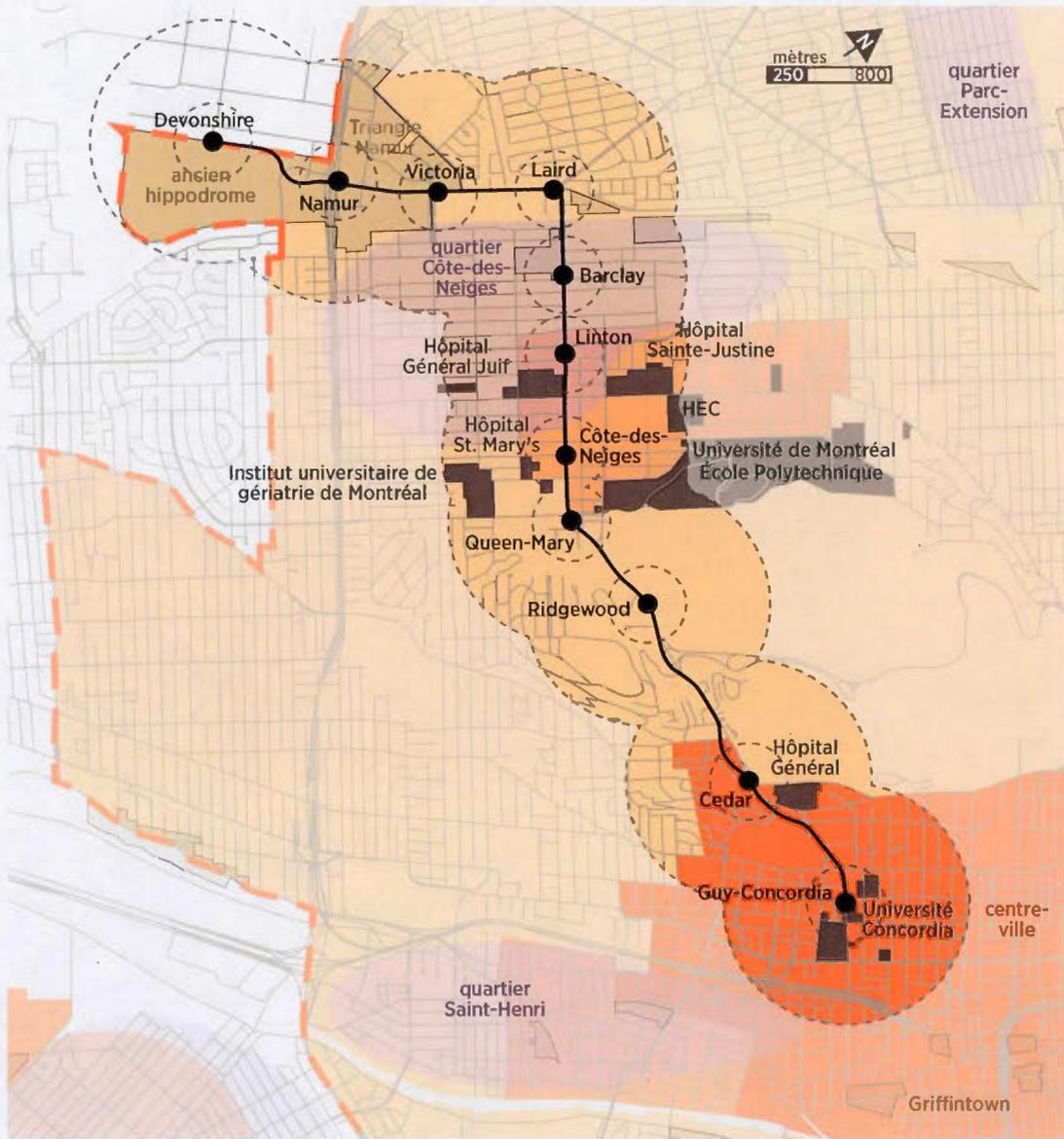
Par ailleurs, quelques stations des scénarios à l'atelier-dépôt sur le site Victoria sont situées à proximité de secteurs à construire ou à transformer, dont la pointe est du Triangle Namur où une densification résidentielle est en cours de réalisation⁴⁶³. Avec ses deux stations supplémentaires, les scénarios optimisés avec un atelier-dépôt sur le site Hippodrome permet une meilleure desserte du Triangle Namur. Ils rendent aussi accessible l'intégralité de l'ancien terrain des courses hippiques, pour lequel est envisagé une transformation en *transit oriented development*, c'est-à-dire en quartier relativement dense et mixte conçu de manière à favoriser l'accès aux services de transport collectif. Ce secteur à construire ou à transformer pourrait accueillir de 5000 à 8000 nouveaux logements à long terme⁴⁶⁴, c'est-à-dire plus ou moins 20 000 nouveaux résidents⁴⁶⁵. La présence de ces secteurs est la raison pour laquelle, sur l'une ou l'autre des solutions d'atelier-dépôt, les extensions depuis la section Côte-des-Neiges et Guy sont proposées à être réalisées en site propre à double voie, comme le reste de la ligne, de manière à être ouvertes au service commercial grâce aux stations Laird, Savane ou Victoria, Namur et Hippodrome. En outre, les stations Linton et Barclay sont positionnées au sein du secteur à revitaliser du quartier Côte-des-Neiges délimité par le plan d'urbanisme de la Ville de Montréal⁴⁶⁶. D'autre part, les pôles d'achalandage considérés dans le cadre de l'adéquation du TCSP à l'accessibilité sont les établissements universitaires et hospitaliers. Les scénarios avec la solution optimisée d'implantation des stations permettent, comme la scénarios avec la solution initiale, de desservir jusqu'à six hôpitaux et six universités situés dans un rayon de 800 mètres autour des stations, soit douze pôles d'achalandage pour les scénarios avec une dimension de ligne in-

463 Office de consultation publique de Montréal (2009), *Réaménagement du secteur Namur — Jean-Talon*. Récupéré de < <http://ocpm.qc.ca/consultations-publicques/reamenagement-du-secteur-namur-jean-talon> > le 14 mai 2015.

464 Métro (2014, 12 novembre), *Hippodrome : le maire veut rassurer les groupes communautaires*. Récupéré de < <http://journalmetro.com/local/cote-des-neiges-ndg/actualites/570072/hippodrome-des-groupes-de-cote-des-neiges-demandent-des-reponses-a-la-ville/> > le 30 avril 2015.

465 La Presse (2012, 29 octobre), *L'ancien hippodrome deviendra « une ville dans la ville »*. Récupéré de < <http://www.lapresse.ca/actualites/monreal/201210/29/01-4588166-lancien-hippodrome-deviendra-une-ville-dans-la-ville.php> > le 30 avril 2015.

466 Ville de Montréal (2004), *Plan d'urbanisme, Carte 2.1.1 Secteurs à revitaliser*. Récupéré de < http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=2761,3097103&_dad=portal&_schema=PORTAL > le 8 mai 2015.



Carte 4. La densité d'activités autour des stations de la solution optimisée d'implantation selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d'atelier-dépôt

- Limite ouest du territoire central de l'agglomération, secteur prioritaire de densification
- 150 logements par hectare brut
- 110 logements par hectare brut } Seuil moyen de densité résidentielle
- 80 logements par hectare brut
- Secteur à revitaliser
- Secteur à construire ou à transformer
- Université ou hôpital à proximité du tracé

Fond de carte :
 STM (2013),
 Plan du réseau 10 minutes max.
 Agglomération de Montréal (2015),
 Schéma d'aménagement, Cartes 32 et 33.
 Ville de Montréal (2004).
 Plan d'urbanisme. Carte 2.1.1.

changée et neuf pour ceux avec une dimension de ligne raccourcie. Ainsi, la solution optimisée traverse de multiples ensembles de bâtiments ayant la capacité de générer, par leur fonction, de nombreux déplacements :

- Les hôpitaux Général Juif et Sainte-Justine par la station Linton.
- L'hôpital St.Mary's, l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, l'Université de Montréal, HEC et Polytechnique par les stations Côte-des-Neiges et Queen-Mary.
- L'hôpital Général par la station Cedar ou Des Pins.
- L'Université Concordia par la station Guy-Concordia.
- Le CHUM et l'Université du Québec à Montréal par la station Saint-Denis.
- L'École de technologie supérieure par la station William.

À propos des activités humaines spatialisées sur le territoire, la solution optimisée d'implantation des stations en irrigue une variété⁴⁶⁷. D'après le schéma d'aménagement et de développement, le tracé traverse cinq grandes affectations regroupant un panel d'usages précis⁴⁶⁸ :

- La station Devonshire dessert à moitié une zone à l'affectation industrielle, qui tend à « renforcer le tissu industriel montréalais » en limitant les nuisances par l'interdiction en son sein des usages résidentiels.
- Les stations Namur, Victoria ou Savane ainsi que Laird sont positionnées proche de l'affectation permettant une diversité d'activités. Celle-ci « consiste à préserver l'activité économique tout en permettant, quand les conditions le permettent, l'intégration d'un usage résidentiel à proximité du réseau de transport collectif » dont le projet de TCSP, s'il est réalisé, fera partie.

467 Agglomération de Montréal (2015), pp.100-133. Les citations ci-après proviennent de cette source.

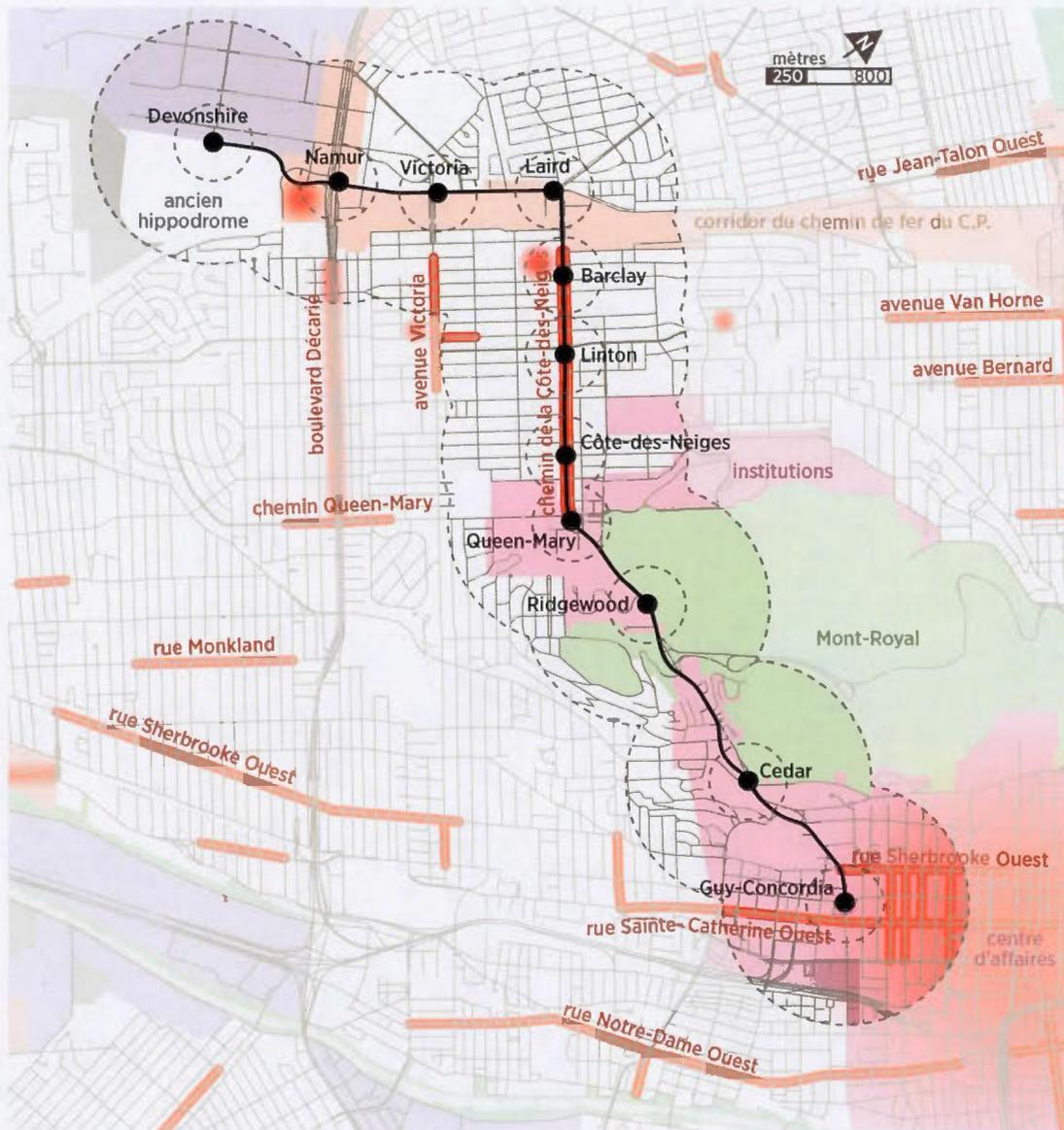
468 Confer la carte 5 de la présente recherche, p.157.

- Les stations Devonshire, Namur, Victoria ou Savane, Laird, Barclay, Linton et Côte-des-Neiges se situent à proximité d'une affectation à dominante résidentielle.
- Les stations Ridgewood et Des Pins ou Cedar donnent accès au parc du Mont-Royal, qui est considéré comme un grand espace vert récréatif. Ce statut « vise à confirmer [sa] vocation récréative [...], tout en prenant soin de préserver [sa] valeur paysagère et patrimoniale ».
- Les stations Queen-Mary, Ridgewood, Des Pins ou Cedar, Guy-Concordia, Bishop, Côte-du-Beaver-Hall, Saint-Urbain, Saint-Denis, Saint-Paul, Saint-Jean-Baptiste, Soeurs-Grises, William et René-Lévesque se localisent au sein du centre-ville d'agglomération. « La particularité et la diversité de ses activités en font l'un des centres-villes les plus animés et les plus diversifiés de l'Amérique du Nord ». Cette affectation « vise à renforcer le rayonnement de ce territoire névralgique sur le plan économique, commercial, culturel, institutionnel, récréotouristique et résidentiel ». Le centre d'affaires se situe au sud du Mont-Royal et un pôle institutionnel est localisé au nord.

La multiplicité des activités présentes autour des stations de la solution optimisée d'implantation des stations, comme d'ailleurs de la solution initiale, peut produire de nombreux trajets. Ainsi, hormis le grand espace vert récréatif du Mont-Royal, toutes affectations décrites ci-dessus comprennent des usages commerciaux. D'après le plan d'urbanisme de la Ville de Montréal⁴⁶⁹, quinze des vingt-et-une stations de la solution optimisée donnent accès à des axes ou centres commerciaux :

- Les stations Namur et Barclay sont chacune proches d'un centre commercial.
- Les stations Barclay, Linton, Côte-des-Neiges et Queen-Mary donnent directement accès à la partie commerçante du chemin de la Côte-des-Neiges.

⁴⁶⁹ Ville de Montréal (2004), *Plan d'urbanisme, Carte 2.1.1 Secteurs à revitaliser*. Récupéré de < http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=2761,3097103&_dad=portal&_schema=PORTAL > le 8 mai 2015.



Carte 5. La typologie d'activités autour des stations de la solution optimisée d'implantation selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d'atelier-dépôt

-  Zone ou rue commerçante
-  Affectation à dominante résidentielle
-  Affectation centre-ville d'agglomération
-  Affectation activités diversifiées
-  Affectation industrielle
-  Affectation grand espace vert, de récréation ou de conservation
-  Grande entreprise ou grande infrastructure publique

Fond de carte :
 STM (2013),
 Plan du réseau 10 minutes max.
 Agglomération de Montréal (2015),
 Schéma d'aménagement. Carte 20.
 Ville de Montréal (2004).
 Plan d'urbanisme. Carte 2.1.2.

- Les stations Guy-Concordia, Bishop, Côte-du-Beaver-Hall, Saint-Urbain, Saint-Denis, Saint-Paul, Saint-Jean-Baptiste, Soeurs-Grises, William et René-Lévèsque se situent toutes dans le centre-ville commercial de Montréal.
- Plus précisément, les stations Guy-Concordia, Bishop, Côte-du-Beaver-Hall, Saint-Urbain et Saint-Denis donnent accès à la rue Sainte-Catherine, pouvant être considérée comme l'axe commercial principal du centre-ville.
- Les autres axes commerciaux du centre-ville, comme la rue Sherbrooke Ouest, la rue Saint-Laurent, la rue Saint-Paul Est, la rue McGill ainsi que la rue Notre-Dame Ouest sont respectivement desservis par les stations Guy-Concordia, Saint-Urbain, Saint-Paul et Saint-Jean-Baptiste, Soeurs-grises ainsi que William.

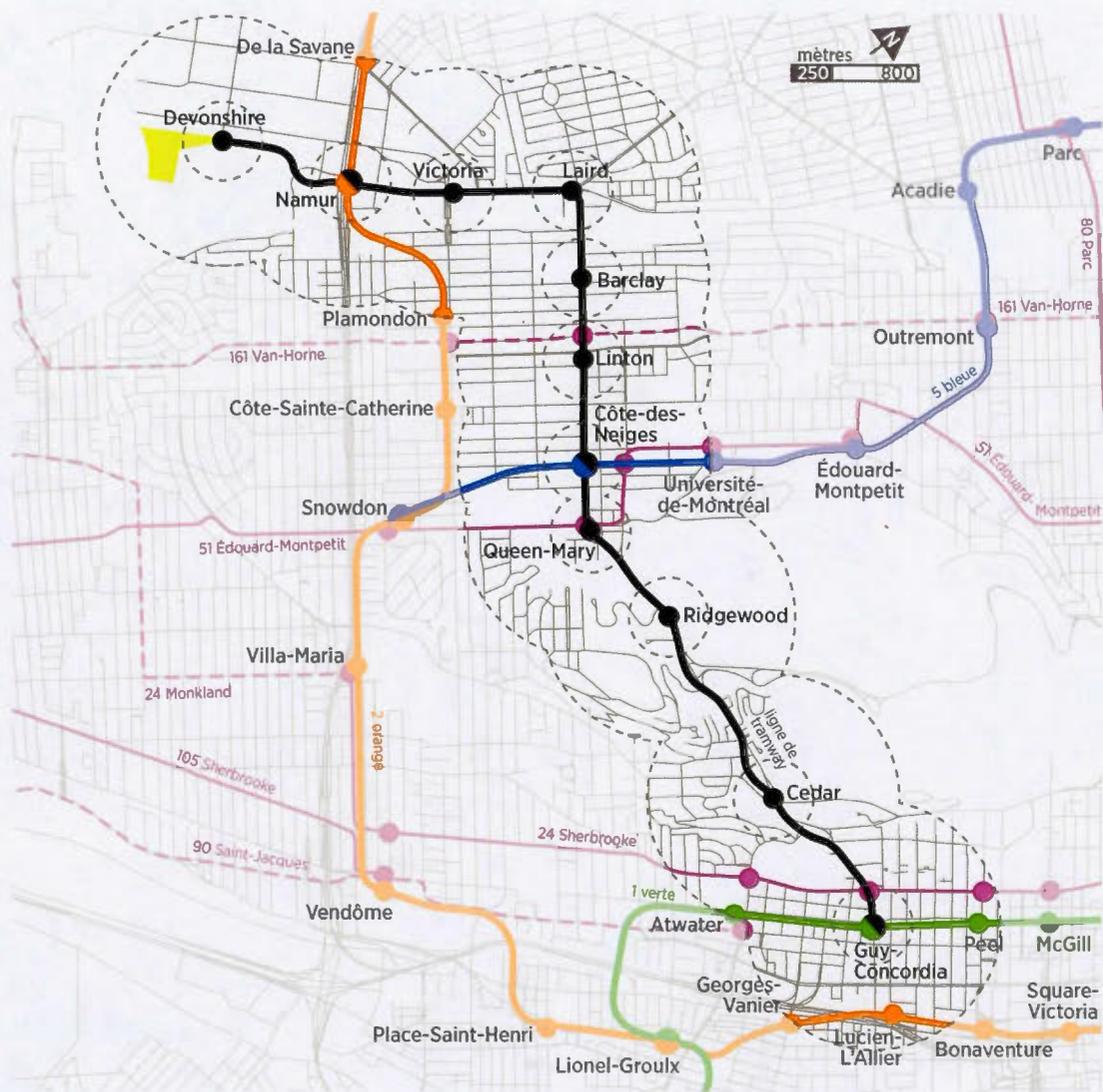
Enfin, Montréal dispose d'un réseau de TCSP, le métro⁴⁷⁰, et d'un réseau d'autobus dont la disponibilité peut, selon les heures, être équivalente. Il s'agit des lignes d'autobus appelées *10 minutes max*, comme les lignes 161 *Van Horne*, 51 *Édouard-Montpetit*, 24 *Sherbrooke* et 80 *Du Parc*⁴⁷¹ qui croisent le tracé du projet de tramway de la Ville de Montréal. Ces lignes ont un intervalle d'exploitation égal ou en-deça de 10 minutes dans les deux directions entre 7h00 et 21h00 tous les jours de la semaine. Ainsi, les scénarios avec la solution optimisée d'implantation des stations, comme les scénarios avec la solution initiale, sont directement connectés avec les lignes verte, bleue et possiblement orangé du métro, en plus d'être accessible en moins de 3 minutes de marche depuis la ligne jaune du métro et quatre lignes fréquentes d'autobus⁴⁷² :

- Les stations Namur, Côte-des-Neiges et Guy-Concordia sont positionnées à proximité immédiate d'une entrée de leur station de métro éponyme.
- Les stations Bishop, Metcalfe et René-Lévesque, Côte-du-Beaver-Hall ainsi que Saint-Denis sont respectivement situées à moins de 250 mètres d'une en-

470 Confer la partie 2.1.1 de cette présente recherche.

471 STM (2010, 25 août), *La STM lance son réseau 10 minutes max*. Récupéré de < <http://www.stm.info/fr/presse/communiqués/2010/la-stm-lance-son-reseau-10-minutes-max> > le 20 mai 2015.

472 Confer la carte 6 de la présente recherche, p.159.



Carte 6. Les connexions avec le réseau de TCSP et d'autobus fréquents autour des stations de la solution optimisée d'implantation selon le tracé des solutions optimisées de dimension de ligne et de localisation d'atelier-dépôt

-  Ligne et station de TCSP
-  Ligne d'autobus avec une fréquence de 10 minutes ou moins dans les deux sens de 7h à 21h et zone d'arrêts située à proximité d'une station de TCSP
-  Ligne d'autobus avec une fréquence de 10 minutes ou moins dans un sens de 7h à 14h et dans l'autre sens de 14h à 21h, zone d'arrêts située à proximité d'une station de TCSP
-  Site de l'atelier-dépôt de la ligne de tramway disposant d'un stationnement incitatif pour automobiles

Fond de carte : STM (2013), Plan du réseau 10 minutes max.

trée des stations de métro Lucien-L'Allier, Bonaventure, Square-Victoria ainsi que Berri-UQAM⁴⁷³.

- Les stations Linton, Queen-Mary et Côte-des-Neiges, Guy-Concordia ainsi que Saint-Urbain sont respectivement localisées à moins de 250 mètres d'une zone d'arrêts des lignes 161, 51, 24 ainsi que 80.

3.3.3 L'arborescence des scénarios et leur tracé

Le projet de tramway de la Ville de Montréal ne propose pas un mais deux scénarios initiaux concernant la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements. En effet, afin que la station desservant l'hôpital Général soit conforme aux normes d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite, l'étude de faisabilité propose, de manière alternative à la station Des Pins en surface, une station Des Pins en souterrain. Toutefois, le processus d'optimisation de projet de TCSP, cherchant à respecter la contrainte d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite tout en tendant vers la diminution de l'enjeu financier lié à sa construction, développe une station Cedar en surface en remplacement de la station Des Pins en surface. De plus, le processus d'optimisation a permis de s'apercevoir que la distance moyenne d'interstation des scénarios initiaux peut être réduite afin de diminuer les enjeux financiers. Une solution optimisée d'implantation des stations est ainsi développée afin que cette distance soit comprise entre 700 et 800 mètres. Ainsi, cette réimplantation des stations, parfois modifiée suivant les solutions optimisées des étapes précédentes, inclut la station Cedar ou Des Pins en tunnel. Cette solution est alternative à la solution initiale d'implantation de stations, qui équivaut à une implantation des stations telles que prévue par l'étude de faisabilité, parfois modifiée suivant les solutions optimisées des étapes précédentes, avec une station Des Pins en surface ou en souterrain.

De cette manière, le nombre de scénarios développés par le processus d'optimisation quadruple à cette étape suivant la solution d'implantation des stations : il double selon la distance moyenne d'interstation et il double aussi d'après la desserte en surface ou en souterrain de l'hôpital. Il existe alors seize scénarios, dont deux initiaux (scénarios

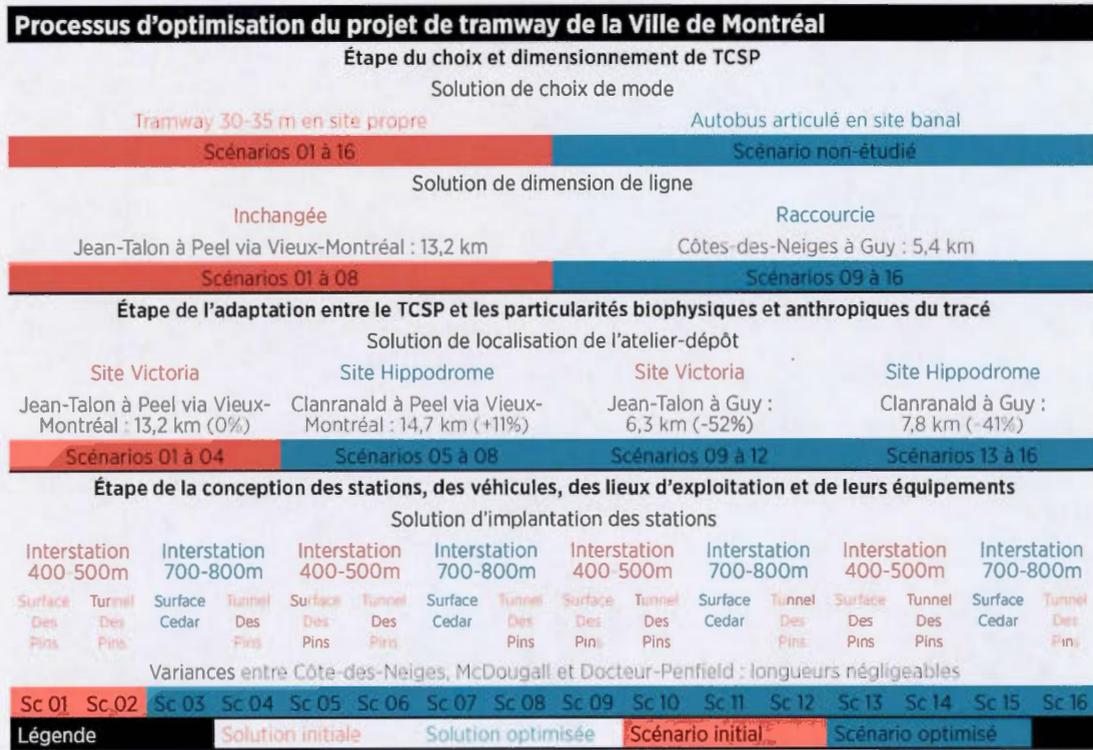
⁴⁷³ Les entrées du Réseau de la ville intérieure sont exclues.

01 à 02) et quatorze optimisés (scénarios 03 à 16). Malgré ce grand nombre de scénarios, le tracé ne varie qu'à la marge. En effet, seules des modifications sont apportées sur la section Côte-des-Neiges et Guy suivant la station de desserte de l'hôpital Général. Elles sont de longueur négligeable, de l'ordre d'une vingtaine de mètres. Ainsi, les quatre scénarios développés à l'étape précédente empruntaient le chemin de la Côte-des-Neiges, au nord de l'intersection avec l'avenue Cedar tandis qu'au sud, ils suivaient l'avenue du Docteur-Penfield puis à nouveau le chemin de la Côte-des-Neiges. Ainsi, les modifications à apporter à ce tracé sont donc les suivantes⁴⁷⁴ :

- Aucune modification de tracé n'est effectuée pour le scénario initial 01 et les scénarios optimisés 05, 09 et 13 disposant de la solution initiale d'implantation des stations avec la station Des Pins en surface.
- Le tracé emprunte les chemins de la Côte-des-Neiges puis McDougall, au nord de l'intersection avec l'avenue Cedar tandis qu'au sud, il suit à nouveau le chemin de la Côte-des-Neiges. Cette modification de tracé est effectuée pour tous les scénarios pairs, soit le scénario initial 02 et les scénarios optimisés 04, 06, 08, 10, 12, 14 et 16, disposant de la solution initiale ou optimisée d'implantation des stations avec la station Des Pins en souterrain.
- Le tracé emprunte les chemins de la Côte-des-Neiges puis McDougall, au nord de l'intersection avec l'avenue Cedar tandis qu'au sud, il suit l'avenue du Docteur-Penfield puis à nouveau le chemin de la Côte-des-Neiges. Cette modification de tracé est effectuée pour les scénarios optimisés 03, 07, 11 et 15 disposant de la solution optimisée d'implantation des stations avec la station Cedar.

474 Confer le tableau 7 de la présente recherche, p.162.

Tableau 7. L'arborescence des scénarios à l'étape de la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements



3.4 La conception du site propre et du franchissement des intersections

La conception du site propre et du franchissement des intersections se fonde sur les informations présentes dans les études de préfaisabilité et de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal. Afin d'optimiser ce projet de TCSP initial, la méthode suit un processus défini et s'appuie sur les guides de conception de TCSP ainsi que sur des références ponctuelles⁴⁷⁵. Cette étape fait l'objet d'une appréciation argumentée et mathématique. En effet, sa résolution passe par la recherche de la meilleure adéquation possible entre les éléments du TCSP et les caractéristiques urbaines de productivité, se fait empiriquement, au regard la continuité du site propre et du niveau de priorité accordée aux intersections, ce qui permet par le suite de calculer la vitesse

475 Confer la partie 3.4.1 et 3.4.2 de la présente recherche.

commerciale ainsi que le nombre de véhicules requis à l'exploitation⁴⁷⁶. Aux étapes précédentes, le choix et dimensionnement de TCSP, l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé ainsi que la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements, trois solutions optimisées ont été développées, produisant quatorze scénarios optimisés conservés de manière alternative aux deux scénarios initiaux. Ces seize scénarios font alors l'objet du processus d'optimisation à cette étape. Les éléments du TCSP, quelque soit le scénario, respectent les contraintes techniques et urbaines et tendent vers les enjeux financiers de productivité. Il revient alors à calculer la vitesse commerciale et le nombre requis de véhicules.

3.4.1 La vitesse commerciale

Le projet de TCSP initial propose un site propre continu sur l'ensemble des sections Jean-Talon, Côte-des-Neiges et Guy, René-Lévesque, Berri, De la Commune et Peel que reprennent les scénarios optimisés⁴⁷⁷. Ce site propre est néanmoins partiel, dans le sens où il s'interrompt à toutes les intersections avec le passage à niveau des voies routières perpendiculaires. La variante avec le tunnel comporte néanmoins une exception : cet ouvrage d'ingénierie peut en effet être assimilé à une section en site propre intégral. Par ailleurs, la continuité du site propre à l'ouest de l'emplacement de la station Savane, sur la rue Jean-Talon et l'avenue Clanranald dans le cas spécifique des scénarios à l'atelier-dépôt au site Hippodrome, n'est pas démontrée dans les études disponibles. Toutefois, comme pour l'établissement des stations, il est pris en compte que la rue Jean-Talon a la même largeur tant à l'ouest qu'à l'est de la station Savane⁴⁷⁸. Il serait donc possible d'établir un site propre partiel de manière similaire. Concernant l'avenue Clanranald, sa largeur rétrécie d'est en ouest : elle passe d'environ 20 mètres de large à son intersection avec la rue Jean-Talon à 12 mètres au croisement du chemin Devonshire⁴⁷⁹. Comme le site propre en surface mesure 6,85 mètres de large⁴⁸⁰, il est concevable que celui-ci puisse être construit à l'intérieur des emprises de l'avenue.

476 Confer la partie 3.4.5 de la présente recherche.

477 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.D3, pp.27-110.

478 Confer la partie 4.3 de cette présente recherche.

479 Les mesures ont été effectuées sur Google maps à divers endroits en incluant les trottoirs et la chaussée.

480 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C2, p.18.

Néanmoins, s'il est désiré que la chaussée, en incluant les trottoirs mais en excluant le site propre, reste d'une largeur constante de 12 mètres, une reconfiguration de la voirie est pensable grâce à l'espace disponible au sud sur le terrain de propriété publique des anciennes courses hippiques. Les scénarios optimisés ont donc la possibilité d'être exploités sur aucun site banal, ce qui leur garantissent une progression dénuée d'aléas sur l'entièreté du tracé, à l'exception notable des carrefours à niveau.

Concernant le franchissement des intersections, l'étude de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal prévoit un système de signalisations basées sur le principe de *priorité absolue* :

- « Un tramway isolé est systématiquement prioritaire pour franchir un carrefour à feux, sans ralentissement en dessous de la vitesse sécuritaire d'approche.
- Si le tramway ne s'est pas présenté au carrefour au-delà d'un dépassement du temps d'approche normal depuis sa détection, il peut perdre sa priorité et être obligé de marquer un arrêt au pied du feu.
- Un tramway en sens inverse se présentant au carrefour peu de temps après le premier tramway détecté bénéficie de la même phase de passage. Au-delà de cette possibilité de prolongation de la phase spéciale, il s'arrête au feu et il est pris en charge à partir de ce moment »⁴⁸¹.

À moins d'un retard entre sa détection au loin et son arrivée au devant du croisement, un tramway est donc assuré de disposer d'une priorité au franchissement des intersections. Le système en site propre partiel a donc une grande probabilité d'être régulier, mais un risque est toutefois présent pouvant amener à ralentir son parcours. Afin de figurer les temps de retard causés par l'inobtention de la priorité aux signaux de régulation de la circulation, l'étude de pré-faisabilité se sert d'un *taux de pénalité pour le franchissement de carrefours*, équivalent à 15% du temps de parcours estimé⁴⁸². Une précision est donc à apporter quant au calcul du temps de retard⁴⁸³ :

481 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1, p.16 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.46.

482 L'étude de faisabilité est muette à ce sujet. Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1, p.11.

483 Confer la partie 3.4.6 de cette présente recherche.

$$TR = TP \times XCF$$

TR est le temps de retard par direction, en seconde.

TP est le temps de parcours par direction, en seconde.

XFC est le taux de pénalité pour le franchissement de carrefours.

Ainsi, les scénarios initiaux et optimisés avec une ligne de dimension inchangée (scénarios 01 à 08), suivant la localisation de l'atelier-dépôt à Victoria et Hippodrome, ont respectivement un site propre qui mesure environ 13200 et 14700 mètres de long qui est ponctué, d'après la solution initiale ou optimisée d'implantation des stations, par 32 ou 19 et 34 ou 21 stations. Les scénarios optimisés avec une ligne de dimension raccourcie (scénario 09 à 16), suivant la localisation de l'atelier-dépôt à Victoria et Hippodrome, ont respectivement un site propre qui mesure environ 6300 et 7300 mètres de long et qui est ponctué, d'après la solution initiale ou optimisée d'implantation des stations, par 13 ou 15 et 9 ou 11 stations. La vitesse moyenne en déplacement est fixée à 50 kilomètres par heure, ou 13,89 mètres par seconde, à l'instar de la limite légale pour les véhicules routiers sur la chaussée publique en zone urbaine⁴⁸⁴. Logiquement, la vitesse à l'arrêt correspond à 0 mètre par seconde ou kilomètre par heure. Par ailleurs, le temps d'arrêt en station est établi à 30 secondes, ce qui place le projet dans la moyenne des temps pratiqués pour la montée et la descente des passagers au sein des systèmes de TCSP⁴⁸⁵. Les mesures d'accélération et de décélération sont définies par les études de préfaisabilité et de faisabilité de manière à assurer un confort aux voyageurs et ont une valeur de 0,88 mètre par seconde au carré⁴⁸⁶. Grâce à l'ensemble de ces données, il est possible de calculer, par direction, les temps d'accélération, de décélération, à l'arrêt en stations, à vitesse de déplacement et de retard⁴⁸⁷.

Ainsi, la vitesse commerciale de tous les scénarios peut être estimée. D'après cette méthode de calcul, les scénarios initiaux ont une vitesse commerciale inférieure à une des contraintes de cette étape qui consiste à obtenir une valeur comprise entre 18 et

484 Cette vitesse est définie par la présente recherche. L'étude de faisabilité définit les vitesses maximales suivant différentes circonstances. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, pp.45-46.

485 CERTU (2004), p.74.

486 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C2, pp.9-10 ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.45.

487 Confer le tableau 8 de la présente recherche, p.167.

25 kilomètres par heure. En effet, ils auraient une vitesse commerciale de 16,46 kilomètres par heure, alors que l'étude de faisabilité table sur 18,1 kilomètres par heure⁴⁸⁸. Cette différence permet toutefois de statuer que le calcul de la vitesse commerciale effectué dans cette recherche émet donc des résultats plutôt conservateurs vis-à-vis de l'étude de faisabilité. Ils se pourraient donc que tous les scénarios optimisés aient une vitesse commerciale plus élevée et soient donc en parallèle plus efficient. Par ailleurs, les scénarios optimisés qui conservent la solution initiale d'implantation des stations, bien que modifiées pour tenir compte des solutions optimisées des précédentes étapes (scénarios 05, 06, 09, 10, 13 et 14), ont une vitesse commerciale légèrement plus élevées, en l'occurrence de 16,94 à 19,04 kilomètres par heure selon les scénarios de dimension de ligne et de localisation de l'atelier-dépôt. Cependant, les scénarios optimisés qui adoptent la solution optimisée d'implantation des stations, parfois modifiées pour tenir compte des solutions optimisées des précédentes étapes (scénarios 03, 04, 07, 08, 11, 12, 15 et 16), ont une vitesse commerciale significativement plus élevée, en l'occurrence de 22,11 à 22,50 kilomètres par heure selon les scénarios de dimension de ligne et de localisation de l'atelier-dépôt. De cette manière, seuls deux scénarios optimisés (scénarios 05 et 06) ne respectent pas la contrainte d'être exploités avec une vitesse commerciale située entre 18 et 25 kilomètres par heure. Néanmoins, ces deux scénarios optimisés ont une vitesse commerciale supérieure à celle des scénarios initiaux. Or, les scénarios initiaux sont sensés avoir une vitesse commerciale de 18,1 kilomètres par heure d'après l'étude de faisabilité. Ils se pourraient donc que tous les scénarios optimisés respectent cette contrainte. Enfin, les scénarios optimisés avec la solution optimisée d'implantation des stations tendent vers l'enjeu d'être exploitée par une vitesse commerciale la plus élevée possible à l'intérieure de la fourchette de la cette même contrainte, au contraire des scénarios ayant des stations localisées suivant la solution initiale.

488 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, Figure 1, p.6 et p.42.

Tableau 8. La vitesse commerciale par scénario

Vitesse commerciale (kilomètre par heure)										
Scénarios			Initiaux	Optimisés						
Numéro de scénario			01 et 02	03 et 04	05 et 06	07 et 08	09 et 10	11 et 12	13 et 14	15 et 16
Dimension de ligne			Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie
Localisation d'atelier-dépôt			Victoria	Victoria	Hippo-drome	Hippo-drome	Victoria	Victoria	Hippo-drome	Hippo-drome
Implantation des stations			400-500m	700-800m	400-500m	700-800m	400-500m	700-800m	400-500m	700-800m
DP : station Des Pins CD : station Cedar			Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP	Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP	Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP	Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP
Dimension de ligne en service commercial	L	m	13200	13200	14700	14700	6300	6300	7800	7800
Nombre de stations	S	station	32	19	34	21	13	9	15	11
Distance moyenne interstation	DI	m	426	733	445	735	525	788	557	780
Vitesse moyenne en déplacement	VD	m/s	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89	13,89
		km/h	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Vitesse à l'arrêt	VA	m/s	0	0	0	0	0	0	0	0
Temps d'arrêt en station	TA	s	30	30	30	30	30	30	30	30
Accélération	AC	m/s ²	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Décélération	DC	m/s ²	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Taux de pénalité pour franchissement de carrefours	XFC	coef	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Temps total d'accélération, 1 direction	TAC	s	489,27	284,09	520,83	315,66	189,39	126,26	220,96	157,83
Temps total de décélération, 1 direction	TDC	s	489,27	284,09	520,83	315,66	189,39	126,26	220,96	157,83
Temps total à l'arrêt en stations, 1 direction	TS	s	960,00	570,00	1020,00	630,00	390,00	270,00	450,00	330,00
Temps total à vitesse de déplacement, 1 direction	TVD	s	571,51	730,40	655,07	813,96	306,93	355,82	390,49	439,38
Temps de parcours, 1 direction	TP	s	2510,05	1868,58	2716,73	2075,27	1075,72	878,35	1282,41	1085,03
Temps de retard, 1 direction	TR	s	376,51	280,29	407,51	311,29	161,36	131,75	192,36	162,76
Vitesse commerciale	V	m/s	4,57	6,14	4,71	6,16	5,09	6,24	5,29	6,25
		km/h	16,46	22,11	16,94	22,17	18,33	22,45	19,04	22,50
Légende			Contrainte irrespectée		Contrainte respectée et enjeu financier diminué		Contrainte respectée et enjeu financier le plus diminué			

La vitesse moyenne en déplacement est fixée à 50 kilomètres par heure. Genivar-Systra (2011), Vol.A, pp.45-46. La vitesse à l'arrêt est de 0 kilomètre par heure et le temps d'arrêt en station à 30 secondes. CERTU (2004), p.46 et p.74. Ces calculs reprennent la méthodologie de l'étude de préfaisabilité et les informations cette même étude et de celle de faisabilité. Genivar-Systra (2009), Vol.C1, pp.21-22. Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.45.

3.4.2 Le nombre de véhicules

La capacité des tramways de 30 à 35 mètres de long, tels qu'identifiés à l'étape du choix et dimensionnement de TCSP, est de 204 passagers⁴⁸⁹. La demande durant le quart d'heure d'hyperpointe équivaut à la valeur de charge cumulée maximale de voyageurs entre deux stations quel que soit la direction. Ne disposant pas d'estimation d'achalandage des lignes telles qu'exactement formulées par le processus d'optimisation⁴⁹⁰ et à des fins de comparaison ultérieure, il va être utilisé la valeur des scénarios initiaux qui est de 638 passagers⁴⁹¹. Ce montant n'est donc qu'hypothétique et pourrait, en réalité, être plus ou moins grand. Mathématiquement, l'intervalle d'exploitation minimal est, comme les scénarios initiaux, de 4,8 minutes, soit 4 minutes et 48 secondes⁴⁹², à l'instar de la valeur définie à l'étape du choix et dimensionnement de TCSP. Le temps de battement d'exploitation, pour le retournement des véhicules voire le changement de conducteur aux terminus, a été défini par l'étude préfaisabilité à 200 secondes. Le temps de battement provisionnel, en cas de délais supplémentaires par rapport au temps de retard déjà prévu, a été fixé à 240 secondes dans le cas d'une vitesse commerciale avoisinant les 18 kilomètres par heure et à 360 secondes pour environ 20 kilomètres par heure⁴⁹³. Les scénarios avec la solution initiale d'implantation des stations, ayant une vitesse commerciale d'environ 18 kilomètres par heure, se portent sur un temps de battement provisionnel à 240 secondes, tandis que les scénarios avec la solution optimisée d'implantation des stations, ayant une vitesse commerciale de plus de 20 kilomètres par heure, se destinent à un temps de battement provisionnel à 360 secondes. Par ailleurs, le nombre de véhicules en réserve d'exploitation, en cas de panne, est fixé à un véhicule ; tandis que le nombre de véhicules en réparation à l'atelier-dépôt est estimé selon un *taux de véhicules en réparation* équivalent à 15% du montant de véhicules en exploitation⁴⁹⁴. Une précision est donc à apporter quant au calcul du nombre de véhicule en réparation⁴⁹⁵ :

489 Confer la partie 4.1 de cette présente recherche.

490 Ces lignes sont celles de dimension inchangée ou raccourcie avec ou sans l'exteñsion menant au site Hipodrome.

491 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C3-1, p.5.

492 Confer le tableau 9 de la présente recherche, p.170.

493 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1, p.12.

494 Consortium Genivar-Systra (2009), Vol.C1, p.13.

495 Confer la partie 3.4.6 de cette présente recherche.

$$RR = RE \times XRR$$

RR est le nombre de véhicules en réparation, arrondi au nombre entier supérieur.

RE est le nombre de véhicules en exploitation.

XRR est le taux de véhicules en réparation.

Ainsi, le temps total de parcours pour les deux directions, incluant les temps de retard et de battement d'exploitation, de tous les scénarios peut être estimée. Les scénarios initiaux ont un temps total de parcours de 103 minutes. Par ailleurs, les scénarios optimisés qui ont une dimension de ligne inchangée, bien que quelquefois modifiées pour prendre en compte des solutions optimisées des précédentes étapes (scénarios 01 à 08), ont un temps de parcours supérieure à une heure, en l'occurrence de 78 à 111 minutes selon les scénarios de localisation de l'atelier-dépôt et des stations. Cependant, les scénarios optimisés qui adoptent la solution de raccourcissement de la dimension de ligne, parfois allongées pour tenir compte des solutions optimisées des précédentes étapes (scénarios 09 à 16), ont un temps total de parcours environ deux fois plus court, en l'occurrence de 40 à 56 minutes selon les scénarios de localisation de l'atelier-dépôt et des stations. En conséquent, le nombre de rames de tramway de tous les scénarios peut être estimé. D'après cette méthode de calcul, les scénarios initiaux ont besoin de 28 rames, alors que l'étude de faisabilité table sur 26 rames⁴⁹⁶. Cette différence permet toutefois de statuer que le calcul du nombre de rame effectué dans cette recherche émet donc des résultats plutôt conservateurs vis-à-vis de l'étude de faisabilité. Ils se pourraient donc que tous les scénarios optimisés aient un nombre de rames moins élevé et soient donc en parallèle plus efficient. Par ailleurs, les scénarios optimisés qui ont une dimension de ligne inchangée (scénario 01 à 08), nécessitent un nombre plus ou moins semblable de rames, en l'occurrence de 22 à 29 selon les scénarios de de localisation de l'atelier-dépôt et des stations. Cependant, les scénarios optimisés qui adoptent la solution de dimension de ligne raccourcie requièrent un nombre de rames jusqu'à deux fois moindre que les scénarios initiaux, en l'occurrence de 13 à 16 selon les scénarios de localisation de l'atelier-dépôt et des stations⁴⁹⁷.

496 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, Figure 1, p.6 et p.42.

497 Confer le tableau 9 de la présente recherche, p.170.

Tableau 9. Le nombre de véhicules par scénario

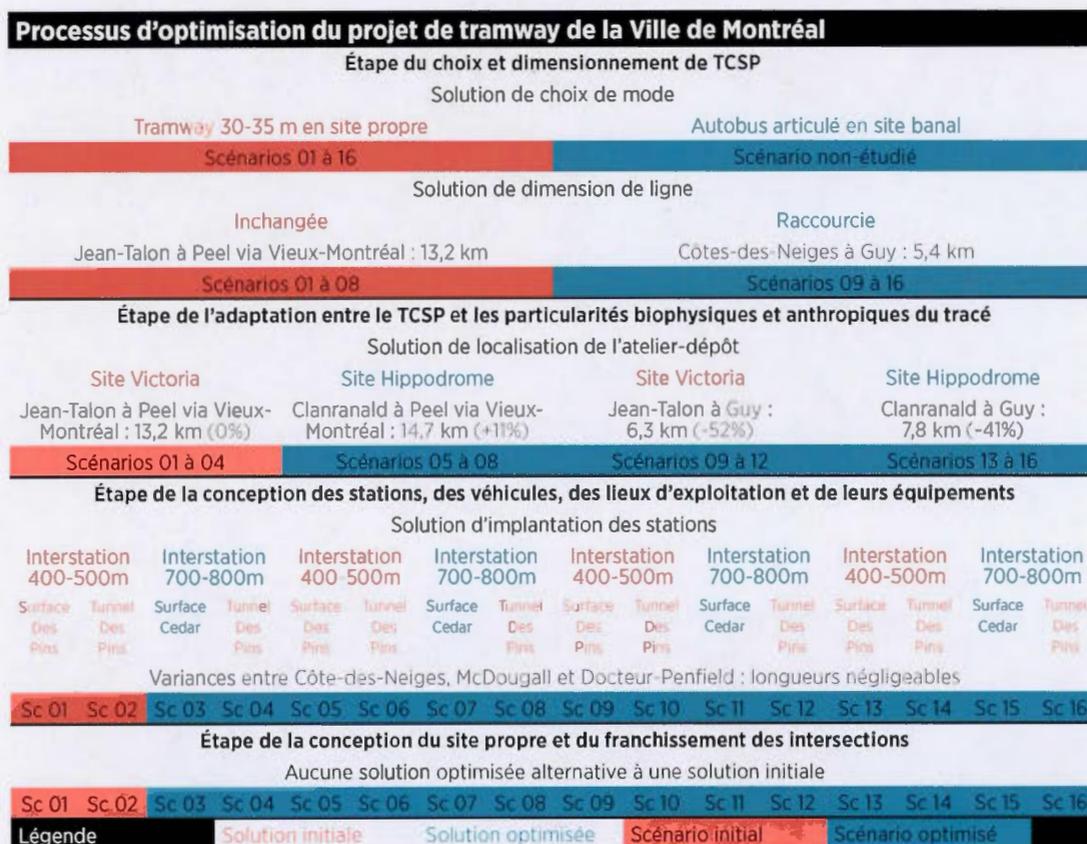
Rames de tramway										
Scénarios			Initiaux	Optimisés						
Numéro de scénario			01 et 02	03 et 04	05 et 06	07 et 08	09 et 10	11 et 12	13 et 14	15 et 16
Dimension de ligne			Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie
Localisation d'atelier-dépôt			Victoria	Victoria	Hippo- drome	Hippo- drome	Victoria	Victoria	Hippo- drome	Hippo- drome
Implantation des stations			400-500m	700-800m	400-500m	700-800m	400-500m	700-800m	400-500m	700-800m
Type de station			Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP	Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP	Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP	Surface DP Tunnel DP	Surface CD Tunnel DP
Charge cumulée maximale entre deux stations	D	pas-sager	638	638	638	638	638	638	638	638
Capacité du matériel roulant	C	pas-sager	204	204	204	204	204	204	204	204
Durée de l'hyperpointe	T	s	900	900	900	900	900	900	900	900
Temps de battement provisionnel (retard)	TBP	s	240	360	240	360	240	360	240	360
Temps de battement d'exploitation (retournement)	TBE	s	200	200	200	200	200	200	200	200
Nombre de rames en réserve d'exploitation	RRE	rame	1	1	1	1	1	1	1	1
Taux de rames en réparation	XRR	coef	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Temps de parcours, 1 direction	TP	s	2510,05	1868,58	2716,73	2075,27	1075,72	878,35	1282,41	1085,03
Temps de retard, 1 direction	TR	s	376,51	280,29	407,51	311,29	161,36	131,75	192,36	162,76
Temps total de parcours, 2 directions, avec TR et TBE	TT	s min	6173,11 102,89	4697,74 78,30	6648,49 110,81	5173,12 86,22	2874,16 47,90	2420,20 40,34	3349,54 55,83	2895,58 48,26
Intervalle minimal d'exploitation	I	s min	287,77 4,80	287,77 4,80	287,77 4,80	287,77 4,80	287,77 4,80	287,77 4,80	287,77 4,80	287,77 4,80
Nombre de rames en exploitation hors TBP	REH	rame	22	17	24	18	10	9	12	11
Temps de battement d'exploitation résiduel (arrondissement REH)	TBER	s	157,93	194,42	258,10	6,82	3,58	169,77	103,75	269,94
Nombre de rame en exploitation	RE	rame	23	18	24	19	11	10	13	12
Nombre total de rames	R	rame	28	22	29	23	14	13	16	15
Légende			Enjeu financier initial ou stable		Enjeu financier diminué		Enjeu financier le plus diminué			

R, RE et REH sont arrondis au nombre entier supérieur. Ces calculs reprennent la méthodologie de l'étude de pré-faisabilité et les informations cette même étude et de celle de faisabilité. Genivar-Systra (2009), Vol.C1, pp.21-22. Genivar-Systra (2011), Vol A, p.45.

3.4.3 L'arborescence des scénarios et leur tracé

Les seize scénarios définis à l'étape précédente ne sont pas modifiés par cette étape⁴⁹⁸.

Tableau 10. L'arborescence des scénarios à l'étape de la conception du site propre et du franchissement des intersections



498 Confer le tableau 10 de la présente recherche, p.171.



Image 4. Le site propre partiel à la station Guy-Concordia située au sud de l'intersection entre la rue Guy et le Boulevard Maisonneuve



Image 5. Le site propre partiel démarqué de la voirie par un terre-plein et du trottoir par une variation de niveau et de pavement

Crédit image : WAA (2011).

Récupérée de < waa-ap.com/fr/design-urbain-et-urbanisme/tramway-de-montreal > le 25 septembre 2013.

3.5 La comparaison de l'efficacité et de l'efficience des scénarios du projet de TCSP

La comparaison de l'efficacité et de l'efficience des scénarios du projet de TCSP apprécie l'efficacité des scénarios initial et optimisés par leur faisabilité et leur attractivité ainsi que l'efficience par leurs coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme⁴⁹⁹. Premièrement, la faisabilité est évaluée par le respect des contraintes

⁴⁹⁹ Confer les parties 3.2 et 3.4.2 de la présente recherche.

techniques et urbaines, de manière effective ou non-effective. Deuxièmement, l'attractivité est mesurée par la disponibilité et la régularité des services de déplacements. D'une part, une disponibilité attractive correspond à une haute fréquence, c'est-à-dire un intervalle d'exploitation inférieure à 10 minutes, et à une grande amplitude-horaire, soit des services offerts en journée et en soirée à tous les jours de la semaine. D'autre part, une régularité attractive correspond à une vitesse commerciale supérieure à 18 kilomètres par heure pour un site propre partiel ou 25 kilomètres par heure pour un site propre intégral, à une proportion du site propre tendant vers l'ensemble de la ligne en exploitation commerciale, à une préférence pour un site propre de type intégral plutôt que de type partiel, sauf si ce dernier dispose d'une priorité absolue accordée par le système de signalisation au franchissement de toutes les intersections à niveau. Troisièmement, les coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme sont examinés selon la diminution des enjeux financiers, soit le coût global le plus faible. Enfin, cette comparaison permet de dégager quelques critiques quant aux résultats et à la méthode ainsi que de répondre à la question de recherche.

3.5.1 L'efficacité des scénarios et la critique des résultats

Tous les scénarios disposent d'une disponibilité attractive⁵⁰⁰. En effet, l'intervalle d'exploitation se situe entre 4,8 minutes, pendant le quart d'heure d'hyperpointe, et 10 minutes, durant les heures de nuit. L'intervalle d'exploitation minimal serait toutefois à revoir selon de nouvelles données d'estimation d'achalandage selon chacune des solutions optimisées que ces scénarios adoptent. De plus, pour les scénarios initiaux, le départ du premier service depuis chaque terminus est prévu à chaque jour à 5h30 le matin et l'arrivée du dernier départ à chaque terminus est planifié quotidiennement à 2h00 la nuit du jour d'après, soit une amplitude-horaire de 20,5 heures sur 24 et une amplitude-journalière de sept jours sur sept. Ces caractéristiques peuvent rester les mêmes pour les scénarios optimisés.

Quatre scénarios disposent d'une régularité relativement peu attractive, dont les deux scénarios initiaux et deux autres scénarios optimisés, tandis que huit scénarios optimisés disposent d'une régularité très attractive. Tous les scénarios disposent d'un site

⁵⁰⁰ Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.A, Figure 1, p.7 et p.42.

propre continu sur l'ensemble du tracé. Les proportions de site propre intégral et de site propre partiel varient d'après les solutions de dimension de ligne et d'implantation des stations, suivant la possibilité de desserte en surface ou en tunnel de l'hôpital Général (scénarios respectivement pairs ou impairs). Cependant, toutes les intersections à niveau que comportent le site propre partiel ont un système de régulation de la circulation qui accorde la priorité absolue au TCSP. Ces variations de proportion de site propre intégral et de site propre partiel n'ont donc que peu d'impact sur la régularité des services. Toutefois, les deux scénarios initiaux (scénarios 01 et 02) et deux autres scénarios optimisés (scénarios 05 et 06) ont une vitesse commerciale qui ne respectent pas la contrainte technique et urbaine puisqu'elle se situe en-dessous de la fourchette où elle devrait se situer, soit entre 18 et 25 kilomètres par heure. Leur régularité est donc peu attractive. En outre, quatre scénarios optimisés (scénarios 09, 10, 13 et 14) ont une vitesse commerciale qui respecte cette contrainte mais qui ne tend pas vers à l'enjeu de se situer dans les valeurs hautes de la fourchette de 18 et 25 kilomètres par heure définie par la contrainte. Leur vitesse commerciale est effectivement positionnée en-deça du seuil de 20 kilomètres par heure. Nonobstant cet fait, leur régularité peut être qualifiée d'attractive. Enfin, les huit scénarios avec la solution optimisée d'implantation des stations (scénarios 03, 04, 07, 08, 11, 12, 15 et 16) disposent d'une plus grande distance moyenne d'interstation. Faisant logiquement moins d'arrêts, ils ont une vitesse commerciale répondant positivement à l'enjeu de se situer dans les valeurs hautes de la fourchette de 18 et 25 kilomètres par heure définie par la contrainte. Leur vitesse commerciale est effectivement positionnée au-delà le seuil de 22 kilomètres par heure. Ces scénarios peuvent donc être considérés comme très ayant une régularité très attractive. Les scénarios combinant toutes les solutions optimisées (scénarios 15 et 16), soit les solutions optimisées de dimension de ligne, de localisation d'atelier-dépôt et d'implantation des stations ont la vitesse commerciale la plus élevée. Ils possèdent donc la caractéristique de la régularité la plus attractive.

Tableau 11. L'attractivité et la faisabilité par scénario

Efficacité des scénarios																			
Scénarios		Initiaux		Optimisés															
Numéro de scénario		Sc 01	Sc 02	Sc 03	Sc 04	Sc 05	Sc 06	Sc 07	Sc 08	Sc 09	Sc 10	Sc 11	Sc 12	Sc 13	Sc 14	Sc 15	Sc 16		
Dimension de ligne		Inchangée		Inchangée		Inchangée		Inchangée		Raccourcie		Raccourcie		Raccourcie		Raccourcie			
Localisation d'atelier-dépôt		Victoria		Victoria		Hippodrome		Hippodrome		Victoria		Victoria		Hippodrome		Hippodrome			
Implantation des stations		400-500m		700-800m		400-500m		700-800m		400-500m		700-800m		400-500m		700-800m			
DP : station Des Pins CD : station Cedar		Surface DP	Tunnel DP	Surface CD	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface CD	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface CD	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface CD	Tunnel DP		
Attractivité	Disponibilité	Intervalle d'exploitation minimum (minute)																	
		4,8	4,8	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	4,8 ^A	
		Intervalle d'exploitation maximum (minute)																	
		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
		Début du service (heure de départ du premier service à chaque terminus)																	
		5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30	5h30
		Fin du service (heure d'arrivée du dernier départ à chaque terminus)																	
		2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00	2h00
		Amplitude-horaire des services (nombre d'heures par jour)																	
		20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
		Amplitude-journalière des services (nombre de jours par semaine)																	
		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		Régularité		Vitesse commerciale (kilomètre par heure)															
				16,46 ^B	16,46 ^B	22,11	22,11	16,94	16,94	22,17	22,17	18,33	18,33	22,45	22,45	19,04	19,04	22,50	22,50
Proportion du site propre sur la ligne en exploitation commerciale																			
100%	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Proportion de site propre intégral sur la ligne en site propre en exploitation commerciale																			
0%	6%			0%	6%	0%	5%	0%	5%	0%	13%	0%	13%	0%	10%	0%	10%		
Proportion de site propre partiel sur la ligne en site propre en exploitation commerciale																			
100%	94%			100%	94%	100%	95%	100%	95%	100%	87%	100%	87%	100%	90%	100%	90%		
Proportion d'intersections du site propre partiel avec un système de priorité absolue du TCSP sur les autres modes routiers																			
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			
Faisabilité	Respect des contraintes	Étape du choix et dimensionnement de TCSP																	
		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
		Étape de l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé																	
		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
		Étape de la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements																	
Non ^C	Non ^D	Oui	Oui	Non ^C	Non ^D	Oui	Oui	Non ^E	Non ^F	Oui	Oui	Non ^E	Non ^F	Oui	Oui				
Étape de la conception du site propre et du franchissement des intersections																			
Non ^G	Non ^G	Oui	Oui	Non ^G	Non ^G	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui			
Efficacité du scénario		Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui		
Légende		Scénario non-efficace				Scénario efficace				Scénario le plus efficace									
Notes		^A : Cet intervalle est à reconsidérer selon une nouvelle estimation de l'achalandage prenant en compte les solutions optimisées appliquées selon les scénarios au projet de TCSP. ^B : La vitesse commerciale est estimée à 18,1 kilomètres par heure par l'étude de faisabilité. ^C : Trois stations ne respectent pas les normes d'inclusion, soit Des Pins, Sherbrooke et Saint-Antoine. ^D : Deux stations ne respectent pas les normes d'inclusion, soit Sherbrooke et Saint-Antoine. ^E : Deux stations ne respectent pas les normes d'inclusion, soit Des Pins et Sherbrooke. ^F : Une station ne respecte pas les normes d'inclusion, soit Sherbrooke. ^G : La vitesse commerciale des scénarios Initiaux estimée par l'étude de faisabilité respectent la contrainte, permettant de penser que la présente recherche s'appuie sur des résultats plutôt conservateurs quant au respect de cette contrainte.																	

Données de disponibilité : Genivar-Systra (2011), Vol.A, p.7 et p.42.

Huit des seize scénarios (scénario 01, 02, 05, 06, 09, 10, 13 et 14) peuvent être vus comme infaisable, puisqu'ils ne respectent pas l'ensemble des contraintes techniques et urbaines. Premièrement, comme il a été vu, les deux scénarios initiaux (scénarios 01 et 02) et deux autres scénarios optimisés (scénarios 05 et 06) ont une vitesse commerciale qui ne respectent pas la contrainte technique et urbaine de se situer entre 18 et 25 kilomètres par heure. Secondement, les huit scénarios qui disposent de la solution initiale d'implantation des stations, qui incluent les quatre qui ne respectent pas déjà la contrainte vitesse commerciale, ne respectent pas la contrainte d'accessibilité des toutes les stations du projet aux personnes à motricité réduite. En effet, bien que l'étude de faisabilité propose une station Des Pins en tunnel au lieu de la station Des Pins en surface pour une desserte de l'hôpital Général par une station respectant les normes d'inclusion (scénarios 02, 06, 10 et 14), elle ne propose pas d'alternatives aux stations Sherbrooke (scénarios 01, 05, 09 et 13) et Saint-Antoine (scénarios 01, 02, 05 et 06) qui ne respectent pas non plus ces normes.

En conclusion, il est possible d'affirmer que les scénarios 01, 02, 05, 06, 09, 10, 13 et 14 ne sont pas efficaces⁵⁰¹. Les scénarios 09, 10, 13 et 14 ne respectent pas une contrainte technique et urbaine, tandis que les scénarios 01, 02, 05 et 06 n'en respectent pas deux et voient leur régularité être peu attractive en comparaison autres scénarios. À l'inverse, les scénarios 03, 04, 07, 08, 11, 12, 15 et 16 sont efficaces. Ils respectent toutes les contraintes et ont une disponibilité ainsi qu'une régularité attractive. Parmi les scénarios efficaces, les scénarios 11, 12, 15 et 16 ont une régularité très attractive grâce à une vitesse commerciale relativement rapide. Étant les plus véloces, les scénarios 15 et 16 sont alors les plus efficaces. En définitive, la présente recherche a permis de développer des scénarios optimisés de TCSP respectant au moins autant les contraintes techniques et urbaines que les scénarios initiaux, sinon plus. Nonobstant cette réussite, il doit être admis plusieurs limites quant aux résultats d'efficacité. Certes, les scénarios initiaux ne résolvent pas l'intégralité des contraintes, mais ils n'avaient pas à le faire puisqu'ils ont été développés par l'étude de faisabilité qui ne les formulait pas. Aussi, la présente recherche s'est employée à démontrer des solutions optimisées à un stade de pré-faisabilité, c'est-à-dire avec des informations facilement accessibles, tant au niveau des moyens que du temps. La faisabilité des solutions

501 Confer le tableau 11 de la présente recherche, p.175.

optimisées restent donc à être étudiée afin de valider les scénarios optimisés qu'elles permettent de développer. Par ailleurs, certains calculs effectués par la présente recherche ont des résultats qui diffèrent de ceux présentés dans l'étude de faisabilité, bien qu'ils présentent des valeurs plus conservatrices permettant de les accepter. Enfin, les estimations de la demande en déplacement devraient être réalisées à nouveau, d'un côté pour confirmer la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie et d'un autre parce qu'elles sont relativement datées, ayant été produites à partir de l'enquête Origine-Destination 2003 alors que, de nos jours, les données de l'enquête Origine-Destination 2013 sont disponibles⁵⁰².

3.5.2 L'efficience des scénarios et la critique des résultats

L'étude de faisabilité présente les estimations des coûts d'investissement et d'exploitation du projet de tramway de la Ville de Montréal⁵⁰³. Elles sont données hors taxes et aux conditions économiques de décembre 2009. Elles sont présentées de classe D, signifiant que le niveau d'incertitude reste fort, avec une variation possible de plus ou moins 30% sur le montant affiché⁵⁰⁴. Ces incertitudes concernent tant les coûts d'exploitation que d'investissement mais, concernant ces derniers, elles proviennent⁵⁰⁵ :

- D'incertitudes sur la quantité des équipements et des travaux.
- D'incertitudes sur le coût unitaire des ces mêmes équipement et travaux.
- De coûts d'équipements, d'étude ou de travaux non-prévisibles à la phase actuelle du projet.

En ce qui concerne spécifiquement l'investissement financier pour la construction du système de transport, bien que l'étude de faisabilité s'appuie sur la même méthodo-

502 AMT (2015) et Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.C5-1.

503 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1.

504 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.12 et p.19.

505 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.13.

logie de décomposition des coûts que cette recherche⁵⁰⁶, elle agrège certains des 19 postes d'investissement pour n'en proposer que 10. Ils sont les suivant⁵⁰⁷ :

1. *La maîtrise d'ouvrage*, qui regroupe toutes les études, la maîtrise d'oeuvre et les autres frais de la maîtrise d'ouvrage. Sont regroupés les postes d'investissement 1, 2 et 3.
2. *Le système de transport*, qui regroupe tous les postes d'investissement liés aux éléments linéaires (ouvrages, systèmes, équipements) du système de transport. Les coûts sont ainsi linéarisés et fractionnables en dollars par kilomètre. Sont regroupés les postes d'investissement suivants 6 *travaux préparatoires*, 8 *plate-forme*, 9 *voie spécifique des systèmes ferrés et guidés*, 10 *revêtement du site propre*, 15 *installations nécessaires à l'alimentation en énergie de traction*, 16 *courants faibles et poste de contrôle centralisé*.
3. *Les stations*, qui correspond au poste d'investissement 14. Il comprend les infrastructures et les équipements fixes des stations (hors équipements liés à l'exploitation et à la billettique).
4. *Le foncier*, qui correspond au poste d'investissement 4. Il comprend les acquisitions, démolitions, modifications, reconstruction et relogement.
5. *Les déviations des réseaux*, qui correspond au poste d'investissement 5.
6. *Les aménagements urbains*, qui regroupe tous les postes d'investissement liés aux éléments de la voirie (travaux, ouvrages, systèmes, équipements). Les coûts sont ainsi linéarisés et fractionnables en dollars par kilomètre. Sont regroupés les postes d'investissement suivants : 11 *voirie (hors site propre) et espaces publics*, 12 *équipements urbains*, 13 *signalisation*.
7. *Les ouvrages d'ingénierie*, qui correspond au poste d'investissement 7.

506 Confer la partie 3.2.4 de la présente recherche.

507 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.11.

8. *L'atelier-dépôt*, qui correspond au poste d'investissement 17. Il rassemble les coûts liés aux infrastructures du dépôt et aux équipements nécessaires à son accès.
9. *Le matériel roulant*, qui correspond au poste d'investissement 18. Le coût du matériel roulant comprend les véhicules, et les frais dus aux essais et à la mise en service.
10. *Les opérations connexes*, qui correspondent au poste d'investissement 19. Sont compris ici les opérations connexes au projet de tramway.

Cette manière de dissocier le coût total d'investissement en 10 postes est reprise par la présente recherche qui, par manque d'informations, ne pourrait les désagréger à nouveau en 19. Afin d'estimer les coûts d'investissement des scénarios optimisés, le montant des postes de dépense est décomposé soit par caractéristique d'éléments soit par élément. Les postes 2, 3, 5, 6 et 9 sont décomposés par caractéristique d'éléments des solutions initiales. Cette caractéristique d'éléments peut être comprise comme une quantité d'unités, la caractéristique étant la quantité et les unités étant les éléments. Le montant de chaque poste est alors divisé par la quantité d'unités que contient le poste. Cette décomposition permet alors de connaître le coût unitaire des éléments. Ainsi, les caractéristiques d'éléments qui permettent de décomposer chacun des cinq postes et les coûts unitaires qui y sont associés sont :

- Le nombre de kilomètres de la ligne pour le poste 2, au coût unitaire de 14,485 millions de dollars, pour le poste 5, au coût unitaire de 6,061 millions de dollars, et pour le poste 6, au coût unitaire de 12,121 millions de dollars.
- Le nombre de stations pour le poste 3, au coût unitaire de 0,5 million de dollars.
- Le nombre de véhicules pour le poste 9, au coût unitaire de 4,346 millions de dollars.

Les postes 4, 7 et 10 sont décomposés par éléments spécifiques aux solutions initiales ou optimisées, dont l'estimation du coût est nécessaire pour calculer le montant du poste par scénario. Chacun de ces éléments peut être compris comme une intervention, dont la réalisation peut être mutuellement exclusive avec une autre intervention. Par exemple, la localisation d'atelier-dépôt sur le site Victoria exclue dans un même scénario la localisation d'atelier-dépôt sur le site Hippodrome⁵⁰⁸. De plus, ces interventions sont ou ne sont pas réalisées, ce qui signifie que leur quantité est spécifiquement soit nulle soit d'une unité. Cinq interventions sont estimées par l'étude de faisabilité et deux autres par la présente recherche. Elles sont les suivantes :

- A. La solution initiale de localisation de l'atelier-dépôt sur le site Victoria suppose que 70 millions de dollars soient consacrés aux acquisitions foncières du site⁵⁰⁹. Cette intervention doit être accompagnée de B et exclue C.
- B. La solution initiale de localisation de l'atelier-dépôt sur le site Victoria réclame que 9 millions à la démolition des bâtiments présents sur le site⁵¹⁰. Cette intervention doit être accompagnée de A et exclue C.
- C. La solution optimisée de localisation de l'atelier-dépôt sur le site de l'Hippodrome est présenté à coût foncier nul sans besoin de démolition de bâtiment⁵¹¹. Cette intervention exclue A et B.
- D. La solution initiale de dimension de ligne prévoit le passage des infrastructures au-dessus de la dalle Ville-Marie sur le boulevard René-Lévesque qui nécessite un renforcement. Aussi, cette solution requiert un mur de soutènement sur la rue Berri. Ces deux interventions sont chiffrées ensemble à 23 millions de dollars⁵¹².

508 Confer l'arborescence des scénarios présentée au tableau 10 de la présente recherche, p.171.

509 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.6, p.12 et p.15.

510 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.6, p.12 et p.15.

511 Confer la partie 4.2.1 de la présente recherche.

512 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.7 et p.12.

- E. Les solutions initiale et optimisées d'implantation des stations qui aménagent une station Des Pins en tunnel sous le chemin de la Côte-des-Neiges amènent à un surcoût de 102 millions de dollars, dont 60 millions sont dédiés au seul ouvrage d'ingénierie souterrain et 42 millions sont affectés aux aménagements complémentaires, comme le nivellement du chemin McDougall de manière à ce que les infrastructures puissent entrer en tunnel en amont de l'intersection avec l'avenue Cedar⁵¹³. Cette intervention exclue F.
- F. La solution optimisée d'implantation des stations avec une station Cedar en surface engendre le nivellement du chemin McDougall et la création d'un mur de soutènement comblant la différence de niveau avec le chemin de la Côte-des-Neiges au nord l'intersection avec l'avenue Cedar. Un montant de 42 millions y est consacré et est estimé d'après le prix des aménagements complémentaires au tunnel, bien que le nivellement pour ce dernier soit de plus grande ampleur que celui proposé d'aplanir à moins de 2% une pente actuelle de 4 à 6%⁵¹⁴. Cette intervention exclue E.
- G. La construction d'un stationnement incitatif de 350 places automobiles aménagé en surface sur le site de l'atelier-dépôt au coût d'un million de dollars⁵¹⁵. Cette intervention ne fait pas l'objet d'une solution optimisée et est inclus dans tous les scénarios.

Les postes 1, 8 et 10 ne font pas l'objet d'une solution optimisée. Leur composition initiale reste donc la même quel que soit le scénario et, à ce titre, leur montant est considéré comme un frais fixe. À l'inverse, chaque poste de dépense qui a fait l'objet d'une proposition d'optimisation peut être décomposé⁵¹⁶. Leur coût unitaire est projeté selon la quantité d'unités proposée par le scénario, c'est-à-dire selon la caractéristique des éléments de la solution initiale ou de la solution optimisée. Leur montant est alors présenté comme un frais variable. L'ensemble des frais fixes et variables forme donc le coût total d'investissement. Cette partition des investissements permet de comparer les

513 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.13.

514 Confer la partie 4.3.1 de la présente recherche.

515 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.10 et p.12.

516 Confer le tableau 12 de la présente recherche, p.182.

montants nécessaires à la construction des scénarios initiaux et optimisés, toute chose étant égale par ailleurs, autant sur le montant total que sur le montant variable issu des solutions initiales ou optimisées.

Tableau 12. La décomposition des coûts d'investissement

Coût unitaire des éléments et des interventions (million de dollars)					
Poste de dépense		Description des interventions	Frais	Décomposition	Coût unitaire
Maîtrise d'ouvrage		Études d'avant-projet/projet, maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage	fixe	aucune	96,000
Système de transport	2	Travaux préparatoires, plateforme, voie spécifique des systèmes guidés et ferrés, revêtement du site propre, installations nécessaires à l'alimentation en énergie de traction, courants faibles et PCC, comprenant 0,4 km de voies supplémentaires nécessaires à la circulation des rames dans l'atelier-dépôt	variable	par kilomètre	14,485
Stations	3	Infrastructures et équipements fixes des stations (hors courants faibles et PCC)	variable	par station	0,500
Foncier	A	Acquisition foncière pour l'atelier-dépôt, site Victoria			70,000
	B	Démolition des bâtiments au front de la rue Jean-Talon, devant l'atelier-dépôt site Victoria			9,000
	C	Acquisition foncière pour l'atelier-dépôt, site Hippodrome			0,000
	4	Acquisition, démolitions, modifications, relogement	variable	par intervention	divers
Déviations des réseaux	5	Déviations de réseaux de concessionnaires imputables à l'opération	variable	par kilomètre	6,061
Aménagements urbains	6	Voirie (hors site propre) et espaces publics, équipements urbains, signalisation	variable	par kilomètre	12,121
Ouvrages d'ingénierie	D	Renforcement de la dalle Ville-Marie sur René-Lévesque sous l'emprise tramway et mur de soutènement sur Berri			23,000
	E	Nivellement de MacDougall au nord de l'intersection Cedar et mur de soutènement le long de Côte-des-Neiges			42,000
	F	Surcoût du tunnel sous Côte-des-Neiges entre Cedar et Des Pins et de la station souterraine Des Pins			102,000
	7	Ouvrages en ligne de génie civil et de gros œuvre	variable	par intervention	divers
Atelier-dépôt	8	Ensemble de l'atelier-dépôt y compris les infrastructures et équipements nécessaires à son accès	fixe	aucune	84,000
Matériel roulant	9	Véhicules, essai et mise-en-service du matériel et formation des personnels	variable	par véhicule	4,346
Opérations connexes	G	Stationnement incitatif de 350 en surface sur le site de l'atelier-dépôt			1,000
	10	Opérations connexes au projet de tramway	fixe	aucune	1,000

Données des coûts : Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.12 ; coût du tunnel : Ibid, p.13 ; coût de l'acquisition foncière pour l'atelier-dépôt, site Victoria : Ibid, p.15.

En conséquent, il est possible d'exprimer le coût total d'investissement des scénarios initiaux et optimisés⁵¹⁷. Il est à noter, avant toute chose, que le coût d'un scénario optimisé se réfère avec celui du scénario initial qui dispose du même type de desserte, en surface ou en souterrain, de l'hôpital Général. Les scénarios se comparent alors entre

517 Confer le tableau 13 de la présente recherche, p.184.

numéros pairs ou impairs. Ainsi, les scénarios initiaux requièrent un somme totale de 849 millions de dollars, avec la desserte en surface de l'hôpital Général, ou de 951 millions de dollars, avec une desserte souterraine. Les frais variables sont respectivement de 668 ou de 770 millions de dollars. À l'exception du scénario 03, tous les scénarios optimisés sont plus efficaces et voient leur coût total d'investissement et leurs frais variables diminuer par rapport à leur scénario initial de référence. Les scénarios optimisés qui disposent de la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie sont plus abordables que ceux avec la solution initiale inchangée. De plus, les scénarios optimisés qui adoptent la solution optimisée de localisation d'atelier-dépôt sur le site Hippodrome sont moins chers que ceux qui conservent la localisation initiale. Par contre, les scénarios optimisés qui conservent la solution initiale d'implantation des stations avec la desserte de l'hôpital Général en surface sont moins chers que ceux avec la solution optimisée, à cause des frais de l'intervention E reliée à l'implantation de la station Cedar. Toutefois, les scénarios qui choisissent la solution optimisée d'implantation des stations avec la desserte de l'hôpital Général en souterrain sont moins coûteux que ceux avec la solution initiale.

Le facteur qui module le plus le coût total d'investissement et les frais variables est la dimension de ligne. En effet, les scénarios optimisés qui disposent de la solution initiale de dimension de ligne inchangée ont un coût total d'investissement qui varie entre 2% plus onéreux (scénario 03) à 5% plus abordable (scénario 08) par rapport à leur scénario initial de référence. Les frais variables sont respectivement de 3% plus onéreux à 6% plus abordables. Or, les scénarios optimisés qui disposent de la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie ont, quant à eux, un coût total d'investissement au moins 32% plus accessible (scénario 11) par rapport au scénario initial de référence. Les frais variables sont minimalement 41% plus accessibles. En conclusion, les scénarios les plus efficaces sont les scénarios optimisés 13 et 15, dont le coût total d'investissement est respectivement d'environ 519 et 614 millions de dollars et les frais variables de 338 et 433 millions de dollars. Ces scénarios sont par conséquent 39% et 35% plus économiques en coût total d'investissement que leur scénario initial de référence et 49% et 44% plus économiques en frais variables.

Tableau 13. Les coûts d'investissement par scénario

Scénarios initiaux		Scénarios optimisés															
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
DL	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	
AD	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Hippodrome	Hippodrome	Hippodrome	
IS	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	
	Surface DP	Tunnel DP	Surface CD	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	
PO	QU	Coût par poste	QU	Coût par poste	QU	Coût par poste	QU	Coût par poste	QU	Coût par poste	QU	Coût par poste	QU	Coût par poste	QU	Coût par poste	
1	1	96,000	1	96,000	1	96,000	1	96,000	1	96,000	1	96,000	1	96,000	1	96,000	1
2	2	13,6197,000	13,6197,000	13,6197,000	15,1218,728	15,1218,728	15,1218,728	15,1218,728	15,1218,728	6,797,051	6,797,051	6,797,051	6,797,051	8,2118,779	8,2118,779	8,2118,779	8,2118,779
3	3	16,000	19	9,500	34	17,000	21	10,500	34	6,500	13	6,500	9	4,500	15	7,500	11
4	4	70,000	1	70,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	1	70,000	1	70,000	0	0,000	0
5	5	9,000	1	9,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	1	9,000	1	9,000	0	0,000	0
6	6	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
7	7	2,79,000	2	79,000	2	79,000	1	0,000	2	79,000	2	79,000	2	79,000	1	0,000	1
8	8	13,280,000	13,280,000	13,280,000	14,789,091	14,789,091	14,789,091	14,789,091	14,789,091	6,338,182	6,338,182	6,338,182	6,338,182	7,847,273	7,847,273	7,847,273	7,847,273
9	9	13,2160,000	13,2160,000	13,2160,000	14,7178,182	14,7178,182	14,7178,182	14,7178,182	14,7178,182	6,376,364	6,376,364	6,376,364	6,376,364	7,894,545	7,894,545	7,894,545	7,894,545
10	10	23,000	1	23,000	1	23,000	1	23,000	1	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
11	11	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0
12	12	0,000	1	102,000	0	0,000	1	102,000	0	0,000	1	102,000	0	0,000	1	102,000	0
13	13	2,125,000	2	125,000	2	125,000	2	125,000	2	125,000	2	125,000	2	125,000	2	125,000	2
14	14	84,000	1	84,000	1	84,000	1	84,000	1	84,000	1	84,000	1	84,000	1	84,000	1
15	15	113,000	26	95,615	22	126,038	29	126,038	23	99,962	14	60,846	13	56,500	16	69,538	15
16	16	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1
17	17	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1	1,000	1
18	18	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total	Coût total
19	19	668,000	770,000	686,115	746,115	652,039	754,039	661,462	721,462	357,943	459,943	393,597	453,597	337,636	439,636	373,290	433,290
20	20	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000	181,000
21	21	849,000	951,000	867,115	927,115	833,039	935,039	842,462	902,462	538,943	640,943	574,597	634,597	518,636	620,636	554,290	614,290

Données des coûts : Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.12 ; coût du tunnel : Ibid, p.13 ; coût de l'acquisition foncière pour l'atelier-dépôt, site Victoria : Ibid, p.15.

Légende : Coût initial ou augmenté ; Coût diminué, scénario plus efficient ; Coût le plus diminué, scénario le plus efficient ; selon le scénario initial de référence : scénario 01 pour les scénarios optimisés ; impairs et scénario 02 pour les scénarios optimisés pairs.

Abréviations : Numéro de scénario (Sc), dimension de ligne (DL), localisation d'atelier-dépôt (AD), implantation des stations (IS) dont station Des Pins (DP) et station Cedar (CD), poste de dépenses (PD), quantité unitaire (QU), frais totaux variables (FV), frais totaux fixes (FF) et coût total d'investissement (CI).

Par ailleurs, le coût d'exploitation est composé à long terme des coûts annuels d'exploitation, assumés pour l'opération des services et l'entretien continu du système de transport, et des coûts d'entretien majeur, déboursés ponctuellement à moyennes échéances⁵¹⁸. Concernant les coûts annuels d'exploitation, l'étude de faisabilité les mentionne en prenant en compte les hypothèses suivantes⁵¹⁹ :

- La production annuelle de véhicules-kilomètres⁵²⁰ est de 1,58 millions.
- Le coût salarial moyen (salaires et charges sociales) est de 67 500\$ pour un travail de 1880 heures par an.
- Le coût de l'énergie correspond au tarif M d'Hydro-Québec pour des puissances de 100 à 5000 kilowatts.

Ces coûts ne sont pas décomposés selon la méthodologie proposée par la présente recherche et ils ne permettent pas de se désagréger afin de les étudier en fonction de celle-ci⁵²¹. L'étude de faisabilité les sépare en trois postes de dépenses, qui sont les suivants⁵²² :

11. *L'exploitation* : ce sont les coûts de la production du service de transport en tant que tel. Sont inclus les frais du personnel affecté à cette tâche et les dépenses liées à l'énergie comme la consommation électrique des rames, de l'atelier-dépôt, du chauffage des quais de stations pendant l'hiver et du réchauffage des aiguilles des appareils de voie et de drains.
12. *L'entretien* : cela concerne les coûts pour maintenir en fonction les installations et le matériel roulant. Sont intégrés les frais de personnel assigné à ce travail

518 Confer la partie 3.2.4 de la présente recherche.

519 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.19.

520 Selon Statistique Canada, « Les véhicules-kilomètres sont la distance parcourue par les véhicules sur route » qui, dans le cas d'un TCSP, correspond à la somme des kilométrages de chacun des véhicules sur le tracé. Statistique Canada (2009), *Qualité des données, concepts, méthodologie : concepts et définitions*. Récupéré de < <http://www.statcan.gc.ca/pub/53-223-x/2009000/technote-notetech1-fra.htm> > le 8 mai 2015.

521 Confer la partie 3.2.4 de cette présente recherche.

522 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.19.

et les dépenses induites par les pièces de rechange, tant pour les infrastructures que pour les véhicules.

13. *Les frais de structure* : il s'agit des coûts reliés à la gestion de la ligne dans son ensemble. Sont comptés les frais de personnel désigné à cet emploi et d'autres dépenses correspondant aux assurances, au marketing, au gardiennage, aux finances et autres.

Les scénarios initiaux prévoit d'employer 118 personnes, dont 84 conducteurs, et de consommer 21,1 gigawatts-heure pour le poste exploitation. Concernant l'entretien, les effectifs sont évalués à 50 personnes et le coût des pièces de rechange pour les installations est évalué selon la longueur de la ligne, tandis que celui pour le matériel roulant est établi en fonction du kilométrage. Le personnel relié à la structure est composé de 27 individus et les autres frais de services sont pensés à 4% de l'ensemble des coûts d'exploitation et d'entretien⁵²³. Cependant, il n'est pas possible d'estimer la pareille de ces valeurs pour les scénarios optimisés. La méthode de calcul n'est en effet pas expliquée et, ne sachant pas dans quelles proportions elles seraient différentes pour chacune des solutions optimisées, la présente recherche ne peut les déterminer.

Par ailleurs, le coût annuel d'exploitation du projet initial est estimé à 19,2 millions de dollars. Ce chiffre est décomposé selon les postes, avec 9,8 millions de dollars nécessités par l'exploitation, 6,5 millions de dollars demandés par l'entretien et 2,9 millions de dollars attribués à la structure. L'ensemble de ces valeurs est ensuite divisé par le nombre annuel de véhicules-kilomètres, dont la méthode de calcul spécifique au projet initial est inconnue⁵²⁴. Or, il reste possible d'établir une approximation du nombre annuel de véhicules-kilomètres des scénarios optimisés à partir du montant des scénarios initiaux. Ce calcul est effectué de la manière suivante⁵²⁵ :

523 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.19.

524 La production de véhicule kilomètres est expliquée dans le volume C1 de l'étude de faisabilité qui n'a pas été rendu publique. Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.19.

525 Direction régionale de l'Équipement Nord-Pas-de-Calais (2008), *Indicateur « véhicules.kilomètres » sur le département du Nord*, p.3. Récupéré de < http://www.nord.gouv.fr/content/download/10225/62568/file/Indicateur_vehkm_2.pdf > le 8 mai 2015.

$$\text{VKM} = (\text{DV} \times \text{L}) \times \text{J}$$

VKM est le nombre de véhicules-kilomètres sur une période.

DV est le nombre de départs de véhicules dans les deux directions, par jour.

L est la longueur de la ligne, en kilomètres.

J est la durée de la période, en jours.

De cette manière, le nombre annuel de véhicules-kilomètres des scénarios optimisés peut être estimé à environ 1,58 millions (scénarios 03 et 04, comme les scénarios initiaux 01 et 02), 1,76 millions (scénarios 05 à 08), 754 000 (scénarios 09 à 12) ou 934 000 (scénarios 13 à 16). Si ces valeurs sont rapportées au coût annuel d'exploitation par véhicule-kilomètre des scénarios initiaux, alors le coût annuel d'exploitation des scénarios optimisés est estimable à environ 19,3 millions de dollars (scénarios 03 et 04), 21,5 millions de dollars (scénarios 05 à 08), 9,2 millions de dollars (scénarios 09 à 12) ou 11,4 millions de dollars (scénarios 13 à 16). Ce chiffre peut être décomposé par postes. Ainsi, le poste 11 *exploitation* oscille entre environ 4,7 et 10,9 millions de dollars, le poste 12 *entretien* varie entre environ 3,1 et 7,2 millions de dollars et le poste 13 *frais de structure* fluctue entre environ 1,7 et 3,2 millions de dollars⁵²⁶. En comparant les scénarios, le facteur qui module les coûts annuels d'exploitation est la dimension de la ligne. La solution optimisée de dimension de ligne raccourcie produit alors des scénarios optimisés beaucoup moins dispendieux. Toutefois, la solution optimisée de localisation d'atelier-dépôt sur le site Hippodrome, accompagnée d'une extension de la ligne pour y parvenir, accroît légèrement le prix des scénarios qui l'adoptent. De cette façon, les scénarios optimisés 03 et 04 ont un coût annuel d'exploitation similaire aux scénarios initiaux, les scénarios 05 à 08 sont 11% plus chers, tandis que les scénarios 13 à 16 sont 41% plus abordables et les scénarios 09 à 13 sont 52% plus économiques. Les scénarios 09 à 13 diminuent le plus les coûts annuels d'exploitation et sont donc les plus efficaces.

526 Confer le tableau 14 de la présente recherche, p.188.

Tableau 14. Les coûts annuels d'exploitation par scénario

Coût annuel d'exploitation (million de dollars)							
Scénarios				initiaux et optimisés	optimisés	optimisés	optimisés
Numéro de scénario				01 à 04	05 à 08	09 à 12	13 à 16
Dimension de ligne				Inchangée	Inchangée	Raccourcie	Raccourcie
Localisation d'atelier-dépôt				Victoria	Hippodrome	Victoria	Hippodrome
Implantation des stations				Toutes	Toutes	Toutes	Toutes
Production annuelle de véhicules. kilomètres	Départs journaliers	départ	DV	327,94	327,94	327,94	327,94
	Dimension de ligne	km	L	13,2	14,7	6,3	7,8
	Période	jour	J	365	365	365	365
	Production	véh.km	VKM	1580000	1759545	754091	933636
Coût annuel par véhicule. kilomètre	Poste 11 Exploitation	\$/km		6,2	6,2	6,2	6,2
	Poste 12 Entretien	\$/km		4,1	4,1	4,1	4,1
	Poste 13 Structure	\$/km		1,8	1,8	1,8	1,8
	Total	\$/km		12,2	12,2	12,2	12,2
Coût annuel total	Poste 11 Exploitation	million \$		9,796	10,909	4,675	5,789
	Poste 12 Entretien	million \$		6,478	7,214	3,092	3,828
	Poste 13 Structure	million \$		2,844	3,167	1,357	1,661
	Total	million \$		19,276	21,466	9,200	11,390
Légende				Coût initial ou augmenté	Coût diminué, scénario plus efficient	Coût le plus diminué, scénario le plus efficient	

Les données pour le projet initial de production annuelle de véhicules kilomètres et de coûts annuels d'exploitation proviennent de l'étude de faisabilité. Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.19.

Quant aux coûts d'entretien majeur, l'étude de faisabilité les mentionne et les estime en prenant en compte l'hypothèse d'une régénération du système, ou réinvestissement, à une échéance de 30 ans après la mise en service du TCSP. Elle les décompose en six postes de dépenses, dont la périodicité varie de sept à quinze ans⁵²⁷. Ainsi, trois phases d'entretien majeurs sont prévus, soit à 7, 15 et 22 ans après la mise en service. Les postes de dépenses d'entretien majeur sont les suivants⁵²⁸ :

14. *La plateforme* : Elle doit être renouvelée au bout de quinze ans sur la section René-Lévesque dont le corridor est partagé entre autobus et tramway. Le coût de ce poste est estimé à 20% de l'investissement au poste de dépense plateforme des scénarios initiaux. Le montant de ce poste doit être estimé en fonction du fait que la proportion de 20% est relative à la proportion de la section René-Lévesque par rapport à la dimension de ligne des scénarios initiaux.

527 Confer le tableau 15 de la présente recherche, p.190.

528 Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.21.

15. *Les courants faibles (1)* : Les ordinateurs doivent être renouvelés à tous les sept ans. Le coût de ce poste est estimé à 30% de l'investissement au poste de dépense courants faibles des scénarios initiaux, hors signalisation ferroviaire.
16. *Les courants faibles (2)* : Les équipements électroniques et de téléphonie doivent être renouvelés au bout de quinze ans. Le coût de ce poste est estimé à 40% de l'investissement au poste de dépense courants faibles des scénarios initiaux, hors signalisation ferroviaire.
17. *La signalisation ferroviaire* : Les équipements électroniques et les automatismes de signalisation ferroviaire doivent être renouvelés au bout de quinze ans. Le coût de ce poste est estimé à 20% de l'investissement au poste de dépense courants faibles des scénarios initiaux, spécifiquement pour la signalisation ferroviaire.
18. *L'atelier-dépôt* : Certains équipements de l'atelier-dépôt doivent être renouvelés au bout de quinze ans, comme la manutention fixe et mobile, les machines ou l'outillage. Le coût de ce poste est estimé à 5% de l'investissement au poste de dépense atelier-dépôt.
19. *Le matériel roulant* : Les véhicules doivent être rénovés au bout de quinze ans pour les mettre à jour sur le plan technique, sécuritaire, esthétique et du confort. Le coût de ce poste est estimé à 25% de l'investissement au poste de dépense matériel-roulant.

Tableau 15. La décomposition des coûts d'entretien majeur

Coût relatif des interventions (million de dollars)				
Poste de dépense	Description des interventions	Périodicité	Décomposition	Coût relatif
Plateforme 14	Rénovation du corridor autobus-tramway sur la section René-Lévesque	15 ans	Pourcentage du poste de dépense 2a	20% ^A
Courants faibles (1) 15	Ordinateurs	7 ans	Pourcentage du poste de dépense 2b	30%
Courants faibles (2) 16	Équipements électroniques et de téléphonie	15 ans	Pourcentage du poste de dépense 2b	40%
Signalisation ferroviaire 17	Équipements électroniques et automatismes de signalisation ferroviaire	15 ans	Pourcentage du poste de dépense 2c	20%
Atelier-dépôt 18	Renouvellement d'équipements de l'atelier-dépôt : manutention fixe et mobile, machines, outillage	15 ans	Pourcentage du poste de dépense 8	5%
Matériel roulant 19	Rénovation de mi-vie pour le matériel roulant : technique, sécurité, esthétique et confort	15 ans	Pourcentage du poste de dépense 9	25%
Notes	^A Ce coût relatif est fonction de la proportion de la section René-Lévesque par rapport à la dimension de ligne des scénarios initiaux. Il doit être ajusté en fonction de la proportion de cette section par rapport à la dimension de ligne du scénario étudié.			

Données des coûts : Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.23.

Afin de connaître les coûts d'entretien majeur des scénarios optimisés selon les trois phases d'entretien majeurs qui sont prévus, il est nécessaire de moduler le montant des postes d'entretien majeur 14 à 19 selon les solutions initiales ou les solutions optimisées. Ces postes d'entretien majeur ont un coût relatif à des postes d'investissement qui, eux-mêmes, disposent d'un coût unitaire. Ce coût unitaire, projeté selon les caractéristiques ou les interventions propres à chaque scénario, permet de connaître le montant des postes d'investissements par scénarios et, en conséquent, le montant des postes d'entretien majeurs qui s'y relatent. Les postes d'entretien majeur 18 et 19 ont, respectivement, un coût relatif aux postes d'investissement 8 et 9, le premier se décomposant par le nombre de véhicules et le second ne se décomposant pas. Toutefois, les postes d'entretien majeur 14 à 17 sont relatifs aux postes d'investissement 8 *plateforme* et 16 *courants faibles et poste de contrôle centralisé*, issus de la méthodologie du CERTU⁵²⁹, qui ont été agrégés par l'étude de faisabilité au sein du poste d'investissement 2 *système de transport*, qui regroupe aussi quatre autres postes d'investissement du CERTU. De plus, le poste d'investissement 16 *courants faibles et poste de contrôle centralisé* ne discernent pas les courants faibles hors signalisation ferroviaire des courants faibles spécifiquement pour la signalisation ferroviaire, ce qui est pourtant effectué par l'étude de faisabilité pour calculer les coûts d'entretien majeur. Néanmoins, il

⁵²⁹ Confer la partie 3.2.4 de la présente recherche.

est possible d'estimer le coût unitaire de ces postes d'investissement agrégés⁵³⁰. Pour mener cette estimation, la présente recherche renomme le poste d'investissement 8 *plateforme* du CERTU par 2a *plateforme* et scinde le poste 16 *courants faibles et poste de contrôle centralisé* du CERTU en 2b *courants faibles hors signalisation ferroviaire* et en 2c *signalisation ferroviaire*. De cette manière, les postes d'entretien majeur 14, 15, 16 et 17 ont respectivement un coût relatif aux postes d'investissement 2a, 2b, 2b et 2c, qui se décomposent par kilomètre comme le poste 2 *système de transport*.

Tableau 16. La décomposition de certains coûts d'investissement du poste de dépense système de transport

Coût unitaire des interventions (million de dollars)					
Poste de dépense		Description des interventions	Frais	Décomposition	Coût unitaire
Plateforme ^A	2a	Terrassement, structure de fondation, système de drainage, ouvrages de cheminements des câbles	variable	par kilomètre	1,545
Courants faibles hors signalisation ferroviaire ^B	2b	Systèmes de contrôle et d'exploitation (SAE, SIV, billettique) hors signalisation ferroviaire	variable	par kilomètre	1,936
Signalisation ferroviaire ^C	2c	Signalisation ferroviaire et système de demande de priorité aux intersections	variable	par kilomètre	0,520
Notes	^A	Ce coût a été estimé d'après la proportion du coût de la plateforme par kilomètre au sein du poste de dépense système de transport du projet de tramway de Besançon.			
	^B	Ce coût a été estimé d'après les informations sur les coûts d'entretien majeur.			
	^C	Ce coût a été estimé après la soustraction de la valeur de tous les postes d'entretien majeur du coût total d'entretien majeur.			

Données des coûts : Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.23 ; Grand Besançon (2010), p.111.

Ainsi, le poste d'entretien majeur 15 *courants faibles (1)* est le seul à avoir une périodicité de sept ans. Son montant pour les scénarios initiaux correspond alors, comme le stipule l'étude de faisabilité, au 7,9 millions de dollars réservés aux phases d'entretien majeur à 7 ans et à 22 ans après la mise en service. Le coût unitaire du poste d'investissement 2b *courants faibles hors signalisation ferroviaire* est donc d'environ 1,9 millions. Par ailleurs, comme ce poste a une périodicité de sept ans, le même montant de 7,9 millions de dollars est aussi inclus au sein des 56,5 millions de dollars de la phase d'entretien majeur à 15 ans des scénarios initiaux. En outre, le poste d'entretien majeur 16 *courants faibles (2)* est estimé d'après le même poste d'investissement que le poste 15 *courants faibles (1)*, avec toutefois un coût relatif de 40% au lieu de 30%. De cette façon, il est possible d'estimer que le poste 16, qui fait partie des

530 Confer le tableau 16 de la présente recherche, p.191.

56,5 millions de dollars de la phase d'entretien majeur à 15 ans des scénarios initiaux, a un montant d'environ 10,5 millions de dollars. Par ailleurs, les montants pour les scénarios initiaux des postes 18 *atelier-dépôt* et 19 *matériel-roulant* sont facilement calculables, car ils ont un coût relatif à des postes d'investissement qui n'ont pas été agrégés et dont les montants pour les scénarios initiaux sont connus. Respectivement, ils représentent donc un coût d'environ 4,2 et 28,3 millions de dollars qui font partie des 56,5 millions de dollars de la phase d'entretien majeur à 15 ans des scénarios initiaux. En conséquent, afin de connaître le coût unitaire des postes d'investissement 2a *plateforme* et 2c *signalisation ferroviaire*, il ne reste plus qu'à répartir le montant des postes 14 *plateforme* et 17 *signalisation ferroviaire* au sein des 5,6 millions de dollars restant une fois les montants des postes 15, 16, 18 et 19 déduits des 56,5 millions de dollars de la phase d'entretien majeur à 15 ans des scénarios initiaux. Ce partage est impossible à réaliser d'après les informations présentes au sein de l'étude de faisabilité. Il est alors pris un référent, le projet de tramway de Besançon, qui a appliqué la méthodologie du CERTU de décomposition des coûts d'investissement. Si un poste d'investissement 2 *système de transport* est créé pour ce projet référent selon la même agrégation des postes de l'étude de faisabilité du projet de tramway de la Ville de Montréal, alors le poste d'investissement 8 *plateforme* du CERTU représente environ 10,6% du coût unitaire du poste d'investissement 2 *système de transport*. Il est donc possible d'estimer le coût unitaire du poste d'investissement 2a *plateforme* à environ 1,5 millions de dollars. De cette manière, le montant alloué par les scénarios initiaux au poste 14 d'entretien majeur, compris au sein des 56,5 millions de dollars de la phase d'entretien majeur à 15 ans, équivaut à environ 4,2 millions de dollars. Par la même, le poste 17 égale environ 1,4 millions puisqu'il est aussi compris au sein des 56,5 millions de dollars de la phase d'entretien majeur à 15 ans des scénarios initiaux. Le poste d'investissement 2c *signalisation ferroviaire* a par conséquent, et finalement, un coût unitaire estimé à environ 0,5 millions.

Puisque l'ensemble des coûts unitaires des postes d'investissement utiles au calcul des coûts d'entretien majeur sont à présent estimés, il est possible de connaître les coûts d'entretien majeur de tous les scénarios, tant initiaux qu'optimisés, selon trois phases d'entretien majeurs prévus, soit à 7, 15 et 22 ans après la mise en service⁵³¹. Ainsi,

531 Confer le tableau 17 de la présente recherche, p.196.

les scénarios initiaux requièrent une somme totale d'environ 72,3 millions de dollars sur la durée d'exploitation du système de TCSP jusqu'à sa régénération, soit à une échéance de 30 ans. Les scénarios optimisés qui disposent de la solution initiale de dimension de ligne inchangée (scénarios 03 à 08) ont un coût d'entretien majeur à 30 ans plus ou moins équivalent, allant d'environ 68 millions de dollars, soit une baisse de 6%, à 79,5 millions de dollars, soit une hausse de 10%. À l'opposée, les scénarios optimisés qui adoptent la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie (scénarios 09 à 16) ont un coût d'entretien majeur à 30 ans beaucoup plus économique, avec une somme maximale d'environ 43,1 millions de dollars, soit une baisse minimale de 40%. Les scénarios qui diminuent le plus les coûts d'entretien majeur à 30 ans, et qui sont donc les plus efficaces, sont les scénarios optimisés 11 et 12 qui affichent un prix de 35,9 millions de dollars soit une baisse de moitié par rapport aux scénarios initiaux. Les facteurs qui modulent les coûts d'entretien majeurs sont la dimension de ligne, en faveur de la solution optimisée qui est moins longue et qui n'inclue pas la section René-Lévesque, la localisation de l'atelier-dépôt, à l'avantage de la solution initiale qui se dispense d'une extension de ligne, et l'implantation des stations, au bénéfice de la solution optimisée qui, avec une distance moyenne d'interstation plus élevée, procure une plus grande vitesse commerciale et nécessite en conséquence moins de véhicules.

Grâce à la connaissance des coûts annuels d'exploitation et des coûts d'entretien majeur, il est possible d'anticiper le coût total d'exploitation de tous les scénarios⁵³². Celui-ci est porté à une échéance de 30 ans, suivant l'hypothèse de l'étude de faisabilité quant à la régénération du système de TCSP. Les résultats du coût total d'exploitation ressemblent à ceux des coûts d'entretien majeur, dans des proportions toutefois différentes, et oscillent suivant les mêmes facteurs. Ainsi, les scénarios initiaux ont besoin d'une somme totale d'environ 651 millions de dollars sur la durée d'exploitation du système de TCSP jusqu'à sa régénération. Les scénarios optimisés qui disposent de la solution initiale de dimension de ligne inchangée (scénarios 03 à 08) ont un coût total d'exploitation à 30 ans plus ou moins équivalent, allant d'environ 646 millions de dollars, soit une baisse de 0,7%, à 723 millions de dollars, soit une hausse de 11%. À l'opposée, les scénarios optimisés qui adoptent la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie (scénarios 09 à 16) ont un coût total d'exploitation à 30 ans beau-

532 Confer le tableau 17 de la présente recherche, p.196.

coup plus économique, avec une somme maximale d'environ 385 millions de dollars, soit une baisse minimale de 41%. Les scénarios qui diminuent le plus les coûts totaux d'exploitation à 30 ans, et qui sont donc les plus efficaces, sont les scénarios optimisés 11 et 12 qui affichent un prix de 312 millions de dollars soit une baisse de 52%, plus de la moitié, par rapport aux scénarios initiaux.

Enfin, les coûts totaux d'investissement et d'exploitation étant déterminés pour tous les scénarios, il est possible d'apprécier leur coût global⁵³³. Celui-ci est porté à une échéance de 30 ans, suivant l'hypothèse de l'étude de faisabilité quant à la régénération du système de TCSP. Les résultats du coût global varient suivant les mêmes facteurs que ceux du coût d'entretien majeur. Il existe néanmoins une exception, puisque la solution d'implantation des stations influe non plus seulement d'après la distance moyenne d'interstation mais aussi suivant la desserte de l'hôpital. En effet, l'établissement de la station Cedar en remplacement de la station Des Pins en surface nécessite une intervention de génie civil qui a un coût d'investissement significatif. Cependant, ce coût à l'investissement est moins important que celui d'une station Des Pins en souterrain. Ainsi, d'une part, avec une desserte de l'hôpital Général en surface, le scénario initial a besoin d'une somme globale d'environ 1,500 milliards de dollars sur la durée d'exploitation du système de TCSP jusqu'à sa régénération. Les scénarios optimisés qui disposent de la même desserte de l'hôpital Général et de la solution initiale de dimension de ligne inchangée (scénarios 03, 05 et 07) ont un coût global à 30 ans plus ou moins équivalent, allant d'environ 1,513 à 1,559 milliards de dollars, soit une hausse de 1% à 4%. À l'opposée, les scénarios optimisés qui adoptent la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie (scénarios 09, 11, 13 et 15) ont un coût global à 30 ans beaucoup plus économique, avec une somme maximale d'environ 937 millions de dollars, soit une baisse minimale de 37%. D'autre part, avec une desserte souterraine de l'hôpital Général, le scénario initial requiert une somme globale d'environ 1,602 milliards de dollars sur la durée d'exploitation du système de TCSP jusqu'à sa régénération. Les scénarios optimisés qui disposent de la même desserte de l'hôpital et de la solution initiale de dimension de ligne inchangée (scénarios 04, 06 et 08) ont un coût global à 30 ans plus ou moins similaire, allant d'environ 1,573, soit une baisse de 2%, à 1,658 milliards de dollars, soit une hausse de 4%. À l'opposée, les scénarios optimi-

533 Confer le tableau 17 de la présente recherche, p.196.

sés qui adoptent la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie (scénarios 10, 12, 14 et 16) ont un coût global à 30 ans beaucoup plus économique, avec une somme maximale d'environ 1,005 milliards de dollars, soit une baisse minimale de 37%.

En conclusion, il est possible d'affirmer que les scénarios qui diminuent le plus les coûts globaux à 30 ans et qui sont donc les plus efficaces sur les coûts d'investissement et d'exploitation à long terme sont les scénarios optimisés 09, avec une desserte de l'hôpital Général en surface, et 12 avec une desserte de l'hôpital Général en souterrain. Ils affichent respectivement un prix de 852 et 946 millions de dollars, soit une baisse de 43% et 41%. Il est alors possible de remarquer que les scénarios optimisés 09 et 12, les plus efficaces à l'investissement et à l'exploitation sur le long terme, ont un coût global inférieur au coût d'investissement de leur scénario initial de référence. Il reviendrait alors moins cher d'investir et d'exploiter à 30 ans ces scénarios optimisés que de seulement construire leur homologue initial. En définitive, la présente recherche a permis de développer des scénarios optimisés de TCSP diminuant les enjeux financiers du projet en présentant des coûts d'investissement et d'exploitation à long terme plus avantageux que les scénarios initiaux. Nonobstant cette réussite, les résultats d'efficience présentent plusieurs limites. Certains scénarios optimisés sont ainsi plus coûteux globalement que leur scénario initial de référence. Aussi, la présente recherche s'est employée à démontrer des solutions optimisées à partir d'éléments ou d'interventions qui pouvaient être conçus de manière alternative aux solutions initiales. Cependant, certains d'entre eux ne peuvent pas l'être et représentent, à ce titre, des frais fixes à hauteur de 181 millions de dollars. Ceci explique que, si la solution optimisée de dimension de ligne raccourcie est 52% plus courte que la solution initiale, les scénarios optimisés qui la contiennent ne sont que jusqu'à 43% plus abordables. Par ailleurs, les estimations des coûts à l'investissement et à l'exploitation peuvent être considérées comme datées, puisqu'elles sont valables pour les conditions économiques de 2009, ou déjà obsolètes, puisque l'étude sur le financement de la première ligne présentait un autre montant d'investissement, plus conséquent, en 2012⁵³⁴. Enfin, il est important de rappeler que ces estimations sont, par nature, imprécises mais elles ont la qualité de figurer un certain ordre de grandeur quant à l'efficience des scénarios initiaux et optimisés étudiés par le présente recherche.

534 CCMM (2012), p. ; Consortium Genivar-Systra (2011), Vol.B1, p.12 et p.19.

Tableau 17. Les coûts d'entretien majeur et les coûts globaux par scénario

Scénarios initiaux		Scénarios optimisés																
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	
DL	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Inchangée	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	Raccourcie	
AD	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Hippodrome	Hippodrome	Hippodrome	Hippodrome	Hippodrome	Victoria	Victoria	Victoria	Victoria	Hippodrome	Hippodrome	Hippodrome	Hippodrome	
IS	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	700-800m	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	400-500m	400-500m	700-800m	700-800m	
	Surface DP	Tunnel DP	Surface CD	Tunnel DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface CD	Tunnel DP	Surface DP	Surface DP	Surface DP	Surface DP	Surface DP	Tunnel DP	Surface DP	Surface CD	Tunnel DP	
PD	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	
2a	13,621,011	13,621,011	13,621,011	13,621,011	15,123,329	15,123,329	15,123,329	15,123,329	15,123,329	6,710,351	6,710,351	6,710,351	6,710,351	8,212,669	8,212,669	8,212,669	8,212,669	
2b	13,626,333	13,626,333	13,626,333	13,626,333	15,129,238	15,129,238	15,129,238	15,129,238	15,129,238	6,712,973	6,712,973	6,712,973	6,712,973	8,215,877	8,215,877	8,215,877	8,215,877	
2c	13,67,072	13,67,072	13,67,072	13,67,072	15,17,852	15,17,852	15,17,852	15,17,852	15,17,852	6,73,484	6,73,484	6,73,484	6,73,484	8,24,264	8,24,264	8,24,264	8,24,264	
8	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	84,000	
26	113,000	22,95,615	22,95,615	22,95,615	29,126,038	29,126,038	23,99,962	23,99,962	23,99,962	14,60,846	14,60,846	13,56,500	13,56,500	16,69,538	16,69,538	15,65,192	15,65,192	
PD	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	Coût par poste	
14	4,202	4,202	4,202	4,202	4,202	4,202	4,202	4,202	4,202	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
15	7,900	7,900	7,900	7,900	8,771	8,771	8,771	8,771	8,771	3,892	3,892	3,892	3,892	4,763	4,763	4,763	4,763	
16	10,533	10,533	10,533	10,533	11,695	11,695	11,695	11,695	11,695	5,189	5,189	5,189	5,189	6,351	6,351	6,351	6,351	
17	1,414	1,414	1,414	1,414	1,570	1,570	1,570	1,570	1,570	0,697	0,697	0,697	0,697	0,853	0,853	0,853	0,853	
18	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	4,200	
28,250	28,250	23,904	23,904	23,904	31,510	24,990	24,990	24,990	24,990	15,212	15,212	14,125	14,125	17,385	17,385	16,298	16,298	
Coût total	7,900	7,900	7,900	7,900	8,771	8,771	8,771	8,771	8,771	3,892	3,892	3,892	3,892	4,763	4,763	4,763	4,763	
56,500	56,500	52,154	52,154	52,154	61,949	55,429	55,429	55,429	55,429	29,189	29,189	28,103	28,103	33,552	33,552	32,465	32,465	
7,900	7,900	7,900	7,900	7,900	8,771	8,771	8,771	8,771	8,771	3,892	3,892	3,892	3,892	4,763	4,763	4,763	4,763	
CM	72,300	72,300	67,954	67,954	79,491	79,491	72,972	72,972	72,972	36,973	36,973	35,887	35,887	43,078	43,078	41,992	41,992	
CA	19,276	19,276	19,276	19,276	21,466	21,466	21,466	21,466	21,466	9,200	9,200	9,200	9,200	11,390	11,390	11,390	11,390	
DE	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	30 ans	
CD	578,280	578,280	578,280	578,280	643,994	643,994	643,994	643,994	643,994	275,997	275,997	275,997	275,997	341,711	341,711	341,711	341,711	
CE	650,580	650,580	646,234	646,234	723,485	716,966	716,966	716,966	716,966	312,971	312,971	311,884	311,884	384,789	384,789	383,702	383,702	
CI	849,000	951,000	867,115	927,115	833,039	935,039	842,462	902,462	538,943	640,943	574,597	634,597	518,636	620,636	554,290	614,290	614,290	
CG	1499,580	1601,580	1513,349	1573,349	1556,524	1659,524	1559,428	1619,428	851,914	953,914	886,481	946,481	903,425	1005,425	957,992	997,992	997,992	
Légende	Coût initial ou augmenté		Coût diminué		Coût plus efficient		Coût le plus diminué		Coût le plus diminué		Coût le plus efficient		Coût le plus diminué		Coût le plus efficient		Coût le plus diminué	
Abréviations	Numéro de scénario (Sc), dimension de ligne (DL), localisation d'atelier-dépôt (AD), implantation des stations (IS) dont station Des Pins (DP) et station Cedar (CD), poste de dépenses (PD), quantité unitaire (QU), coût d'entretien majeur à 7 ans, 15 ans ou 22 ans après la mise en service (respectivement C7, c15 et c22), coût total d'entretien majeur (CM), coût annuel d'exploitation (CA), durée d'exploitation avant régénération (DE), coût annuel d'exploitation sur la durée d'exploitation avant régénération (CE), coût total d'exploitation (CG), coût total d'investissement (CI) et coût total global (CG).																	

Données des coûts : Genivar-Systra (2011), Vol.B1, pp.12-13, p.19 et p.23.

3.5.3 La réponse à la question de recherche et la critique de la méthode d'optimisation de projet de TCSP

Au début de la présente recherche, la question suivante a été posée⁵³⁵ :

- Existe-t-il un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal tel que défini dans les études de préfaisabilité et de faisabilité ?

Grâce aux résultats de la comparaison de l'efficacité et de l'efficience des scénarios initiaux et optimisés issus du processus d'optimisation du projet de tramway de la Ville de Montréal encadré par la méthode d'optimisation de TCSP développée par la présente recherche, il est possible de répondre à la question de la manière suivante⁵³⁶ :

- Il existe un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal tel que défini dans les études de préfaisabilité et de faisabilité.
 - Tous les scénarios optimisés (scénarios 03 à 16) sont, d'après les contraintes techniques et urbaines fixées par la méthode d'optimisation de projet de TCSP, au moins autant efficaces que les scénarios initiaux (scénarios 01 et 02)⁵³⁷.
 - Selon leurs coûts d'investissement et d'exploitation estimés à une échéance de 30 ans, les scénarios optimisés 09, 11, 13 et 15 sont plus efficaces que leur scénario initial 01 de référence, tout comme les scénarios optimisés 04, 10, 12, 14 et 16 sont plus efficaces que leur scénario initial 02 de référence⁵³⁸.

535 Confer la partie 2.3.3 de la présente recherche.

536 Confer le tableau 18 de la présente recherche, p.199.

537 Confer la partie 4.5.1 de la présente recherche.

538 Confer la partie 4.5.2 de la présente recherche.

- Ainsi, les scénarios optimisés 04 et 09 à 16 peuvent être considérés comme des projets de TCSP au moins autant efficaces mais plus efficients. Le scénario optimisé 09 peut être vu comme le projet de TCSP au moins autant efficace le plus efficient.
- De plus, il existe un projet de TCSP non seulement au moins autant efficace et plus efficient, mais aussi plus efficace et plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal tel que défini dans les études de préfaisabilité et de faisabilité.
- Les scénarios optimisés 03, 04, 07, 08, 11, 12, 15 et 16, respectant toutes les contraintes techniques et urbaines fixées par la méthode d'optimisation de projet de TCSP, sont les plus efficaces⁵³⁹.
- Selon leurs coûts d'investissement et d'exploitation estimés à une échéance de 30 ans, les scénarios optimisés 09, 11, 13 et 15 sont plus efficients que leur scénario initial 01 de référence, tout comme les scénarios optimisés 04, 10, 12, 14 et 16 sont plus efficients que leur scénario initial 02 de référence⁵⁴⁰.
- Ainsi, les scénarios optimisés 11, 12, 15 et 16 peuvent être considérés comme des projets de TCSP plus efficaces et plus efficients. Le scénario optimisé 11 peut être vu comme le projet de TCSP le plus efficace et le plus efficient⁵⁴¹.

539 Confer la partie 4.5.1 de la présente recherche.

540 Confer la partie 4.5.2 de la présente recherche.

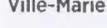
541 Confer la carte 7 de la présente recherche, p.200.

Tableau 18. L'arborescence des scénarios à l'étape de la comparaison de l'efficacité et de l'efficience

Processus d'optimisation du projet de tramway de la Ville de Montréal																
Étape du choix et dimensionnement de TCSP																
Solution de choix de mode																
Tramway 30-35 m en site propre								Autobus articulé en site banal								
Scénarios 01 à 16								Scénario non-étudié								
Solution de dimension de ligne																
Inchangée								Raccourcie								
Jean-Talon à Peel via Vieux-Montréal : 13,2 km								Côtes-des-Neiges à Guy : 5,4 km								
Scénarios 01 à 08								Scénarios 09 à 16								
Étape de l'adaptation entre le TCSP et les particularités biophysiques et anthropiques du tracé																
Solution de localisation de l'atelier-dépôt																
Site Victoria				Site Hippodrome				Site Victoria				Site Hippodrome				
Jean-Talon à Peel via Vieux-Montréal : 13,2 km (0%)				Clanranald à Peel via Vieux-Montréal : 14,7 km (+11%)				Jean-Talon à Guy : 6,3 km (-52%)				Clanranald à Guy : 7,8 km (-41%)				
Scénarios 01 à 04				Scénarios 05 à 08				Scénarios 09 à 12				Scénarios 13 à 16				
Étape de la conception des stations, des véhicules, des lieux d'exploitation et de leurs équipements																
Solution d'implantation des stations																
Interstation 400-500m		Interstation 700-800m		Interstation 400-500m		Interstation 700-800m		Interstation 400-500m		Interstation 700-800m		Interstation 400-500m		Interstation 700-800m		
Surface Des Pins	Tunnel Des Pins	Surface Cedar	Tunnel Des Pins	Surface Des Pins	Tunnel Des Pins	Surface Cedar	Tunnel Des Pins	Surface Des Pins	Tunnel Des Pins	Surface Cedar	Tunnel Des Pins	Surface Des Pins	Tunnel Des Pins	Surface Cedar	Tunnel Des Pins	
Variances entre Côte-des-Neiges, McDougall et Docteur-Penfield : longueurs négligeables																
Sc 01	Sc 02	Sc 03	Sc 04	Sc 05	Sc 06	Sc 07	Sc 08	Sc 09	Sc 10	Sc 11	Sc 12	Sc 13	Sc 14	Sc 15	Sc 16	
Étape de la conception du site propre et du franchissement des Intersections																
Aucune solution optimisée alternative à une solution initiale																
Sc 01	Sc 02	Sc 03	Sc 04	Sc 05	Sc 06	Sc 07	Sc 08	Sc 09	Sc 10	Sc 11	Sc 12	Sc 13	Sc 14	Sc 15	Sc 16	
Étape de la comparaison de l'efficacité et de l'efficience																
Scénario au moins autant efficace que les scénarios initiaux																
Références	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	
Scénario parmi les plus efficaces de tous les scénarios																
Références	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	
Légende	Solution initiale		Solution optimisée			Scénario initial ou moins efficace		Scénario plus efficace		Scénario le plus efficace selon l'efficacité						



Carte 7. Le scénario optimisé 11 le plus efficace et le plus efficient développé par le processus d'optimisation

-  Ligne de tramway, station avec autour deux cercles d'un rayon de 250 et 800 mètres, tunnel
-  rue Guy | Délimitation de l'axe viaire emprunté par la ligne de tramway
-  rue Van Horne Axe de communication
-  Mont-Royal Topographie ou hydrographie
-  Ville-Marie Arrondissement de la ville de Montréal ou ville défusionnée

Fond de carte :
Google Earth.



Image 6. La ligne optimisée de tramway sur le chemin de la Côte-des-Neiges au sud du Mont-Royal



Image 7. La ligne optimisée de tramway sur le chemin de la Côte-des-Neiges au nord du Mont-Royal

Face aux critiques des résultats, il convient malgré tout d'émettre deux conditions quant à la validité de la réponse à la question de recherche, qui sont les suivantes :

- L'actualisation des données d'estimation de la demande en déplacement et des coûts d'investissement et d'exploitation à long terme.
- Selon cette actualisation, la vérification de l'efficacité et de l'efficience des solutions et des scénarios optimisés.

Ainsi, la méthode d'optimisation de projet de TCSP développée dans la présente recherche a permis de concevoir un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal. En effet, le processus d'optimisation a permis de proposer des solutions optimisées alternatives aux solutions initiales de dimension de ligne, de localisation d'atelier-dépôt et d'implantations des stations qui permettent à des scénarios optimisés d'être à la fois autant voire plus efficaces et à la fois plus efficients que les scénarios initiaux amorcés par l'étude de préfaisabilité et présentés dans l'étude de faisabilité. Nonobstant ce succès, il doit être admis plusieurs limites quant à la méthode d'optimisation. En effet, elle a pu conduire à penser des scénarios optimisés qui peuvent être moins efficients que leur scénario initial de référence. Or, les buts visés par la méthode d'optimisation de projet de TCSP est autant de respecter les contraintes techniques et urbaines que de diminuer les enjeux financiers. La méthode peut donc échouer. Les solutions optimisées ont effectivement mis l'emphase sur le respect d'au moins autant de contraintes urbaines et techniques en visant la réduction des coûts d'investissement, proposant ainsi des scénarios optimisés dont les coûts d'investissement ont certes baissés, mais dont les coûts d'exploitation ont augmentés. Sur le long terme, les coûts globaux peut alors être en défaveur des solutions et scénarios optimisés. Néanmoins, la conservation des solution initiales de manière alternative aux solutions optimisées permet, à toutes les étapes, de garder la solution au moins autant efficace mais la plus efficiente. L'arborescence des solutions et scénarios est donc crucial à cette méthode d'optimisation, en plus d'être utiles aux méthodes d'évaluation et d'aide à la décision qui la succèdent.

Par ailleurs, l'approche systémique de la méthode d'optimisation de TCSP a autorisé la résolution de certaines étapes en prenant en compte le respect des contraintes techniques et urbaines de toutes les étapes. La méthode, en l'état, est toutefois dépendante des données d'estimation pour l'élaboration des solutions et des scénarios optimisés. Si elle ne peut les estimer elle-même, la recherche est alors dépendante des données et des informations divulguées dans les études de préfaisabilité et de faisabilité. Ces documents font alors l'objet de critiques et d'appuis, ce qui peut porter à confusion. Cependant, la méthode s'appuie également sur des sources externes pour corroborer les solutions, dont des manuels de conception de TCSP. En outre, la méthode utilise ses propres méthodologies de calculs, comme celui de la vitesse commerciale et du nombre de véhicules. Les résultats des solutions et scénarios initiaux à ces calculs selon la méthodologie de la méthode peuvent donc différer des résultats des études de préfaisabilité et de faisabilité, dont la méthodologie peut être inconnue. À l'instar de ce qui a été fait dans cette recherche, la méthode d'optimisation de TCSP devrait veiller à la convergence des méthodologies de calcul d'estimations avec celles des études disponibles. À défaut, et afin de s'assurer de la validité des résultats du processus d'optimisation, la méthode devrait s'assurer que les valeurs des solutions et scénarios initiaux issues de ses méthodologies de calcul correspondent ou peuvent être considérées comme conservatrices face aux valeurs issues des études de préfaisabilité ou de faisabilité. Enfin, les résultats ont démontré que la réduction de l'ampleur du projet, par exemple par une dimension de ligne raccourcie, peut ne pas être proportionnelle à la diminution des enjeux financiers à long terme. Malgré tout, afin de limiter les dépenses d'investissement et de contenir les coûts annuels d'exploitation d'un TCSP sans pour autant réduire son attractivité et sa disponibilité, un facteur essentiel réside dans le fait de bien choisir le mode de transport et de dimensionner son offre en déplacement en fonction du volume de la demande à satisfaire⁵⁴². Cela correspond en tout point à ce que cette recherche s'est employée à faire à l'étape du choix et dimensionnement de TCSP.

542 CERTU (2004), p.111 ; TCRP (2013), Chap.4, pp.37-41.

CONCLUSION

Aux prémices de la recherche, il a été constaté que la région de Montréal disposait d'un seul mode de TCSP, le métro. Au regard de leur achalandage, ces quatre lignes souterraines de TCSP sont très attractives pour les individus. Plusieurs autres lignes de TCSP ont été planifiées dans la région de Montréal, mais ces projets n'ont jamais été matérialisés ou tardent à voir le jour. La recherche s'est alors portée sur ce qui pouvait avantager ou empêcher le développement de TCSP dans la région de Montréal. Nous avons vu que les transports en commun, aux premiers desquels les modes en site propre, étaient plus avantageux, aussi bien économiquement qu'environnementalement et tant pour les individus que pour la société québécoise, que l'utilisation de l'automobile. Ceci est la raison pour laquelle la planification urbaine de la région se structure autour du réseau actuel et projeté de TCSP et de train de banlieue. Cependant, ces modes arrivent à saturation sur certaines portions. Or, la complexité du système de gouvernance, l'empilement des projets de transport en commun et le manque de financement dédié ralentit ou annihile leur réalisation. Le tramway de la Ville de Montréal en est un exemple, dans le sens où il a été abandonné, car considéré comme moins important que d'autres projets, alors qu'il fut présenté comme une priorité. Pourtant, les TCSP représentent une offre attractive pour les individus puisqu'elle est disponible, soit fréquente et de grande amplitude-horaire, et régulière, soit dénuée de risques majeurs de retard. Bien qu'ils soient relativement onéreux à la construction et à l'exploitation sur le long terme, des exemples externes au Québec ont permis de penser qu'il était possible d'optimiser ces systèmes, c'est-à-dire de les rendre plus efficient sans altérer leur efficacité. La recherche s'est alors demandée s'il existait un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet de tramway de la Ville de Montréal.

Une fois les études de préfaisabilité et de faisabilité réalisées, la gestion de projet analyse l'intérêt de réaliser le projet grâce à des méthodes d'évaluation et d'aide à la décision. Néanmoins, la méthode classique d'optimisation n'est pas pertinente à l'égard de projets complexes et contextualisés comme les TCSP, mais les autres méthodes d'évaluations ne permettent pas de corriger le projet selon les critiques qu'elles émettent.

Ainsi, une méthode d'optimisation de projet de TCSP est proposée, rétroactive et préalable à une méthode d'évaluation prenant en compte la complexité et le contexte, pour développer des scénarios selon un optimum issu de critiques, en l'occurrence les coûts du projet. Cette méthode permet de tendre vers la diminution des enjeux financiers du projet de TCSP tout en respectant certaines contraintes techniques et urbaines. Elle prend en effet en compte l'efficacité de ces modes, signifiant leur attractivité aux déplacements et leur faisabilité à la construction et à l'opération, mais aussi l'efficacité du projet, soit ses coûts d'investissement et d'exploitation sur le long terme. Elle considère aussi plusieurs éléments faisant partie de l'environnement urbain du tracé, c'est-à-dire le contexte du projet, comme la mobilité, qui représente la demande en déplacement, la rugosité, qui figure le territoire et le tissu urbain, l'accessibilité, qui constitue le fait de mettre en relation les activités et les individus, quelque soit leur motricité, et la productivité, qui matérialise l'exploitation ultérieure du projet. Chacun de ces concepts disposent de critères qui, appliqués sous forme d'étapes à un processus d'optimisation du projet de TCSP initial, ont permis au fur et à mesure de concevoir des solutions optimisées alternatives aux initiales. Ces solutions modifient les caractéristiques du TCSP ou de son environnement urbain, notamment par le biais de certaines interventions spécifiques. Au fil des étapes d'optimisation sont ainsi développés des scénarios optimisés, qui reprennent alternativement les solutions initiales et optimisées alors que les scénarios initiaux ne disposent que des solutions initiales.

Principalement, les résultats ont démontré que la dimension de la ligne du projet de tramway peut être raccourcie à la seule section Côte-des-Neiges et Guy. En effet, la demande en déplacement nécessite ce mode ferroviaire sur cette section mais ne le justifie pas sur tous les autres sections prévues par les études de préfaisabilité et de faisabilité. De plus, l'atelier-dépôt peut être localisé sur le site Hippodrome, en lieu et place du site Victoria, afin de mieux desservir des zones en réurbanisation tout en sauvegardant de l'argent sur des expropriations foncières et des démolitions de bâtiments. Toutefois, cette solution optimisée est plus cher à long terme car elle fait grimper les coûts d'exploitation. Par ailleurs, l'implantation des stations peut être modifiée afin d'augmenter la distance entre les stations, de manière à améliorer la productivité du système sans pour autant nuire aux contraintes d'accessibilité du territoire et des personnes à motricité réduite. Par la même, la desserte de l'hôpital Général peut être

faite par une station Cedar en surface, plus économique qu'une station Des Pins en souterrain et accessible aux personnes à motricité réduite au contraire d'une station Des Pins en surface. Ces solutions optimisées restent toutefois hypothétiques, dans le sens où elles ont été développées à un niveau de préfaisabilité. Ceci est d'ailleurs la principale raison pour laquelle les scénarios optimisés adoptent alternativement les solutions initiales et optimisées, eu égard à l'infirmité de la faisabilité de ces modifications. Néanmoins, l'ensemble des scénarios a été comparé et il ressort que le processus d'optimisation a permis de concevoir des scénarios optimisés mieux capables de respecter les contraintes d'efficacité et d'atteindre les enjeux d'efficience que les scénarios initiaux. De plus, bien que les estimations de prix sont à considérer avec du recul, plusieurs scénarios optimisés seraient moins onéreux sur le long terme puisqu'ils proposent des coûts d'investissement et d'exploitation sur 30 ans jusqu'à 43% plus faibles que leur scénario initial de référence. Ainsi, la présente recherche peut proposer un projet de TCSP au moins autant efficace mais plus efficient pouvant se substituer au projet abandonné de tramway de la Ville de Montréal. Elle peut aussi suggérer un projet de TCSP à la fois plus efficace et plus efficient. Enfin, si la méthode d'optimisation de projet de TCSP a été capable de penser à un hypothétique projet de tramway optimisé, elle reste dépendante des données qui lui sont à disposition. En conséquent, il serait nécessaire dans un processus d'optimisation de produire des données d'estimation, principalement concernant l'achalandage, la faisabilité des modifications et les coûts.

Dans la région de Montréal, nombreux sont les intervenants à avoir étudié les possibilités de réorganisation des structures de gestion ou des méthodes de financement dans le but de faciliter la réalisation des grands projets de transport collectif comme les TCSP. Toutefois, peu d'entre eux s'étaient penchés à optimiser ces projets afin qu'ils soient plus efficaces mais tout autant efficaces. La présente recherche a donc essayé de combler ce manque. Cependant, la problématique organisationnelle et financière reste entière, bien qu'il soit remarqué plusieurs avancées récentes à ce sujet. En effet, le Québec vient d'adopter une loi afin de réduire le nombre d'acteurs du transport en commun dans la région, avec pour toile de fond l'espoir de prioriser et concrétiser

ser un plus grand nombre de projets⁵⁴³. Par le même moyen législatif, la province a confié à la Caisse de dépôt et placement du Québec les outils nécessaires pour financer et matérialiser un système léger sur rail entre la Rive-Sud, Montréal et la Rive-Nord via l'aéroport international. Ces solutions restent présentement hypothétiques, mais elles vont dans la direction d'éliminer les freins à la réalisation des projets de TCSP. Elles vont permettre d'accompagner l'articulation et la concentration d'un développement urbain mixte autour du réseau de TCSP, présentement à la limite de la saturation sur certaines sections, telles que le souhaitent les instances de la région de Montréal d'après leurs documents de planification. Il était par conséquent nécessaire que ces instances puissent s'organiser efficacement et investir, ou jouir d'investissements, dans des modes de TCSP afin que les citoyens puissent être séduits par cette symbiose urbanistique. Et, si les coûts des TCSP augmentent au fur et à mesure de leur planification, elles auront la possibilité de penser à l'optimisation de leur projet.

543 Le Courrier Parlementaire (2016, 19 mai), *P.L.76 : adopté, Nouvelle organisation du transport dans la métropole*. Publications Mass-Media Inc (Québec), Actualités parlementaires. Récupéré de < <http://www.courrier-parlementaire.com/article/actualites-parlementaires/nouvelle-organisation-du-transport-dans-la-metropole> > le 19 mai 2016.

BIBLIOGRAPHIE

- Agglomération de Montréal (2015), *Schéma d'aménagement et de développement de l'agglomération de Montréal*. Récupéré le 29 janvier 2015 de http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=9517,133997570&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Amar, G. (2004), *Homo mobilis, le nouvel âge de la mobilité*. Limoges, France : FYP Éditions.
- Amar, G. (2010), *Mobilités urbaines, Éloge de la diversité et devoir d'invention*. La Tour d'Aigues, France : Éditions de l'Aube.
- AMT, Agence Métropolitaine de Transport (2007), *Études d'avant-projet d'un système léger sur rail (SLR), L'axe de l'autoroute 10 / Centre-ville de Montréal, Rapport synthèse*. Récupéré le 11 avril 2010 de <http://ocpm.qc.ca/sites/dev2015-v2.ocpm.qc.ca/files/pdf/P42/7e.pdf>.
- AMT, Agence Métropolitaine de Transport (2011), *Vision 2020, Transports collectifs d'avenir pour la région métropolitaine de Montréal*. Récupéré le 15 décembre 2011 de http://www.amt.qc.ca/uploadedFiles/AMT/Site_Corpo/Salle_de_presse/Plan_strategique_Liste/AMT_planstrategique_long.pdf.
- AMT, Agence Métropolitaine de Transport (2014a), *Rapport annuel 2014*. Récupéré le 25 septembre 2015 de <https://www.amt.qc.ca/Media/Default/pdf/section8/publications/amt-rapport-annuel-2014.pdf>.
- AMT, Agence Métropolitaine de Transport (2014b), *Programme triennal d'immobilisations 2014-2015-2016*. Récupéré le 18 février 2015 de <https://www.amt.qc.ca/Media/Default/pdf/section8/amt-pti-2014-2015-2016.pdf>.
- AMT, Agence Métropolitaine de Transport (2015), *Enquête Origine-Destination 2013, La mobilité des personnes dans la région de Montréal, Faits saillants*. Récupéré le 23 janvier 2015 de <https://www.amt.qc.ca/Media/Default/pdf/section8/enquete-od-2013-faits-saillants.pdf>.
- Bavoux, J.-J., Beaucire, F., Chapelon, L. et Zembri, P. (2005), *Géographie des transports*. Paris, France : Armand Collin.
- Brent, R. J. (2006), *Applied Cost-Benefit Analysis, Second Edition*. Northampton, Massachusetts : Edward Elgar Publishing Inc.
- Bonnel, P. (dir.) (2003), *Évolution de l'usage des transports collectifs et politiques de déplacements urbains*. Paris, France : La Documentation française.

- Bu, L., Fontanès, M. et Razemon, O. (2010), *Les transports, la planète et le citoyen*. Paris, France : Éditions Rue de l'échiquier.
- CCMM, Chambre de Commerce du Montréal Métropolitain (2010a), *Le transport en commun, au coeur du développement économique de Montréal*. Récupéré le 28 novembre 2010 de http://www.ccmm.qc.ca/~media/Files/News/2010/10_11_26_ccmm_etude-transport_fr.pdf.
- CCMM, Chambre de Commerce du Montréal Métropolitain (2010b), *Une métropole à la hauteur de nos aspirations*. Récupéré le 22 avril 2014 de http://www.ccmm.qc.ca/~media/Files/News/2010/10_03_31_rapport-gouvernance-fiscalite.pdf.
- CCMM, Chambre de Commerce du Montréal Métropolitain (2012), *Rapport au maire de Montréal : Groupe de réflexion sur le financement du tramway*. Récupéré le 30 octobre 2012 de http://www.ccmm.qc.ca/images/courriel/2012_2013/autres/rapporttramway_final_hr.pdf
- CERTU, Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (2002), *Évaluation des transports en commun en site propre, Recommandations pour l'évaluation socio-économique des projets de TCSP*. Lyon, France : l'auteur.
- CERTU, Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (2004), *Les modes de transports collectifs urbains, Éléments de choix par une approche globale des systèmes*. Lyon, France : l'auteur.
- CERTU, Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (2009a), *Planification urbaine et tramway en France*. Lyon, France : l'auteur.
- CERTU, Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (2009b), *Tramway et Bus à Haut Niveau de Service (BHNS) en France : domaines de pertinence en zone urbaine*. Lyon, France : l'auteur.
- CERTU, Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (2011a), *BRT nord-américain / BHNS français*. Lyon, France : l'auteur.
- CERTU, Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (2011b), *Les coûts des transports collectifs urbains en site propre, chiffres clefs, principaux paramètres*. Lyon, France : l'auteur.

- CERTU, Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (2012), *Des propositions innovantes pour l'optimisation des réseaux de tramway*. Lyon, France : l'auteur.
- Charron, D. (1991), *Une introduction à la communication*. Québec, Québec : Presses de l'Université du Québec, Télé-université.
- Clairoux, B. (2001), *Le métro de Montréal, 35 ans déjà*. Montréal, Québec : Éditions Hurtubise.
- CMM, Communauté Métropolitaine de Montréal (2010), *Cahiers métropolitains (1), Portrait du Grand Montréal Édition 2010*. Récupéré le 8 février 2011 de http://cmm.qc.ca/fileadmin/user_upload/periode/cahiersMetropolitains_no01.pdf.
- CMM, Communauté Métropolitaine de Montréal (2011), *Portrait des projets de transport en commun sur le territoire de la Communauté Métropolitaine de Montréal*. Récupéré le 19 avril 2014 de http://projet.pmad.ca/fileadmin/user_upload/pmad2011/documentation/20110301_portrait_transportCommun.pdf.
- CMM, Communauté Métropolitaine de Montréal (2012), *Un Grand Montréal attractif, compétitif et durable, Plan métropolitain d'aménagement et de développement*. Récupéré le 25 septembre 2012 de http://pmad.ca/fileadmin/user_upload/pmad2012/documentation/20120530_PMAD.pdf.
- Consortium Genivar-Systra (2009), *Tramway de Montréal, Phase 1 : Analyse du réseau initial de tramways*. Récupéré le 12 février 2010 de http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8957,99681587&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Consortium Genivar-Systra (2011), *Tramway de Montréal, Phase 2 : Étude de faisabilité de la première ligne*. Récupéré le 28 avril 2013 de <http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/url/ITEM/E3D5DCBBA8CC40AEE0430A93013240AE>.
- Corriveau, G. (dir.) (2012), *Guide pratique pour étudier la faisabilité des projets*. Québec, Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Delorme, P. (dir.) (2012), *L'électrification des transports au Québec, Du mythe à la réalité... À quelle vitesse ?*. Québec, Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Duany, A., Speck, J., Lydon, M. (2010), *The Smart Growth Manual*. États-Unis d'Amérique : The McGraw-Hill Companies.
- Ferland, A.-M. (2008), *Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport, Partie 1 : Précis méthodologique*. Montréal, Québec : Ministère des Transports du Québec.

- Forrester, J.-W. (1984), *Principes des Systèmes*. Traduit par Sylvestre-Baron, P. Lyon, France : Presses Universitaires de Lyon.
- Gill, P. E., Murray, W. et Wright, M. H. (1981), *Practical optimization*. Londres, Royaume-Uni : Academic Press Inc. (London) Ltd.
- Gouvernement du Québec (2008), *Programme d'aide au transport collectif, Politique québécoise du transport collectif*. Récupéré le 5 juin 2015 de <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0981819.pdf>.
- Gouvernement du Québec (2013a), *Priorité emploi, Investir dans l'électrification c'est investir dans le Québec, Stratégie d'électrification des transports 2013-2017*. Récupéré le 5 juin 2015 de http://www.ledevoir.com/documents/pdf/strategie_electrification.pdf.
- Gouvernement du Québec (2013b), *Plan québécois des infrastructures 2013-2023*. Récupéré le 5 juin 2015 de http://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/infrastructures_publiques/pqi.pdf.
- Grand Besançon (2010), *Tramway de l'Agglomération bisontine, Dossier d'enquête publique préalable à la Déclaration d'Utilité Publique du projet de Tramway du Grand Besançon et à la mise en compatibilité des PLU de Besançon et Chalezeule, Tome 1*. Récupéré le 31 mai 2013 de http://www.besancon.fr/video/cagb2013/tram/dup/tramway_dup_tome1.pdf.
- Griffin, K. W. (2004), *Building type basics for transit facilities*. Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons Inc.
- Hanna, D. B. (1993), *Transport des personnes et développement du territoire de l'agglomération montréalaise : un essai d'interprétation historique*. Préparé pour le Service de la planification du territoire, Communauté Urbaine de Montréal.
- Jeong-Hwa An (2011), *Le choix d'un système de transport durable : analyse comparative des systèmes de transport guidé de surface*. Paris, France : Université Paris-Est. Récupéré le 15 mars 2016 de http://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/834819/filename/TH2011PEST1133_complete.pdf.
- Laisney, F. (2011), *Atlas du tramway dans les villes françaises*. Paris, France : Éditions Recherches.
- Lebreton, J. et Beaucire, F. (2000), *Transports publics et gouvernance urbaine*. Toulouse, France : Éditions MILAN.

Loi assurant l'exercice des droits des personnes handicapées en vue de leur intégration scolaire, professionnelle et sociale (2004). LRQ c E-20.1, article 67. Récupéré le 28 février 2015 de http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/E_20_1/E20_1.html.

Loi modifiant l'organisation et la gouvernance du transport collectif dans la région métropolitaine de Montréal (2015). Projet de loi n°76 (Assemblée nationale du Québec, 41^{ème} législature, 1^{ère} session). Récupéré le 15 octobre 2015 de http://www.assnat.qc.ca/Media/Process.aspx?MediaId=ANQ.Vigie.Bll.DocumentGenerique_109255&process=Default&token=ZyMoxNwUn8ikQ+TRKYwPCjWrKwg+vIv9rjj7p3xLGTZDmLVSmJLoqe/vG7/YWzz.

Loi sur l'Agence métropolitaine de transport (1995). LRQ c A7.02. Récupéré le 15 octobre 2015 de http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/A_7_02/A7_02.htm.

Loi visant à permettre la réalisation d'infrastructures par la Caisse de dépôt et placement du Québec (2015). LRQ c 17. Récupéré le 15 octobre 2015 de <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=5&file=2015C17F.PDF>.

Louvet, N., Kaufmann, V., Themans, M., Godillon, S., Nessi, H., Rocci, A., Le Bris, C. et Adoue, F. (2013), *Les usages de la mobilité, Pour une ingénierie des modes de vie*. [s.l.n.é].

Meloche, J.-P. (dir.) (2012), *Le financement du transport en commun dans la région métropolitaine de Montréal, Pour un meilleur équilibre entre la ville et ses banlieues*. Récupéré le 5 juin 2013 de http://www.obsmobilitedurable.umontreal.ca/recherche/pdf/Note01-2012_JPMeloche.pdf.

Merlin, P. et Choay, F. (2009), *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Paris, France : Presses Universitaires de France.

Metropolitan Knowledge International (2011), *Ottawa Light Rail Transit, Updated Business Case - Project Benefits Analysis*. Récupéré le 30 avril 2014 de <http://www.confederationonline.ca/wp-content/uploads/2013/03/OLRTBusinessCaseUpdate.pdf>.

Mirabel, F. et Reymond, M. (2013), *Économie des transports urbains*. Paris, France : Éditions La Découverte.

Muller, G. (2007a), *Traction ferroviaire : les tramways, Systèmes, exploitation et conception*. Paris, France : Éditions Techniques de l'Ingénieur. Récupéré le 6 septembre 2013 par les Bibliothèque et Archives nationales du Québec.

- Muller, G. (2007b), *Traction ferroviaire : les tramways, Caractéristiques des matériels roulants*. Paris, France : Éditions Techniques de l'Ingénieur. Récupéré le 6 septembre 2013 par les Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- Muller, G. (2008), *Traction électrique ferroviaire : le tram-train*. Paris, France : Éditions Techniques de l'Ingénieur. Récupéré le 6 septembre 2013 par les Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- Muller, G. (2011), *Tramways, Avantages, contraintes et exploitation*. Paris, France : Éditions Techniques de l'Ingénieur. Récupéré le 6 septembre 2013 par les Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- Muller, G. (2012a), *Tramways, Alimentation, conception, performances et design*. Paris, France : Éditions Techniques de l'Ingénieur. Récupéré le 6 septembre 2013 par les Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- Muller, G. (2012b), *Tramways, Modèles actuels et innovations*. Paris, France : Éditions Techniques de l'Ingénieur. Récupéré le 6 septembre 2013 par les Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- O'Shaughnessy, W. (2005-2006), *Guide méthodologique d'élaboration et de gestion de projet, La gestion de projet et le concept de gestion intégrée, Tome 1*. Trois-Rivières, Québec : Les Éditions SMG.
- O'Shaughnessy, W. (2006), *La conception et l'évaluation de projet, Tome 2*. Trois-Rivières, Québec : Les Éditions SMG.
- Offner, J.-M. (1993), *Les « effets structurants » du transport : mythe politique, mystification scientifique*. In *Espace géographique*, Tome 22 numéro 3, pp. 233-242.
- Ohland, G. et Porticha, S. (2009), *Street Smart, Streetcars and cities in the twenty-first century*. Oakland, Californie : les auteurs.
- Project Management Institute (2000), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) –2000 Edition*. Newtown Square, Pennsylvania : l'auteur.
- Project Management Institute (2003), *Construction Extension to A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) –2000 Edition*. Newtown Square, Pennsylvania : l'auteur.
- Pumain, D., Paquot, T. et Kleinschmager, R. (2006), *Dictionnaire La ville et l'urbain*. Paris, France : Éditions Economica.

- Richardson, G. L. (2010), *Project Management, Theory and Practice*. Boca Raton, Florida : Auerbach Publications, Taylor & Francis Group.
- Roy, B. (1985), *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision* . Paris, France : Édition Économica.
- Schärlig, A. (1985), *Décider sur plusieurs critères, Panorama de l'aide à la décision multicritère*. Lausanne, Suisse : Presses polytechniques romandes.
- Schepers, N. (2009), *10-Year Transit Tactical Plan*. Récupéré le 30 avril 2014 de <http://ottawa.ca/calendar/ottawa/citycouncil/tc/2009/10-21/06-ACS2009-ICSTRA-0015.htm>.
- Schepers, N. (2010), *Memo / notes de service, BRT proposal*. Récupéré le 30 avril 2014 de <http://www.confederationline.ca/media/pdf/BRT%20Memo.pdf>.
- Schepper, B. (2016), *Le transport en commun comme solution à la relance économique et à la crise environnementale au Québec*. Montréal, Québec : Institut de recherche et d'informations socioéconomiques. Récupéré le 5 février 2016 de http://iris-recherche.s3.amazonaws.com/uploads/publication/file/Transport_WEB.pdf.
- Schuyler, J. R. (1996), *Decision analysis in projects, Learn to make faster, more confident decisions* . Newtown Square, Pennsylvania : Project Management Institute.
- Schwalbe, K. (2009), *An introduction to project management*. (Seconde édition). Boston, Massachusetts : Course Technology Cengage Learning.
- SÉTRA, Service d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (2012), *L'induction de trafic, revue bibliographique*. France : l'auteur. Récupéré le 5 janvier 2015 de http://www.infra-transports-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1236w-Trafic_induit_rapport_d_etudes.pdf.
- Statistique Canada (2011 et 2013), *Statistiques de prix des immobilisations, Tableau 7-4 Indice de prix à la construction de bâtiments non-résidentiels — Montréal, Québec*. Récupéré le 20 septembre 2015 de <http://www.statcan.gc.ca/pub/62-007-x/2011002/t067-fra.pdf> et <http://www.statcan.gc.ca/pub/62-007-x/2013002/t067-fra.pdf>.
- STM, Société de Transport de Montréal (2010), *Rapport d'activités 2010*. Récupéré le 26 septembre 2012 de <http://www.stm.info/sites/default/files/ra2010.pdf>.
- STM, Société de Transport de Montréal (2012), *Plan stratégique 2020*. Récupéré le 18 septembre 2012 de http://www.stm.info/sites/default/files/plan_strategique2020.pdf.

- STM, Société de Transport de Montréal (2014), *Rapport d'activités 2014, bilan d'activités*. Récupéré le 25 septembre 2014 de http://cdn-s3.myvirtualpaper.com/s/stm/rapport-annuel-stm-2014/2015060801/upload/15001_rapportannuel2014__final_hr.pdf.
- TCRP, Transit Cooperative Research Program (2013), *Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third Edition*. Washington, District of Columbia : Transportation Research Board.
- Tellier, L.-N. (1995), *Méthodes d'évaluation des projets publics*. Montréal, Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Ville d'Ottawa (2010), *Key messages - surface rail*. Récupéré le 30 avril de <http://www.confederationline.ca/media/pdf/Surface%20vs%20Tunnel%20Memo.pdf>.
- Ville d'Ottawa (2012), *Information sur le projet de train léger d'Ottawa*. Récupéré le 30 avril 2014 de http://www.confederationline.ca/media/pdf/OLRTBackground_OLRTProject_FR.pdf.
- Ville de Montréal (2004), *Plan d'urbanisme*. Récupéré le 2 février 2010 de http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=2761,3096665&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Ville de Montréal (2008), *Plan de transport*. Récupéré le 2 février 2010 de http://servicesenligne.ville.montreal.qc.ca/sel/publications/PorteAccesTelechargement?lng=Fr&systemName=68235660&client=Serv_corp.
- Ville de Montréal (2013), *Mise en oeuvre du Plan de transport, Bilan quinquennal 2008-2012*. Récupéré le 14 août 2013 de http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/TRANSPORTS_FR/MEDIA/DOCUMENTS/2013-09-05_BILAN%20QUINQUENNAL%202008-2012.PDF.
- Vincke P. (1989), *L'aide multicritère à la décision*. Bruxelles, Belgique : Éditions de l'Université de Bruxelles.
- Walker, J. (2012), *Human transit, How clearer thinking about public transit can enrich our communities and our lives*. Washington, District of Columbia : Island Press.
- Wright, P. W. et Ashford, N. J. (1989), *Transportation engineering, Planning and design, Third edition*. New York, New York : John Wiley & Sons.