

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT
M.Ing.

PAR
Marie-Claude LAVOIE

ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET D'IMPACTS PORTANT SUR L'IMPLANTATION D'UN
RÉSEAU DE TRANSPORT EN COMMUN ALTERNATIF

MONTRÉAL, LE 3 MAI 2011

© Tous droits réservés, Marie-Claude Lavoie, 2011

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Robert Hausler, directeur de mémoire
Département de Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Mathias Glaus, codirecteur de mémoire
Département de Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Frédéric Monette, président du jury
Département de Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Michel Bourbonnière, membre du jury
Société de transport de Montréal

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 26 AVRIL 2011

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

AVANT-PROPOS

Je travaille pour la Société de transport de Laval et je suis moi-même utilisatrice du transport en commun depuis plus de 10 ans. Pour moi, l'environnement est une passion et je me suis toujours demandé pourquoi les gens n'utilisent pas les transports en commun alors qu'ils contribuent à protéger l'environnement. Il est clair que le transport en commun permet de réduire la consommation des ressources non renouvelables comme l'essence. Il contribue également à la diminution de gaz à effet de serre et permet de combattre le réchauffement climatique.

Alors quel est le véritable problème? Pourquoi ne pas utiliser le transport en commun? En tant qu'utilisatrice, quels sont les principaux problèmes que je rencontre lorsque j'utilise le transport en commun? La majorité du service est offert lors des heures de pointe. Le réseau n'offre pas toute la flexibilité de la voiture. Les artères secondaires sont peu ou pas desservies. Il faut donc souvent utiliser un autre moyen de transport afin d'avoir accès à l'autobus.

J'ai donc décidé de voir comment je peux contribuer à améliorer le service et la flexibilité du réseau de transport en commun actuellement en place afin de permettre aux gens de l'utiliser. Nous devons réussir à développer une véritable alternative à l'automobile.

Voici ce que j'ai découvert...

REMERCIEMENTS

Des remerciements doivent être adressés au directeur de ce mémoire, soit Monsieur Robert Hausler et au co-directeur soit Monsieur Mathias Glaus qui ont su, par leur expertise et leur implication, contribuer au développement de ma passion pour l'environnement.

Leur soutien et leur expérience m'ont permis d'atteindre mes buts et ainsi approfondir mes connaissances et ma vision de l'environnement et du transport en commun cybernétique. Ils ont été les premiers à croire en mon sujet qui me tient tant à cœur et ils m'ont aidée à aller au-delà de mes limites.

Merci également à tous les membres des sociétés de transport en commun qui ont accepté avec enthousiasme de participer à mon projet. Ils n'ont pas hésité à s'impliquer et à me confier sans crainte leur précieux temps.

ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET D'IMPACTS PORTANT SUR L'IMPLANTATION D'UN RÉSEAU DE TRANSPORT EN COMMUN ALTERNATIF

Marie-Claude LAVOIE

RÉSUMÉ

La présente étude vise à identifier des pistes de solutions afin d'améliorer le transport en commun, et ce, en essayant de mieux comprendre la forme des villes, la mobilité individuelle et les possibilités que représentent les systèmes de transport cybernétiques. Puisque le transport en commun fait partie des solutions avantageuses pour l'avenir de l'environnement, il faut tenter d'améliorer sa flexibilité afin de mieux répondre aux besoins.

L'approche utilisée se base sur l'analyse des différents moyens de transport motorisés accessibles aux citoyens de la ville de Laval (automobile, autobus) selon trois types de critères, soit les critères techniques, environnementaux, socio-économiques et sur l'identification de sites d'implantation optimale d'un système de transport cybernétique soit, le Système de transport cybernétique Serpentine.

Les résultats obtenus ont permis d'identifier trois sites d'implantation les plus complémentaires au réseau de transport en commun d'autobus actuellement en fonction de la STL. Les retombées envisagées par cette recherche sont environnementales par le développement d'un réseau de STC ayant une faible émission de GES et par la réalisation d'un réseau complémentaire et plus flexible répondant mieux aux besoins de mobilité individuelle des Lavallois. Ils sont également socio-économiques par la création d'emplois locaux.

La réalisation d'un prototype de STC à Laval va permettre à la Ville de devenir un chef de file québécois en matière de transport en commun à faible émission. Un essai est recommandé afin de bien évaluer les impacts liés à l'exploitation d'un tel réseau auprès des instances gouvernementales.

Mots clés : Transport, STC, Serpentine, mobilité individuelle

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
1.1 La mobilité urbaine	3
1.1.1 La part modale des transports	3
1.1.2 La forme des villes.....	4
1.1.3 Les impacts du transport sur l’environnement.....	7
1.2 Les solutions proposées	11
1.2.1 Mesures négatives sur les routes.....	12
1.2.2 Impacts économiques.....	12
1.2.3 Transport en commun et mobilité active	13
1.2.4 Nouvelles technologies.....	15
1.2.4.1 Coûts d’investissements.....	17
1.2.4.2 Règles à appliquer pour la mise en opération d’un STC	19
1.2.4.3 Entretien général du réseau.....	21
1.2.4.4 Taux de réserve des véhicules pour l’entretien.....	21
1.3 L’aspect réglementaire.....	22
1.3.1 Véhicules considérés comme « véhicule lourd » :	23
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE.....	24
2.1 Volet 1 : Sélection d’un site d’implantation pour un réseau STC	24
2.1.1 Caractéristiques des sites	24
2.1.2 Définition des critères de sélection.....	25
2.1.3 Analyse multicritères	25
2.2 Volet 2 : Analyse comparative STC – Transport conventionnel	27
2.2.1 Définition du besoin en mobilité.....	27
2.2.2 Indicateurs de performance.....	27
2.2.3 Gestion de la qualité via l’analyse de la valeur.....	28
CHAPITRE 3 RÉSULTATS.....	30
3.1 Sélection d’un site d’implantation du STC-Serpentine.....	30
3.1.1 Présentation des caractéristiques des sites	31
3.1.2 Sélection des sites	31
3.2 Analyse comparative du site d’implantation.....	42
3.2.1 Caractéristiques des trois modes de transport.....	42
3.2.2 Bilan des flux	43
3.2.3 Analyse de la satisfaction – Évaluation des sites.....	45
CHAPITRE 4 DISCUSSION.....	50
4.1 Les gains pour les usagers et les résidents.....	50
4.1.1 Facteurs environnementaux	50

4.1.2	Facteurs techniques.....	51
4.1.3	Facteurs socio-économiques.....	52
4.1.4	La diminution des coûts : Congestion et accidents.....	53
4.2	Sites sélectionnés.....	53
4.3	Processus de mise en œuvre.....	54
4.4	Perspectives.....	55
	CONCLUSION.....	57
	RECOMMANDATIONS.....	59
ANNEXE I	LA SERPENTINE.....	61
	BIBLIOGRAPHIE.....	77

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Émissions atmosphériques par type de source sur le territoire de la grande région de Montréal en 1994 en tonnes métriques9
Tableau 1.2	Résumé des initiatives gouvernementales afin de favoriser le TC14
Tableau 1.3	Indicateurs de performance des différents moyens de transport.....18
Tableau 1.4	Résumé des investissements nécessaires à l’implantation du STC - Serpentine et de l’autobus18
Tableau 1.5	Résumé des coûts d’exploitation et de maintenance du STC - Serpentine et de l’autobus19
Tableau 1.6	Capacités théoriques comparée du STC-Serpentine avec les modes de transport conventionnel20
Tableau 3.1	Arrêts proposés pour le site 1.....33
Tableau 3.2	Arrêts proposés pour le site 2.....35
Tableau 3.3	Arrêts proposés pour le site 3.....37
Tableau 3.4	Calcul de l’achalandage38
Tableau 3.5	Analyse des sites selon les caractéristiques spécifiées39
Tableau 3.6	Investissements nécessaires pour l’implantation du STC – Serpentine par site39
Tableau 3.7	Sélection et analyse des trois sites selon des critères de performance.....41
Tableau 3.8	Caractéristiques des trois modes de transport.....42
Tableau 3.9	Analyse des flux des trois moyens de transport.....43
Tableau 3.10	Nombre d’automobile pour la période de 06h00 à 09h0044
Tableau 3.11	Critères d’évaluation de chaque site selon le degré d’importance.....45
Tableau 3.12	Évaluation des trois sites selon les critères et le degré d’importance47
Tableau 3.13	Hierarchisation des modes de transport en fonction du degré de satisfaction48
Tableau 3.14	Degré de satisfaction en dollars d’investissement pour chaque mode de transport.....48

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.1	(a) Répartition des déplacements de 2003 à 2008 et (b) Répartition de la part modale.....	4
Figure 1.2	(a) Les trois modèles de villes qui se sont succédé et coexistent depuis la révolution industrielle et (b) Évolution de l'occupation du territoire à Montréal.....	5
Figure 1-3	Consommation annuelle de carburant selon la densité urbaine.....	6
Figure 1-4	Émissions de gaz à effet de serre, par personne, pays du G-7.....	8
Figure 1-5	Émissions de GES par secteur d'activité en 2007.....	9
Figure 1-6	Motorisation du territoire de 1998 à 2008.....	10
Figure 1-7	Évolution anticipée des principales émissions polluantes pour la région de Montréal.....	11
Figure 1-8	Temps de trajet comparé entre autobus, train léger et STC en fonction de la distance entre les arrêts pour une distance parcourue de 8 kilomètres.....	17
Figure 3-1	Densité de la population de Laval pour les trois sites.....	32
Figure 3-2	Carte du site 1.....	33
Figure 3-3	Carte du site 2.....	35
Figure 3-4	Carte du site 3.....	36
Figure 3-5	Diagramme de Kiviat pour la sélection des trois sites selon les critères identifiés.....	41
Figure 3-6	Degré de satisfaction de chaque mode de transport en \$ d'investissement.....	49

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

- ACTU Association canadienne du transport urbain
- AM Avant-midi
- AMT Agence métropolitaine de transport
- ATUQ Association du transport en commun du Québec
- FORT Fonds des infrastructures routières et de transport en commun
- GES Gaz à effet de serre
- MDDEP Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs
- MTQ Ministère du transport du Québec
- OEE Office d'efficacité énergétique
- SAAQ Société de l'assurance automobile du Québec
- STC Système de transport cybernétique
- STL Société de transport de Laval

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

CO ₂	Gaz carbonique
GJ	Giga joules
NO _x	Oxyde d'azote
t.CO ₂	Tonne de gaz carbonique

INTRODUCTION

En milieu urbain, le transport est un des principaux secteurs émetteurs de nuisances pour l'environnement, la santé et la sécurité des citoyens. Dans le même temps, le besoin en mobilité est de plus en plus grand pour les citoyens, car l'augmentation de la population des villes et surtout leur étalement rend les déplacements difficiles causant ainsi des embouteillages de la circulation. Cette situation rend les transports en commun plus attrayants pour les citoyens car les transports en commun offre une certaine régularité.

Le transport en commun devient de plus en plus un joueur important dans notre lutte contre les gaz à effet de serre, mais le transport en commun, comme on le connaît actuellement, est loin d'être en mesure de rivaliser avec l'automobile. Il est clair que le transport en commun est plus compétitif sur des distances plus courtes étant donné que la différence de temps entre l'utilisation du transport en commun par le citoyen et l'utilisation de sa voiture est moindre. Mais si l'objectif est d'augmenter l'achalandage, il faut travailler sur l'ensemble de ces volets soit, l'environnement, la santé et la sécurité.

La principale problématique analysée dans le cadre de ce projet consiste au manque de flexibilité du transport en commun en fonction de la forme de nos villes et du besoin de mobilité individuelle de la société. L'objectif général des présents travaux consiste à évaluer la faisabilité d'implanter des systèmes STC adaptés à un besoin en mobilité de proximité.

Le chapitre 1 proposera une revue de la littérature basée sur la mobilité urbaine soit, la part modale des transports, la forme des villes et les impacts du transport sur l'environnement. Le contexte québécois sera également abordé selon son climat et l'aspect réglementaire et finalement, les solutions proposées seront présentées en lien avec la mobilité active et les nouvelles technologies.

Le chapitre 2 présente la méthodologie d'une analyse multicritères des enjeux associés à l'intégration d'un cyber transport pour favoriser une mobilité individualisée dans un milieu urbain. Le chapitre 3 présente une étude de cas à travers trois sites pour un secteur urbain de la ville de Laval.

Le chapitre 4 élaborera la réflexion, les discussions et le chapitre suivant sera présenté sous la forme de recommandations. Par la suite, une conclusion résumera les principaux résultats découlant des présents travaux de recherche.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre présente une revue de la littérature portant sur la mobilité urbaine plus précisément la part modale des transports, la forme des villes et les impacts du transport sur l'environnement. Les solutions sont également proposées afin de répondre aux différents besoins identifiés soit, les mesures négatives sur les routes, les impacts économiques, le transport en commun et la mobilité active, les nouvelles technologies et finalement, l'aspect règlementaire.

1.1 La mobilité urbaine

La mobilité urbaine sera abordée en trois parties ; la première partie présentera la part modale des transports, la deuxième partie présentera la forme des villes et la troisième, les impacts du transport sur l'environnement et la consommation énergétique.

1.1.1 La part modale des transports

Selon l'enquête Origine-Destination (AMT, 2008), les modes de déplacement utilisé par la population québécoise pour la région métropolitaine de Montréal ont évolué. En effet, parmi les 2 213 000 déplacements recensés pour la période de pointe du matin, 1 974 000 utilisent un mode de transport motorisé soit l'autobus, l'automobile, le train ou le métro. De 2003 à 2008, une hausse d'environ 32 000 déplacements motorisés a été observée, pour une croissance annuelle moyenne de 0,4 %, alors qu'elle était de 1,6 % entre 1987 et 2003. Une autre hausse des déplacements non motorisés soit la marche et le vélo a été observé, ce qui représente 20 000 déplacements (10 %) entre 2003 et 2008.

La figure 1.1 (a) représente la répartition des déplacements pour la période de 2003 à 2008. Les déplacements motorisés occupent 90 % de l'ensemble des déplacements alors que la marche et le vélo représentent 10 %.

La figure 1.1 (b) démontre que la plus grande part modale est détenue par l'automobile, mais le transport en commun poursuit sa lente progression. En effet, les résultats obtenus lors de l'enquête Origine-Destination pour la grande région métropolitaine de Montréal (AMT, 2008) démontrent une augmentation de 15% du transport en commun et une diminution de 1 % de l'automobile.

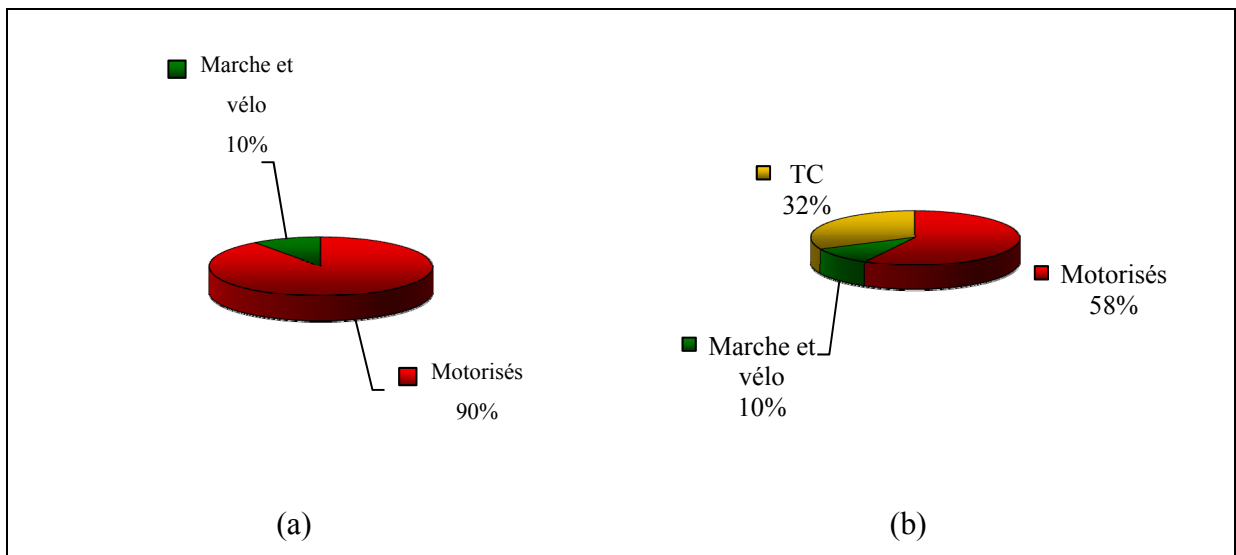


Figure 1.1 (a) Répartition des déplacements de 2003 à 2008 et (b) Répartition de la part modale. Tirée de l'AMT (2008)

1.1.2 La forme des villes

Les villes d'aujourd'hui se sont développées autour de l'automobile ce qui a entraîné une très forte baisse de la densité de la population urbaine dans les pays occidentaux. Puisque la ville se définit par sa limite temporelle, l'augmentation des vitesses de transport permet l'expansion de l'aire urbaine. Le prolongement des distances de déplacement à parcourir a rendu les autres modes de transport inefficaces et ne répondant plus au besoin de mobilité

individuels ouvrant ainsi la voie aux automobiles (Newman 1996). La figure 1.2 (a) présente trois modèles de ville qui s'est succédé depuis la révolution industrielle et la figure (b) présente l'évolution de l'occupation du territoire à Montréal. Avant 1850, les villes européennes étaient développées en fonction des déplacements à pieds. L'industrialisation a changé la face des villes laissant ainsi la place à l'expansion du territoire, car les déplacements ont élargi les limites. Depuis 1642, l'expansion de la ville de Montréal s'est fait de manière progressive, mais de 1910 à 1932, il y a eu une vague de développement.

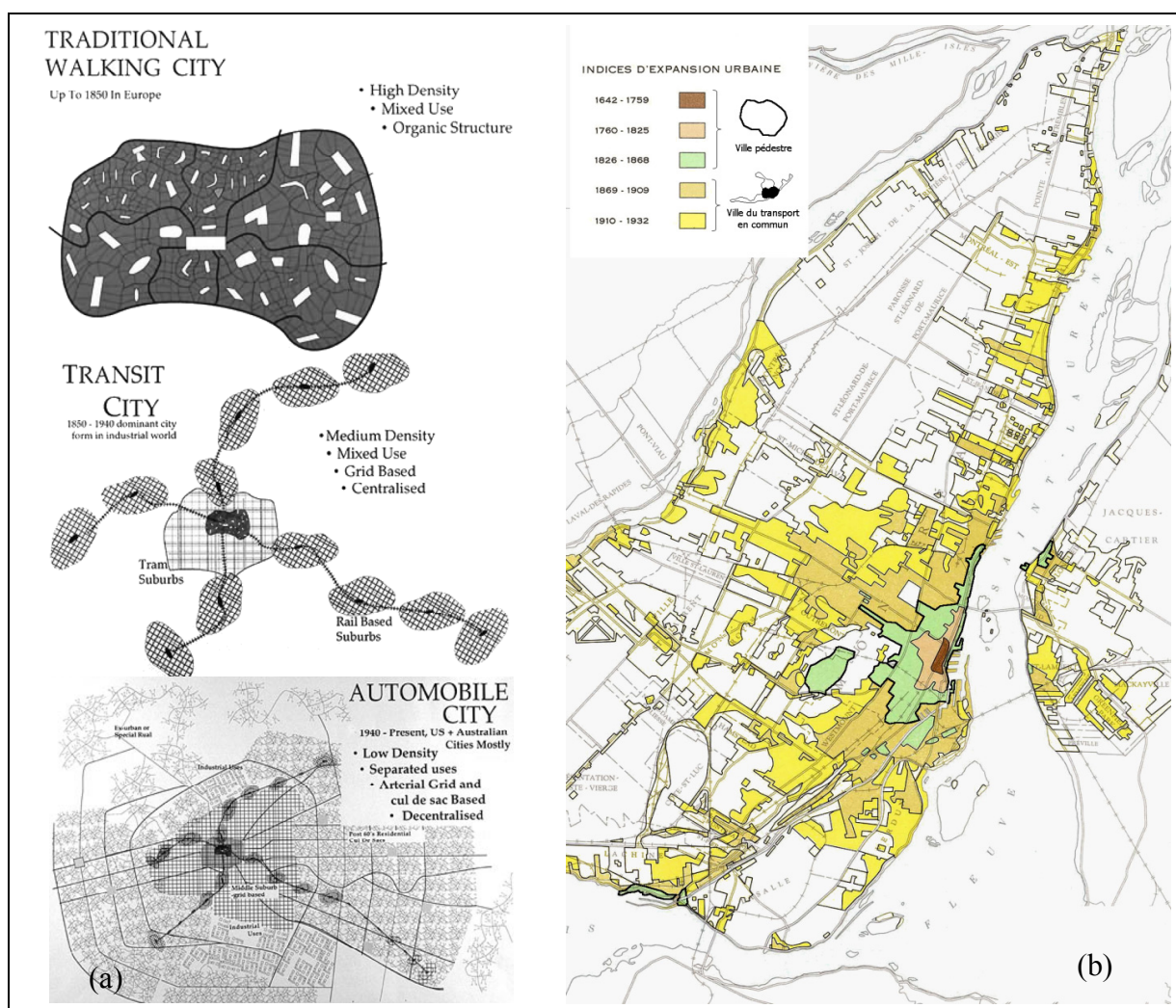


Figure 1.2 (a) Les trois modèles de villes qui se sont succédé et coexistent depuis la révolution industrielle.

Tirée de Newman et Kenworthy (1996) et
(b) Évolution de l'occupation du territoire à Montréal.
Tirée de l'Atlas du Canada 3^e édition (1957)

La figure 1.3 représente la consommation annuelle de carburant en fonction de la densité urbaine dans différentes villes du monde. La ville de Hongkong demeure la ville la plus performante au niveau densification et de plus, sa consommation de carburant par personne est la plus basse étant donné la difficulté de se déplacer. Pour le Canada, la ville de Toronto se situe au milieu des villes analysées avec une consommation annuelle de 35 GJ par personne. C'est la ville d'Houston qui regroupe les habitants ayant la consommation la plus importante avec plus de 70 GJ par personne.

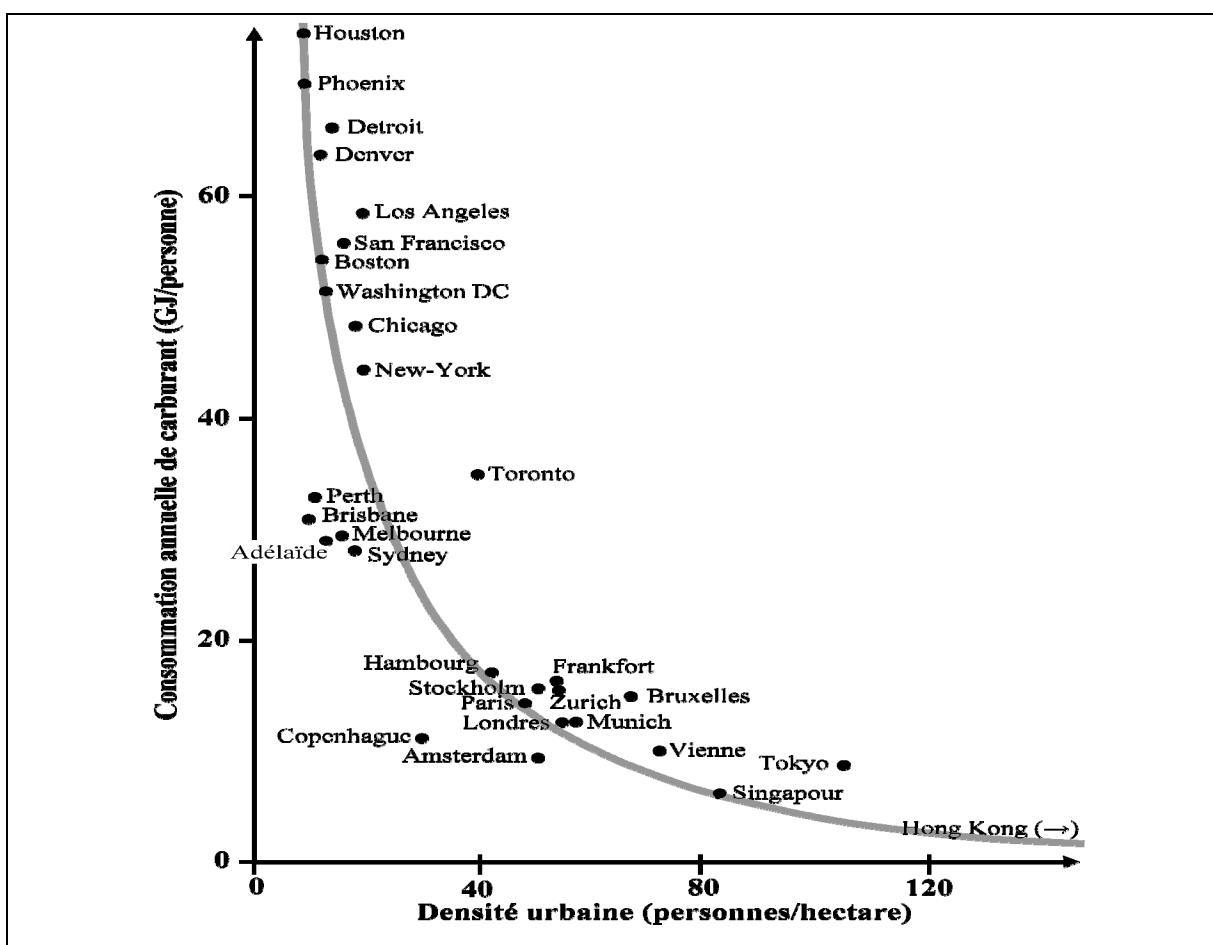


Figure 1.3 Consommation annuelle de carburant selon la densité urbaine.
Tirée de Newman et Kenworthy (1989)

1.1.3 Les impacts du transport sur l'environnement

Selon l'ONU (2008), 50 % de la population mondiale (70 % dans les pays industrialisés) sont des citadins, ce qui signifie que la mobilité urbaine est un enjeu majeur pour le développement de nos sociétés. Les émissions de GES associées au transport sont en constante croissance selon l'IEA (2009). Ces GES sont néfastes pour l'environnement et contribuent aux changements climatiques.

Selon le Ministère du Développement durable, de l'environnement et des parcs (2007), le Québec a émis 92 millions de tonnes équivalent CO₂ pour l'année. Ce qui représente 12,3 % des émissions canadiennes et environ 0,3 % des émissions mondiales. Chaque Québécois est responsable en moyenne d'avoir émis 12,1 tonnes de GES pour l'année 2005 contre 22,9 tonnes en moyenne par habitant au Canada. La figure 1.4 montre la répartition des gaz à effet de serre, par personne, dans les pays du G-7 en 2007. La moyenne du G-7 est de 16,8 tonnes d'équivalents en dioxyde de carbone alors que le Canada est le deuxième pays le plus polluant avec 22,9 tonnes.

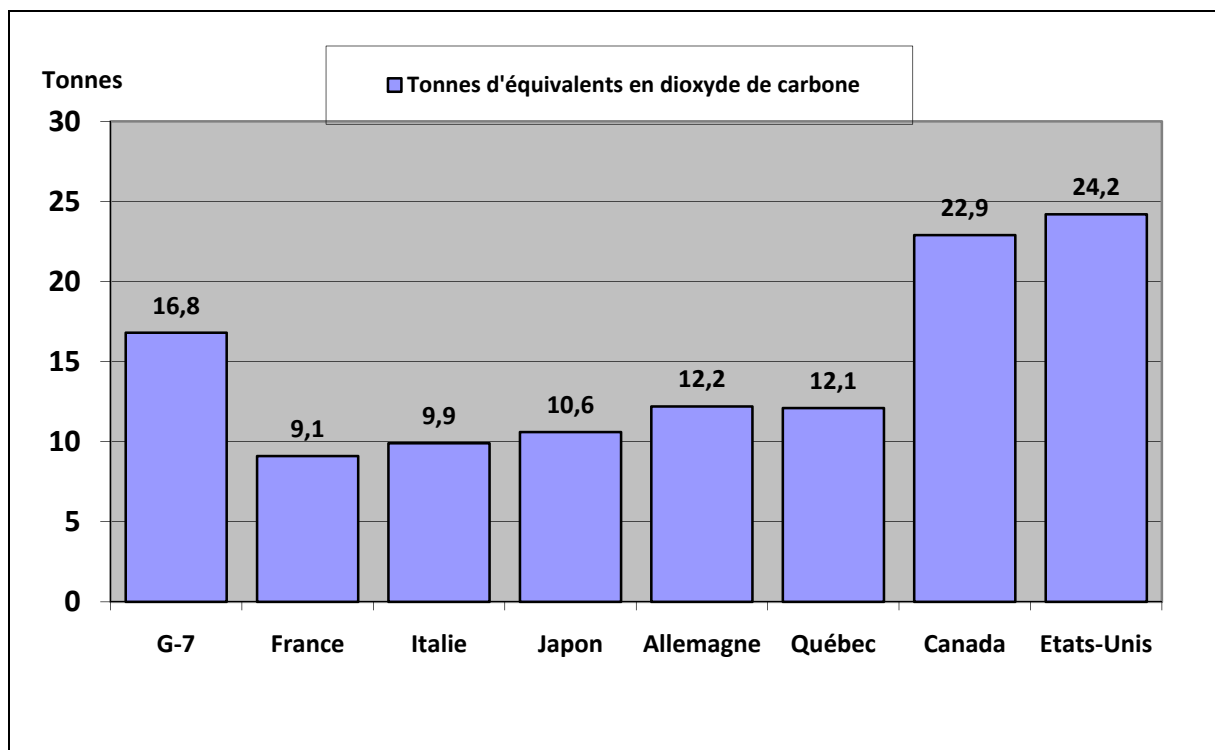


Figure 1.4 Émissions de gaz à effet de serre, par personne, pays du G-7.
Tirée du Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (2007)

Selon Transport Québec (2007), les différents moyens de transports ont dégagé dans l'atmosphère près de 35 millions de tonnes équivalent de CO₂, ce qui représente plus du tiers des émissions de GES totales du Québec (92 millions de tonnes équivalent CO₂). La figure 1.5 montre que les secteurs contribuant le plus aux émissions totales de GES en 2005 au Québec sont les transports avec 38,7 % et l'industrie avec 30,7 %. Selon l'étude du MDDEP (2007), pour la période de 1990 à 2005, les émissions de GES au Québec ont connu une hausse de 5,2 %. Pendant cette même période, la population québécoise a augmenté de 8,5 % et sa consommation d'énergie provenant des combustibles fossiles de 11,3 %.

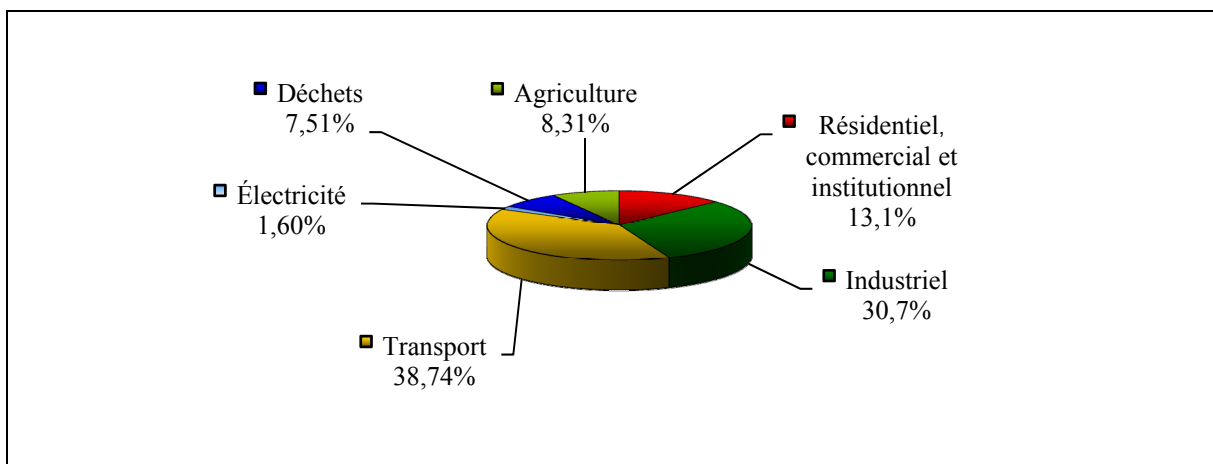


Figure 1.5 Les émissions de GES par secteur d'activité en 2005.

Tirée du Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (2005)

Plus spécifiquement, le transport routier effectué en automobile, en camion et en autobus est responsable de 80,0 % des émissions du secteur des transports et de 31,0 % des émissions totales de GES du Québec. À l'échelle canadienne, les émissions de dioxyde de carbone produites par les véhicules et le matériel de transport augmentent de manière significative de 2,5 % par année (Transport Canada, 2007). Dans une moindre mesure, les transports contribuent également aux problèmes locaux de pollution par des émissions de monoxyde de carbone (CO₂) et d'oxydes d'azote (NO_x) tels qu'illustrés au tableau 1.1.

Tableau 1.1 Émissions atmosphériques par type de source sur le territoire de la grande région de Montréal en 1994 en tonnes métriques

Tiré de la Direction de la santé publique (1994)

Catégories	CO	SO ₂	NO et NO ₂	Particules	COV	Équivalents CO ₂ *
Procédés et brûlage de combustibles dans les industries	7 777	21 115	8 224	8 834	17 528	4 460 581
Commerces et services	8	24	67	1 279	5 871	1 678 773
Peinture et produits d'entretien	---	---	---	---	23 710	---
Chauffage	132 582	5 311	4 751	30 914	25 069	6 531 009
Transport routier	459 507	--	72 172	17 857	54 335	12 609 375

*Valeur accordée au polluant selon son potentiel de réchauffement global du climat pour 100 ans

La figure 1.6 démontre l'augmentation de la motorisation des ménages de 1998 à 2008 selon l'AMT 2008. Le parc automobile recensé en 2008 est estimé à 1 789 000 véhicules, en hausse de 10,5 % par rapport à 2003, soit 2,1 % par année en moyenne. Entre 1987 et 2003, la croissance moyenne annuelle de la motorisation de la région métropolitaine était de 2,3 %. Dans le cas de Laval, c'est une hausse de 11,4%.

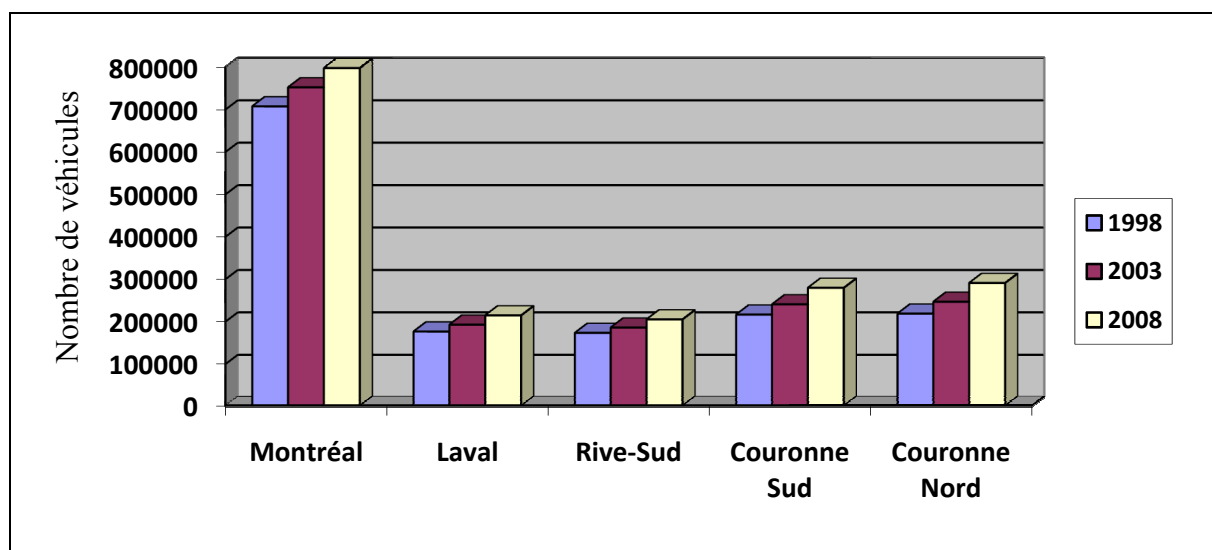


Figure 1.6 Motorisation du territoire de 1998 à 2008.
Tirée de l'enquête Origine Destination (2008)

La figure 1.7 montre l'évolution anticipée des principales émissions polluantes et des gaz à effet de serre entre 2003 et 2026 dans la grande région de Montréal. Les résultats, tirés du progiciel Mobile (Transport Québec, 2003), sont compilés pour une période de 24 heures et représentent un jour ouvrable typique d'automne. Le graphique montre la croissance de la motorisation des différents secteurs métropolitains depuis 1998.

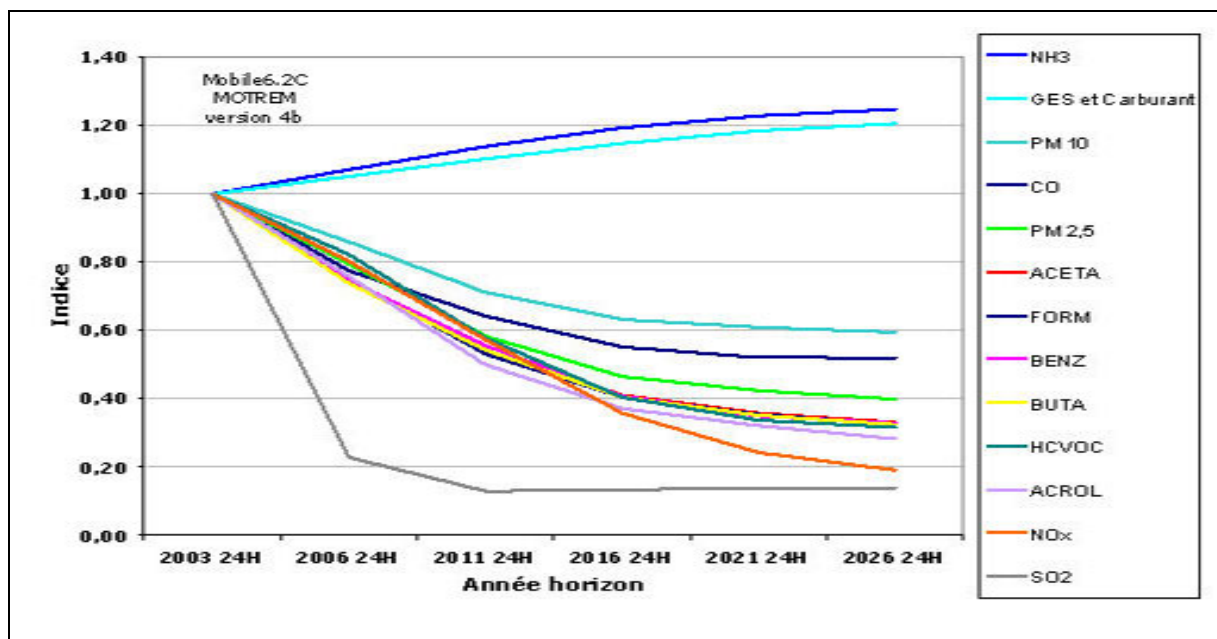


Figure 1.7 L'évolution anticipée des principales émissions polluantes pour la région de Montréal.
Tirée de Transport Québec (2003)

1.2 Les solutions proposées

Selon Statistiques Canada (2008), la population de Laval a atteint 369 000 en 2008, en hausse de 1,5 % par année depuis 2003 alors que sur la Rive-Sud, elle, a atteint 361 000 personnes, en hausse de 0,8 % par année en 2008. De 1987 à 2003, les croissances annuelles de la population de Laval et de la Rive-Sud étaient respectivement de 1,4 % et 0,5 %.

Cette augmentation de la population va entraîner une augmentation des déplacements sur le réseau routier du grand Montréal. Cependant, certains développements technologiques (ex. moteurs plus performants au niveau de la combustion) vont contribuer à la réduction de CO₂ et des autres polluants atmosphériques (IEA, 2009). Par contre, ce n'est pas le cas avec les autres inconvénients associés au transport individuel comme la congestion routière, la perte d'espace que représentent les stationnements et finalement, les accidents.

Les solutions proposées regroupent les mesures négatives associées au trafic sur les routes, au transport en commun, à la mobilité active et finalement, aux nouvelles technologies soient les STC.

1.2.1 Mesures négatives sur les routes

Le transport collectif contribue à désengorger les routes et à diminuer le trafic en limitant le nombre de déplacements individuels en automobile. La congestion routière entraîne des pertes de temps et d'argent importantes pour la société québécoise, ce qui rend nos villes moins compétitives sur le plan économique et moins attrayante pour y vivre et y travailler.

Afin de diminuer l'engorgement sur les routes, plusieurs villes du monde mettent en place des mesures négatives comme l'augmentation du prix de l'essence, la diminution des places de stationnement, des stationnements incitatifs près d'un secteur desservi par le transport en commun et des postes de péage. La ville de Londres a fait l'installation d'un système de péage urbain à l'entrée de la ville afin de diminuer la circulation routière. Cet incitatif a réduit la circulation de 15 % en 2003 dans le centre-ville de Londres (Prud'homme et Bocajero, 2004).

1.2.2 Impacts économiques

Pour la région du grand Montréal, région la plus touchée au Québec par la congestion routière, la Chambre de commerce du Montréal métropolitain (2004) estime les pertes économiques liées à la congestion à près de 1 milliard de dollars par année, soit l'équivalent de 1 % de la production du territoire.

Dans la région de Québec, selon l'Institut CD Howe (2007), le coût annuel de la congestion routière en 2007 est estimé à 52 M\$.

Selon l'ATUQ (2009), l'utilisation du transport en commun permet d'éviter l'encombrement du territoire urbain par des véhicules stationnés. Si tous les usagers des différentes sociétés de transport décidaient d'utiliser leur véhicule pour leurs déplacements quotidiens, c'est 385 500 espaces de stationnement supplémentaires qui seraient nécessaires pour un jour type de semaine.

Selon l'Association canadienne du transport urbain ACTU (2009), sans les services de transport en commun, il y aurait chaque année au Canada près 150 collisions mortelles et 11 000 collisions avec blessures de plus. Dans la région de Montréal, le transport en commun contribue à réduire de 61,9 M\$ les frais causés par les accidents routiers.

1.2.3 Transport en commun et mobilité active

Le gouvernement vise un objectif global, soit l'accroissement de l'utilisation du transport collectif partout au Québec, tant dans les milieux urbains que ruraux. Voici comment le programme québécois du transport en commun y contribue :

- le gouvernement fixe comme cible une augmentation de l'achalandage du transport en commun de 8 % d'ici 2012;
- cette augmentation permettra au transport en commun d'accroître sa part, par rapport à l'ensemble des modes de transport des personnes.

Le budget 2010-2011 déposé par le ministre des Finances du Québec (2010) présente des mesures spécifiques pour le transport en commun. Dans ce rapport, le gouvernement mentionne sa volonté d'investir à long terme dans le transport en commun, car celui-ci demeure une solution majeure pour l'atteinte des objectifs québécois de réduction des émissions de gaz à effet de serre. De plus, l'atteinte de la cible de 2020 nécessite obligatoirement le développement de solutions de rechange aux déplacements automobiles. L'octroi d'un budget de plus de 30 M\$ pour l'électrification des transports soit par le

développement d'autobus électriques le démontre bien. La mise sur pied du Fonds des infrastructures routières et de transport en commun (FORT) constitue une initiative positive pour assurer la pérennité du financement des sociétés de transport en commun du Québec. La hausse d'un cent le litre de la taxe sur l'essence par année, à partir de 2010 et pour quatre ans, permettra une amélioration continue des services afin de répondre aux besoins des citoyens (mesure incitative). Le gouvernement doit prendre, avec ses partenaires, un certain nombre d'initiatives afin d'accroître l'utilisation du transport collectif partout au Québec. Le tableau 1.2 expose l'ensemble des initiatives gouvernementales afin de favoriser le transport en commun.

Tableau 1.2 Résumé des initiatives gouvernementales afin de favoriser le TC
Tiré du Ministère du transport du Québec (2010)

Initiative	Description
Une juste répartition des efforts de chacun.	Le gouvernement confirme son rôle de coordonnateur et d'accompagnateur en assumant notamment la majeure partie des coûts associés au développement et à la modernisation des infrastructures et des équipements.
L'amélioration des services à la population.	Le gouvernement mobilise 130 millions de dollars annuellement à cette fin, à partir du volet du Fonds vert mis en place dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques.
La modernisation et le développement des infrastructures et des équipements.	L'effort en vue de renouveler les infrastructures et les équipements est déjà engagé, avec la réalisation de plus de 1,5 milliard de dollars d'investissements au cours des dernières années. Il faut aller plus loin, et, pour cette raison, les autorités organisatrices de transport collectif bénéficient de deux programmes d'aide financière au transport en commun, soit le Programme d'aide aux immobilisations en transport en commun de la Société de financement des infrastructures locales et le Programme d'aide gouvernementale au transport collectif des personnes.

Initiative	Description
L'appui aux autres alternatives à l'automobile.	Ce moyen vise les municipalités peu peuplées, les municipalités régionales de comté, les conférences régionales des élus, où les alternatives à l'automobile sont peu disponibles. Il vise également le transport intra régional par autocar, l'accessibilité des autocars et des taxis pour les personnes à mobilité réduite ainsi que les programmes-employeurs destinés aux institutions publiques, entreprises et parcs industriels où des initiatives prometteuses doivent être encouragées. Les transports actifs tels que les déplacements à pied ou à vélo bénéficient d'une aide financière afin d'accroître leur utilisation.

1.2.4 Nouvelles technologies

L'offre de service proposée par les sociétés de transport ne répond pas totalement au besoin de mobilité individuelle de ses citoyens. Le manque de flexibilité représente le principal facteur qui freine la croissance d'utilisation du transport en commun. Cette limitation de l'offre de service ralentit la croissance de l'achalandage car le service ne répond pas adéquatement aux besoins des usagers. Selon les sondages internes de la STL (St-Yves, 2010), c'est la principale raison évoquée par la clientèle potentielle lors de sondage porte-à-porte.

C'est dans ce contexte d'une demande de moyen flexible adapté aux besoins individuels en mobilité que s'inscrivent les systèmes de transport cybernétique. Un système de transport cybernétique est une flotte de véhicule dont la conduite est entièrement automatisée et qui se déplace sur un réseau défini. C'est un système qui permet le transport de personnes ou de biens sur demande et de porte-à-porte. Les véhicules sont contrôlés par une centrale de gestion permettant l'optimisation des trajets afin de servir efficacement la clientèle, et ce, dans un délai également optimisé. Ces systèmes sont complémentaires aux systèmes de

transport en commun actuellement en opération. Ils offrent un service de proximité (porte-à-porte), disponible sur demande en tout temps, sans transfert ni arrêt intermédiaire, entièrement automatisé donc sans chauffeur, à faible émission atmosphériques et ayant une consommation équivalente à 0.3 litre au 100 km.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le concept du système STC - Serpentine. Celui-ci propose des capsules automatiques alimentées et guidées par une installation électrique intégrée dans le sol, le système de gestion peut gérer en temps réel l'offre des capsules en fonction de la demande et de ses origines-destinations. La vitesse réduite de 15 km/h des capsules d'une capacité de quatre personnes est compensée par des temps d'attente en station très courts. Le fonctionnement automatique des capsules réduit considérablement les coûts d'exploitation fournissant ainsi une solution viable pour les villes. Les données techniques de la Serpentine se trouvent en Annexe 1.

Les systèmes de transport traditionnels comme le tramway, le trolleybus ou l'autobus font également partie des différentes solutions possibles, mais le manque de flexibilité de ces moyens de transport de masse ne permet pas de répondre complètement à la demande, car ils desservent principalement de grandes artères, et ce, selon un horaire spécifique. La capacité de transport de ces trois modes est très différente du STC-Serpentine car ils sont considérés comme lourds.

Il y a également les systèmes de transports intelligents – STI. Selon Transport Canada (2001), les STI visent à promouvoir l'utilisation des nouvelles technologies afin de réduire les répercussions environnementales, et ce, en répondant aux besoins des usagers. Ils comprennent l'application des technologies de pointe comme le traitement de l'information, la communication, la détection, le contrôle et la gestion intégrée afin d'optimiser le système de transport. En réunissant en un seul et même système intégré les usagers, les véhicules et les infrastructures, les STI permettent de mieux gérer et utiliser les ressources disponibles.

La figure 1.8 présente le temps d'un trajet d'autobus comparativement à celui d'un train léger et d'un STC sur une distance de parcours de 8 km. Les STC demeurent plus performants sur une courte distance.

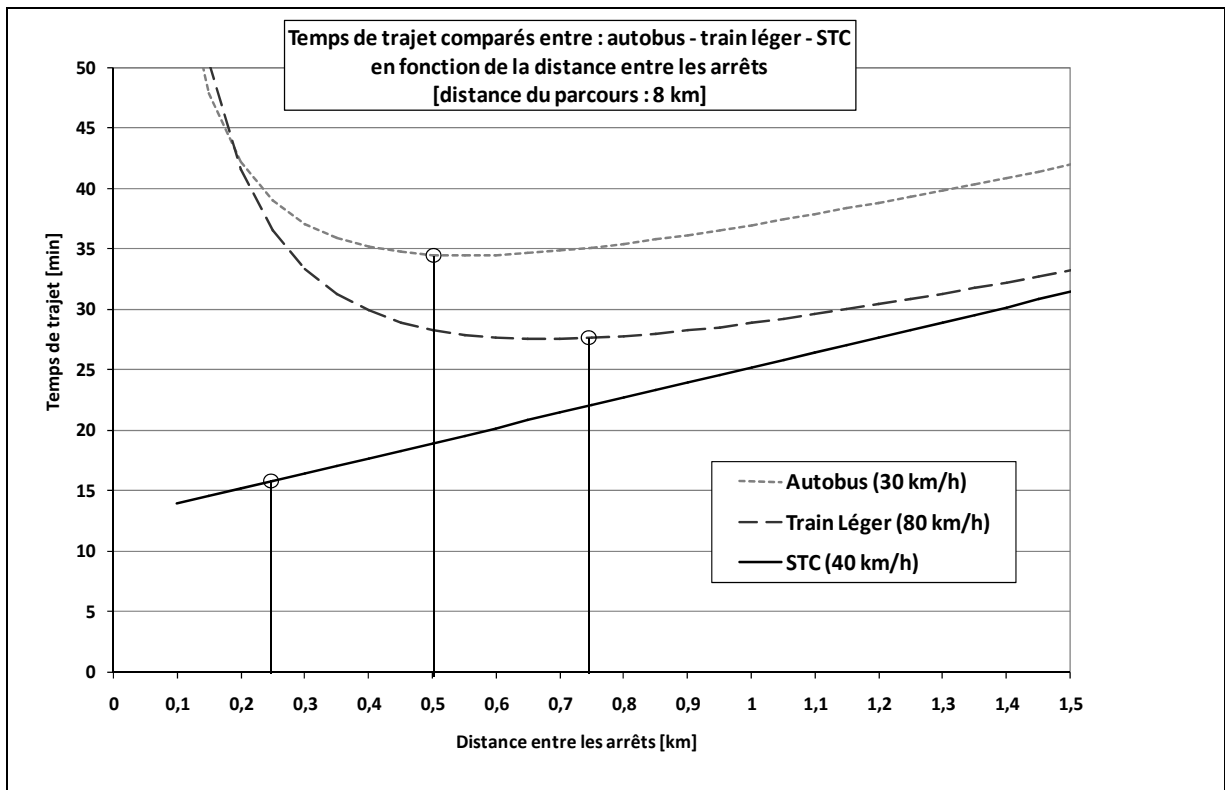


Figure 1.8 Temps de trajet comparé entre autobus, train léger et STC en fonction de la distance entre les arrêts pour une distance parcourue de 8 kilomètres.

Tirée de Lawson (2003)

1.2.4.1 Coûts d'investissements

Le tableau 1.3 démontre que le STC - Serpentine est le moyen le plus écologique et le plus économique au niveau énergétique par sa faible consommation électrique correspondant à un équivalent carburant de 0,3 litre aux 100 km. Le temps d'attente estimé pour chaque moyen de transport démontre que le STC- Serpentine rivalise avec l'automobile, car son temps d'attente est très raisonnable selon le temps d'attente idéal estimé par l'exploitation de la STL.

Tableau 1.3 Indicateurs de performance des différents moyens de transport
Tiré de Transport Québec (2008), STL (2010) et du site Internet Serpentine (2008)

Indicateur de performance	STC - Serpentine	Autobus	Auto
Consommation litre/100 km	0,3	50	12
Émission de CO ₂ (kg CO ₂ par km personne)	0,0073	0,0711	0,3535
Émission de NO _x (g/litre)	0,0061	0,26	0,080
Temps d'attente potentiel	< 1 minute	6 minutes	< 1 minute
Taux de remplissage	25%	50%	25%

Le tableau 1.4 présente les investissements nécessaires à l'implantation d'un réseau de STC Serpentine comparativement à un réseau d'autobus. Le STC - Serpentine demeure plus abordable que la réfection d'une route nécessaire à l'exploitation d'un réseau d'autobus. Le coût du km pour l'implantation du STC - Serpentine est 55,2 % plus abordable que les infrastructures nécessaires aux autobus. Le coût d'acquisition d'une capsule est de 76,6 % meilleur marché qu'un autobus.

Tableau 1.4 Résumé des investissements nécessaires à l'implantation du
STC- Serpentine et de l'autobus
Tiré de Glaus (2007), l'enquête Origine Destination (2008) et de la STL (2010)

Investissements	STC - Serpentine*	Autobus
Longueur \$/km	112 000 \$	250 000 \$
Véhicule	105 000 \$	450 000 \$
Centrale de gestion du réseau	70 000 \$	0 \$
Total :	287 000 \$	700 000 \$

*Les coûts reliés au STC - Serpentine ont été transférés de l'euro au dollar canadien au taux de 1,4.

Le tableau 1.5 présente les coûts annuels d'exploitation du STC - Serpentine et de l'autobus. Les coûts d'exploitation et de maintenance du STC - Serpentine ne sont pas disponibles sur une base au kilomètre comparativement à celui de l'autobus. Toutes les sociétés de transport du Québec utilisent cette méthode afin d'analyser l'efficacité de l'entretien de leur flotte (ATUQ, 2010).

Tableau 1.5 Résumé des coûts d'investissements, d'opération et de maintenance de la
STC - Serpentine et de l'autobus
Tiré de Glaus (2009) et de la STL (2010)

Coûts annuels moyens*	STC - Serpentine**	Autobus
Investissements, opération et maintenance	1,666\$	3.542\$

**Les coûts annuels moyens sont calculés selon 25 000 déplacements journaliers pour un passage-trajet

*Les coûts reliés à la STC - Serpentine ont été transférés de l'euro au dollar canadien au taux de 1,4.

1.2.4.2 Règles à appliquer pour la mise en opération d'un STC

Plusieurs critères doivent être considérés lors de la mise en opération d'un STC soit, la sélection des pneus avec des semelles adaptées ainsi qu'un système de chauffage intégré au véhicule. Un système de climatisation demeure optionnel, car la majorité des sociétés de transport au Québec n'offre pas ce service. Une attention particulière doit être portée afin de déterminer si les conditions hivernales peuvent dégrader les conditions d'exploitation par rapport à l'été. En effet, les conditions hivernales québécoises demeurent imprévisibles et exigent du système de transport utilisé une flexibilité au niveau de son exploitation en période difficile et une stabilité au niveau de la sécurité et de la qualité du service offert.

Sur le territoire de Laval (Environnement Canada, 2008), la température peut varier de -40 à 40 degrés Celsius et les précipitations de neige sont d'environ 40 cm/mois durant les cinq mois d'hiver. Même si les routes sont déneigées de façon régulière, du sel lourd de même que du sable sont utilisés sur les routes et peuvent s'accumuler sur le châssis, les composants inférieurs de même que les panneaux latéraux du véhicule. Une attention particulière doit être apportée à la protection des véhicules face à la corrosion, de même que son comportement sur une surface enneigée.

Le véhicule doit être muni d'essuie-glace et la capacité du système de détection au sol concernant la quantité de neige acceptable avant de devenir inefficace doit être déterminée. L'exploitation d'un réseau de transport en commun exige une bonne compréhension des

composantes du système de transport utilisé afin d'être en mesure de l'exploiter correctement. La qualité de l'entretien effectué sur le système de transport peut faire une différence au niveau de sa fiabilité et au niveau de la satisfaction de la clientèle.

Tableau 1.6 Capacités théoriques comparée du STC-Serpentine avec les modes de transport conventionnel

		STC Serpentine		Autoroute	Autobus	Métro
Vitesse	km/h	18	18	100	18	35
	m/s	5	5	27,8	5	9,7
Longueur absolue d'un véhicule	m	3,2	3,2	4	12	150
Distance entre les véhicules	s	0,5	0,5	2	120	180
	m	2,5	2,5	55,6	600	1 750
Longueur relative d'un véhicule	m	5,7	5,7	59,6	612	1 900
Charge unitaire	pers/véh.	1,2	4	1,2	80	1 200
Charge linéaire	véh./km	175,4	175,4	16,8	1,6	0,5
	pers/km	210,5	701,8	20,1	130,7	631,6
Capacité	pers/h	3 790	12 632	2 015	2 353	22 105

Source : Glaus, 2007

Le Tableau 1.6 montre qu'il n'existe pas de relation directe entre la vitesse et la capacité de transport. Pour le STC-Serpentine, les calculs ont été établis pour deux valeurs de charge unitaire (personne/véhicule). La valeur de 1,2 personne/véhicule correspond à un mode de consommation du STC similaire à la voiture, tandis que la valeur de 4 personne/véhicule correspond à une utilisation du STC en mode « transport de masse ». Par contre, cette approche comparative basée sur la charge déplacée (personne/heure) ne tiens pas compte de la flexibilité offerte par les STC.

1.2.4.3 Entretien général du réseau

Plusieurs facteurs influencent les coûts et les paramètres reliés à l'entretien et à l'exploitation d'un STC soient :

- le niveau d'entretien prescrit par le manufacturier;
- l'applicabilité et la qualité des plans d'entretien de l'exploitant;
- la couverture des garanties qui influence les coûts d'entretien;
- la vitesse commerciale des véhicules;
- les conditions climatiques québécoises;
- le coût de la vie de la région qui influence le coût de la main-d'œuvre;
- le taux de réserve;
- les taux de change;
- l'achalandage des utilisateurs sur les circuits;
- la disponibilité des données d'exploitants actuels;
- les STC demeurent des systèmes récents.

Il est recommandé de développer un plan d'entretien complet avec le fournisseur sélectionné.

1.2.4.4 Taux de réserve des véhicules pour l'entretien

Pour rencontrer un bon taux d'adhérence à l'horaire et satisfaire la clientèle, le taux de réserve au Québec s'établit généralement autour de 10 à 13 % du parc pour les autobus de type diesel (ATUQ, 2010). Pour la mise en marche, le taux de réserve sera donc celui recommandé au Québec.

1.2.4.5 Installations pour l'entretien et le remisage des véhicules

Les principaux éléments à considérer lors de la création d'un centre des opérations pour l'entretien des véhicules sont les suivants :

- Une salle de peinture selon les nouvelles normes pour permettre l'application de peinture à base d'eau avec les équipements associés (pistolet à peinture, système de ventilation, compresseur, etc.).
- Une baie de carrossier pour effectuer les divers travaux de réparation munie de vérins hydrauliques.
- Un système de ravitaillement des fluides (lave-vitre, antigel, huiles, carburant). De plus, il doit être possible de vider la boîte à perception (\$).
- Un système de lavage à haute pression et une salle de nettoyage pour effectuer le nettoyage intérieur complet.
- Une salle d'outillage.
- Un magasin de pièces de rechange.

L'identification des besoins en matière d'installation pour l'exploitation d'un réseau de transport est basée sur les données internes (STL, 2010).

1.3 L'aspect réglementaire

L.R.Q, Chapitre T-12 Loi sur les transports

Le système de transport cybernétique Serpentine doit être présenté à la Commission des Transports du Québec, car cette commission possède l'autorité de réglementer l'exploitation d'un moyen ou d'un système de transport selon l'article 15 de la Loi. C'est également cette commission qui détermine le type d'immatriculation qui doit être délivré par la SAAQ. Selon le poids nominal d'un véhicule, la Loi concernant les propriétaires et exploitants de véhicules lourds (1998, chapitre 40) ne s'applique pas. Voici pourquoi selon la SAAQ :

« À la suite des modifications apportées à la Loi concernant les propriétaires, les exploitants et les conducteurs de véhicules lourds, une nouvelle définition de « véhicule lourd » est en vigueur depuis le printemps 2010. La nouvelle définition reposera plutôt sur le **poids nominal brut du véhicule (PNBV)** ».

Le PNBV représente le **poids d'un véhicule** auquel on additionne la **charge maximale qu'il peut transporter**.

$$\text{PNBV} = \text{masse nette} + \text{capacité maximale de charge}$$

Cette nouvelle définition va permettre au Québec d'harmoniser ses pratiques avec celles de l'ensemble des juridictions canadiennes. Ainsi, tous les véhicules de même type sont assujettis aux règlements concernant les véhicules lourds, peu importe la province où ils sont immatriculés ou la province où ils circulent.

1.3.1 Véhicules considérés comme « véhicule lourd »

Les différents véhicules lourds possèdent les paramètres suivants :

- Les véhicules routiers dont le PNBV est de 4 500 kg ou plus.
- Les ensembles de véhicules routiers dont au moins un des véhicules a un PNBV de 4 500 kg ou plus.
- Les dépanneuses, les autobus et les minibus, sans égard à leur masse.
- Les véhicules assujettis au Règlement sur le transport des matières dangereuses.

Les systèmes de transport cybernétique ne sont pas dans la classification actuelle de la SAAQ.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente l'approche méthodologique favorisée dans le cadre de la présente étude. L'approche développée vise d'une part à sélectionner un site d'implantation présentant les meilleurs bénéfices associés à l'implantation d'un STC et, d'autre part, à évaluer le degré de satisfaction du besoin en mobilité individuel des usagers comparativement à un mode de transport conventionnel tel que l'autobus. L'approche méthodologique est présentée selon les deux volets de l'étude. Finalement, l'approche méthodologique fait l'objet d'une étude de cas appliquée à la ville de Laval au Québec.

2.1 Volet 1 : Sélection d'un site d'implantation pour un réseau STC

Les propriétés structurelles et fonctionnelles des STC offrent une grande flexibilité du point de vue de l'implantation d'un réseau de service dans un milieu urbain. Cette flexibilité s'exprime tant d'un point de vue spatial lors de l'implantation sur des sites multiples que d'un point de vue temporel par l'intégration étape par étape en fonction des moyens financiers et des besoins en déplacements de proximité identifiés au sein de différentes zones urbaines. Dans la perspective de plusieurs sites d'implantation identifiés, il s'agit dès lors d'identifier le site offrant le meilleur potentiel de retombées socio-économiques et environnementales.

2.1.1 Caractéristiques des sites

Les sites qui seront identifiés doivent offrir un potentiel de développement économique pour le milieu urbain ciblé et les entreprises du secteur par une augmentation de la visibilité. Il doit s'agir d'un site achalandé par les utilisateurs de la voiture où le service d'autobus est limité dans son expansion. Ils doivent également permettre l'intégration du STC – Serpentine au système de transport en commun en opération dans le secteur au niveau du service et de la

circulation routière afin d'éviter l'augmentation de la congestion. Le potentiel d'achalandage doit contribuer à l'atteinte des objectifs du plan de mobilité de la ville et du gouvernement québécois.

2.1.2 Définition des critères de sélection

Il s'agit de définir trois différents sites selon les critères de sélection suivants soit, (1) la distance à parcourir, (2) l'inter modalité avec l'autobus, (3) la clientèle visée, (4) le nombre de déplacements potentiels et (5) la densité de la population desservie.

Pour définir la clientèle visée, une inspection physique sur le site a été réalisée et une recherche des adresses du secteur a également été effectuée à partir du site www.canada411.ca. L'achalandage potentiel est normalement déterminé par les différentes sociétés de transport à l'aide de plusieurs outils soit, l'enquête Origine-Destination et une enquête porte-à-porte dans le secteur concerné.

Dans le cadre de la présente étude, l'achalandage potentiel de chaque site sera déterminé à partir de la densité de la population et de la part modale de transport en commun en pointe du matin. Un décompte physique du nombre de voitures permettra de valider le potentiel d'achalandage du meilleur site.

2.1.3 Analyse multicritères

Une fois les sites définis, ils seront comparés en fonction des critères d'efficacité et d'efficience basés sur les paramètres de définition des sites suivants soit : (1) la distance à parcourir, (2) l'inter modalité avec l'autobus, (3) la clientèle visée, (4) le nombre de déplacements potentiels et (5) la densité de la population desservie. Les sites ont été identifiés à partir de l'information recueillie au sein de la STL soit, le réseau de transport en commun actuellement en opération selon les caractéristiques des sites sélectionnés.

Dans le cadre de l'étude de cas afin d'évaluer la faisabilité de cette solution, trois sites d'implantation seront sélectionnés et caractérisés selon les paramètres suivants :

- la distance à parcourir et l'itinéraire proposé doivent s'intégrer au réseau de transport en commun actuel de la STL afin d'offrir l'inter-modalité;
- la clientèle visée par les sites sera la clientèle active. La méthode utilisée afin de calculer l'achalandage potentiel de chaque site est basée en fonction des éléments suivants :
 - les TC occupent 25 % du marché total des transports en pointe du matin;
 - la densité du secteur à desservir démontre la quantité de clients potentiels.

L'hypothèse de travail est donc que l'achalandage maximal d'un secteur représente une possibilité de 25 % du marché total disponible. Il s'agit donc de considérer la densité maximale d'un secteur potentiel selon la relation :

$$0,25 \times \text{Densité maximale du secteur} = \text{Achalandage estimé}$$

$$\text{Total des coûts d'investissement} / \text{Nombre de clients potentiels/jour} = \$/\text{personne/jour}$$

Les coûts considérés seront l'implantation des infrastructures selon le nombre de kilomètres de chaque site, l'acquisition de 10 capsules et l'acquisition d'une centrale de gestion du réseau permettant d'opérer les capsules.

Le nombre de kilomètres parcourus par véhicule pour desservir le circuit identifié sera calculé comme suit :

$$\text{Nombre de km du circuit} / \text{Nombre de véhicules pour le desservir} = \text{Nombre de véhicules/circuit}$$

2.2 Volet 2 : Analyse comparative STC – Transport conventionnel

Il s'agit de comparer le système STC-Serpentine proposé aux moyens de transport conventionnels comme l'automobile et l'autobus. Plusieurs critères de performance seront analysés afin de bien déterminer les impacts socio-économiques et environnementaux de l'implantation d'un tel système.

2.2.1 Définition du besoin en mobilité

La définition du besoin en mobilité sera déterminée à partir de la densité de la population et de données de référence présentées précédemment. Une fois le meilleur site identifié, une analyse sur le terrain sera réalisée afin d'identifier le nombre de déplacements selon une journée type en pointe du matin soit, deux mardis consécutifs pour une période de 6h00 à 9h00. La journée de mardi permet de couvrir les employés travaillant selon un horaire de quatre jours par semaine.

2.2.2 Indicateurs de performance

Pour les différents modes de transport considérés (l'automobile, l'autobus et le STC-Serpentine), les indicateurs sélectionnés sont : les émissions de CO₂ et de NO_x, le temps d'attente et le taux de remplissage. Ils permettent d'évaluer les incidences environnementales du STC-Serpentine relativement aux autres moyens de transport sélectionnés et ainsi évaluer l'apport d'un système de transport cybernétique pour les usagers (service), les résidents (qualité de l'environnement) ainsi que les services de transport (coûts). La capacité de transport du métro, du tramway et du trolleybus sera également comparée.

Les coûts d'investissements et les coûts d'exploitation pour le STC-Serpentine comparativement aux autobus sont analysés afin d'évaluer la faisabilité d'implantation d'un tel système. Les coûts reliés à l'exploitation des autobus sont identifiés par l'ensemble des sociétés de transport au Québec à partir de clés de répartitions bien définies regroupant la

main-d'œuvre et les pièces. L'ensemble de ces données est alors transformé en \$/km parcouru.

Une analyse des investissements nécessaires pour l'implantation du STC – Serpentine sera réalisée. Le site à retenir sera également comparé au rendement énergétique (g.CO₂/km/personne) et économique (\$/personne) de l'autobus et de l'automobile selon les relations suivantes :

$$2,4 \text{ kilogrammes } CO_2/\text{litre d'essence} \times \text{nombre de litres divisé par } 100 = \text{g } CO_2/\text{km}$$

$$\text{g.}CO_2/\text{km} / \text{Nombre de personne} = \text{g } CO_2/\text{km/personne}$$

Les émissions de CO₂ sont calculées à partir du facteur de conversion utilisé pour les émissions de CO₂ équivalent soit, 2,4 kilogrammes pour chaque litre d'essence. Ce facteur tient compte de la consommation moyenne des véhicules selon l'étude de consommation des véhicules (Agence de l'efficacité énergétique, 2008).

Par la suite, un diagramme de Kiviat sera réalisé afin d'analyser les trois sites sélectionnés et ainsi déterminer quel sera le meilleur site d'implantation d'un STC - Serpentine. Les indicateurs d'évaluation sont les suivants : excellent (100), très bon (75), bon (60), satisfaisant (50) et non satisfaisant (40).

2.2.3 Gestion de la qualité via l'analyse de la valeur

Selon Hausler (2008), le plan de travail de l'analyse de la valeur oblige les différents intervenants à remettre en cause les aspects fondamentaux de l'implantation d'un STC-Serpentine à Laval. Il permet l'identification et la pleine compréhension pour chacun des besoins identifiés et il oriente la recherche de solutions optimales. Les différentes solutions proposées doivent être classées en ordre croissant selon le niveau de satisfaction obtenu à partir des critères et des sous-critères d'analyse. Les différentes étapes de l'analyse de la

valeur sont donc les suivantes soient, l'identification des besoins, l'analyse fonctionnelle et caractérisation, et finalement, l'évaluation des solutions proposées.

L'analyse fonctionnelle consiste à identifier les critères à rencontrer afin de satisfaire les besoins identifiés dans le présent mémoire. La partie caractérisation consiste à préciser le besoin en déterminant les critères à atteindre afin de le satisfaire à l'aide d'un élément mesurable. La caractérisation de l'analyse fonctionnelle exprime le niveau d'importance de chacun des critères fixés. Cette évaluation doit permettre de classer rapidement les différentes solutions par ordre croissant d'intérêt. Afin de déterminer la force d'un critère, un facteur de 1 à 10 lui est attribué (10 étant le facteur le plus important et 1 étant le facteur le moins important).

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Ce troisième chapitre présente les résultats obtenus selon les deux volets suivants : (1) sélection d'un site d'implantation d'un STC-Serpentine pour la ville de Laval; (2) analyse comparative de la satisfaction du besoin de mobilité entre des modes de transport conventionnels et le STC-Serpentine.

3.1 Sélection d'un site d'implantation du STC-Serpentine

Le meilleur site d'implantation du STC-Serpentine a été sélectionné à partir de trois sites potentiels pour la ville de Laval. La ville de Laval possède un réseau de transport d'autobus réalisant plus de 14 millions de km par année afin de desservir sa clientèle. Les artères les plus achalandées sont les mieux desservies alors que le service pour les secteurs en périphérie demeure plus limité. Ainsi, afin de combler l'offre en mobilité individuelle et en accord avec les principes d'une approche multimodale, il est envisageable d'installer un STC-Serpentine. L'intérêt de ce type de transport pour des zones à faible achalandage repose sur les propriétés structurelles et fonctionnelles des STC.

En effet, un STC se caractérise par ses éléments structuraux composés des éléments physiques tels que les voies de guidage qui composent le réseau, et des réseaux de communication qui permettent les interrelations entre les différents éléments qui constituent le système. Les réseaux de communication comprennent non seulement les canaux qui portent la communication (câble, longueur d'onde) mais également l'unité centrale qui assure le traitement de l'information (Saugy *et al.*, 1997).

3.1.1 Présentation des caractéristiques des sites

Les trois sites d'implantation présélectionnés s'inscrivent dans la volonté d'amélioration de la mobilité individuelle des usagers. Les critères de présélection des sites répondent aux caractéristiques suivantes : (1) intégration au réseau de transport d'autobus actuel; (2) facilité d'intégration des infrastructures du STC – Serpentine au réseau routier; (3) densité de la population offrant un potentiel d'achalandage (exprimant le besoin en mobilité); (4) réseau initial maximal d'une dizaine de kilomètres répondant à un principe de projet pilote; (5) site offrant une bonne visibilité.

3.1.2 Sélection des sites

Les trois sites d'implantation qui ont été sélectionnés possèdent l'ensemble des critères de présélection identifiés précédemment. La figure 3.1 représente la densité de la population de Laval dans les secteurs où se situent les trois différents sites d'implantation proposés. La densité des secteurs représentés par cette carte varie de 10 à plus de 10 000 habitants par km². Le site 1 et le site 3 possèdent la même densité de population alors que le site 2 possède une densité supérieure. Par contre, le site 3 est localisé dans un secteur industriel représenté par une faible densité de population, mais par un fort achalandage potentiel en fonction du nombre d'employés par entreprise regroupés dans le même secteur.

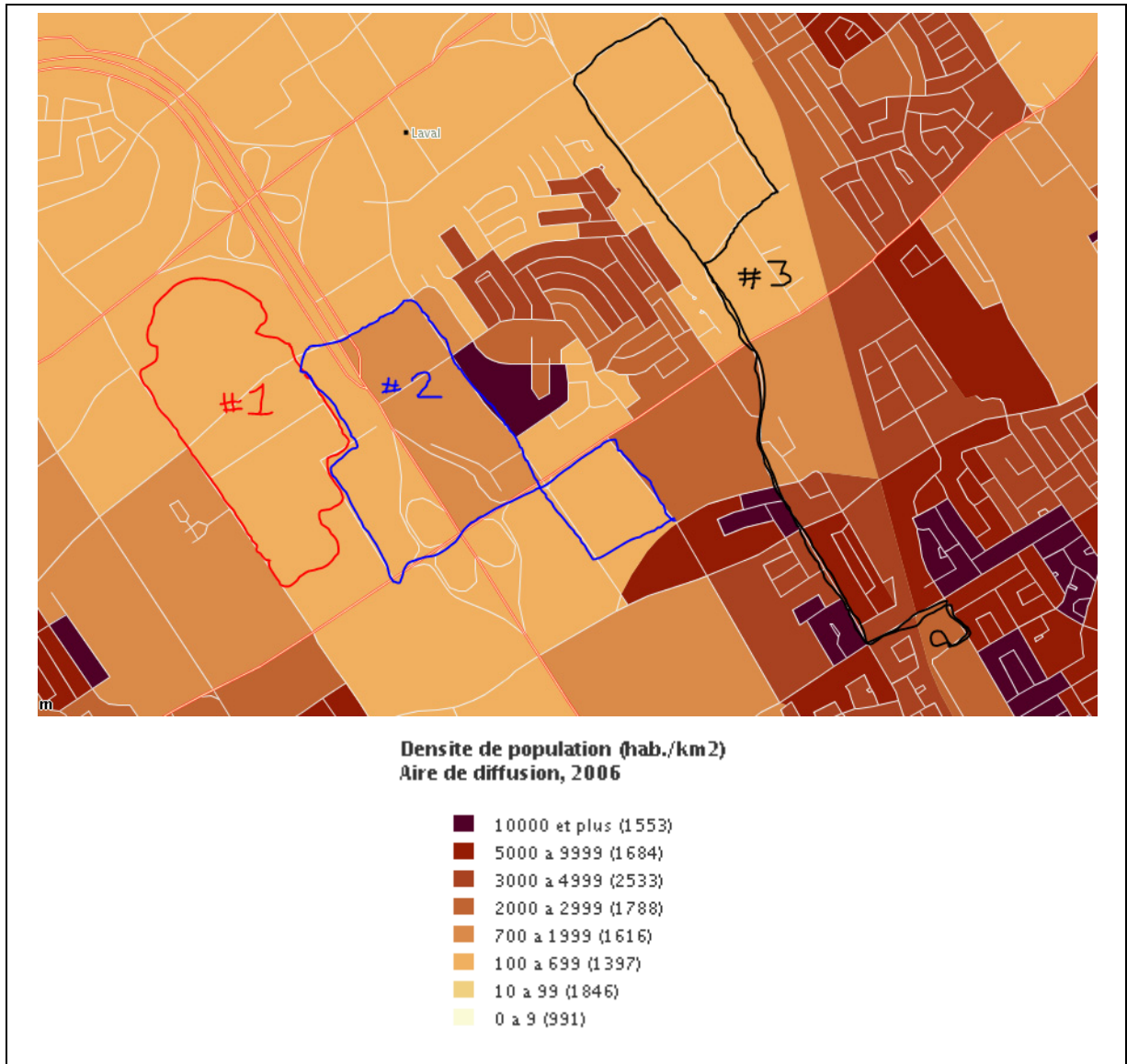


Figure 3.1 Densité de la population de Laval pour les trois sites.
Tirée de la ville de Laval (2006)

Site 1

Le site représente un circuit de 4,2 km, il y a 11 arrêts et il dessert le centre-ville de Laval (figure 3.2). Le quartier est principalement composé d'un secteur résidentiel (condos) et d'un secteur commercial très achalandé; le plus important de Laval. La durée totale du circuit est de 30 minutes en fonction des lumières de circulation. La largeur des rues permet une intégration des infrastructures nécessaires au STC - Serpentine. Il y a une ligne d'autobus qui dessert ce secteur.

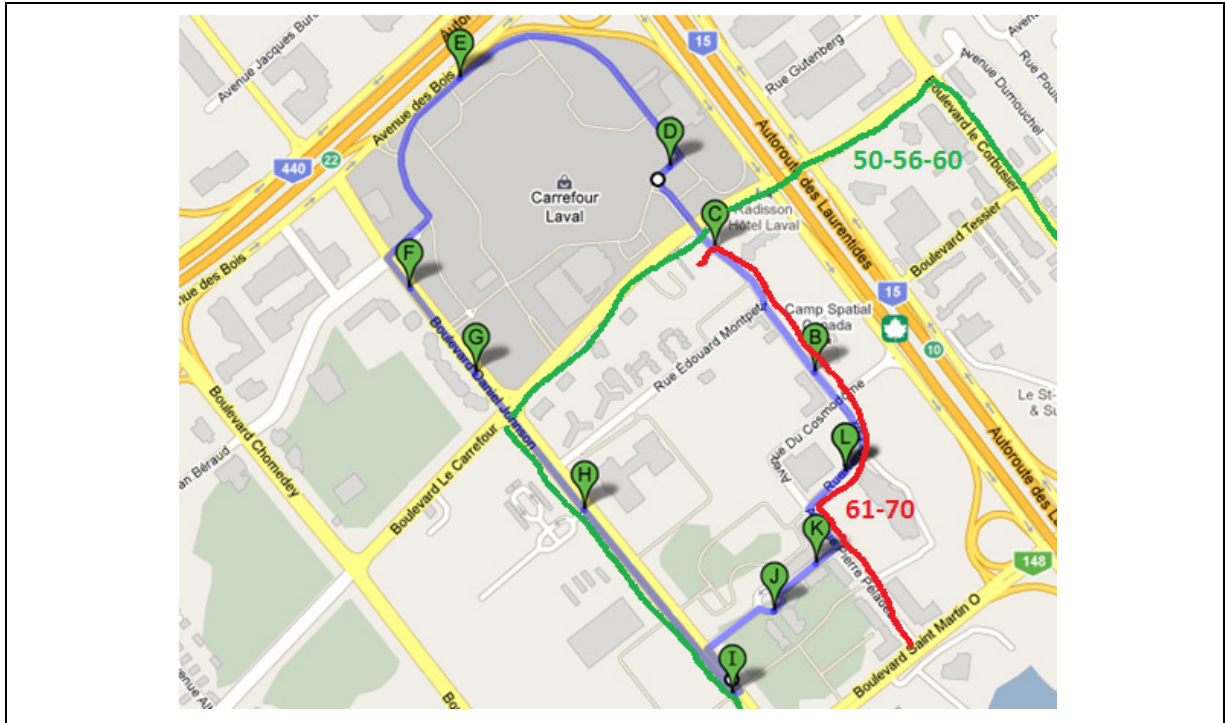


Figure 3.2 Carte du site 1.

Le tableau 3.1 présente la liste des arrêts et les distances parcourues en mètre entre chaque arrêt pour le premier site d'implantation. La localisation des 11 arrêts proposés est énumérée dans le tableau ainsi que les distances précises entre chaque point.

Tableau 3.1 Arrêts proposés pour le site 1

Pts	Origine	Pts	Destination	Distance [m]
A	Cinéma Colossus et Marché gourmand	B	Cosmodôme	280
B	Cosmodôme	C	Terminus Le Carrefour	350
C	Terminus Le Carrefour	D	Carrefour Laval / Arrêt #1	250
D	Carrefour Laval / Arrêt #1	E	Carrefour Laval / Arrêt #2	700
E	Carrefour Laval / Arrêt #2	F	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 1	600
F	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 1	G	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 2	250

Pts	Origine	Pts	Destination	Distance [m]
G	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 2	H	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 3	400
H	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 3	I	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 4	550
I	Boulevard Daniel-Johnson / Arrêt # 4	J	Centropolis / Arrêt # 1	350
J	Centropolis / Arrêt # 1	K	Centropolis / Arrêt # 2	150
K	Centropolis / Arrêt # 2	L	Cinéma Colossus et Marché gourmand	300

La distance minimale entre deux points est de 150 mètres alors que la distance maximale est de 700 mètres. Le point de départ du circuit se situe au Cinéma Colossus et se termine au Centropolis.

Site 2

Le site représente un circuit de 7,5 km, il y a 8 arrêts et il dessert le centre-ville de Laval (figure 3.3). Le quartier est principalement composé d'un secteur résidentiel et d'un secteur commercial très achalandé. La durée totale du circuit est de 40 minutes en fonction des lumières de circulation. La largeur des rues permet une intégration des infrastructures nécessaires au STC - Serpentine. Il y a trois lignes d'autobus qui desservent ce secteur.

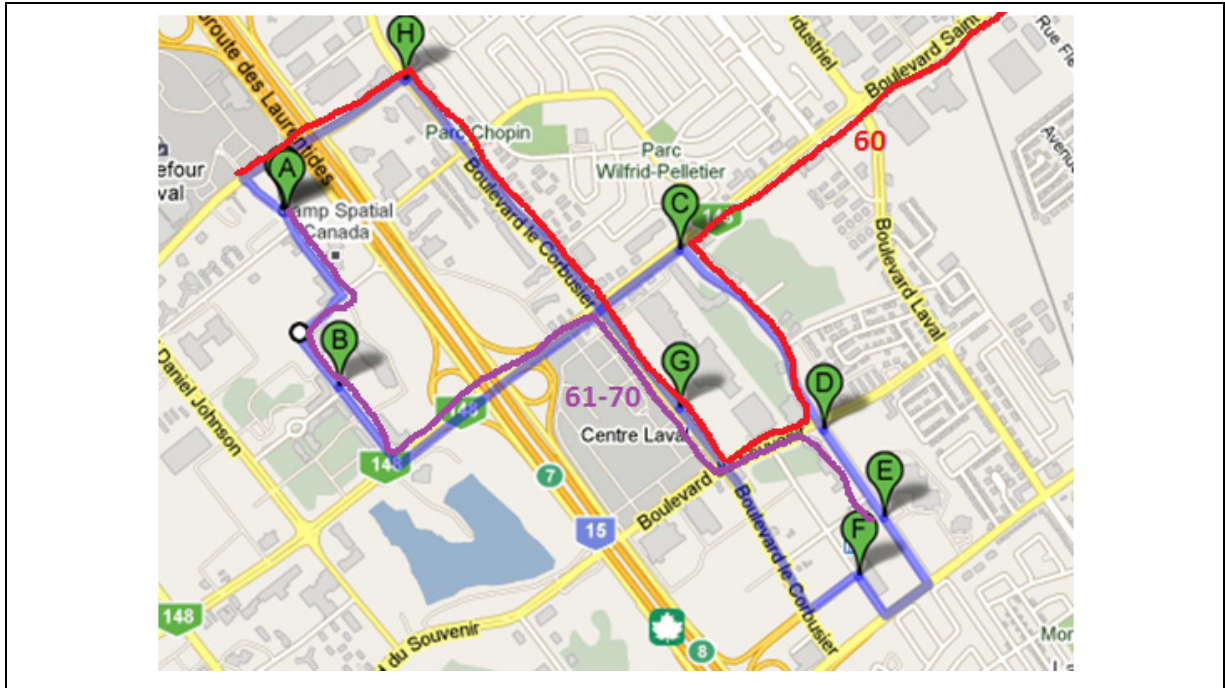


Figure 3.3 Carte du site 2.

Le tableau 3.2 présente la liste des arrêts et les distances parcourues en mètre entre chaque arrêt pour le deuxième site d'implantation. La localisation des 8 arrêts proposés est énumérée dans le tableau ainsi que les distances précises entre chaque point.

Tableau 3.2 Arrêts proposés pour le site 2

Pts	Origine	Pts	Destination	Distance [m]
A	Terminus Le Carrefour	B	Centropolis	750
B	Centropolis	C	Boul St-Martin / Boul De l'avenir	1500
C	Boul St-Martin / Boul De l'avenir	D	Boul De l'avenir / Boul Du Souvenir	850
D	Boul De l'avenir / Boul Du Souvenir	E	CEGEP Montmorency	350
E	CEGEP Montmorency	F	Métro Montmorency	600
F	Métro Montmorency	G	Centre Laval	1000
G	Centre Laval	H	Boul Le Corbusier / Boul Le Carrefour	1500
H	Boul Le Corbusier / Boul Le Carrefour	I	Terminus le Carrefour	850

La distance minimale entre deux points est de 350 mètres alors que la distance maximale est de 1 500 mètres. Le point de départ du circuit se situe au Terminus Le Carrefour et se termine au coin des boulevards Le Corbusier et Le Carrefour.

Site 3

Le site représente un circuit de 8,3 km, il y a 11 arrêts (figure 3.4). Le quartier est principalement composé d'un secteur industriel. La durée totale du circuit est de 55 minutes en fonction des lumières de circulation. La largeur des rues permet une intégration des infrastructures nécessaires au STC - Serpentine. Il y a deux lignes d'autobus qui desservent ce secteur.

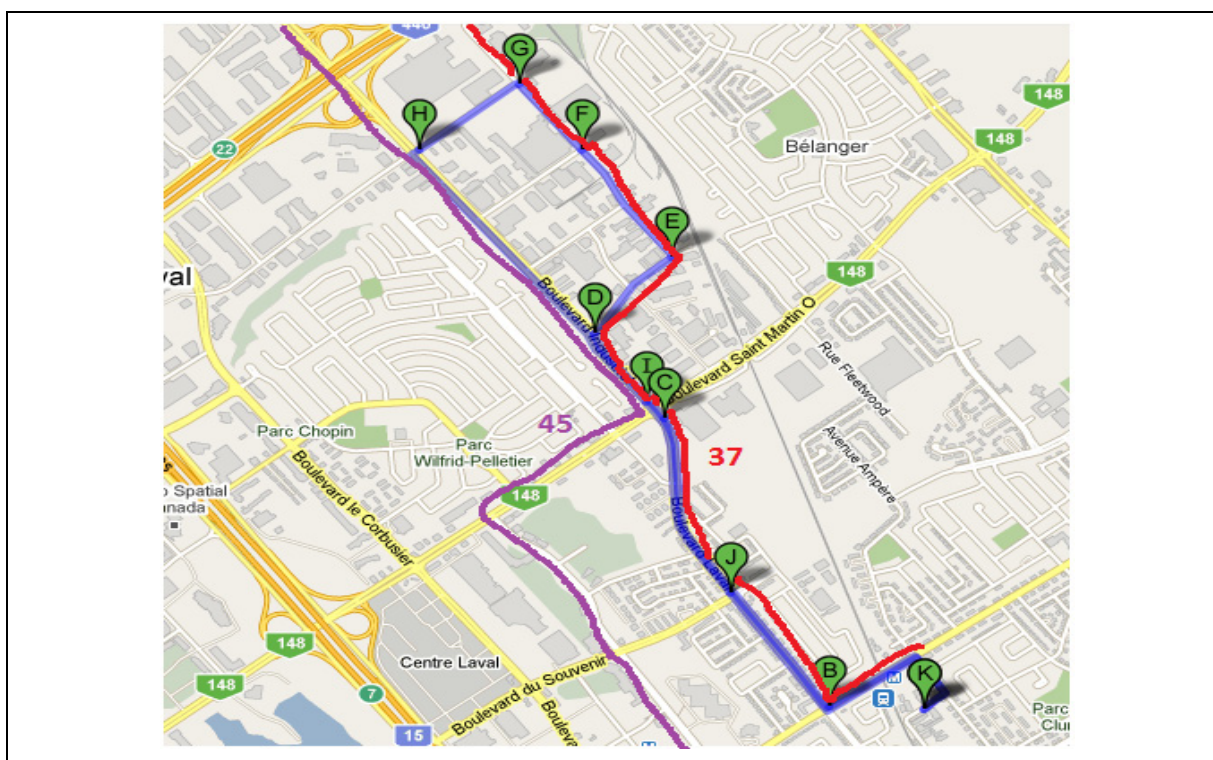


Figure 3.4 Carte du site 3.

Le tableau 3.3 présente la liste des arrêts et les distances parcourues en mètre entre chaque arrêt pour le troisième site d'implantation. La localisation des 11 arrêts proposés est énumérée dans le tableau ainsi que les distances précises entre chaque point.

Tableau 3.3 Arrêts proposés pour le site 3

Pts	Origine	Pts	Destination	Distance [m]
A	Metro /gare de la Concorde	B	Boul de la Concorde / Boul Laval	700
B	Boul de la Concorde / Boul Laval	C	Boul Laval – Boul Industriel / Boul St-Martin	1500
C	Boul Laval – Boul Industriel / Boul St-Martin	D	Boul Industriel / Rue de Salaberry	450
D	Boul Industriel / Rue de Salaberry	E	Rue de Salaberry / Avenue François-Hugues	600
E	Rue de Salaberry / Avenue François-Hugues	F	Avenue François-Hugues / Avenue Munck	600
F	Avenue François-Hugues / Avenue Munck	G	Avenue François-Hugues / Avenue Cunard	400
G	Avenue François-Hugues / Avenue Cunard	H	Avenue Cunard / Boul Industriel	500
H	Avenue Cunard / Boul Industriel	I	Boul Industriel / Avenue Munck	400
I	Boul Industriel / Avenue Munck	J	Boul Industriel-boul Laval / Boul St-Martin	1000
J	Boul Industriel-Boul Laval / Boul St-Martin	K	Boul Laval / Boul Du Souvenir	1000
K	Boul Laval / Boul Du Souvenir	A	Metro /gare de la Concorde	1300

La distance minimale entre deux points est de 400 mètres alors que la distance maximale est de 1 500 mètres. Le point de départ du circuit se situe à la station de métro Concorde et se termine au coin des boulevards Laval et St-Martin.

Le tableau 3.4 résume chacun des sites analysés. La distance totale à parcourir pour chaque circuit varie de 4,2 km à 8,3 km. Elle a été définie afin de s'intégrer avec les services de transport en commun déjà présents dans le secteur soit, l'autobus. L'inter modalité a été considéré dans le choix des trois sites, car l'objectif d'implantation d'un STC - Serpentine consiste à compléter l'offre de service du réseau de transport en commun actuel. Le site 1 s'intègre dans 1 ligne d'autobus, le site 2 dans 3 lignes d'autobus et finalement, le site 3, dans 1 ligne d'autobus.

Dans le cas de la présente étude, l'achalandage potentiel est calculé en se basant sur la densité de la population et sur l'enquête Origine-Destination 2008 qui démontre que le transport en commun possède 25 % du marché de l'ensemble des déplacements en pointe du matin. Le tableau 3.4 présente le calcul de l'achalandage en pointe du matin pour les trois sites proposés.

Tableau 3.4 Calcul de l'achalandage

Calcul de l'achalandage potentiel/pointe matin	Site 1	Site 2	Site 3
= 25% * densité maximale du secteur	= 25% * 100	= 25% * 2000	= 25% * 100
Résultat	25 déplacements	500 déplacements	25 déplacements

Le site 1 et le site 3 obtiennent le même nombre de déplacements soit 25 déplacements en pointe du matin et le site 2 obtient un résultat de 500 déplacements.

Le tableau 3.5 présente une analyse des trois sites selon les cinq caractéristiques spécifiques. Le nombre de déplacements potentiels en pointe du matin est de 25 déplacements pour le site 1 et 3 et de 500 déplacements pour le site 2. Par contre, le site 3 se retrouve dans un secteur industriel ayant un potentiel plus important difficile à évaluer sans sondage physique au sein des différentes entreprises présentes. Les trois sites s'intègrent dans la rue en bordure, et ce, sans nuire à la circulation locale.

Tableau 3.5 Analyse des sites selon les caractéristiques spécifiées

Caractéristiques	Site 1	Site 2	Site 3
Distance à parcourir	4,2 km	7,5 km	8,3 km
Inter modalité autobus	1 ligne	3 lignes	2 lignes
Clientèle visée	Résidentiel, commercial	Résidentiel, commercial	Industriel
Nombre de déplacements potentiels – Achalandage/pointe du matin	25	500	25
Densité de la population (habitant/km ²)	10 à 99	700 à 1999	10 à 99

Le site 1 possède un circuit de 4,2 km, le site 2 a un circuit de 7,5 km et le site 3 propose un circuit de 8,3 km. Le site 1 est desservi par une seule ligne d'autobus alors que le site 3 s'intègre à deux lignes d'autobus. Le site 2 est celui qui est desservi par le plus grand nombre de circuits soit trois lignes d'autobus. La densité de la population varie de 10 à 99 habitants/km² pour les sites 1 et 3 et de 700 à 1999 habitants/km² pour le site 2.

Le tableau 3.6 présente les coûts d'investissement nécessaires à l'implantation d'un STC - Serpentine pour chaque site proposé.

Tableau 3.6 Investissements nécessaires pour l'implantation de la STC - Serpentine par site

Investissements	Site 1	Site 2	Site 3
Réseau	470 400 \$	840 000 \$	929 600 \$
Véhicules (10)	1 050 000 \$	1 050 000 \$	1 050 000 \$
Centrale de gestion du réseau	70 000 \$	70 000 \$	70 000 \$
Total :	1 590 400 \$	1 960 000 \$	2 049 600 \$

Le site 3 demeure le site le plus dispendieux, car le réseau doit être implanté sur le circuit le plus long soit 8,3 km. Le coût des véhicules et de la centrale de gestion sont les mêmes pour les trois sites. Plusieurs éléments peuvent influencer la faisabilité d'un projet de transport en

commun. La prise en compte des différents critères doit permettre d'identifier le site ayant le plus d'impacts positifs sur la mobilité individuelle des usagers.

Les trois sites demeurent intéressants comme première implantation (projet pilote) mais c'est le troisième site qui répond le mieux aux critères décisionnels. Par contre, une approche d'implantation étape par étape offrira la possibilité d'analyser le STC – Serpentine dans un contexte lavallois réel. L'analyse spécifique pour chacun des sites se présente comme suit :

Site 1

Ce site dessert les deux plus gros centres commerciaux de Laval soit le Centropolis et Le Carrefour Laval. Le nombre d'espaces de stationnements disponibles n'encourage pas l'utilisation du transport en commun surtout, lors d'achat important à transporter. L'achalandage potentiel estimé est de 25 déplacements pour la pointe du matin.

Site 2

Ce site couvre deux terminus d'autobus déjà bien desservi par le réseau d'autobus soit le terminus Le Carrefour et le terminus Montmorency. La marche à pied demeure une option avantageuse pour la clientèle de ce secteur. L'achalandage potentiel estimé est de 500 déplacements pour la pointe du matin.

Site 3

La distance à parcourir à pied afin de rejoindre le réseau d'autobus est de 1,6 km. Le secteur à desservir offre une plus grande mobilité individuelle à un secteur industriel possédant un grand nombre d'entreprises. C'est un des secteurs les plus faibles du réseau d'autobus de la ville de Laval. L'achalandage potentiel estimé est de 25 déplacements pour la pointe du matin. Par contre, la localisation de ce site offre un achalandage supérieur à celui estimé, car la densité d'un quartier industriel est plus basse que la clientèle réelle circulant dans ce secteur.

Le tableau 3.7 présente la sélection des trois sites et leur analyse en fonction des cinq critères de performance déterminés précédemment soit (1) l'intégration au réseau d'autobus (2) la facilité d'intégration au réseau routier (3) le potentiel d'achalandage (4) le réseau initial d'une dizaine de kilomètres et finalement (5) une bonne visibilité. Les indicateurs utilisés pour l'évaluation sont les suivants : excellent (100), très bon (75), bon (60), satisfaisant (50) et non satisfaisant (40).

Tableau 3.7 Sélection et analyse des trois sites selon des critères de performance

Critères	Site 1	Site 2	Site 3
Intégration au réseau d'autobus	60	75	75
Facilité d'intégration des infrastructures au réseau routier	60	60	75
Potentiel d'achalandage	50	75	100
Réseau initial d'une dizaine de km	75	75	100
Bonne visibilité	100	100	75

La figure 3.5 démontre les résultats obtenus pour chacun des trois sites aux cinq critères de performance identifiés dans le tableau 3.7. Les résultats sont présentés sous la forme d'un diagramme de Kiviati afin de comprendre la performance de chaque site par rapport aux autres.

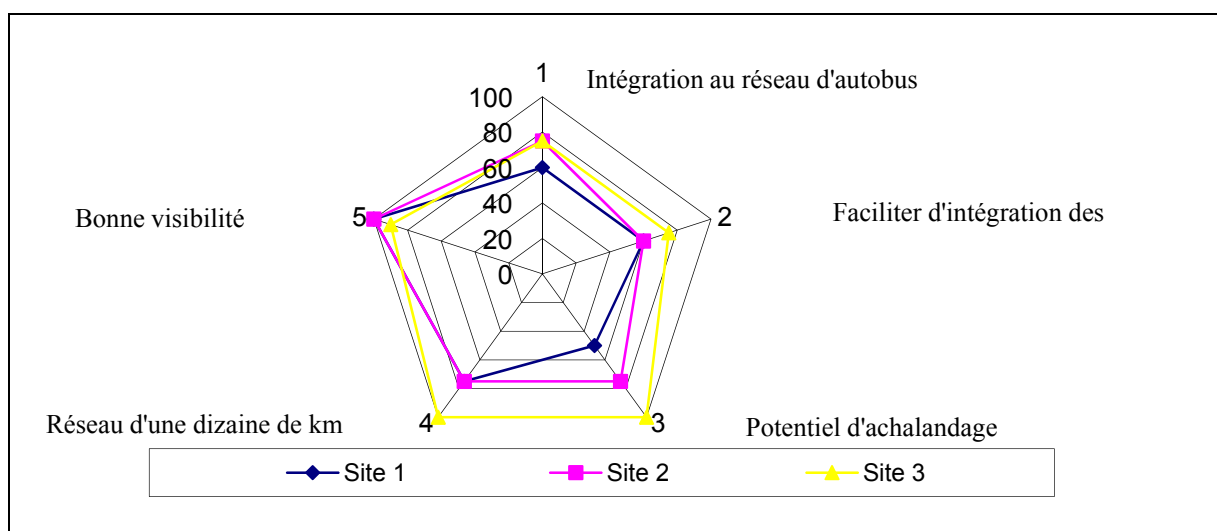


Figure 3.5 Diagramme de Kiviati pour la sélection des trois sites selon les critères identifiés.

Le site 3 obtient les meilleurs résultats aux cinq critères d'évaluation soit une note de 75 (très bonne) pour l'intégration au réseau d'autobus, la facilité d'intégration aux infrastructures routières et une bonne visibilité. Et finalement, une note de 100 (excellent) très bonnes pour le potentiel d'achalandage et un réseau initial le plus près d'une dizaine de kilomètres. Les deux autres sites obtiennent des notes de 60 (bon) pour certains critères.

3.2 Analyse comparative du site d'implantation

Le STC - Serpentine est comparée aux moyens de transport conventionnels soit l'automobile et l'autobus afin d'en évaluer l'apport au niveau du service, de l'environnement et au niveau des coûts. Il faut choisir le meilleur moyen de transport afin de répondre au besoin de mobilité individuelle des citoyens.

3.2.1 Caractéristiques des trois modes de transport

Les trois modes de transport proposés ont été sélectionnés en fonction de plusieurs caractéristiques. Le tableau 3.8 présente les trois moyens de transport analysés à partir de leur émission de CO₂, de leur capacité unitaire (nombre de place) et du coût au kilomètre.

Tableau 3.8 Caractéristiques des trois modes de transport

Caractéristiques	Unité de mesure	STC - Serpentine	Autobus	Automobile
CO ₂ *	g CO ₂ /km/personne	0,61	7,11	35,35
Capacité unitaire	Nombre de place	4	40	4
Coûts**	\$/km	287 000	528 000	262 000

* Source : Transport Québec, 2008; Site Internet Serpentine, 2010

** Source : Glaus, 2007; STL 2010

Le STC – Serpentine obtient les meilleurs résultats au niveau des émissions et un résultat identique à celui de l'automobile pour la capacité unitaire. Par contre, l'autobus demeure plus performant que l'automobile par sa capacité à déplacer un plus grand nombre d'usager par véhicule. Les coûts d'investissement au kilomètre sont de 262 000\$/km pour l'automobile et

de 287 000\$/km pour le STC Serpentine. C'est l'autobus qui obtient le résultat le plus élevé avec 700 000\$/km.

3.2.2 Bilan des flux

Le site 3 est le site offrant le plus de potentiel au niveau de l'achalandage et au niveau de la flexibilité d'implantation. Le tableau 3.9 présente l'analyse des flux des trois moyens de transport proposés.

Tableau 3.9 Analyse des flux des trois moyens de transport

Moyen de transport	STC-Serpentine	Autobus	Automobile
g CO ₂ /km/personne*	$2,4 * 0,3/100/4 = 0,0018$	$2,4 * 50/100/50 = 0,024$	$2,4 * 12/100/1 = 0,288$
\$/personne/jour**	$287\ 000\ \$/4/365 = 15,73$	$700\ 000\ \$/40/365 = 38,36$	$12\ 000\ \$/1/365 = 32,87$
Nombre de véhicules pour desservir un circuit	10	4	1
km parcouru par véhicule	$8,3\ km/10 = 0,83$	$8,3\ km/4 = 2,075$	$8,3\ km/1 = 8,3$
Taux de remplissage	100%	50%	25%
Fréquence de service	<1 minute	=30 minutes	<1 minute

* Le nombre de personne est évalué à 4 pour la Serpentine, à 40 pour l'autobus et à 1 pour l'automobile

** Le nombre de client potentiel par jour est évalué à 50 personnes

Le STC-Serpentine est de 0,0018 gCO₂/km/personne et celui de l'autobus est de 0,024 gCO₂/km/personne. Le coût/par personne/par jour est de 15,73 \$ pour le STC, de 38,36 \$ pour l'autobus et de 32,87 \$ pour l'automobile. Le nombre de véhicules nécessaires afin de desservir ce nouveau circuit de 8,3 km est de 10 capsules pour le STC - Serpentine, de 4 autobus et d'une automobile selon le moyen de transport utilisé. Le nombre de kilomètres

parcourus pour chaque véhicule varie selon le moyen de transport. Il s'agit de 0,83 km par véhicule pour le STC – Serpentine, de 2,07 km par autobus et de 8,3 km pour l'automobile.

Le tableau 3.10 exprime les résultats obtenus lors de la campagne de mesures des flux de véhicules automobiles entrants dans le quartier industriel (site 3, au coin des boulevards St-Martin et Industriel). La campagne de mesure a été réalisée sur deux mardi (18 janvier et le 25 janvier 2011) durant les périodes de pointe du matin (6h00 à 9h00).

Tableau 3.10 Nombre d'automobile pour la période de 06h00 à 09h00

Heure de pointe du matin	18/01/11 Nombre d'automobile	25/01/11 Nombre d'automobile
06h00 à 06h15	42	35
06h15 à 06h30	38	39
06h30 à 06h45	103	108
06h45 à 07h00	107	102
07h00 à 07h15	101	125
07h15 à 07h30	118	131
07h30 à 07h45	123	128
07h45 à 08h00	180	191
08h00 à 08h15	92	98
08h15 à 08h30	97	101
08h30 à 08h45	81	92
08h45 à 09h00	98	105

Note : Les véhicules lettrés au nom d'une entreprise n'ont pas été comptabilisé.

Les résultats présentés au tableau 3.10 démontrent que la période ayant l'achalandage le plus important sur les deux jours est de 07h45 à 8h00. Par ailleurs, la variation maximale entre les périodes est de 138 véhicules pour le jour 1 et de 156 véhicules le jour 2.

3.2.3 Analyse de la satisfaction – Évaluation des sites

Une fois les valeurs obtenues, l'analyse de la satisfaction peut être mise en place afin de considérer les critères des différents acteurs dans la prise de décision quant au projet à réaliser.

Critères ciblés

Les critères d'évaluation choisie s'inspirent des trois sphères du développement durable soit économique, social et environnemental. Par la suite, ces critères sont divisés en trois catégories soit, les critères techniques, les critères environnementaux et les critères socio-économiques. Le tableau 3.11 présente les critères d'évaluation selon le degré d'importance pour l'évaluation des trois moyens de transport. Le degré d'importance (poids) varie de 1 à 10, 1 étant le degré le plus important.

Tableau 3.11 Critères d'évaluation de chaque site selon le degré d'importance

#	Critères	Sous-critères	Évaluation (poids)
1	Techniques	Facilité d'implantation aux infrastructures routières	10
2		Sécurité des usagers	10
3		Flexibilité au niveau de la mobilité individuelle	10
4		Système de gestion	6
5	Environnementaux	Bonne connaissance de la technologie utilisée	6
6		Faible émission de CO ₂	9
7		Faible émission de NOx	9
8		Minimisation de la consommation d'énergie fossile	8
9	Socio-économiques	Limitation des déplacements à vide	10
10		Investissements initiaux	7
11		Coût d'exploitation	8
12		Achalandage potentiel	9
13		Création d'emplois	10
		Faible risque d'accident	10

L'évaluation est divisée en trois principaux critères soient, les critères techniques, les critères environnementaux et les critères socio-économiques. Chacun des critères principaux se divise quatre ou cinq critères afin d'être en mesure d'évaluer de manière plus précise chacun des moyens de transport. Cette évaluation permet de prendre la meilleure décision basée sur des critères de comparaison pertinents.

Critères techniques

Les critères techniques regroupent les éléments à prendre en considération afin d'implanter un système efficace qui répond à l'ensemble des normes de sécurité de la SAAQ à nos infrastructures actuelles. Le système de gestion doit également optimiser l'offre de service et les déplacements afin de répondre au besoin de mobilité individuelle des usagers.

Critères environnementaux

Les critères environnementaux regroupent les éléments permettant la protection de l'environnement au niveau des émissions de GES en limitant les déplacements à vide soit sans usager et encourage la faible consommation d'énergie fossile.

Critères socio-économiques

Les critères socio-économiques regroupent les éléments sociaux comme l'achalandage potentiel permettant de diminuer l'utilisation de l'automobile et la création d'emplois locaux. Le volet économique regroupe les investissements initiaux nécessaires à l'implantation d'un tel système de transport et les coûts récurrents reliés à son exploitation sur une base annuelle. Dans le cadre de cette analyse, les critères économiques identifiés sont des critères intangibles (n'ayant aucune valeur). Les critères mentionnés font donc référence à la capacité de paiement pour l'implantation du moyen de transport proposé.

Évaluation des solutions

Les solutions sont évaluées selon les critères présentés précédemment à partir des connaissances acquises à titre d'employé de la STL et à l'aide des différentes études présentées dans l'état des connaissances. Le tableau 3.12 présente l'évaluation des trois sites selon les critères et les sous-critères définis en fonction du degré d'importance accordé à chaque sous-critère.

Tableau 3.12 Évaluation des trois sites selon les critères et le degré d'importance

#	Critères	Sous-critères	Évaluation (poids)	STC Serpentine	Autobus	Auto
1	Techniques	Facilité d'implantation aux infrastructures routières	10	8/80	10/100	10/100
2		Sécurité des usagers	10	10/100	9/90	7/70
3		Flexibilité au niveau de la mobilité individuelle – Système de gestion	10	9/90	4/40	9/90
4		Bonne connaissance de la technologie utilisée	6	8/48	9/54	9/54
5	Environnementaux	Faible émission de CO ₂ /personne	9	9/81	8/72	5/45
6		Faible émission de NO _x /personne	9	8/72	7/63	4/36
7		Consommation d'essence	8	8/64	3/24	5/40
8		Limite les déplacements à vide	10	9/90	5/50	5/50
9	Socio-économiques	Investissements initiaux	7	6/42	5/35	7/49
10		Coût d'exploitation	8	5/40	5/40	7/56
11		Achalandage potentiel	9	9/81	7/63	5/45
12		Création d'emplois	10	5/50	8/80	7/70
13		Faible risque d'accident	10	9/90	4/40	4/40
		Qualité		928	751	745

Le tableau 3.13 présente le classement des trois sites proposés selon le pointage obtenu lors de l'analyse précédente par critères et sous-critères.

Tableau 3.13 Hiérarchisation des modes de transport en fonction du degré de satisfaction

Solutions classées	Qualité
STC – Serpentine	928
Automobile	751
Autobus	745

Le STC – Serpentine demeure la meilleure solution proposée avec un pointage qualité de 928. L'automobile a obtenu un pointage qualité de 751 alors que l'autobus a obtenu un pointage de 745.

Le tableau 3.14 présente les investissements nécessaires pour l'implantation de chaque mode de transport identifié et le pourcentage de satisfaction de chaque mode selon les critères d'évaluation afin de favoriser la prise de décision pour le meilleur mode de transport. Les investissements sont présentés au tableau 1.4 et ils incluent le coût des infrastructures routières, le coût d'acquisition d'un véhicule et celui de la centrale de gestion nécessaire à son opération.

Tableau 3.14 Degré de satisfaction en dollars d'investissement pour chaque mode de transport

Paramètres	STC - Serpentine	Autobus	Automobile
Investissements (\$/km)	287 000 \$	700 000 \$	262 000 \$
Calcul du % de satisfaction	958/1160=83 %	688/1160=59 %	812/1160=70 %
% de satisfaction	83 %	59 %	70 %

*Pointage maximal de 1160

La figure 3.6 présente les trois modes de transport en fonction de leur niveau de satisfaction obtenu lors de l'exercice de l'analyse de la valeur et selon les investissements initiaux nécessaires sous forme graphique.

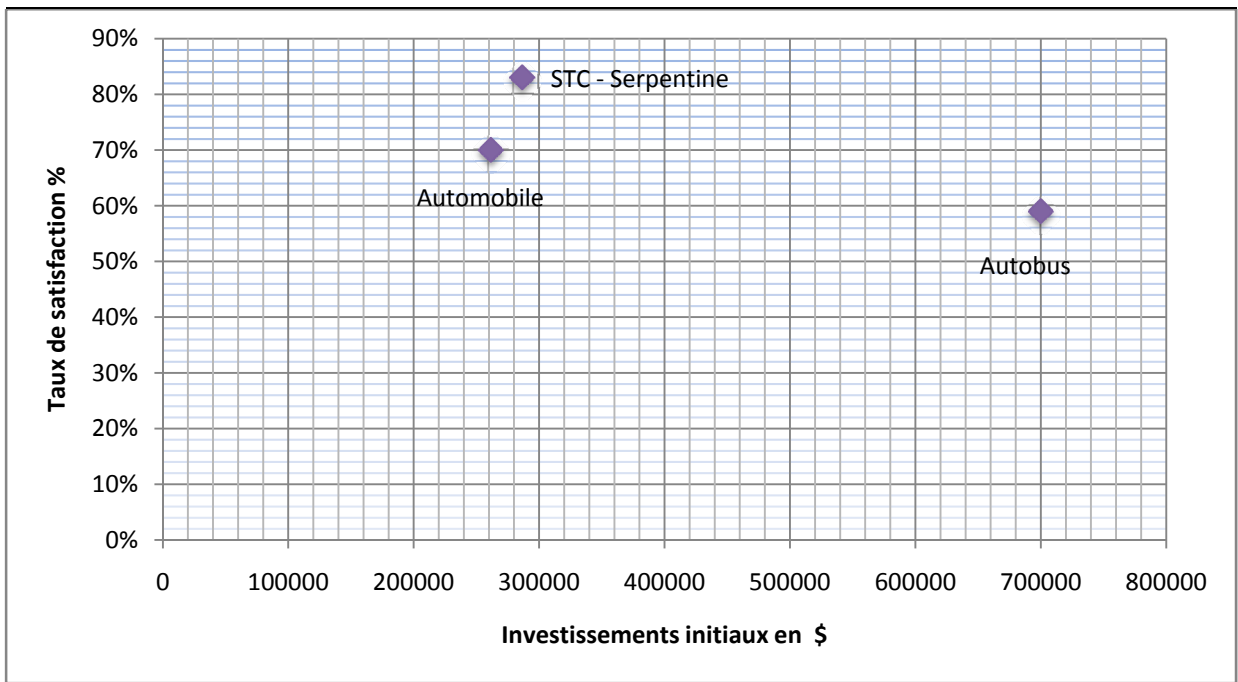


Figure 3.6 Degré de satisfaction de chaque mode de transport en \$ d'investissement.

Le STC – Serpentine obtient le meilleur résultat au niveau du pourcentage de satisfaction selon les critères d'analyse avec 83 % alors que l'automobile obtient 70 % et l'autobus 59 %. Par contre, les investissements sont plus importants au niveau de l'autobus avec un montant de 700 000 \$. Du côté du STC – Serpentine c'est un montant de 287 000 \$ qui est nécessaire.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Le présent chapitre aborde les éléments de discussion reliés aux différents aspects associés à l'implantation d'un STC-Serpentine afin d'améliorer l'offre de mobilité individuelle pour une municipalité comme Laval. Il s'agit d'aborder les gains pour les usagers d'un point de vue du service, mais également pour la population résidente qui « subit » les déplacements des usagers dans son milieu de vie. Le chapitre aborde également le choix initial d'un site dans la perspective d'une implantation étape par étape et des processus de mise en œuvre de la solution. Finalement, la discussion présente les perspectives multifonctionnelles et multisectorielles de la mise en œuvre d'un STC associées à la mobilité des personnes et des biens (marchandises).

4.1 Les gains pour les usagers et les résidents

Pour la période de 2003-2008, la croissance de la population de Laval a été de l'ordre de 5 % ce qui a provoqué une hausse des déplacements de 3 %. Cette augmentation des déplacements en pointe du matin contribue à l'engorgement des routes et à un nombre important d'accidents. Une offre de service de transport en commun plus flexible pourrait contribuer à diminuer ces impacts sur la qualité de vie des citoyens résidents et non-résidents en limitant l'utilisation de l'automobile et minimisant ainsi les incidences néfastes du transport sur l'environnement.

4.1.1 Facteurs environnementaux

Les véhicules électriques du STC - Serpentine demeurent un des moyens de transport en commun les moins émetteurs de polluants dans l'atmosphère comparativement aux moyens de transport conventionnels les plus utilisés par les Lavallois comme l'automobile et

l'autobus. Sa mise en service permet de contribuer à la lutte contre les GES et à l'atteinte des objectifs québécois de réduction des émissions de GES pour 2020, ce d'autant plus en considérant qu'au Québec l'approvisionnement est majoritairement hydroélectrique. Par ailleurs, sa faible consommation électrique correspondant à un équivalent carburant de 0,3 litre aux 100 km contribue à l'approche d'efficacité énergétique qui doit être privilégiée dans la mise en œuvre de toute solution technologique. Le réseau de transport en commun par autobus demeure un moyen de transport plus polluant au niveau des émissions de GES, car les autobus ne peuvent éviter les déplacements à vide soit sans aucun usager à son bord. Mais il demeure que, globalement, l'autobus est plus performant que l'automobile au niveau de l'environnement, au niveau économique et au niveau de l'efficacité énergétique. De plus, l'achalandage ne peut être garanti et pour desservir correctement les usagers, il faut déplacer les autobus aux arrêts usagers ou non. Ce qui n'est pas le cas du STC – Serpentine car les déplacements sont réalisés uniquement en fonction de la demande.

4.1.2 Facteurs techniques

Le STC- Serpentine s'intègre facilement aux infrastructures routières actuelles, car le système de guidage peut être installé en surface en bordure de la route près du trottoir pour les routes déjà existantes et sous le bitume lors de la réfection des routes. Les deux types d'installations offrent le même niveau de qualité. Le volet sécurité des usagers est également bien répondu par le type de matériaux utilisé pour la construction des capsules et par les éléments de détection intégrés permettant ainsi d'éviter des collisions.

Le système de gestion qui gère les déplacements des capsules permet d'optimiser automatiquement les déplacements selon la demande évitant ainsi des déplacements à vide c'est-à-dire sans usagers à bord. La technologie utilisée dans le STC-Serpentine a fait ses preuves à travers un projet de démonstration dans la ville de Lausanne ce qui a permis de démontrer son fonctionnement dans un cadre opérationnel et des conditions extérieures réelles. La disponibilité des matériaux nécessaires à la fabrication de ce nouveau système de transport sur le marché québécois doit être investiguée.

4.1.3 Facteurs socio-économiques

Il est clair que ce nouveau système nécessite un investissement afin de réaliser un essai, mais cet investissement respecte la vision de l'AEE dans le développement de nouvelles technologies de transport. Ce système de transport s'intègre bien au réseau routier des secteurs analysés dans chacun des sites proposés et de plus, le coût d'implantation des infrastructures nécessaires est intéressant. Ceci signifie que l'octroi de subventions gouvernementales est possible. Les infrastructures nécessaires à l'implantation du STC-Serpentine se situent à un coût de 44,8 % de celui de l'autobus. L'acquisition d'un véhicule représente 23,4% du coût de l'autobus. Les coûts d'exploitation sont difficiles à évaluer, car les chiffres du STC - Serpentine et de l'autobus n'ont pas de dénominateur commun afin de les comparer efficacement.

L'arrivée du STC-Serpentine va contribuer à augmenter l'achalandage du transport en commun pour les secteurs desservis et ainsi encourager la diminution de l'utilisation de l'automobile dans ce secteur. Un nouveau réseau de transport va entraîner l'arrivée de nouveaux équipements qui nécessitent de l'entretien et des réparations. Cette charge de travail supplémentaire va conduire à la création d'emplois locaux et au développement de nouvelles compétences de la main-d'œuvre ce qui est bon pour l'économie régionale. Le tableau 4.1 présente les coûts potentiels selon le moyen de transport.

Tableau 4.1 Coûts d'exploitation potentiels selon le moyen de transport
Tiré de la STL (2010)

Coûts d'opération	STC - Serpentine	Autobus
Coûts moyen d'un chauffeur	0 \$/année	80 000 \$/année
Taux de remplissage	Selon la demande	Selon le service offert

Le coût d'opération du STC – Serpentine va être inférieur à celui de l'autobus, car les capsules de la Serpentine se déplacent uniquement sur demande contrairement aux autobus qui eux, doivent se déplacer pour offrir le service. Le nombre de kilomètres qu'un autobus doit parcourir à partir de son point de départ (garage) et jusqu'au point d'arrivée (l'arrêt à desservir sur le circuit) contribue à l'augmentation des coûts d'opération. Du côté du STC – Serpentine, l'absence d'un chauffeur diminue les coûts d'opération.

4.1.4 Diminution des coûts : congestion et accidents

Le STC - Serpentine va également contribuer par son utilisation à une diminution de la congestion routière dans le secteur qui sera desservi. En effet, l'augmentation de l'achalandage du transport en commun du secteur va favoriser la diminution du nombre d'automobiles sur la route. Et de plus, la diminution de l'engorgement des routes signifie une diminution du nombre d'accidents automobiles. Ce n'est pas un STC qui peut créer des accidents, car il n'y a aucune intervention humaine sur la conduite des véhicules. C'est l'environnement du STC-Serpentine qui peut causer des accidents. De plus, le STC-Serpentine possède des capteurs permettant ainsi d'éviter une collision avec un objet ou un individu sur sa route. Ces diminutions représentent donc une économie au niveau du temps et au niveau de l'argent de notre société.

4.2 Sites sélectionnés

Les trois sites sélectionnés offrent un complément intéressant au réseau de transport en commun actuellement en opération à Laval. L'emplacement, la flexibilité de l'offre de service et l'accessibilité du STC – Serpentine peut contribuer activement à l'objectif d'accroissement de l'achalandage en transport en commun visé par le gouvernement provincial. Chacun des sites répond aux besoins de mobilité individuelle des citoyens et peut être une véritable alternative à l'automobile. Le site 3 se démarque des autres sites, car il offre une possibilité d'achalandage important dû à sa localisation dans un quartier industriel d'envergure de Laval et c'est le site offrant le meilleur pointage de qualité lors de l'analyse

de la satisfaction réalisée sur les trois sites proposés. De plus, l'installation d'un réseau STC - Serpentine en bordure de la route ne nuira pas à la circulation locale, car les routes sont suffisamment larges.

Chacun des sites présentés offre la possibilité d'une implantation étape par étape. En effet, une boucle de service peut être implantée dans une première phase et poursuivre son développement en phase 2. Le STC – Serpentine permet cette flexibilité au niveau de l'ampleur de son développement et au niveau du phasage dans le temps limitant ainsi les impacts financiers. Une boucle sous forme de projet pilote peut donc être construite et se poursuivre, lorsqu'elle aura atteint le seuil de rentabilité fixé.

Une entente de partenariat peut être conclue avec les différentes entreprises situées dans ce quartier facilitant ainsi l'utilisation du réseau, car la STC - Serpentine est un outil de développement des parcs industriels écologiques.

4.3 Processus de mise en œuvre

L'implantation d'un STC – Serpentine va permettre d'accroître l'offre de service, et ce, tout en s'intégrant au réseau de transport en commun actuellement en opération. Il complète l'offre de service du réseau de transport conventionnel sans nuire à son développement et il permet d'offrir plus de flexibilité répondant ainsi à la demande de mobilité individuelle des citoyens. Le temps d'attente estimé est moins d'une minute dû à sa gestion automatisée, ce qui est acceptable au niveau de la clientèle.

La politique québécoise du transport collectif vise l'accroissement de l'utilisation du transport en commun de 8 % d'ici 2012. Pour y parvenir, la politique comprend quatre séries de moyens, dont un qui encourage l'amélioration des services offerts à la population. Les sociétés organisatrices de transport collectif sont encouragées à améliorer l'offre et la qualité des services aux usagers et à inciter la population à utiliser davantage les transports collectifs grâce à une aide directe gouvernementale. Le Fonds vert au montant de 130 millions de

dollars a été mis en place dans le cadre du Plan d'action sur les changements climatiques afin de répondre aux besoins des sociétés. Le STC – Serpentine peut contribuer activement à l'atteinte de ses objectifs concrets. Par sa nature, le STC - Serpentine peut également bénéficier de cette source de financement.

Le STC - Serpentine offre les caractéristiques d'un système capable de s'adapter dans le temps et dans l'espace à la variation de la demande des usagers. Par contre, la planification de ce système doit exploiter tout son potentiel, non seulement pour satisfaire les besoins en mobilité individuelle des usagers ou encore pour offrir la possibilité aux usagers de se déplacer efficacement d'un point à un autre, mais également pour assurer l'équilibre du système de transport en minimisant l'engorgement ou l'absence de service.

La mise en place d'un projet de démonstration (projet pilote) peut servir à répondre aux différentes questions sur son exploitation et ainsi démontrer concrètement les avantages du système STC – Serpentine pour notre société. Ce projet peut servir également de levier à la création d'une véritable industrie québécoise axée sur une technologie utilisant une énergie verte. Cette nouvelle industrie va contribuer au développement des compétences entraînant ainsi, la création d'emploi.

Une validation doit être effectuée auprès de la Société de l'assurance automobile du Québec afin d'obtenir l'autorisation d'opérer un système de transport en commun sans chauffeur. Actuellement, la loi sur les transports ne mentionne pas cette possibilité. Des démarches d'autorisation temporaire peuvent être effectuées auprès du MTQ et de la SAAQ afin qu'un essai soit réalisé (projet pilote) dans un contexte réel permettant ainsi aux autorités de prendre une décision éclairée.

4.4 Perspectives

Le STC - Serpentine peut être utilisée de bien des manières afin d'optimiser son utilisation. Une de ces alternatives consiste au transport des marchandises. Le camion de livraison peut

arrêter à l'entrée du quartier industriel desservi par le STC-Serpentine, charger la capsule, et l'envoyer à l'adresse de livraison. Cette double utilisation du STC – Serpentine permet de désengorger les routes, de diminuer la consommation d'essence du camion de livraison et de réduire les GES. Cette approche permet d'impliquer les industries qui désirent être desservies par ce nouveau système et augmente les opportunités de rentabiliser rapidement l'investissement initial.

Dans un contexte de ville durable, le STC – Serpentine apparaît comme une solution intéressante. La ville peut alors interdire la circulation automobile dans un secteur donné, favoriser le transport en commun et les déplacements à pieds ou à vélo en développant un réseau de piste cyclable et un réseau piétonnier complet. Il faut éviter l'apparition de corridor de déplacement afin de minimiser l'engorgement sur le réseau routier. Le STC – Serpentine a la capacité de s'adapter aux caractéristiques du milieu dans lequel il s'implante ce qui permet de créer une synergie avec les différents moyens transports conventionnels par une diversification de l'offre adaptée à la demande de mobilité individuelle. Il faut revoir la ville d'aujourd'hui et favoriser le transport en commun en privilégiant la variété des moyens (multiples modes et multiples itinéraires) pour desservir efficacement différents secteurs plutôt que l'utilisation d'un transport de masse. Les limites actuelles liées à la technologie STC ne nuisent pas à son utilisation.

CONCLUSION

La qualité de l'air et les changements climatiques sont des enjeux importants pour la société. Il faut envisager toutes les possibilités afin de réduire les GES et ainsi limiter notre empreinte écologique. Le système de transport cybernétique – Serpentine peut constituer l'une de ces possibilités par sa faible émission de GES et sa faible consommation énergétique. Il offre une plus grande flexibilité aux Lavallois en répondant à leurs besoins de mobilité individuelle et peut rivaliser avec l'utilisation de l'automobile. De plus, il s'intègre bien avec le réseau de transport en commun actuellement en place via la Société de transport de Laval. Il ne s'agit nullement de remplacer le réseau de transport en autobus actuellement en opération, mais de le compléter afin d'améliorer l'offre de service tel que mentionné dans les objectifs gouvernementaux.

Le site proposé (site 3) offre plusieurs avantages comme un système de transport en commun plus flexible, une offre de service plus compétitive, un coût d'implantation et d'exploitation accessible et finalement, un impact environnemental minimal pour du transport collectif. C'est également ce site qui demeure le plus simple à implanter et en plus, il existe une possibilité de collaboration avec les entreprises présentes dans ce secteur afin de répartir les coûts. Les investissements initiaux peuvent potentiellement être subventionnés par le MTQ et l'AEE. L'achalandage potentiel n'est pas basé sur la densité de la population mais bien sur les déplacements réels effectués dans le secteur et sur le fait que l'ajout de service sur la ligne d'autobus n'est pas rentable. Pour attirer cette clientèle, il faut offrir une grande flexibilité au niveau de la mobilité individuelle. La création d'emplois est également un facteur à considérer.

L'analyse de la satisfaction a démontré que le STC – Serpentine répond le mieux aux différents critères d'analyse techniques, environnementaux et socio-économiques avec un pointage de 928 comparativement à celui de l'automobile qui est de 745 et à celui de l'autobus avec un résultat de 751.

Le faible impact environnemental de l'implantation du STC-Serpentine fait de ce système de transport un moyen de transport plus vert que les moyens de transport conventionnels. De plus, le système de gestion automatisé limite les déplacements à vide soit, sans usagers, comparativement à l'autobus.

Le volet sécurité de ce système répond adéquatement à nos préoccupations au niveau des usagers et la technologie est existante depuis plus de 10 ans. Les principaux problèmes reliés à l'exploitation d'un nouveau système sont donc déjà été réglés par cette longue période d'exploitation en conditions réelles.

Une meilleure compréhension de la mobilité individuelle et de la forme des villes nous permet de poser un regard neuf sur les systèmes de transport cybernétique tel que la STC - Serpentine et ainsi, bien comprendre les différentes possibilités. La STC - Serpentine va contribuer à améliorer la qualité de vie des Lavallois en contribuant à la réduction de la pollution et de la congestion routière. C'est un premier pas pour Laval vers un geste environnemental qui peut faire une différence.

L'implantation d'un STC – Serpentine doit permettre d'offrir aux citoyens une alternative intéressante à l'utilisation de l'automobile. Il doit compléter l'offre de service du réseau d'autobus de la STL et non le remplacer.

RECOMMANDATIONS

L'ensemble de cette étude nous a permis d'identifier une solution avantageuse pour les Lavallois soit, un système de transport cybernétique – Serpentine. Cette nouvelle initiative peut offrir plus de visibilité pour la ville de Laval. Par contre, plusieurs obstacles s'opposent encore à son implantation. Une démarche doit être réalisée auprès de la SAAQ afin d'obtenir l'autorisation d'utiliser la STC - Serpentine au Québec, car les STC ne sont actuellement pas acceptés. Une autre démarche doit être réalisée auprès du fabricant afin d'obtenir les certifications gouvernementales nécessaires à la fabrication des composantes de la capsule. La mise sur pied d'un projet pilote en conditions réelles va permettre de répondre à l'ensemble des questions sur le STC-Serpentine.

Une fois ces deux démarches complétées, un essai d'implantation de la STC - Serpentine à Laval selon le site retenu dans le présent mémoire devrait être réalisé. Ce projet peut se réaliser sous forme de partenariat avec le MTQ, la Ville de Laval, la SAAQ et l'AEE afin de répartir l'investissement initial qui demeure important. La participation des entreprises dans le secteur industriel qui sera desservi doit également être envisagée, car des services supplémentaires peuvent être ajoutés tel que le transport de marchandises afin de rentabiliser plus rapidement la STC - Serpentine.

Le projet sera échelonné sur une période de cinq ans et va permettre d'étudier ou d'évaluer les éléments suivants :

- Autorisation de la SAAQ pour l'utilisation d'un moyen de transport en commun sans chauffeur.
- L'achalandage du transport en commun.
- Les coûts d'opération, d'exploitation de ce nouveau réseau (entretien, réparations, durée de vie, etc.).
- Capacité de la STL d'exploiter ce nouveau réseau (ressources humaines et financières).

- La réalisation d'un tel projet permettra alors l'appropriation de nouvelles connaissances techniques reliées à la nouvelle technologie.

Ce projet pilote peut être réalisé sur le site 3 représente un choix éclairé dû à son implantation au cœur d'un secteur d'emploi important de Laval. Le réseau de transport en commun par autobus dans ce secteur ne permet pas de répondre aux besoins de la clientèle, car il manque de flexibilité. L'implantation du STC - Serpentine va contribuer à améliorer l'offre de service et à aller chercher un achalandage supplémentaire tel que mentionné dans les objectifs gouvernementaux. Il va également permettre de proposer une alternative à l'utilisation de l'automobile. Le STC-Serpentine doit être considéré comme complémentaire aux moyens de transport conventionnels. Il doit être une alternative à l'utilisation de l'automobile et non au réseau de transport actuellement en opération à Laval. Il doit permettre de répondre à un besoin de mobilité individuelle que les moyens de transports de masse conventionnels offrent difficilement aux usagers par leur manque de flexibilité.

ANNEXE I

LA SERPENTINE

Les caractéristiques de la Serpentine

Voici un portrait technique des principales caractéristiques du véhicule :

Le tableau-A I-1 présente la vitesse de déplacement moyenne pour chaque moyen de transport.

Tableau-A I-1 Comparatif des vitesses de chaque moyen de transport

Moyen de transport	Vitesse de déplacement (km/h)
Piétons	4 à 7 km/h
Vélo	15 à 20 km/h
Voiture	30 à 60 km/h
Transport collectif	25 km/h
STC-Serpentine	10 à 15 km/h

Selon le tableau-A I-1, la vitesse commerciale moyenne pour la ville de Laval est de 25 km/h sur l'ensemble du réseau urbain, mais la vitesse moyenne commerciale des autres sociétés de transport au Québec est de 12 à 20 km/h.

Selon le fabricant de la Serpentine, la vitesse optimale est de 15 km/h. L'augmentation de la vitesse commerciale pourrait entraîner des risques supplémentaires d'accident. Il est essentiel de prendre en considération que le système de la Serpentine a pour objectif de s'insérer dans le milieu urbain.

Les dimensions de la capsule sont de 145 cm par 145 cm offrant ainsi une surface libre de 2 m². Cette surface permet d'accueillir un maximum de 6 personnes, mais afin de répondre à des contraintes de confort et de proximité, la capsule est conçue pour un groupe de 4

personnes. La capsule de base n'a pas de siège, mais elle comprend deux appuis lombaires confortables dans le fond et des appuis dorsaux pour les enfants ou les accompagnants.

La capsule est équipée de portes automatiques reliées au mécanisme de levage et de baisse de la capsule. Lorsque la capsule se baisse, les portes s'ouvrent et lorsque la capsule se lève, les portes ferment. Elle possède un système de surveillance d'obstacle, un dispositif anti-pincement et plusieurs systèmes d'ouverture de secours pour l'utilisateur, pouvant également être commandée à distance. En position basse, la capsule a un plancher à 60 mm du sol, ce qui signifie que l'utilisateur accède à la capsule de plain-pied à partir du trottoir ou de la route. De plus, cette hauteur est facilement accessible aux personnes à mobilité réduite.

Un afficheur intérieur peut servir à l'information de l'utilisateur. Il dispose également d'un système de communication directement relié avec la centrale de commande. Un système de vidéosurveillance permet le contrôle visuel de l'occupation de la capsule ainsi que le contrôle des portes.

La capsule se caractérise par des baies vitrées descendant jusqu'à 900 mm du plancher offrant une excellente vision circulaire tout en permettant d'apercevoir l'occupation de la capsule depuis l'extérieur. Toutes les vitres sont en thermoplastique. La capsule est une structure autoportante composée d'un assemblage de panneau composite. La traction électrique et l'absence de batteries de grande capacité permettent d'avoir un véhicule à vide d'un poids de 400 kg. Le train est composé de quatre pneumatiques d'environ 500 mm de diamètre. Elles possèdent quatre roues motrices et directionnelles. La direction est électrique et elle est commandée à partir d'un balisage intégré dans la piste de roulement. Une suspension simple est nécessaire étant donné sa faible vitesse. En cas de panne de l'alimentation, quatre batteries permettent un fonctionnement en mode minimal. L'éclairage intérieur se compose de deux sources soit à l'arrière et à l'avant des usagers. La signalisation extérieure est composée de feux de position et de clignoteurs pour la direction.

Le tableau-A I-2 présente les principales caractéristiques techniques de la Serpentine selon les données du fabricant.

Tableau-A I-2 Fiche technique de la capsule Serpentine

Composantes	
Capsule	
Masse à vide	400 kg
Charge utile	350 kg
Surface libre de plancher	2.00m ²
Dimensions extérieures	
Hauteur	2.27 m
Longueur	3.20 m
Largeur	1.40 m
Niveau de plancher (vide)	170 mm
Garde au sol	101 mm
Capacité	
De service	4 personnes
Maximale	4 personnes
Vitesse	
Vitesse maximale	18 km/h
Vitesse en zone piétonne	7 km/h
Accélération/Freinage nominal	1.2 m/s ²
Freinage d'urgence	2.5 m/s ²
Pente maximale	10 % à 10 km/h
Autonomie avec batteries	10 km
Type de chaussée	Enrobés classiques, béton

La figure-A I-1 explique le fonctionnement des principales composantes du système STC-Serpentine. Le transformateur convertit l'énergie du réseau en une tension continue de 240. Les générateurs installés dans la trame sous la chaussée alimentent les bobines à une fréquence de 80 kHz. Les bobines sous la capsule captent l'énergie qui est convertie et distribuée aux quatre batteries alimentant les roues.

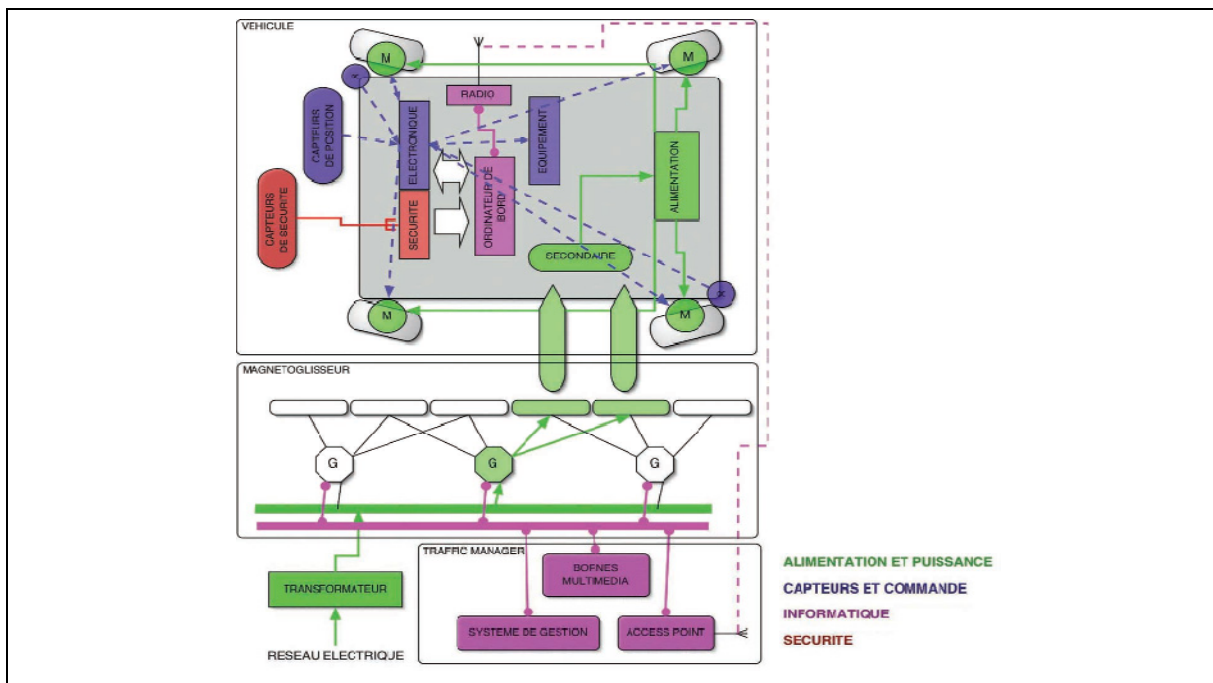


Figure-A I-1 Fonctionnement du système Serpentine.

Les figure-A I-2 et figure-A I-3 illustrent une capsule ouverte afin de démontrer l'espace intérieur disponible.



Figure-A I-2 Capsule de la Serpentine.

La figure-A I-3 illustre le gabarit d'une capsule de la Serpentine.

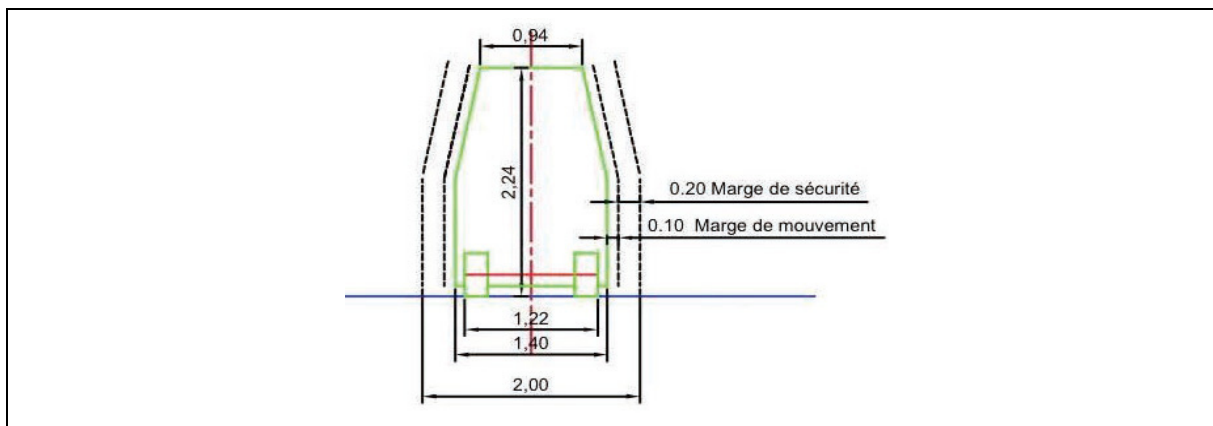


Figure-A I-3 Gabarit d'une capsule.

L'arc de braquage nécessaire au système Serpentine est représenté à la figure-A I-4.

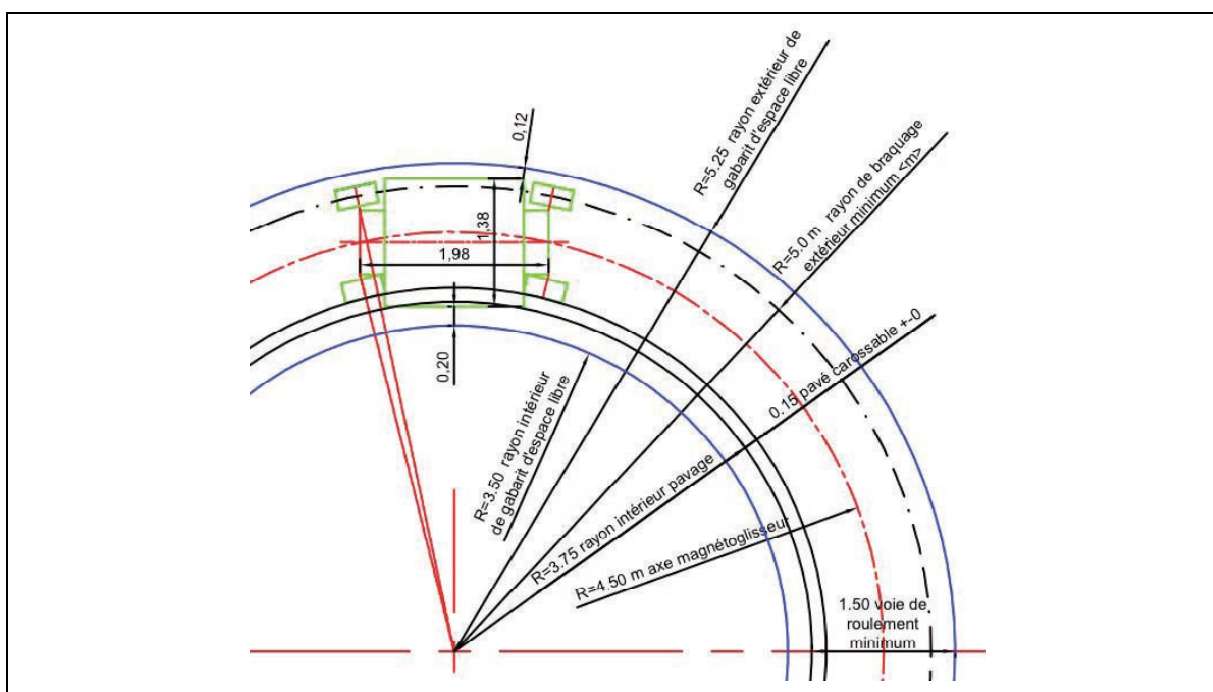


Figure-A I-4 Arc de braquage de la Serpentine.

La durée de vie utile d'une capsule doit permettre un amortissement à moyen terme de l'investissement initial. Le Ministère du Transport du Québec offre une subvention de 75 % aux sociétés de transport voulant rafraîchir son parc de véhicule. Par contre, la société doit

conserver une moyenne d'âge de disposition de 16 ans pour l'ensemble de sa flotte afin d'éviter des pénalités financières lors de la demande de subvention.

La durée de vie d'une capsule est déterminée en fonction du nombre de kilomètres parcourus à vie. Selon le fabricant, la durée de vie est de 20 ans et peut varier en fonction de l'utilisation et du nombre de kilomètres parcourus.

Le tableau-A I-3 résume la durée de vie des principales composantes de la serpentine:

Tableau-A I-3 Durée de vie des composantes de la capsule

Composante	Durée de vie utile
Coque	20 ans
Essieu avec roues et moteurs de roues	15 ans
Module électronique (ordinateur, câblage, etc.)	5 à 10 ans
Module de sécurité (laser, détecteur)	10 ans
Module batterie	5 ans

Gestion du système

L'ensemble des capsules est géré à partir d'un centre de contrôle. Ce centre de contrôle peut effectuer les opérations suivantes :

- connaître la position de chaque capsule sur le réseau;
- autoriser le déplacement.

Chaque capsule est équipée d'un dispositif de contrôle interne et est capable de communiquer avec la centrale de gestion. Le système de gestion intègre toute la coordination de la chaîne depuis l'utilisateur jusqu'au déplacement de la capsule.

La borne d'information et de commande multimédia offre une série d'information utile soit :

- la centrale : la centrale coordonne toutes les demandes des utilisateurs issues de paiements, de demandes d'arrêt et d'arrêt d'urgence. À partir des directives reçues, la centrale organise les trajets des capsules sous forme de feuille de route assignée individuellement n'assurant ainsi aucune collision entre les capsules sur le réseau;
- la commande de mise en marche : la commande reçoit les feuilles de route de la centrale autorisant ainsi l'allumage des bobines au sol de manière synchrone avec le déplacement des capsules;
- l'ordinateur de bord dans la capsule : celui-ci remplit les fonctions de la borne multimédia dans la capsule. Il assure le dialogue avec l'utilisateur et diffuse de l'information. Il permet également la surveillance et le contrôle de la capsule.

Utilisation par la clientèle

Chaque capsule est équipée d'une borne d'information et de commande multimédia. Le réseau est également équipé de plusieurs bornes station. À partir d'une borne de station, l'utilisateur peut commander une ou plusieurs capsules. La figure-A I-5 présente une borne de paiement située à l'intérieur de la capsule Serpentine incluant un bouton d'arrêt d'urgence.



Figure-A I-5 Borne de paiement à l'intérieur de la capsule et bouton d'arrêt d'urgence.

La figure-A I-6 présente une borne d'information située sur le réseau desservi par le STC Serpentine offrant différentes informations à la clientèle soit sa position, son prix, le temps d'arrivée, etc.

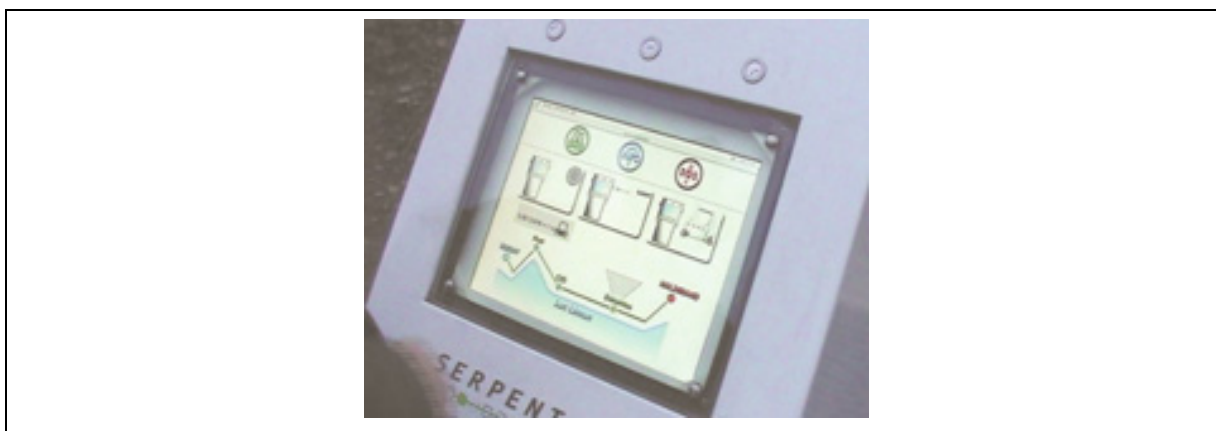


Figure-A I-6 Bornes d'information et commande multimédias.

La figure-A I-7 présente une capsule et une borne installées dans la ville d'Ouchy en Lausanne.



Figure-A I-7 Capsule et borne à Ouchy.

Le client a plusieurs possibilités de paiement à l'intérieur de la capsule soit:

- Paiement comptant.
- Utilisation de la carte Opus utilisée sur l'ensemble des réseaux de transport en commun au Québec.

Le client peut commander une capsule Serpentine par téléphone directement à la Société de Transport de Laval, via le site Internet ou à partir d'un téléphone intelligent.

Indicateurs de performance

Plusieurs éléments sont à considérer afin de déterminer la faisabilité d'implanter le STC-Serpentine à Laval, mais le principal facteur demeure le volet sécurité.

Le volet sécurité

Un des paramètres essentiels à la sécurité des usagers et du transport urbain est de s'assurer que tous les moyens de transport possèdent les composantes/caractéristiques nécessaires permettant d'éviter des accidents. Chaque capsule possède les éléments de sécurité suivants :

- **position à l'arrêt**

Lorsque la capsule est en arrêt, sa coque repose sur les roues avec des patins d'immobilisation. La capsule est donc dans une position basse empêchant ainsi tout déplacement. Les roues sont entièrement bloquées par le poids de la capsule. De plus, le centre de gravité de la capsule est très bas évitant ainsi toute chance de renversement. La figure-A I-8 présente une capsule en position arrêt.



Figure-A I-8 Capsule en position d'arrêt.

- **composition de la coque de la capsule**

La coque est composée de matériaux légers soit la fibre de verre ayant une structure alvéolaire (technologie de coque de bateau) et ne comporte pas de châssis traditionnel réduisant ainsi le poids du véhicule à 400 kg. Le poids est un des facteurs essentiels en cas de collision, car l'énergie cinétique liée à la vitesse est fortement réduite par rapport

à un véhicule traditionnel. Un garde au niveau du sol évite l'écrasement des pieds et des mains lorsque la capsule se positionne de la position haute soit celle de roulement à la position basse soit celle de l'embarquement.

- **les roues**

La pression de gonflage très basse des pneus accompagnée du faible poids de la capsule soit 800 kg totaux pour un maximum de 200 kg par roue ne représente aucun danger en cas de roulement sur une main ou un pied.

- **fermeture des portes**

La fermeture des portes opère de manière à s'arrêter en cas de contact (mécanisme semblable aux ascenseurs) avec un objet ou un membre d'une personne. La capsule ne peut se déplacer tant que les portes ne sont pas entièrement fermées. Lorsque les portes se ferment, la capsule se lève libérant ainsi les roues des patins d'immobilisation. De plus, la fermeture des portes s'effectue de bas en haut afin d'éviter l'écrasement d'un objet dans la trajectoire de la porte.

- **ouverture des portes**

Le mécanisme de fermeture et d'ouverture des portes se fait de manière latérale à la coque de la capsule. De cette manière, la porte n'entraîne aucun risque de collision avec un objet mobile ou non situé à côté de la capsule. L'ouverture des portes entraîne le passage de la position haute à la position basse de la capsule, l'immobilisant immédiatement.

- **capteurs de sécurité**

La capsule est équipée de plusieurs capteurs de sécurité reliés en boucle fermée donc, si un fil est coupé, la séquence d'arrêt d'urgence se déclenche et la capsule est immobilisée. La chaîne de sécurité se compose de deux capteurs soit :

- pare-choc avec détecteur mécanique : en cas de collision avec un obstacle, le pare-choc peut s'enfoncer de 30 cm et il déclenche immédiatement l'arrêt d'urgence de la capsule ainsi que l'ouverture des portes. La distance d'arrêt ne dépasse pas 30 cm;
- bouton d'arrêt d'urgence : le bouton d'arrêt d'urgence situé à l'intérieur de la capsule permet à tout passager de déclencher un arrêt d'urgence.

La vitesse de freinage en situation d'urgence est de 2.5 m/s^2 . La séquence de l'arrêt d'urgence est définie à la figure-A I-9.

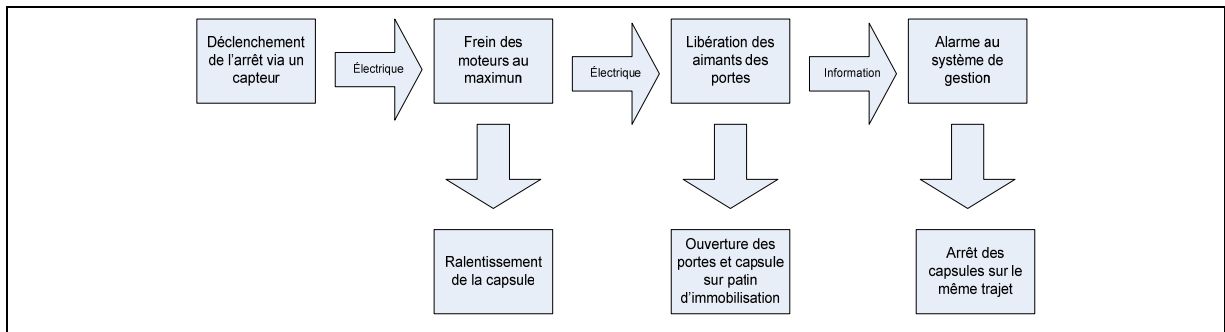


Figure-A I-9 Séquence d'arrêt d'urgence.

La capsule est également équipée d'un laser de distance qui détecte tout objet à une distance maximale de dix mètres, et ce, sur la largeur de la piste. Lorsqu'un obstacle est détecté, la capsule émet un signal d'avertissement continu et ralentit jusqu'à l'arrêt sans nécessairement se mettre en état d'arrêt d'urgence.

La figure-A I-10 démontre les capteurs de sécurité de la capsule.



Figure-A I-10 Capteurs de sécurité de la capsule.

L'alimentation en énergie

L'énergie électrique est transmise de façon continue à la capsule par le Magnétoglisneur. Il est composé des éléments suivants :

- Un ensemble de spires d'environ 1,70 m sur 0,3 m, d'une épaisseur de 1,5 cm, installés à la surface du sol.
- Des convertisseurs à haute fréquence intégrés alimentant les bobines au sol.
- Une bobine d'environ 1,4 m sur 0,4 m fixés sous le châssis de la capsule à une distance de 5 à 8 cm du sol.
- Un redresseur transformant l'énergie récupérée par la bobine de la capsule en courant continu.

La bobine au sol et celle de la capsule constituent un transformateur sans fer. Les bobines au sol sont alimentées au fur et à mesure du déplacement de la capsule, sans possibilité d'entrer en contact avec des objets ou des personnes.

La figure-A I-11 présente les différentes composantes intégrées sous le bitume des routes.

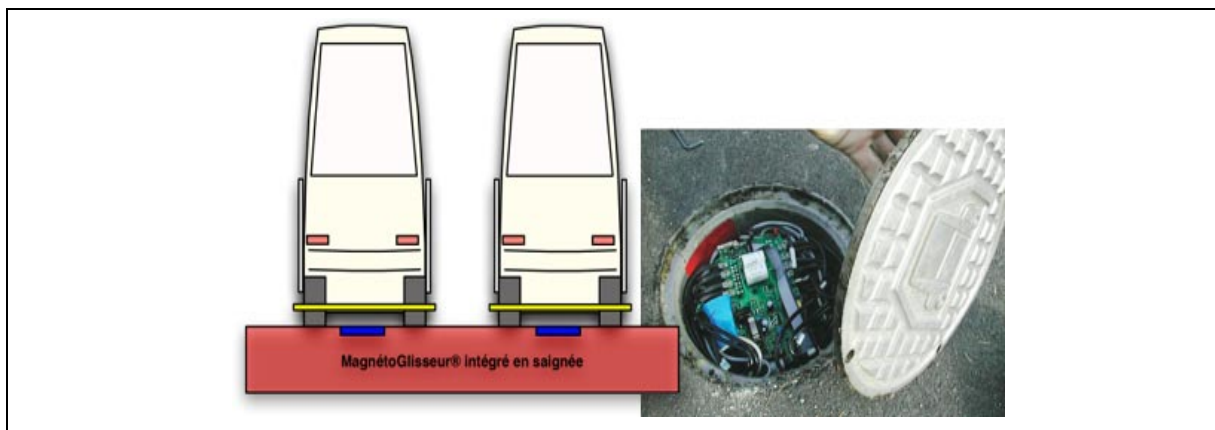


Figure-A I-11 Intégration sur la route de l'infrastructure du réseau Serpentine.

Les capsules ne consomment que l'équivalent de 0.3 litre aux 100 km ce qui représente une consommation journalière moyenne de 251 W. La figure-A I-12 explique la consommation moyenne journalière d'une capsule Serpentine.

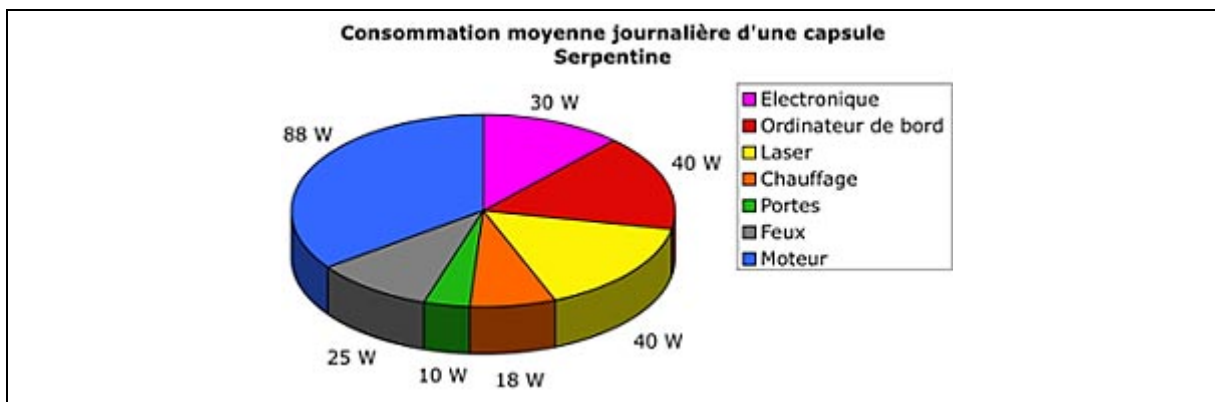


Figure-A I-12 Consommation moyenne journalière d'une capsule.

Clientèle à mobilité réduite

La capsule permet un accès facile à la clientèle à mobilité réduite, car lors de son arrêt, la capsule se positionne au niveau du sol permettant ainsi à un fauteuil roulant ou à une personne à mobilité réduite d'embarquer facilement. Aucun autre système n'est nécessaire.

Spécifications des besoins d'alimentation électrique et puissance auxiliaire

L'électrification de la chaussée sert à l'alimentation des capsules par l'intermédiaire d'éléments fixés au sol ou dans le sol et sous les capsules. La batterie offre une autonomie de 10 km. La serpentine comprend les applications suivantes :

- Une capsule à propulsion par moteurs électriques à haut rendement énergétique intégrés dans les roues.
- Une transmission d'énergie à haute fréquence sans contact, à partir de bobines sur le sol ou dans le sol, et ce, par induction. Ce dispositif constitue une voie active, alimentée localement sous la capsule au fur et à mesure de son déplacement.
- Une conduite automatique impliquant un guidage latéral et axial, basé sur les champs magnétiques créés par l'alimentation.
- La possibilité de conversion en un véhicule en site banalisé à l'aide de la batterie auxiliaire.

La propulsion est assurée par quatre moteurs électriques asynchrones, de type courant continu sans collecteur. Les moteurs sont intégrés dans les quatre roues avec une puissance nominale de 600 W par moteur. Des régulateurs intégrés dans les moteurs assurent un contrôle précis de la poussée et de la vitesse.

Le courant nécessaire à l'alimentation du Magnétoglisseur est de 400 en courant continu et une intensité de 50 A.

Une validation auprès d'Hydro-Québec est nécessaire afin de confirmer leur capacité d'alimenter ce nouveau réseau STC-Serpentine et également vérifier le volet entretien du réseau sous la rue. Une fois le niveau de responsabilités déterminées, un programme d'entretien préventif et un programme de gestion des urgences devront être mis sur pied.

Le système d'alimentation au sol assure simultanément les deux fonctions nécessaires à la conduite automatique de la capsule :

- La détection de la position axiale de la capsule avec un niveau de précision relatif de 1 cm.
- Le guidage latéral de la capsule est alimenté à partir des capteurs situés sous la capsule qui alimente les régulateurs des moteurs.

Composantes dans le sol

Plusieurs composantes électriques et électroniques doivent être installées dans le sol. Pour les composantes électriques il s'agit d'effectuer un rabotage de 3 cm en continu et d'y insérer une bobine de 1,7 m X 0,3 m de large, de la fibre optique et un câble Ethernet composant le BUS informatique et une alimentation électrique de 400. Pour les composantes électroniques, il s'agit d'effectuer un forage ponctuel à chaque 3,6 m d'une profondeur de 0,5 m et d'un diamètre de 0,2 m afin d'y intégrer un générateur pour l'alimentation des bobines, un ordinateur et un routeur.

Composantes hors sol

Une bande PUR préfabriquée en élément de 10 à 15 m, 0,3 m de largeur et ayant une épaisseur de 3 cm doit être installée afin d'y intégrer les bobines de 1,7 m, le BUS informatique et le courant continu. Il doit y avoir un espace pour l'électronique dans la bande à chaque 3,6 m.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence métropolitaine de transport (AMT). 2008. *Enquête Origine-Destination 2008 : Résumé des faits saillants*, Montréal, 28 p.
- Agence métropolitaine de transport (AMT). 2008. *Enquête Origine-Destination 2008 : Présentation des faits saillants*, Montréal, 33 p.
- Association des transporteurs urbains du Québec (ATUQ). 2009. *Étude sur la contribution du transport en commun au développement durable*, Montréal, 18 pages.
- Association des transporteurs urbains du Québec (ATUQ). 2009. *Étude sur la contribution des sociétés de transport en commun au développement durable pour la région de Montréal*, Montréal, 181 pages.
- Asher, François. 2002. *Le transport à la demande : Individualisation des mobilités urbaines et personnalisation des services publics*, Annales des Télécommunications. Volume S7 (3-4), 157 pages.
- Boucher, Sylvain. 2010. *Rapports internes sur la gestion du parc d'autobus de la STL*, Laval, 31 pages.
- Bureau des services et d'ingénierie (BSI). 2009. *Serpentine : une autre manière de voir les transports publics – La technologie*, Présentation Powerpoint, 8 pages.
- Chambre de commerce du Montréal métropolitain. 2004. *Le transport en commun : un puissant moteur du développement économique de la région métropolitaine de Montréal*, Montréal, 38 pages.
- Desrosiers, Jacqueline. 2001. *Guide de l'analyse avantages-coûts des projets publics en transport*, Ministère des Transports du Québec, Québec, 72 pages.
- Dessau. 2008. *Choisir un avenir durable pour la métropole : Investir résolument dans le développement des infrastructures lourdes de transport en commun*. Laval, 68 pages.
- Crawford, Érica et Tim Williams. 2000. *Le smog : un risque pour la santé*, Commissaire à l'Environnement et au Développement durable, Ottawa, 2000, 20 pages.
- Environnement Canada. 2010. « *Plan sur les changements climatiques en application de la Loi de mise en œuvre du protocole de Kyoto 2010* ». En ligne. <http://www.ec.gc.ca>. Consulté le 28 janvier 2011.

- Gauvreau, Christine. 2010. Communications personnelles, STL. Consulté le 11 novembre 2010.
- Glaus, Mathias. 2007. *Approche multimodale de la mobilité en milieu urbain : développement d'un outil d'aide à la prise de décision*, Université du Québec à Montréal, Montréal, 201 pages.
- International Energy Association (IEA). 2009. *CO2 emissions from fuel combustion: Highlights*, International Energy Agency, Paris, 130 pages.
- Institute C.D. Howe. Mai 2007. "Congestion Relief: Assessing de Case for Road Tolls in Canada". En ligne. http://www.cdhowe.org/pdf/commentary_248.pdf. Consulté le 10 janvier 2011.
- Ministère du développement durable, environnement et parcs. 2010. « *Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques* ». En ligne. <http://www.mddep.gouv.qc.ca>. Consulté le 25 février 2011.
- Ministère du transport du Québec. 2010. « Politique québécoise du transport collectif ». En ligne. <http://www.mtq.gouv.qc.ca>. Consulté le 4 janvier 2011.
- Ministère du transport du Québec. 2010. « Résumé des initiatives gouvernementales afin de favoriser le transport en commun ». En ligne. <http://www.mtq.gouv.qc.ca>. Consulté le 7 janvier 2011.
- Newman P, Kenworthy J. (1986). *Forme de la ville e transport vers un nouvel urbanisme*, Cahier de l'IAURIF, no 114-115, pp. 98-109.
- Office de l'efficacité énergétique. 2010. « Initiative éco énergie sur l'efficacité énergétique des parcs de véhicules ». En ligne. <http://www.oeenrncan.gc.ca>. Consulté le 28 décembre 2010.
- ONU, 2008, *World Urbanization Prospects – The 2007 Revision: Highlights*, United Nations, New-York, 22 pages.
- Prud'homme, Rémy et Juan Pablo Bocarejo. 2004. *The London Congestion Charge : A Tentative Economic Appraisal*, Transport Policy, 12 (3), pp. 279-88.
- Recensement Canada. 2001. Le recensement de 2001 en bref, Ottawa, 193 pages.
- Saugy, Bernard, 2001, *The Serpentine – sustainable urban mobility*. The tenth international conference on management of technology, Lausanne, Suisse, 19 mars.
- Scholl, L., Schipper, L. et Kiang, N. 1996. *CO2 Emissions from passenger transport*. Energy Policy, 24(1), 17-30.

St-Yves, Kathleen. 2010. Communications personnelles, STL. Consulté le 25 février 2011.

Transport Québec. 2011. « *Nouvelle définition de véhicule lourd* ». En ligne. <http://www.mtq.gouv.qc.ca>. Consulté le 18 janvier 2011.

Transport Québec. 2011. « *Politique sur le transport routier des marchandises 2009-2014* ». En ligne. <http://www.mtq.gouv.qc.ca>. Consulté le 18 janvier 2011.