



TRAMWAY de Montréal

PHASE 2
Étude de faisabilité de la première ligne



PHASE 2 – ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA PREMIÈRE LIGNE

Volume Y3 – Choix du mode

TRAMWAY DE MONTRÉAL

4 avril 2011

090802	25	Y3	ALL	RAP	CGS	01	4.0
Projet	Phase	Livrable	Lieu	Forme	Émetteur	Numéro	Version



SIGNATURES

	Rédigé par	Vérifié par
Prénom, Nom	Paul Tétreault, urb., ing. jr, M urb.	Vincent Ermatinger, ing., M.Sc.A. OIQ: 140097
Fonction	Analyste en transport	Responsable planification
Signature		

	Validé par	Approuvé par
Prénom, Nom	Claude Messier, ing. MBA OIQ: 35856	Pierre-André Dugas, ing. OIQ 25694
Fonction	Directeur technique adjoint	Directeur de projet
Signature		

VERSIONS

Version	Date	Nature du document
1.0	2009-12-15	Document de travail
2.0	2010-02-02	Document de travail
3.0	2010-12-15	Rapport préliminaire
4.0	2011-04-04	Rapport final

Référence complète

Consortium GENIVAR - SYSTRA (2009) PHASE 2 – ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA PREMIÈRE LIGNE, Volume Y3 – Choix du mode pour la Ville de Montréal, Montréal, 27 pages et annexes.

\\SERV-REL-DATA1\projets\Montreal\M1140XXM114012\01-Structure\25 Phase 2\Y Assistance Client\Y3 Choix du mode\70 Livrables\20110404 - v3 - Rapport final\090802_25_Y3_RAP_CGS_01_v4.0_ChoixMode_20110404.doc

MISE EN GARDE GÉNÉRALE

Le présent rapport fait partie d'une série de volumes réalisés par le consortium Genivar-Systra dans le cadre de l'étude de faisabilité de la première ligne du tramway de Montréal, et ce, pour le compte de la Ville. Cette étude de faisabilité est la seconde phase du projet et fait suite à l'analyse du réseau initial (phase 1).

La phase 2 avait pour but de définir le cadre technique du projet avec un volet important portant sur l'insertion urbaine du tramway. L'étude a permis de qualifier et quantifier les principaux impacts, les coûts, l'échéancier de réalisation et d'autres aspects propres à un projet de tramway afin de définir sa faisabilité et ainsi fournir à la Ville de Montréal et à ses partenaires les renseignements pertinents pour statuer sur la poursuite du projet.

Il importe de mentionner que les résultats présentés dans les différents volumes produits par le consortium Genivar-Systra n'ont pas été approuvés par les instances de la Ville. De plus, il convient de rappeler que tous les résultats doivent être considérés comme préliminaires et seront complétés, corrigés ou validés lors de la phase suivante, soit l'avant-projet.

PRÉAMBULE

Ce document constitue le volume Y3-choix du mode de la première ligne de tramway de Montréal.

Il s'insère dans le cadre de l'assistance au client dont il représente l'un des thèmes.

Il présente une évaluation du mode de transport le plus adapté au contexte de la première ligne considérée, en comparant les avantages et inconvénients du mode « tramway » versus le mode « trolleybus » et le mode « SRB » canadien (système rapide par bus).

Il contient :

- Un contexte général;
- Une définition des modes de transport potentiels (tramway, trolleybus, SRB);
- Une comparaison de ces modes en fonction de différents critères;
- Une analyse et une recommandation du mode de transport le plus approprié pour Montréal.

SYNTHÈSE

Le tramway est idéal lorsque l'on prévoit un achalandage entre 3 000 et 7 000 passagers par heure et par sens. Aussi, son statut permanent attire les investisseurs aux abords des stations. À Portland, Oregon, les investissements dans le train léger et dans le tramway ont suscité des investissements immobiliers de 8 milliards¹ aux abords des stations.

Le tramway représente également un mode intermédiaire entre le métro et l'autobus, permettant une bonne complémentarité d'offre entre ces différents modes de transport collectif.

Il est vrai que l'autobus requiert le moins d'investissement initial. Toutefois, lorsqu'il y a un très grand nombre de passagers, les autobus montrent rapidement leurs limites à offrir un service adéquat aux heures de pointes. Le terminus centre-ville illustre cette limite. Celui-ci ne peut plus, aujourd'hui, accueillir de nouveaux autobus, car le temps de montée et de descente des passagers est trop long.

La ville d'Ottawa vit les mêmes problèmes de congestion des autobus au centre-ville, malgré un réseau de voies réservées pour ses services rapides par bus. Les études comparatives pour la ville d'Ottawa concluent que le tramway est plus approprié².

Le trolleybus est une option intéressante car son coût d'infrastructure par passager est moindre que le tramway et qu'il peut bénéficier de l'aménagement de site propre comparable au tramway. Aussi, il ne nécessite pas la déviation systématique des réseaux et utilités publiques et les véhicules peuvent contourner les obstacles si besoin. La capacité passagère est adaptée pour des lignes en site propre fréquenté par 1 500 à 3 000 usagers à l'heure. Néanmoins, ces véhicules n'ont pas le statut de ligne permanente comme les stations de métro et de tramway. Ainsi, les investissements privés aux abords des stations sont généralement moins importants que dans le cas de projet de tramway. Il est cependant à souligner que de nouvelles technologies sont en développement pour l'électrification du transport collectif en se passant de la LAC (batteries, supercapacités, biberonnage, etc.), qui pourraient remplacer les trolleybus à terme. Ces technologies ne sont cependant pas assez éprouvées à l'heure actuelle pour pouvoir les considérer.

L'achalandage prévisionnel du point de charge maximal est de l'ordre de 2400 usagers à l'heure, mais l'expérience a démontré que, dans le cas d'un tramway, l'achalandage des premières années dépasse nettement les prévisions. Cet achalandage de base pourrait de plus être bonifié avec un prolongement à l'ouest vers le secteur de l'hippodrome. Un mode de transport basé sur des SRB arriverait rapidement à saturation alors que le tramway, de part sa modularité (caisses de 30 mètres pouvant être allongées à 40 mètres), est capable de supporter une augmentation d'achalandage.

Le tramway permet d'intervenir sur deux axes principaux :

- L'axe du transport, dont les objectifs sont d'augmenter la capacité de desserte des travailleurs et des travailleuses dont l'emploi est situé au centre-ville ou le long du tracé du tramway (pôle universitaire et hospitalier de CDN, etc.) et de favoriser leurs déplacements une fois au centre-ville, ainsi que ceux des visiteurs et des touristes. Son aspect attrayant ainsi que son confort et la qualité du service offert permettent non seulement l'atteinte de ces objectifs mais vont également induire la création de nouveaux déplacements en transport collectif dans le centre-ville (déplacements d'affaires en journée, déplacements à l'heure du lunch, déplacements internes au centre-ville des touristes et résidents du centre-ville, etc.);
- L'axe du développement urbain durable, dont les objectifs sont de réduire les émissions polluantes et de favoriser le développement d'espaces urbains attrayants pour les citoyens. L'utilisation de l'hydro-

électricité comme source énergétique permet de réduire significativement les émissions polluantes et les gaz à effet de serre. Son intégration dans le paysage urbain favorise des aménagements qui répondent aux préoccupations des citoyens sur la sécurité, sur un meilleur partage entre automobilistes, piétons et cyclistes et sur le verdissage, pour une meilleure qualité de vie et un environnement plus sain.

En conclusion :

- Le tramway est le bon mode de transport collectif pour combler les besoins de mobilité au centre de l'agglomération; la meilleure réponse à un besoin grandissant;
- Le tramway est particulièrement adapté aux secteurs urbains où l'on retrouve une densité et une diversité d'activités engendrant une demande de déplacements de courte ou de longue distance;
- Il s'agit d'un mode de capacité intermédiaire entre l'autobus et le métro : le nombre de passagers actuels justifie un tramway car il est supérieur à ce que peut accommoder l'autobus mais pas suffisant pour justifier un métro (par exemple sur Côte-des-Neiges ou sur l'avenue du Parc).
- C'est le mode idéal de transport collectif en milieu urbain : il est moderne, rapide, efficace et permet une insertion d'un système de transport lourd dans des espaces où le piéton a une place prépondérante;
- Le tramway comporte des éléments de design qui le rend attrayant et qui favorise un aménagement urbain qui fait place aux citoyens plutôt qu'aux automobiles
- Le tramway crée de nouveaux déplacements, ce qui est un avantage pour tous.

Enfin, de nombreux exemples montrent que le tramway moderne permet d'atteindre l'objectif principal du plan de Transport de Montréal qui consiste à augmenter le nombre d'usagers du transport en commun (accroissement de l'achalandage de 8% d'ici 2012).

Il est à souligner que le mode métro n'est pas considéré, en raison d'un achalandage insuffisant et de coûts de construction trop élevés.

Bien que son coût soit plus important, l'efficacité et les retombées secondaires liées au projet de tramway font de ce mode le candidat idéal pour les axes identifiés au Plan de Transport de Montréal.

¹ http://trimet.org/pdfs/publications/review_debunking_portland.pdf, 23 déc 08, page 4

² http://www.ottawa.ca/public_consult/lrt/ns/stage_2/oh_boards_12_fr.shtml 1 jan 09.

TABLE DES MATIÈRES

A.	Choix du mode.....	1
1.0	Contexte général.....	3
1.1	Plan de transport.....	3
1.2	Caractéristiques du réseau considéré.....	3
2.0	Définition des modes de transport potentiels.....	5
2.1	Introduction.....	5
2.2	Le tramway ferroviaire moderne.....	5
2.3	Les tramways sur pneus.....	7
2.4	Les systèmes à guidage immatériel (exemple du CIVIS).....	11
2.5	Les systèmes routiers non guidés.....	12
3.0	Comparaison des modes de transport.....	14
3.1	La capacité de transport.....	14
3.2	Évolutivité.....	15
3.3	Vitesse commerciale.....	15
3.4	Le confort.....	16
3.5	La régularité et la fiabilité.....	16
3.6	Contournement d'obstacle.....	16
3.7	L'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite.....	16
3.8	La pollution sonore.....	16
3.9	La consommation énergétique.....	16
3.10	Émission de CO2.....	17
3.11	Les coûts d'investissement.....	17
3.12	Les coûts d'exploitation.....	17
3.13	Opportunités offertes.....	17
4.0	Analyse et recommandation.....	19

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Structure du réseau initial de tramways de Montréal.....	3
Figure 1.2	Première ligne du tramway de Montréal.....	4
Figure 2.1	Exemples de revêtements de plateforme.....	6
Figure 2.2	Exemples d'insertion urbaine et en milieu périurbain.....	7
Figure 2.3	Illustration du Translohr.....	8
Figure 2.4	Illustration du TVR.....	8
Figure 2.5	Guidage du Translohr.....	8
Figure 2.6	Guidage TVR.....	9
Figure 2.7	Exemple de triangle d'insertion.....	9
Figure 2.8	Exemple de revêtement de la plateforme du Translohr.....	9
Figure 2.9	Exemple de revêtement de la plateforme du TVR.....	9
Figure 2.10	Exemple de giration d'un TVR versus un autobus articulé.....	10
Figure 2.11	Exemple du Civis de Las Vegas (MAX).....	11
Figure 2.12	Exemple d'autobus articulé (Nova Bus).....	12
Figure 3.1	Capacités des différents modes de transport.....	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Caractéristiques de différents types d'autobus bi-articulés.....	13
Tableau 2.2	Caractéristiques de différents types de trolleybus.....	13
Tableau 3.1	Impact de la fréquence de desserte sur la capacité des véhicules.....	15
Tableau 3.2	Confort.....	16
Tableau 3.3	Contournement d'obstacle.....	16
Tableau 3.4	Consommation d'énergie (GEP).....	16
Tableau 3.5	Émission directe de CO2.....	17
Tableau 3.6	Coût d'investissements (hors MR).....	17
Tableau 3.7	Coût d'exploitation.....	17

A. CHOIX DU MODE

1.0 CONTEXTE GÉNÉRAL

1.1 PLAN DE TRANSPORT

Le Plan de transport adopté en juin 2008 par la Ville de Montréal propose un choix ambitieux et stimulant, celui d'investir massivement dans le développement des modes de remplacement de l'auto dont le transport en commun.

Les objectifs principaux du Plan de transport pour le transport collectif consiste à :

- Augmenter le nombre d'usagers du transport en commun (accroissement de l'achalandage de 8% d'ici 2012);
- Favoriser le transfert modal de la voiture vers le transport collectif en améliorant la performance du TC;
- Récupérer de la capacité sur les lignes de métro surchargées (lignes orange et verte) permettant l'accès au TC à une nouvelle clientèle.

Le premier chantier qui contribuera à atteindre partiellement ces objectifs consiste à implanter un réseau de tramways au centre de l'agglomération.

Le réseau initial complet, prévu dans le Plan de transport, s'étend sur près de 22 kilomètres. Combiné à la longueur de réseau, l'achalandage estimé à 32 millions de passagers par année classerait Montréal au troisième rang des villes nord-américaines, après Boston et Calgary.

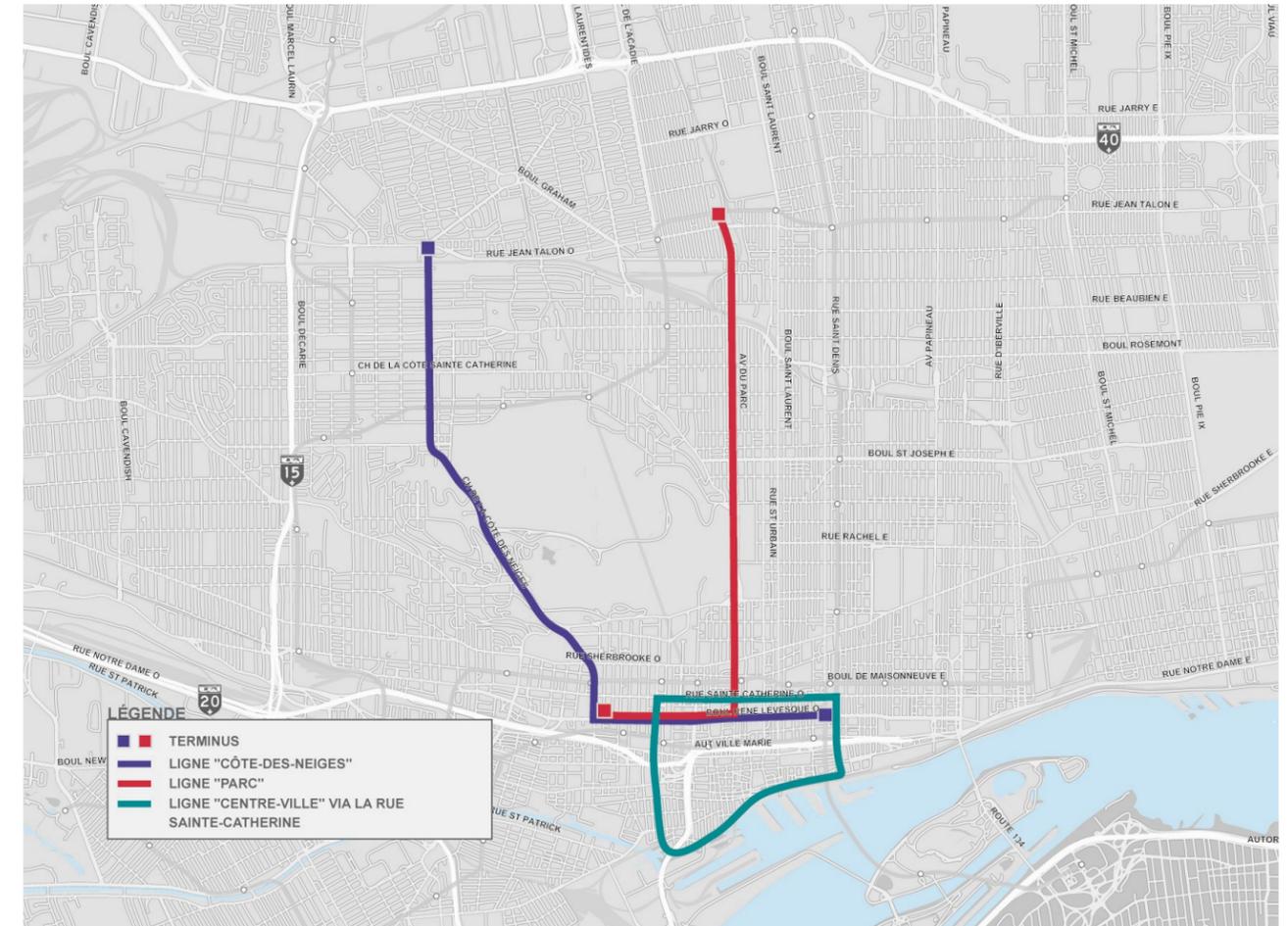
1.2 CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU CONSIDÉRÉ

1.2.1 Structure retenue

La structure retenue du réseau initial de tramways de Montréal comprend trois lignes distinctes :

- Ligne Côte-des-Neiges, avec usage de René-Lévesque au centre-ville;
- Ligne Parc, avec usage de René-Lévesque au centre-ville;
- Boucle du centre-ville, avec usage de Sainte-Catherine.

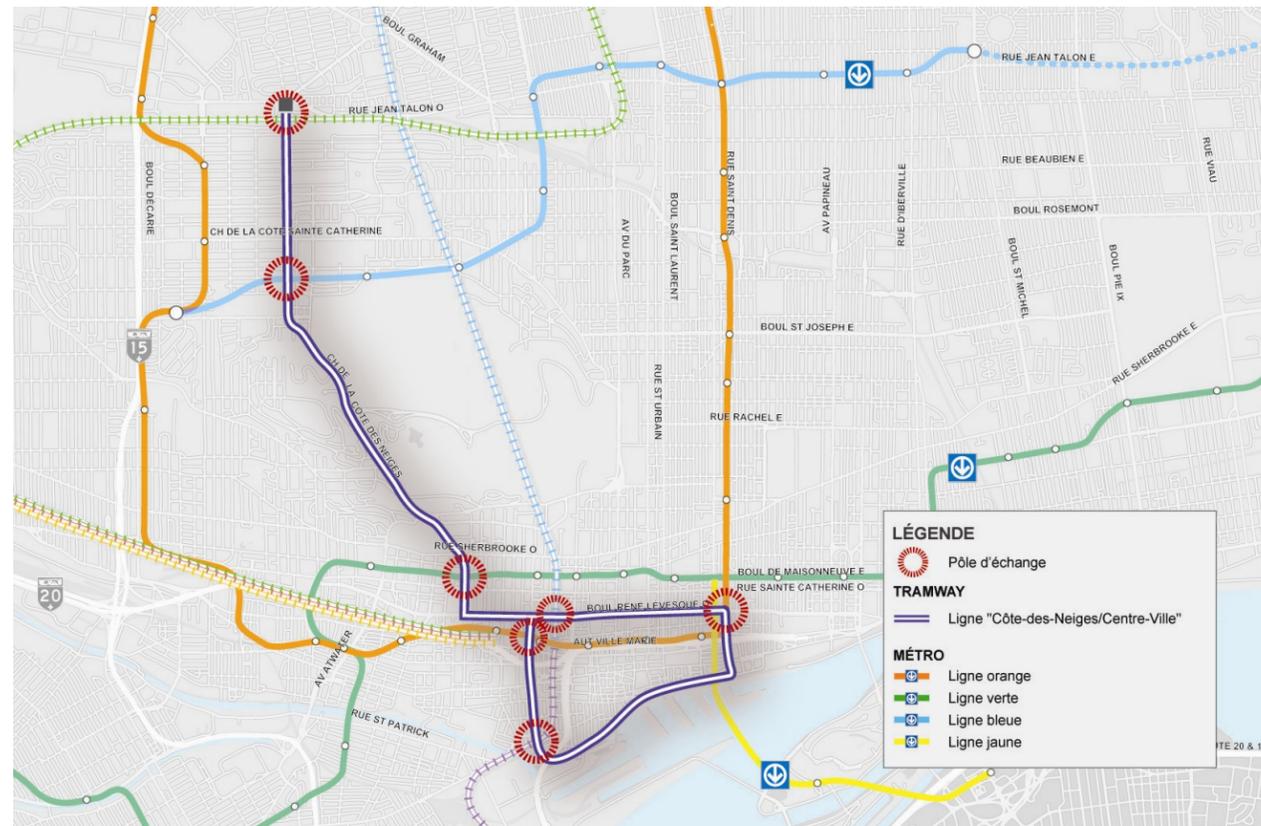
Figure 1.1 Structure du réseau initial de tramways de Montréal



1.2.2 Première ligne

La proposition de mise en œuvre par étape du réseau initial a permis d'identifier une première ligne. Cette ligne Côte-des-Neiges – centre-ville, composée de l'antenne Côte-des-Neiges et des tronçons Berri – De la Commune – Peel de la boucle du centre-ville.

Figure 1.2 Première ligne du tramway de Montréal



1.2.3 Caractéristiques principales du réseau initial et de la première ligne

Caractéristiques	Valeur*
Achalandage du réseau initial**	90,000 voyageurs/jour 32 millions voyageurs/an
Achalandage de la première ligne	70,000 voyageurs/jour 26,6 millions voyageurs/an
Nombre de passagers maximal sur une heure pour la première ligne	2400 passagers sur une heure
Nombre de passagers maximal sur le quart d'heure de pointe pour la première ligne	638 passagers sur un quart d'heure
Longueur de la première ligne	13,2 km
Nombre de stations	32
Caractéristique des pentes	Longue pente de plus de 8% sur plusieurs kilomètres et une pente supérieure à 10% sur de courtes distances
Principale caractéristique du climat	Averses de neige abondantes et période de froid intense Cycles de gel-dégel
Autres contraintes	Accessible aux personnes à mobilité réduite (PMR)

* Source STM – Voir le volume C3-I pour plus de détails

** Sans ensemencement ni clientèle estivale et événementielle

Les expériences ont montré que, dans le cas d'un tramway, l'achalandage des premières années dépasse nettement les prévisions.

2.0 DÉFINITION DES MODES DE TRANSPORT POTENTIELS

2.1 INTRODUCTION

Le choix du système de transport doit constituer l'aboutissement d'une réflexion qui tient compte des différents paramètres, les plus importants étant : le potentiel de fréquentation attendu, les contraintes d'insertion, la qualité des aménagements urbains et les coûts.

Le mode de transport à adopter pour la première ligne devra offrir un service fiable et efficace malgré des conditions environnementales contraignantes.

Par conséquent, le choix doit se faire parmi des solutions technologiques éprouvées. On distingue ainsi :

- le tramway ferroviaire moderne;
- les tramways sur pneus;
- les systèmes à guidage immatériel;
- les systèmes non guidés (« SRB » canadien et trolleybus de nouvelle génération).

Le **métro** est le plus efficace pour transporter des milliers de passagers. Dû au coût d'immobilisation élevé, il opère dans une gamme d'achalandage beaucoup plus élevée que les autres modes pour justifier son investissement. Son aménagement en souterrain oblige parfois les usagers à faire de longs trajets pour descendre au niveau des stations et des quais pour y accéder. De plus, les coûts de construction et d'exploitation sont plus élevés par kilomètre que le tramway. Ce mode de transport n'est pas présenté dans ce document, car l'achalandage ne justifie pas un tel investissement.

2.2 LE TRAMWAY FERROVIAIRE MODERNE

2.2.1 Introduction

L'arrivée ou le retour du tramway dans les villes du Tramway moderne est l'événement le plus marquant des cinquante dernières années. Il sert de déclencheur à une nouvelle politique d'agglomération visant à réduire la place de l'automobile dans la ville, au profit des transports collectifs, de la marche et du vélo. Le Tramway moderne est utilisé à la fois comme moyen privilégié d'améliorer la mobilité interne à l'agglomération, comme outil de requalification, d'embellissement et d'amélioration de la qualité de vie des rues et artères qu'il emprunte, et par extension des quartiers desservis, ainsi que comme instrument de maximisation des opportunités de développement et redéveloppement du cœur de l'agglomération. Bref, dans les villes du Tramway moderne, le projet tramway est indissociable d'un nouveau projet urbain.

Les tramways modernes remplissent les fonctions suivantes : sécurité, confort, accessibilité à tous, capacité de transport, tout en offrant une image rassurante et novatrice. Les industriels ont développé des gammes de produits conçus sur l'assemblage de modules de base constituant la rame et offrant ainsi une flexibilité permettant d'adapter l'offre aux besoins spécifiques des agglomérations. Chaque véhicule est constitué de 3 à 7 modules, ce qui confère à ces véhicules une certaine souplesse pour effectuer des virages dans les rues des villes tout en offrant une grande capacité d'accueil pour les passagers.

Le système de guidage du tramway ferroviaire est basé sur le contact roue / rail qui a pour avantage de limiter le niveau d'effort nécessaire à la transmission du mouvement (frottements très faibles). Cependant, ce système a pour inconvénient d'offrir une adhérence limitée dans la transmission de cet effort dans les pentes et lors de freinages d'urgence.

2.2.2 Présence dans le monde

Près de 170 villes dans le monde utilisent déjà ou projettent d'utiliser le tramway moderne (plus de 70% de plancher bas), avec environ 7 000 rames en utilisation ou en commande.

2.2.3 Différences entre le tramway des années 50 et le Tramway moderne

Très fortement présent au début des années 1900 à Montréal après ses débuts en 1861, le tramway a progressivement été remplacé par l'autobus et le trolleybus pour finalement disparaître en 1959. Les chapitres suivants présentent succinctement les principales différences entre le tramway des années 1950 et le tramway moderne, dont les caractéristiques sont plus détaillées ci-après.

IMPLANTATION SUR LA VOIE PUBLIQUE

Le tramway des années 1950 roule généralement sur les deux voies centrales de la chaussée (site banal), au milieu des voitures et des camions de plus en plus présents. Lors d'incidents, il bloque toute la voie et sans pouvoir se ranger. Il est considéré comme une nuisance pour plusieurs. Nombreux sont ceux qui réclament son remplacement par l'autobus, qui offre une plus grande mobilité automobile.

Le tramway moderne roule principalement en site propre intégral (exclusif), en utilisant une partie des voies dédiées à l'automobile. De ce fait, les décideurs affirment leur volonté de donner priorité sur les rues empruntées par le tramway moderne aux véhicules offrant la plus grande capacité de passagers. Par ce choix, l'automobile est reléguée en second, car elle offre une efficacité moindre pour déplacer les utilisateurs de la voie publique.

Des contraintes de profil en long s'appliquent pour ce mode lorsque les pentes sont trop abruptes par comparaison à d'autres modes. Ainsi, pour des pentes supérieures à 8% de plus de 250 mètres de long, il est généralement conseillé d'adapter la technologie des véhicules (motorisation complète des bogies) et/ou d'adoucir le profil de la rue.³

INSERTION URBAINE

Au début du siècle dernier, la ville laissait aux promoteurs privés la responsabilité d'arrimer les nouvelles lignes de tramway à de nouveaux développements résidentiels, commerciaux ou industriels. Les quartiers desservis étaient reliés uniquement selon les intérêts commerciaux à court terme. Peu de planification urbaine n'était prise par la Ville, sauf quelques exceptions comme le long de l'artère Grenet (Arrondissement Ahuntsic-Cartierville).

Un projet de tramway moderne constitue une occasion de réaménagement de l'espace public et à l'occasion requalifier des zones urbaines dégradées. Pour ce faire, le projet s'accompagne généralement d'un traitement de façade à façade sur une grande partie du circuit permettant de donner un certain prestige aux artères empruntées par le Tramway moderne.

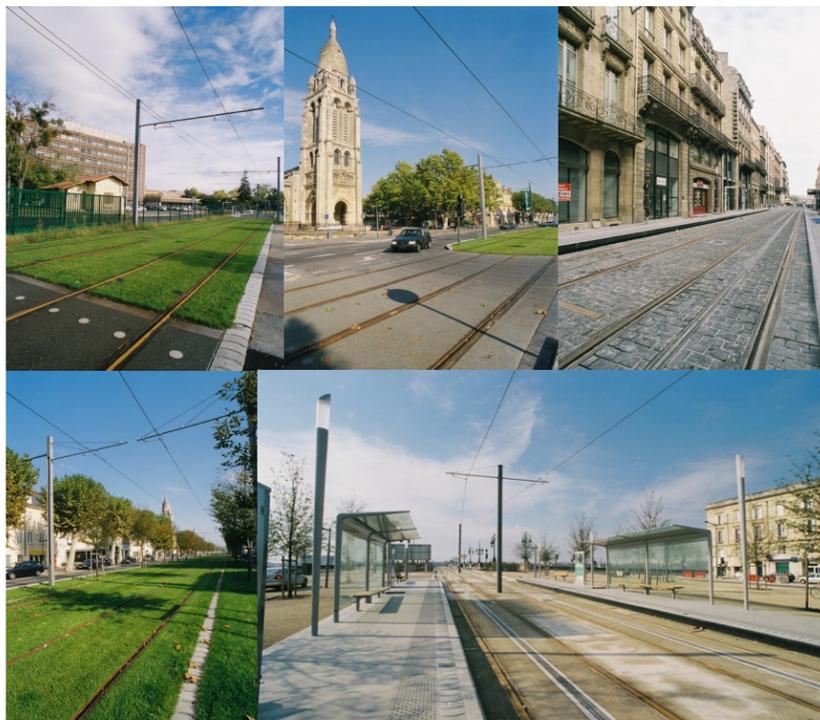
³ Track geometry for LRT, TRB 2010 Annual meeting
BHNS Concept et recommandations, CERTU, octobre 2005

INFRASTRUCTURE VOIE / SOL

La technique de pose de la voie du tramway des années 1950 est rudimentaire. Les rails étaient posés sur des traverses de bois et étaient vissés l'une à l'autre. Par la suite, le tout était noyé dans des substrats communs tels que le gravier et l'asphalte. Il en résultait que le niveau de vibration communiqué aux immeubles voisins était très important et fort désagréable pour les citoyens. De plus, la pose de voie sur un substrat non rigide provoquait des déformations différentielles des rails, ce qui entraînait des mouvements des véhicules (tangage) et une vitesse réduite de ceux-ci. Somme toute, le tramway des années 1950 était bruyant et peu confortable.

La technique de pose de la voie du tramway moderne a fortement évolué. Les rails sont sur une dalle de béton sous laquelle différents substrats sont utilisés pour la désolidariser de la voie publique. Certaines techniques utilisent même des dalles préfabriquées en usine. Les rails sont soudés l'une à l'autre pour un plus grand silence de roulement. Le revêtement autour des rails utilise des propriétés limitant également le bruit et les vibrations tout en offrant une isolation électrique. Certaines villes utilisent même du gazon (naturel ou synthétique) autour des rails. Tous ces efforts permettent de diminuer fortement le bruit et les vibrations communiqués aux immeubles voisins et d'augmenter la qualité de roulement des véhicules, le confort des passagers et la vitesse commerciale du système. Somme toute, le tramway moderne est silencieux, confortable et performant.

Figure 2.1 Exemples de revêtements de plateforme



ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

Le système d'alimentation électrique du tramway des années 1950 est important. Les fils de la caténaire étaient entremêlés avec les fils électriques et ceux du téléphone. De plus, la caténaire est bifilaire, un pour l'alimentation et le second pour le neutre. Ainsi, lors de croisement de ligne ou de courbe, de véritables toiles d'araignées inesthétiques encombraient le ciel.

Pour le tramway moderne, un seul fil d'alimentation est nécessaire par voie. Le retour de courant se fait par le sol. Aussi, la caténaire est souvent suspendue au mobilier urbain, ce qui limite l'encombrement aérien. Certaines innovations permettent de se libérer des fils pour de courtes distances telles que les systèmes de batterie, les supercondensateurs ou l'alimentation par le sol (APS) pour de longues distances. L'APS tel qu'utilisée à Bordeaux (bientôt Dubaï et Brasilia), ne peut être utilisée à Montréal dû aux conditions climatiques hivernales et au sel qui est répandu sur la voie publique.

Bombardier développe un système d'alimentation par induction (Primove) qui est actuellement testé en Allemagne. Cette technologie n'est pas encore suffisamment éprouvée pour être recommandée dans le contexte montréalais, cependant, son évaluation devra être mise à jour lors du choix final des technologies.

SÉCURITÉ

La sécurité du tramway des années 1950 était souvent problématique, puisque les usagers devaient traverser une voie avec la circulation automobile pour atteindre les voies centrales où roulait le tramway.

L'environnement immédiat du tramway moderne est conçu de manière à assurer la sécurité des usagers. En insertion centrale, le tramway est sécuritaire pour ses usagers puisque les usagers y ont accès à partir d'un quai d'embarquement généralement au centre de la voie. Lorsqu'il est en insertion latérale, il est encore plus sécuritaire pour ses usagers puisque la moitié des usagers accèdent directement au véhicule par le quai qui est un élément du trottoir. Les usagers provenant de l'autre côté de la voie utilisent les carrefours à feux pour accéder à un quai au centre de la rue.

VITESSE ET CONFORT

La vitesse, la régularité et le confort du tramway des années 1950 étaient souvent critiqués dans les journaux de l'époque. En 1948, sur 1 001 tramways en service, 430 avaient une moyenne d'âge excédant 35 ans. Ainsi, de nombreux véhicules construits dans les années 1910 expliquaient la réputation d'inconfort qu'avaient les tramways en comparaison aux autobus offerts en 1950. Le peu de connaissances de l'impact des courbures des voies sur les passagers augmentait également le niveau d'inconfort dû aux mouvements latéraux. L'âge des véhicules et le manque d'entretien du réseau électrique était responsable de nombreux retards, quand ceux-ci n'étaient pas pris dans la congestion routière toujours grandissante.

Le tramway moderne offre un grand niveau de confort et surpasse grandement ce que peut offrir un autobus aujourd'hui. Les courbures des voies sont aujourd'hui profilées dans un souci de réduire les mouvements latéraux pour augmenter le confort des passagers. Le tramway moderne est équipé d'un système de commande des feux de circulation, couplés à un système d'Aide À l'Exploitation - SAE, ce qui lui assure presque toujours d'avoir la priorité aux carrefours et de gérer à distance les avances et retards. Les caractéristiques d'accélération et de freinage se sont également très nettement améliorées, ce qui permet de réduire les temps de parcours. L'insertion des voies en site propre (exclusif) permet de respecter les horaires, même aux périodes de pointe.

VÉHICULES

La dernière innovation digne de mention datait de 1936 avec l'introduction du PCC (Electric Railway Presidents Conference Committee). En 1944, Montréal acheta un dernier lot de 14 véhicules neufs PCC. En 1950, la flotte montréalaise de 1 000 véhicules était très ancienne et les tramways les plus récents pouvaient accueillir une centaine de passagers en service normal.

Le tramway moderne offre des rames de 20 à 45 m de longueur pouvant accueillir de 130 jusqu'à 300 passagers par rame en service normal. Quelques villes optent pour un design distinctif reflétant leur particularité, mais la plupart optent pour un modèle standardisé à moindre coût. Le véhicule est constitué de l'assemblage de 3 à 7 modules qui constitue une rame. Les tramways modernes sont dotés de plancher bas (entre 30 et 35 cm du sol). Le plancher des véhicules est partiellement bas (70% du plancher est au niveau des quais d'embarquement) ou à plancher bas intégral (100%). Dans les deux cas, l'accès aux personnes à mobilité réduite (PMR) est aisé ainsi qu'aux familles avec poussette.

FUTUR DE CE MODE DE TRANSPORT

En 1950, la flotte de tramways était très âgée et plusieurs centaines de véhicules étaient à remplacer. Il ne restait que très peu de constructeurs de tramway en Amérique, puisque la demande s'était tarie avec la crise économique des années 30 et la guerre 39-45. Il était jugé hasardeux de commander une telle quantité de véhicules, alors que de nombreuses villes abandonnaient ce mode de transport critiqué et que même les constructeurs disparaissaient, faute de commandes.

En 2010, plus de 40 constructeurs sont en activité dans le monde. En Amérique du Nord, c'est plus de 13 villes qui ont commandé en 20 ans environ 800 véhicules à plancher bas auprès de 6 constructeurs de classe mondiale. Aujourd'hui, nombreuses autres villes ont pour projet d'offrir ce mode de transport à leurs citoyens dans les prochaines années. Plusieurs entreprises pourront proposer leur matériel pour un projet tel que celui de Montréal.

Figure 2.2 Exemples d'insertion urbaine et en milieu périurbain



2.3 LES TRAMWAYS SUR PNEUS

Les tramways sur pneus sont classés dans les modes dits « intermédiaires » par rapport au bus/trolleybus et au tramway ferroviaire classique: le TVR (transport sur voie réservée) de Bombardier et le Translohr de la société LOHR Industrie. Les deux entreprises offrent des technologies similaires avec un rail central servant de guide, mais non compatibles entre elles. Le Translohr et le TVR sont tous deux des véhicules sur pneu. Par rapport au tramway sur fer classique, ils présentent plus de souplesse en matière d'insertion (pentes et courbes admissibles plus fortes). Par rapport à l'autobus, ils sont guidés par un rail central fixé dans la plateforme, et présentent une image moderne, avec un « look » se rapprochant de celui du tramway.

2.3.1 Les types de tramway sur pneus

LE TRANSLOHR

En 2001, Clermont-Ferrand a choisi Translohr pour équiper sa première ligne de tramway (14 km en site propre intégral). Ce constructeur a la particularité de choisir une technologie avec roulement sur pneus.

Le Translohr a été retenu par :

- deux agglomérations françaises :
 - Clermont-Ferrand mise en service en 2006;
 - Saint-Denis – Sarcelles à l'horizon 2011.
- trois agglomérations italiennes :
 - Padoue (10,5 km), mise en service en 2007;
 - L'Aquila⁴ (7 km), mise en service en 2010;
 - Venise (Mestre) (20 km), mise en service en 2010.
- deux agglomérations chinoises :
 - Shanghai mise en service en 2009;
 - Tianjin (TEDA) mise en service en 2007.

Comme le tramway standard, le Translohr est un véhicule à guidage permanent et motorisation électrique. Il s'apparente ainsi à un tramway sur pneu. Initialement, le Translohr avait pourtant été conçu pour circuler en mode routier et guidé. Mais suite à l'expérimentation et peut-être suite aux difficultés rencontrées par le TVR à Nancy, LOHR a finalement décidé de supprimer le mode routier pour développer un guidage permanent. Ceci autorise ainsi le véhicule à s'affranchir des contraintes du code de la route; sa longueur en particulier n'est plus limitée et les véhicules peuvent être bidirectionnels.

⁴ cité universitaire située à 100 km à l'est de Rome, qui présente de fortes contraintes de pente

Figure 2.3 Illustration du Translohr



Translohr (Lohr Industrie)

LE TVR

Le Transport sur voie réservée (TVR) a été développé par une entreprise acquise par Bombardier transport, La Brugeoise et Nivelles. Initialement, le véhicule devait être plus économique que le tramway standard.

Le TVR a été retenu par :

- deux agglomérations françaises :
 - Nancy 2001
 - Caen 2002

À la différence de Nancy, le TVR de Caen est entièrement guidé et en site propre le long de son parcours (15,7 km). Seul le retour au dépôt s'effectue en mode routier (1,5 km).

Le TVR est un véhicule bi-mode guidé (électrique – thermique), contrairement au Translohr et au tramway standard. Il peut être débrayé et peut circuler de façon autonome en mode routier hors de la plateforme réservée. La conception du TVR est ainsi routière. Elle est soumise au Code de la route et utilise les techniques classiques des véhicules routiers pour le freinage et l'orientation des essieux en mode manuel. Le TVR sera donc toujours monodirectionnel et sa longueur maximale sera fixée par les normes applicables pour les véhicules routiers. Il est à noter qu'à notre connaissance, aucun autobus bi-articulé n'a été mis en service en Amérique du Nord.

Figure 2.4 Illustration du TVR



Le TVR à Nancy



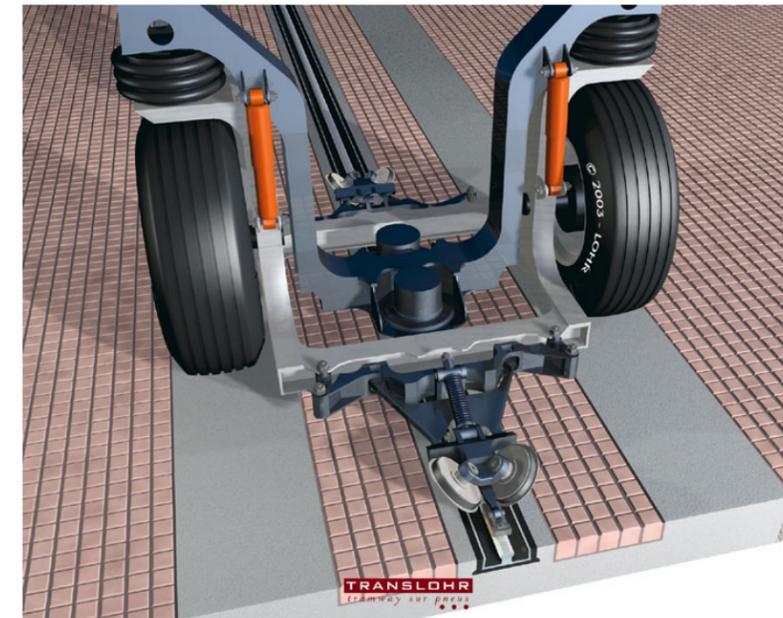
Le TVR à Caen

2.3.2 Système de guidage

GUIDAGE TRANSLOHR

Le système de guidage à rail central du Translohr est assuré par deux galets en « V » venant pincer le rail de guidage fixé dans la chaussée et assurant l'orientation des roues. Chaque essieu du véhicule est en effet orienté par deux bras supportant chacun deux galets.

Figure 2.5 Guidage du Translohr



Grâce à leur forme et leur inclinaison en « V », charges et forces minimales s'exercent sur le rail, les efforts latéraux étant repris par les pneumatiques. Le système de guidage supporte uniquement les efforts dus à l'orientation des essieux. La transmission des efforts se fait par roulement des galets et non par frottement des mentonnets ce qui limite le bruit et l'usure.

Les galets sont revêtus de bandage composite afin d'éviter le contact direct fer sur fer. Selon le constructeur, il n'existe aucune possibilité de déraillement y compris en condition d'adhérence très dégradée. Le rail ne subit a priori pas d'usure, celle-ci étant assumée par les galets.

GUIDAGE TVR

Le système de guidage du TVR consiste en une paire de galets, qui, en roulant sur un rail central fixé dans la chaussée, donne l'orientation des roues du véhicule, tous les essieux étant directionnels.

Figure 2.6 Guidage TVR



Le passage en mode guidé s'effectue à l'arrêt et nécessite un "triangle" d'insertion sur le rail : une fois positionné sur le dispositif (localisé par une signalisation latérale), le conducteur active la séquence de «droppage » qui va abaisser le galet du premier essieu, puis les suivants automatiquement. Il est à noter qu'il existe des "triangles" amovibles qui peuvent être utilisés pour passer en mode guidé en n'importe quel point du parcours. Ceci nécessite cependant l'intervention d'une équipe d'entretien. La sortie du mode guidé se fait impérativement à l'arrêt.

Figure 2.7 Exemple de triangle d'insertion



En mode guidé, la giration est assurée indépendamment pour chaque essieu. Le galet situé devant l'essieu, monté fixe, imprime l'angle de giration aux roues via une timonerie. Le galet arrière, monté libre transversalement, n'assure qu'un rôle de sécurité anti-déraillement. Il est nécessaire d'appliquer un effort vertical sur le rail de l'ordre de 750 daN pour chaque galet afin d'éviter le déraillement.

2.3.3 Plate-forme, voie et revêtements

PLATE-FORME TRANSLOHR

Le rail de guidage est posé dans une rainure réalisée sur la surface de la plateforme et noyé dans une résine qui réalise par la même occasion l'isolation contre les courants vagabonds et assure une bonne homogénéité dans la pose.

Des bandes de roulement, bien que la charge à l'essieu et la pression au sol soient faibles, du béton ou un asphalte très dur sont nécessaires pour éviter des problèmes d'orniérage. Le renouvellement de la couche superficielle de la voie doit se faire tous les 7 ans environ.

Figure 2.8 Exemple de revêtement de la plateforme du Translohr



Padoue (à noter les bandes de roulement)

PLATE-FORME TVR

Figure 2.9 Exemple de revêtement de la plateforme du TVR



Pour le système TVR, les principaux types de chaussées préconisés par le constructeur sur les sections guidées sont :

- une plateforme sur une profondeur de 24 à 30 cm contre 70 à 100 cm pour le tramway moderne (ces recommandations ne tiennent pas compte d'un climat nordique);
- une dalle de béton armé en continu;
- une structure bitumeuse EME avec une couche de roulement d'enrobé haute densité.

De manière générale, aussi bien pour le Translohr que pour le TVR, les possibilités de revêtement sont bien moins diversifiées que celles du tramway sur fer.

2.3.4 Caractéristiques techniques d'insertion du TVR et du Translohr

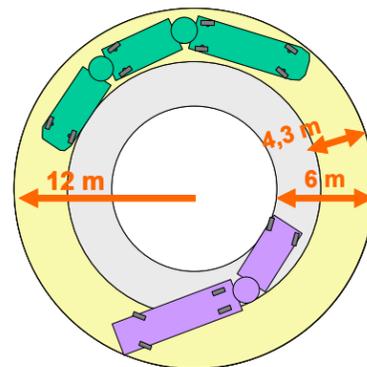
Par rapport au tramway sur fer, le Translohr et le TVR s'insèrent plus facilement en section courante du fait de son gabarit statique réduit.

Par rapport au tramway standard, le Translohr peut emprunter des rayons beaucoup plus serrés et franchir des pentes plus importantes du fait de l'adhérence des pneus. Cet avantage disparaît en cas de glace sur la chaussée.

Par rapport au tramway standard, ces modes de transport peuvent négocier des courbes beaucoup plus faibles, qu'il soit en mode guidé ou non. Le rayon de courbure minimum est de l'ordre de 12 mètres au lieu de 25 mètres pour un tramway.

Les caractéristiques du TVR sont différentes selon qu'il est utilisé en mode guidé ou non.

Figure 2.10 Exemple de giration d'un TVR versus un autobus articulé



Toutefois, l'emprise en courbe du TVR non guidé (vert) est en tout état de cause inférieure à celle d'un bus articulé (violet), ses essieux étant tous orientables. À titre indicatif, la largeur de balayage pour une courbe de 12 m est de 4,3 m environ.

2.3.5 Avantages et inconvénients du tramway sur pneus par rapport au Tramway moderne

AVANTAGES

L'infrastructure à installer est plus légère que celle d'un tramway classique, et donc un peu moins coûteux. Dans le cas du Translohr, cet avantage est annulé par la moins grande capacité de ces véhicules de 2,2 mètres de largeur qui sont offerts au coût similaire au tramway moderne.

En cas d'obstacle en avant du véhicule, le TVR peut contourner l'obstacle et retourner sur le rail.

L'utilisation de pneus procure une adhérence supérieure au rail mais cet avantage disparaît par temps pluvieux ou en cas de formation de glace sur la table de roulement

Le matériel roulant est plus léger que leur équivalent sur rail.

INCONVÉNIENTS

Que ce soit pour le Translohr ou pour le TVR, la pérennité de chacun des systèmes est basée sur un seul constructeur (LOHR ou Bombardier). En effet, il n'existe aucun fournisseur pour un matériel roulant pouvant circuler sur la même infrastructure. Une fois l'infrastructure installée, seul du matériel du constructeur initial peut utiliser le rail, ce qui impose un seul soumissionnaire lors du renouvellement du parc de véhicules. En comparaison, des villes équipées d'un système tram classique n'ont pas hésité à sélectionner un constructeur autre que le constructeur initial lors de l'extension du réseau. Par exemple, Strasbourg, après avoir choisi des Eurotram de Bombardier, a choisi des Citadis d'Alstom onze ans plus tard et Nantes après avoir choisi des TFS d'Alstom en 1985, a choisi Bombardier quinze ans plus tard.

Le Translohr est offert en une seule largeur, soit 2,20 m. Les options ne portant que sur la longueur soit 25, 32, 39 ou 46 mètres et pouvant accueillir au maximum 260 personnes (4 p/m²). En comparaison, le tramway moderne est offert à des largeurs de 2,1 à 3 mètres et des longueurs variées.

Le système tramway sur pneus sur une plateforme légère est plus économique à la construction mais le coût de remplacement des 10 pneus par rame qu'il faut changer 2 fois par ans fait augmenter le coût du système. De plus, l'adhérence supérieure qu'offrent les pneus requiert une plus grande consommation d'énergie que le roulement fer sur fer.

Le guidage du Translohr et du TVR laisse à désirer puisque quelques déraillements ont été recensés.

Les revêtements de plateforme s'usent plus rapidement aux passages répétés toujours au même endroit lié au guidage, ce qui crée un effet d'orniérage. Ces ornières créent de l'inconfort pour les passagers ainsi qu'une usure plus rapide du matériel.

Pour la signalisation, l'absence de deuxième rail ne permet pas l'utilisation de technologie de signalisation ferroviaire de type circuit de voie pour prioriser le passage au carrefour. D'autres technologies doivent alors être utilisées.

Pour ce qui est du TVR, plusieurs problématiques sont apparues et certaines mises en garde sont requises :

- Le rayon de courbure minimum planifié pour le TVR de Nancy était de 12 mètres. Dans cette ville, plusieurs déraillements se sont produits dans une courbe en «S» dont chacune des portions avait des rayons de 12 mètres. Les courbes ont dû être reconstruites pour porter les rayons à 15 mètres. Aussi, la vitesse dans les courbes de faible rayon a dû être limitée à 5 km/h.
- L'entretien du rail central et des voies du TVR s'est avéré beaucoup plus onéreux que prévu. Il est probable que les coûts d'entretien soient supérieurs à ceux d'un tramway moderne avec deux rails.

Bombardier a d'ailleurs décidé d'arrêter la fabrication des TVR suite aux différents problèmes rencontrés et à l'absence de commandes.

2.3.6 Pertinence du Translohr à Montréal

Le TVR n'étant plus offert, seul Translohr offre des tramways sur pneus. En résumé, voici pourquoi Montréal ne devrait pas retenir ce véhicule pour sa première ligne de tramway :

- Soumissionnaire unique;
- Réduction d'adhérence lors des conditions climatiques hivernales de Montréal;
- Système ayant peu fait ses preuves dans le monde. Nombreux problèmes avec des déraillements ont eu lieu entraînant des limitations importantes de vitesses dans les courbes;
- Translohr est reconnu comme un système avec des coûts d'infrastructure inférieurs à ceux du Tramway moderne. En contrepartie, les véhicules sont plus onéreux. Les Translohr STE4 de 32 mètres de Venise ont été acquis pour 2,35 M euros chacun, soit 14 500 euros par place offerte contre 9 000 euros (en 2003) par place pour un tramway moderne sur un cumul de plusieurs réponses à des appels d'offres. Compte tenu des coûts plus élevés des véhicules (50% par place), les économies du tramway sur pneumatique ne semblent pas se concrétiser.

Par conséquent, ces systèmes ne sont pas considérés dans la comparaison entre le tramway et les autres modes.

2.4 LES SYSTÈMES À GUIDAGE IMMATÉRIEL (EXEMPLE DU CIVIS)

2.4.1 Caractéristiques principales

Le Civis est un véhicule routier guidé. Au niveau de l'image, ces systèmes se rapprochent plus de l'autobus que du tramway. Le Civis est issu d'une coopération entre les Sociétés Irisbus et Siemens. Irisbus fournit le matériel roulant et Siemens prend en charge le système de guidage optique. Le résultat est un véhicule à moteurs-roues électriques pouvant circuler aussi bien en mode routier classique qu'en mode guidé, monodirectionnel et non monotrace.

L'Irisbus Civis se présente sous la forme d'un bus classique équipé de nouveautés technologiques en traction et guidage. Il existe en deux versions : l'autobus classique (Civis) et le trolleybus (Cristalis).

2.4.2 Alimentation

L'alimentation du Civis peut, au choix, être :

- thermique, avec un moteur 300 Diesel;
- bi-mode, électrique (trolley) et thermique, avec le même moteur, ce qui garantit des performances nominales équivalentes dans les deux modes;
- électrique (type trolley), avec ou sans moteur d'autonomie.

2.4.3 Guidage

Le Guidage optique proposé par Irisbus sur le Civis repose sur le principe du traitement de l'image. Une caméra lit devant le véhicule le marquage peint sur la chaussée et matérialisant la trajectoire optimale. Les informations recueillies sont traitées par un microprocesseur pour agir sur la direction du véhicule. Le système étant immatériel et débrayable, le conducteur peut reprendre la conduite en mode manuel à tout moment si les circonstances l'exigent, sans ralentissement du véhicule. Il est important de noter que le système de guidage optique ne concerne que l'essieu avant. L'essieu arrière n'étant pas guidé, le véhicule n'est pas monotrace.

2.4.4 Infrastructure au sol

L'interface avec les infrastructures se limite au marquage au sol. Celui-ci est constitué de deux bandes parallèles de pointillés, larges de 10 cm chacune et espacées de 25 cm. De part et d'autre de cette double bande de 45 cm, une largeur de 30 cm doit être libre de tout autre marquage. Les "pointillés" sont réalisés avec une peinture routière standard, par une méthode de pochoirs. La précision du marquage doit être la plus

grande possible pour un guidage de qualité. Sa durée de vie dépend fortement des conditions d'application et de circulation. Elle peut varier de 6 mois à 4 ans.

Il est fortement recommandé de choisir une plateforme en béton afin de se prémunir contre les déformations de la chaussée.

2.4.5 Présence dans le monde

Il est présent dans les agglomérations de Rouen, Lyon (Cristalis), Saint Étienne (Cristalis), Limoges (Cristalis), mais aussi à Milan et Bologne en Italie et à Las Vegas (Nevada) aux USA. À Clermont-Ferrand, première ville à se doter du Civis en 2003, le véhicule y a été retiré du service suite à de nombreux problèmes.

Le rayon de courbure minimum est en effet assez élevé : 25 m en mode guidé. Les rayons de courbure inférieurs à 25 m impliquent une reprise de conduite du véhicule en mode manuel. En mode non guidé, le rayon minimal est de 12 m.

Figure 2.11 Exemple du Civis de Las Vegas (MAX)



2.4.6 Capacité

Le Civis a été conçu pour des agglomérations de taille « moyenne » ne pouvant pas « prétendre » au tramway (financièrement et en capacité).

Il se situe dans des gammes de trafic bien inférieures à celles des tramways existants : 1000 à 2500 voyageurs par sens à l'heure de pointe.

2.4.7 Pertinence de ce mode pour Montréal

Trois principaux inconvénients amènent à ne pas considérer ce type de mode de transport à Montréal :

- Un système propriétaire (fournisseur unique);
- Des marquages qui ne sont pas compatibles lorsque la chaussée est couverte de neige;
- Une capacité de transport limitée.

Par conséquent, ce système n'est pas considéré dans la comparaison entre le tramway et les autres modes.

2.5 LES SYSTÈMES ROUTIERS NON GUIDÉS

Les systèmes routiers non guidés se réfèrent à l'autobus et au trolleybus de nouvelle génération circulant sur la plupart des réseaux urbains.

2.5.1 Caractéristiques principales

L'autobus est le plus courant des véhicules routiers circulant sur les réseaux de transports urbains. Il se décline en version standard (12 m en général), en version articulée (18 m en moyenne) voire bi-articulées (25 m). De nombreuses améliorations ont été apportées sur ce mode, notamment en termes d'accessibilité avec l'apparition de planchers surbaissés ou intégralement bas, et de motorisation spécifique.

De même, concernant l'image extérieure des véhicules, des progrès importants ont été réalisés ces dernières années, donnant un nouvel attrait et un nouvel élan à ce mode de transport en commun tombé un peu en désuétude depuis quelques temps. En parallèle à l'amélioration du confort des véhicules, les émissions de bruit ont été réduites et de nombreux éléments extérieurs ont été retravaillés : silhouette, nouveaux phares, surfaces latérales, vitres collées, blocs optiques, etc.

Aujourd'hui, plus d'une dizaine de bus articulés à plancher surbaissé sont proposés sur le marché.

Notons par exemple que la STM et le Réseau de transport de la Capitale (RTC) se sont dotés d'autobus articulés. Les véhicules longs de 62 pieds peuvent transporter jusqu'à 116 personnes, avec 55 places assises.

Figure 2.12 Exemple d'autobus articulé (Nova Bus)



2.5.2 SRB : Service Rapide Bus

Les Services Rapide en Bus (SRB) d'Amérique du Nord et du Sud, sont composés principalement de lignes express de bus utilisant des voies réservées sur autoroute ou en corridor exclusif, aux États-Unis et au Canada, ou bien de larges voies, au Brésil (Curitiba) et en Équateur.

Plusieurs SRB nord-américains sont aménagés dans des corridors exclusifs, souvent d'anciennes emprises ferroviaires, tel qu'Ottawa (Transitway), Gatineau (Rapibus), Los Angeles (Orange Line) et Pittsburgh. Ce type d'aménagement est typiquement utilisé pour relier les banlieues au centre-ville. L'aménagement utilisé dans ces villes n'est pas compatible avec le corridor retenu. D'autres SRB utilisent des voies réservées en rive, tel qu'à Vancouver (B-Line) et l'exploitation est similaire aux voies réservées actuelles sur Côte-des-Neiges et René-Lévesque.

À Montréal, deux SRB sur artère en milieu urbain sont prévus : le boulevard Pie-IX et le boulevard Henri-Bourassa. Un corridor exclusif au centre de la chaussée avec mesures de priorité aux feux de circulation est prévu pour le SRB de Pie-IX. Ces SRB utiliseront des autobus réguliers qui ne seront pas accompagnés du même rehaussement du design urbain sur l'ensemble du corridor. Vu la capacité des autobus et un achalandage important, les fréquences de passage des autobus sera assez élevée, augmentant ainsi les coûts d'exploitation (plus de véhicules et de chauffeurs).

Actuellement, un certain nombre de villes, en Europe et particulièrement en France, ont mis en place ou projettent ce type de système de transport, comme Rouen en 2001 avec le TEOR en lieu et place d'une

seconde phase de tramway jugée trop coûteuse. En décembre 2008, la région de Maubeuge a inauguré son BusWay en site propre sur 8 km.

À Nantes, la Ligne 4, mise en service en novembre 2006, fait appel à un concept innovant, celui du BusWay, une nouvelle technologie de transport en commun circulant sur une voie réservée. Dotée de caractéristiques proches de celles du tramway, cette ligne est empruntée quotidiennement par 20 000 passagers. Les BusWay circulent sur une voie en site propre, surélevée et protégée des voies traditionnelles dédiées à la circulation automobile. La ligne 4 est prioritaire aux carrefours, comme les lignes du tramway, avec la même vitesse commerciale. Les véhicules s'arrêtent uniquement en station. Les 20 autobus de nouvelle génération roulant au gaz naturel sont équipés de planchers bas permettant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite et pouvant transporter près de 150 usagers.

2.5.3 Capacité

BUS BI-ARTICULÉS

Les bus à haute capacité sont des bus bi-articulés de 25 mètres de longueur environ.

La première ville à utiliser des bus bi-articulés a été Curitiba au Brésil. 170 bus bi-articulés utilisent les 5 principaux corridors de la ville. L'intervalle entre deux bus peut descendre à 50 secondes. Ce mode de transport a été préféré au métro pour des raisons de coûts. Des autobus similaires sont utilisés à Sao Paulo. La ville de Bogota exploite également des bus de 25 mètres.

Le manufacturier Jinhua Neoplan construit également des bus de 25 mètres qui seront mis en service à Pékin, Hangzhou sur des lignes dédiées.

Des autobus bi-articulés fabriqués par Van Hool sont également en exploitation à Utrecht au Pays-Bas, à Aix-la-Chapelle et Hambourg en Allemagne. À ce jour, aucun autobus bi-articulé n'a été mis en service en Amérique du Nord.

Tableau 2.1 Caractéristiques de différents types d'autobus bi-articulés

Nom	Trolley Bus	Lieu d'opération	Capacité	Rayon de braquage
Volvo (Marco Polo B10M)		Curitiba, Brésil	Assis : 57 Debout : 103 (4 ppm ²) Total : 160 passagers	11 mètres
Mercedes-Benz		Bogota, Colombie	Assis : 43 Debout : 117 (4 ppm ²) Total : 160 passagers	11 mètres
Neoplan (Centroliner)		Miskolc, Hongrie Hong Kong, Chine	Assis : 57 Debout : 108 (4 ppm ²) Total : 165 passagers	12.2 mètres
Renault Heuliez Mégabus GX237h		Bordeaux, France	Total : 206 passagers	13 mètres
Van Hool AGG300		Utrecht, Pays-Bas Hambourg, Allemagne Genève, Suisse Liège, Belgique	Total : 180 passagers	12 mètres

Les bus à grande capacité qui sont ou étaient utilisés dans des conditions de ville similaires à celles de Montréal sont les Renault Heuliez Mégabus GX237h ou les Van Hool AGG300. La capacité maximale est alors de l'ordre de 200 passagers par bus.

TROLLEYBUS

Les caractéristiques et performances du trolleybus sont proches de celles de l'autobus et la seule grande différence avec celui-ci est l'alimentation en énergie. Il a l'avantage d'être silencieux et non polluant le long du parcours. Cependant, le système de captation de l'énergie par ligne aérienne de contact le rend moins flexible que l'autobus et l'expose plus aux aléas de la circulation routière, lorsqu'il n'est pas en site propre.

Toutefois, les trolleybus de nouvelle génération sont bi-traction : électrique et diesel/électrique ce qui leur donne une meilleure flexibilité d'exploitation. Les trolleybus de nouvelle génération bénéficient d'un plancher bas intégral surbaissé et entièrement plat, et d'une habitabilité augmentée (couloirs larges, notamment) grâce à l'adoption du système des roues motorisées.

La capacité maximale d'un trolleybus est actuellement inférieure à 200 personnes (60 pour un trolleybus standard). Plusieurs villes suisses possèdent des Megatrolleybus, véhicules bi-articulés à 3 caisses avec 2 articulations : Genève avec 10 véhicules en 2009, Lucerne avec 3 véhicules en 2009, Zürich avec 17 véhicules en 2009, et Saint-Gall avec 7 véhicules.

Les principaux trolleybus articulés en Amérique du Nord sont en exploitation à San Francisco et à Vancouver mais ont une capacité inférieure à 150 passagers.

Les rayons de braquage des équipements sont de l'ordre de 24 mètres et ces équipements sont exploitables sur des pentes de 18% par temps sec.

Tableau 2.2 Caractéristiques de différents types de trolleybus

Nom	Trolley Bus	Lieu d'opération	Capacité	Longueur
Hess Lightram3 (Hess) bi-articulé		Genève (10) Lucerne (3) Zurich (17) Saint Gall (7)	Debout : 126 Assis : 66 Total 192	25 mètres
Irisbus Cristalis		Lyon, Milan	Debout : 140 Assis : 40 Total : 180	18.5 mètres
Hess Swisstrolley3 (Hess) articulé		Suisse (10 villes) Arnhem (Pays-Bas) Solingen (Allemagne)	Debout : 75 Assis : 48 Total : 133	18 mètres
Hess Bi-mode		Fribourg	Debout : 93 Assis : 40 Total : 133	18 mètres
New Flyer E60, E60LFR		San Francisco, Vancouver	Debout : 66 Assise : 54 Total : 120	18 mètres

2.5.4 Autres caractéristiques

Les charges à l'essieu sont souvent élevées, notamment pour l'essieu arrière qui atteint facilement 13 t en charge.

Les bus et trolleybus "nouvelle génération" sont conçus pour circuler 20 ans environ.

Les bus et trolleybus nouvelle génération sont tous équipés d'un plancher surbaissé ou intégralement bas.

Certains constructeurs proposent également en option un système d'agenouillement sur le côté, permettant de réduire la lacune verticale entre le véhicule et le quai, ainsi qu'une rampe d'accès à commande électrique pour faciliter l'accès des personnes à mobilité réduite.

Au niveau de l'habitacle des véhicules, certains constructeurs ont apporté de larges améliorations en termes d'aménagement intérieur, d'augmentation de la luminosité et de systèmes d'information des passagers. IRISBUS a cherché, par exemple, à concevoir pour son bus nouvelle génération des aménagements conviviaux (banquettes, rotondes), ainsi que des espaces pour ranger des bagages ou des vélos. Les surfaces vitrées latérales sont importantes et des puits de lumière ont été ajoutés. Le confort thermique des passagers est assuré sur tous les autobus qui peuvent être équipés de chauffage et de climatisation.

2.5.5 Plate-forme et revêtements

Les bus et trolleybus peuvent circuler en circulation banalisée, mais un aménagement en site propre et un système de priorités aux feux permettront d'atteindre des vitesses commerciales plus attractives.

La plateforme n'est à priori pas spécifique. Les bus et trolleybus peuvent rouler sur la chaussée existante (asphalte, béton bitumeux, etc.). En cas de reprise de la chaussée, les possibilités de revêtement, devant être de type routier, sont limitées.

2.5.6 Alimentation en énergie

Un large choix de moteurs et de transmissions, ainsi que de modes de propulsion alternative sont disponibles pour les systèmes routiers non guidés.

Certains véhicules sont proposés en version GNV (gaz naturel de ville), certains sont disponibles en mode trolley avec une possibilité de groupe auxiliaire d'autonomie ou de groupe bi-mode.

Dans le cas du trolleybus, l'alimentation électrique est assurée par des perches doubles sur lignes aériennes et un groupe électrogène à moteur diesel permet de garantir au véhicule une autonomie légère en cas de problème d'électricité (déperchage), ainsi que pour rejoindre le dépôt.

2.5.7 Caractéristiques techniques d'insertion

Concernant l'insertion urbaine, les bus et trolleybus présentent l'avantage de s'adapter à toutes les configurations urbaines. Ils peuvent évoluer dans des courbes serrées de 12 m de rayon et franchir des pentes de plus de 13 % grâce à l'adhérence de leurs pneumatiques, adhérence se réduisant en cas de glace sur la route. Leur insertion exige cependant plus d'espace que le tramway.

Leur longueur leur permet de circuler en site propre comme en site banalisé, ce qui leur confère une grande souplesse d'exploitation.

Les bus et trolleybus n'étant pas réversibles, il convient d'aménager un espace de retournement en bout de ligne, de taille relativement modérée.

La déviation de réseaux n'est pas obligatoire sur les parties en site protégé. Cependant, le souci de garantir en permanence une excellente qualité de service limite de fait cette possibilité théorique.

2.5.8 Fiabilité et risques technologiques

Les bus et trolleybus nouvelle génération ne présentent pas de risques technologiques particuliers et circulent avec de bons taux de fiabilité.

Le parc de trolleybus dans le monde est estimé à plus de 40.000 véhicules dans 348 villes.

Cependant, les constructeurs de matériel roulant soulignent qu'ils arrêtent le développement technologique des trolleybus (l'exemple du Cristalis d'Irisbus-Alstom) en vue d'une orientation vers de nouvelles technologies (supercapacités, batteries, biberonnage, etc.).

3.0 COMPARAISON DES MODES DE TRANSPORT

Un mode de transport collectif doit réunir cinq principales conditions pour constituer une alternative valable face à l'automobile :

- adapté à l'achalandage. Le mode de transport ne doit pas offrir une capacité de transport moindre que l'achalandage. Il ne doit pas offrir une trop grande surcapacité, car les véhicules paraîtront vides et la fréquence entre le passage de deux véhicules devra être augmenté;
- rapidité du mode. Pour être efficace, un mode de transport en commun doit avoir une vitesse commerciale élevée et offrir une alternative crédible à la voiture;
- régularité et la fiabilité. Un moyen de transport collectif doit avoir des passages réguliers et respecter les horaires préétablis, sinon les usagers ayant une alternative le délaisseront;
- information aux voyageurs. Plusieurs moyens de communication s'offrent pour rendre acceptables les temps d'attente ou de trajet. En revanche, si ces durées sont inconnues, elles seront souvent jugées inacceptables par les usagers;
- confort. Un mode de transport en collectif qui se veut compétitif doit être d'accès facile, près des lieux d'intérêt, avec des points d'arrêts populaires et offrir des véhicules confortables et propres.

Pour satisfaire à ces critères, un mode de transport collectif doit circuler sur des voies qui lui sont réservées (en site propre) pour garantir une vitesse commerciale élevée, être fiable et régulier et enfin, offrir en station et dans les véhicules une information satisfaisante aux usagers. Il doit aussi être confortable. Plusieurs systèmes répondent à ces critères : le SRB (service de bus ou de trolleybus en site propre), le tramway ou le métro (comme indiqué plus tôt, ce mode de transport n'est pas présenté dans ce document).

3.1 LA CAPACITÉ DE TRANSPORT

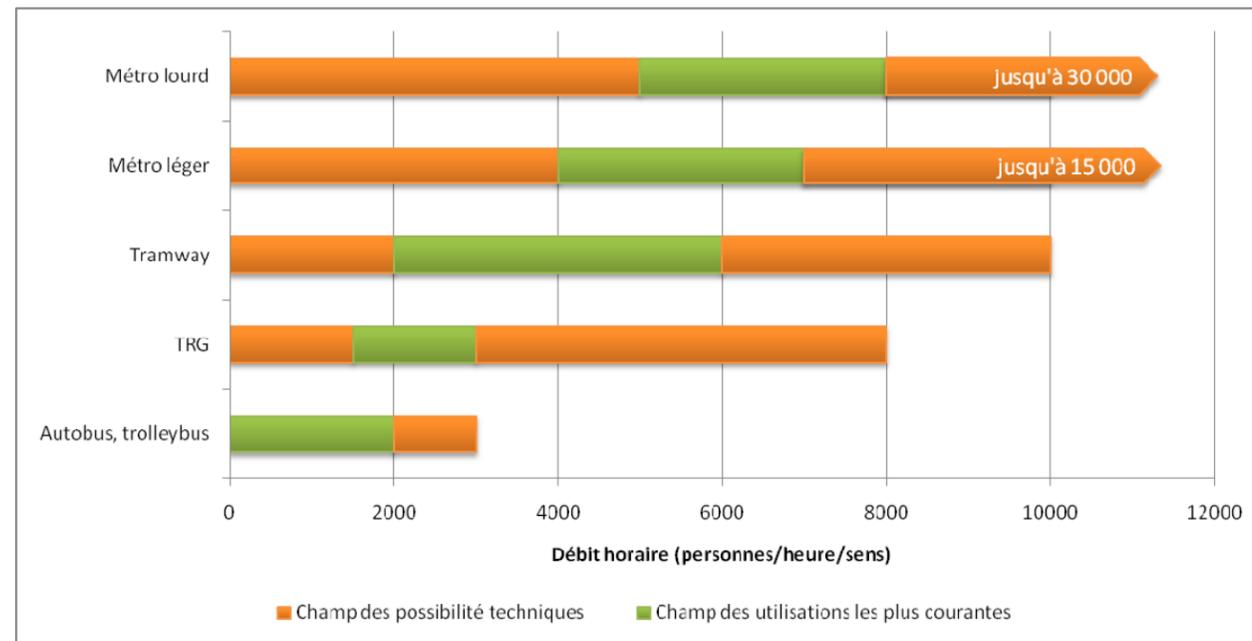
La capacité d'un tramway moderne est deux à trois fois supérieure à celle d'un bus articulé. Les tramways modernes en service aujourd'hui en France ont une capacité de 174 voyageurs à Grenoble (avec deux caisses Alstom de 29,40 m de long et 2,30 m de large) ; de 259 voyageurs à Nantes (pour les Incentro de ADTranz-Bombardier) ; de 270 voyageurs à Strasbourg (pour les rames de 43 m de long de ABB- Bombardier). Ils peuvent transporter jusqu'à 300 voyageurs à Bordeaux (44 m de long et 2,40 m de largeur pour le Citadis 402 d'Alstom qui comprend sept modules).

L'intervalle de passage est souvent de l'ordre de 4 minutes en heure de pointe, soit 15 passages à l'heure et donc un flux potentiel de 3000 à 4500 voyageurs par heure et par sens. À Grenoble, la fréquence en pointe est de 3 minutes sur la ligne A. À Strasbourg comme à Nantes, le passage a lieu toutes les deux minutes en pointe, soit un flux potentiel de 6000 à 9000 voyageurs par heure et par sens. Sur une journée, les trafics maxima sont par exemple de 90 000 voyageurs à Grenoble (ligne A), de 100 000 voyageurs à Nantes (ligne 2) et de 110 000 à Strasbourg.

La figure ci-dessous illustre le domaine de pertinence des différents systèmes par rapport à leur capacité de transport sur une heure (en passagers par sens à l'heure de pointe). Il tient compte de la capacité totale des véhicules sur une base de 4 personnes au m² et d'une desserte fréquente de l'ordre de 3 à 5 minutes.

Si le tramway est pertinent pour des gammes de trafic relativement élevées, les autres systèmes se positionnent sur des gammes inférieures avec toutefois une « zone de recouvrement » entre 1,500 et 3,500 voyageurs par heure et par direction pour les SRB (trolleybus et bus) et les tramways.

Figure 3.1 Capacités des différents modes de transport



Source : SEMALY, 2005, Les modes de transports collectifs urbains

Le tableau ci-dessous représente le nombre de passagers moyen par véhicule pendant la période de pointe d'une heure en fonction du nombre de voyageurs par heure par sens (de 2,300 à 6,000) et de l'intervalle entre deux véhicules. Notons que le nombre de passagers pendant le quart d'heure de pointe est supérieur.

Dans le cadre du tramway de Montréal, il ne paraît pas envisageable de descendre en dessous de 3 minutes sur une partie du parcours compte tenu du nombre important d'intersections. Une telle fréquence entraînerait à chaque feu une demande de priorité par un véhicule toutes les 90 secondes. Toutes ces demandes ne pourraient pas être acceptées, ce qui entraînerait l'arrêt fréquent de tramway aux feux de circulation.

Tableau 3.1 Impact de la fréquence de desserte sur la capacité des véhicules

Achalandage (voy/h/sens)	2300	2600	3000	4000	5000	6000
Fréquence de desserte						
5 m 00	192	217	250	333	417	500
4 m 30	173	195	225	300	375	450
4 m 00	153	173	200	267	333	400
3 m 30	134	152	175	233	292	350
3 m 00	115	130	150	200	250	300

Ainsi, on peut s'apercevoir qu'avec une capacité de l'ordre de 120 à 200 passagers par véhicule, le trolleybus aurait de la difficulté à offrir un service de qualité pour une demande supérieure à 3,000 voy/h au point de charge maximal de la ligne.

3.2 ÉVOLUTIVITÉ

Le tramway a un gros avantage par rapport au métrotrolley ou au bus pour ce qui concerne l'évolutivité. Ainsi, si la fréquentation venait à augmenter de manière significative, il est possible de rallonger les rames tandis que pour un métrotrolley il faut augmenter la fréquence, la flotte et le nombre de conducteurs.

3.3 VITESSE COMMERCIALE

La vitesse commerciale sur un parcours d'un moyen de transport dépend des caractéristiques dynamiques (accélération, décélération) du matériel roulant mais également des temps d'arrêt requis en station, du nombre de stations et des priorités aux carrefours. Les temps d'arrêt en station dépendent principalement des temps de montée et de descente des voyageurs et par conséquent, de la capacité du matériel roulant à permettre ces échanges.

3.3.1 Capacité d'accélération et de freinage

Les lignes aériennes alimentant les tramways (ou les trolleybus) répartissent la puissance sur tout le réseau. Cela permet de disposer en chaque point d'une puissance instantanée élevée au meilleur prix, très utile dans les côtes, ou lors des fréquents redémarrages après chaque arrêt de la ligne, mais aussi après chaque carrefour à feux ou perte de priorité. Les tramways ou les trolleybus ont de ce fait de meilleures capacités d'accélération que les SRB qui ne sont pas électriques.

3.3.2 Temps de montée et de descente des voyageurs

Le temps de montée-descente des voyageurs est avant tout influencé par le type de perception et de vente des titres de transport. Ce critère n'est donc pas déterminant en termes de comparaison de mode de transport.

3.3.3 Gestion des feux de circulation

La gestion de la priorité aux feux du mode de transport est également un facteur qui influence le temps de parcours du mode de transport. Chacun des types de modes de transport peut être équipé d'un système pour demander la priorité aux feux. Ce critère n'est donc pas déterminant en termes de comparaison de mode de transport.

3.4 LE CONFORT

La propulsion électrique (tramway ou trolleybus) apporte également un gain de confort non négligeable par rapport à une propulsion thermique. L'absence de secousses lors des changements de vitesse et la réduction du bruit (d'un facteur 3 à 5) liés à l'utilisation de la propulsion électrique est très appréciée par les passagers.

Il est indéniable que le véhicule tramway est très fortement apprécié par la clientèle en termes de confort. De grands efforts ont été faits pour rendre les Trolleybus articulés mais le tramway garde tout de même un léger avantage.

Tableau 3.2 Confort

Tramway	SRB - Autobus	SRB - Trolley Bus
Confort très apprécié par les voyageurs	Le moins bon confort parmi les alternatives	Légèrement inférieur au tramway

3.5 LA RÉGULARITÉ ET LA FIABILITÉ

Le site propre totalement séparé de la circulation automobile garantit aux différents modes de transport une régularité équivalente à celle d'un métro ou d'un train.

Les trois modes de transport considérés peuvent être exploités en site propre intégral, aussi bien qu'en site banal ou toute autre configuration intermédiaire.

Ce critère n'est donc pas déterminant en termes de comparaison de mode de transport.

3.6 CONTOURNEMENT D'OBSTACLE

Le SRB et même le trolleybus peuvent contourner un obstacle. Il est effectivement possible de décrocher les perches du trolleybus et d'alimenter les moteurs par une autre source que l'électricité venant de la Ligne aérienne de Contact pour circuler en dehors du parcours normal.

Le tramway est le seul mode qui reste confiné à l'espace défini par les files de rails, ce qui représente un désavantage en cas d'obstacle sur la voie (accident ou autre).

Tableau 3.3 Contournement d'obstacle

Tramway	SRB - Autobus	SRB - Trolley Bus
Impossible	Possible mais peut devenir difficile avec des équipements de 25 mètres	Possible mais peut devenir difficile avec des équipements de 25 mètres

3.7 L'ACCESSIBILITÉ POUR LES PERSONNES À MOBILITÉ RÉDUITE

Pour les tramways modernes, l'accessibilité elle est totale pour les personnes à mobilité réduite, ce qui est encore rare dans le cas des transports collectifs, pour autant que les stations respectent les critères de conception liés aux PMR (pente maximale de 2%).

Elle est également possible pour tous les autres véhicules pour autant que les stations soient également prévues à cet effet.

Ce critère n'est donc pas déterminant en termes de comparaison de mode de transport.

3.8 LA POLLUTION SONORE

La pollution sonore dépend de plusieurs facteurs : distance de la source ainsi que l'intensité et la fréquence du bruit. Le niveau de bruit produit par un tramway dépend du véhicule, de la surface de la plateforme (béton, ballast ou gazonnée) et des rayons des courbes. Le tramway moderne est conçu pour être relativement silencieux (moins de 65 dBA). Il est moins bruyant qu'un bus et qu'un trolleybus, du fait d'améliorations dans la conception des voies (amortisseurs) et dans le fonctionnement du véhicule. Sa plus grande capacité par rapport aux bus et trolleybus diminue sa fréquence de passage et donc son impact sur le bruit produit.

Il est donc important de tenir compte de l'impact sur le bruit lors des étapes de conception des infrastructures et du matériel roulant. Il est aussi nécessaire d'avoir de bonnes procédures d'entretien des véhicules pour minimiser les impacts.

3.9 LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

L'efficacité énergétique d'un réseau de transport se mesure en calculant la quantité d'énergie consommée pour faire parcourir un kilomètre à un client. Plus cette quantité mesurée en gep par kilomètre x voyageur est faible, plus le transport est efficace énergétiquement.

D'après le CERTU (2002, p. 126), un véhicule automobile en milieu urbain consomme 10 litres aux 100 km, soit 100 Grammes Equivalent Pétrole (GEP) par kilomètre; un autobus 420 GEP au kilomètre (42 litres de gazole au 100 km) ; un tramway 1000 GEP au kilomètre (5 kW au km) et un trolleybus 640 GEP au kilomètre (3,2 5 kW au km).

La comparaison doit se faire en fonction des voyageurs x km, selon les taux de remplissage effectif des véhicules à l'heure de pointe. En partant d'un remplissage de 75% aux heures de pointe pour les bus et les tramways (soit 60 passagers pour un bus, 180 pour un tramway et 110 pour un trolleybus), on obtient par simple division 7 GEP dans le cas du bus, 5,5 GEP dans le cas du tramway et 5,8 GEP dans le cas du trolleybus. Le tramway est plus économe que le bus, s'il est suffisamment occupé. Pour le tramway T2 de Paris, cette valeur est de l'ordre de 4,3 GEP alors qu'un rapport d'électricité de France l'évalue à 5,2 GEP.

Le Trolleybus apporte un gain significatif de sobriété énergétique par rapport aux autobus, grâce à la motorisation électrique dont le rendement est à peu près le double des moteurs thermiques.

Sa sobriété reste cependant inférieure à celle des tramways, qui bénéficient des avantages de rendement du roulement fer.

Tableau 3.4 Consommation d'énergie (GEP)

	Tramway	SRB - Autobus	SRB - Trolley Bus
Consommation énergétique (grammes équivalents pétrole par voyageur au kilomètre)	4 à 5,5 GEP	7 GEP	5,5 à 6 GEP

3.10 ÉMISSION DE CO2

Le tramway et le trolleybus, comme véhicules électriques, ne rejettent aucune GES directement dans l'atmosphère. Puisque l'électricité utilisée est hydro-électrique, les émissions directes liées au carburant sont nulles. Les émissions des autobus sont donc nettement plus élevées que pour des véhicules électriques.

De plus, les émissions d'autres matières polluantes, telles que les NOx, les SOx et les matières particulaires sont moins élevées pour les véhicules électriques comme le tramway.

Tableau 3.5 Émission directe de CO2

	Tramway	Autobus diesel	Autobus hybrides	Trolley Bus
Émissions en grammes équivalents CO ₂ par voyageur au kilomètre	0,0	22,4 (régulier) 20,0 (articulé)	15,7 (régulier) 14,6 (articulé)	0,0

Note : Ces estimations supposent que le tramway et le trolleybus soient alimentés par l'hydroélectricité et ne comprennent pas les émissions liées au cycle de vie, autres que les émissions directes du carburant.

Source : STM.

3.11 LES COÛTS D'INVESTISSEMENT

Ces coûts correspondent à un coût moyen total ramené au kilomètre de ligne.

Ils comprennent le matériel roulant, les acquisitions foncières, les déviations de réseaux, l'infrastructure, les équipements spécifiques d'exploitation et d'énergie, les ouvrages d'art, les opérations d'accompagnement, les ateliers garage, les frais de maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage.

3.11.1 Tramway

Un coût de l'ordre de 60M\$/km a été estimé pour la première ligne du tramway de Montréal, y compris le matériel roulant.

Le coût des infrastructures et systèmes peut être estimé à quelque 53 M\$/km, hors matériel roulant.

3.11.2 SRB et trolleybus

Les coûts d'investissement des sites propres bus et trolleybus sont très variables, mais gardent le gros avantage de présenter des coûts d'investissement très intéressants. Ils dépendent surtout de la longueur de site propre, de la nature et la qualité des aménagements, des opérations d'accompagnement choisies.

Le nombre d'opérations sur lesquelles s'appuyer pour une comparaison est très limité, à partir du moment où on ne fait référence qu'à des réalisations récentes et suffisamment significatives.

Il est cependant possible d'évaluer le coût « moyen » de réalisation d'un site propre pour autobus pour la seule part infrastructures à environ 5 à 9 M\$/km. Deux projets présentent cependant un coût unitaire d'environ 12 M\$/km, le Trans Val-de-Marne (hors matériel roulant) et le site propre de St-Denis de la Réunion.

Pour le trolleybus, les coûts d'investissement du projet C3 à Lyon, une ligne comprenant des aménagements et sites propres partiels (notamment aux approches aux feux) et équipés de véhicules Cristalis, ont été estimés 6 M\$ /km, hors matériel roulant. Dans le cas du projet du trolleybus de Laval, ce coût approche les 12 M\$/km.

Dans le cadre du projet du SRB Pie-IX à Montréal, les coûts d'aménagement du site propre s'élèvent à quelque 20 M\$/km pour le tronçon urbain à Montréal (hors matériel roulant).

3.11.3 Tableau de comparaison et analyse

Tableau 3.6 Coût d'investissements (hors MR)

	Tramway	SRB - Autobus	SRB - Trolley Bus
Par km	53 M\$	5 à 15 M\$	13 à 27 M\$

Le prix au kilomètre de ligne varie dans des proportions importantes selon le mode considéré en site propre. Les tramways se démarquent par un coût nettement supérieur au km de ligne, mais ils comprennent un réaménagement important de l'espace public.

Les différents systèmes de transports en commun ont des coûts presque proportionnels à la capacité offerte. La question est de savoir si l'achalandage du tramway justifie seul l'investissement.

3.12 LES COÛTS D'EXPLOITATION

Les coûts d'exploitation varient dans des proportions de 1 à 3 par véhicule-kilomètre parcouru. Toutefois, si l'on ramène le coût d'exploitation par place kilomètre (PKO), les coûts d'exploitation sont du même ordre de grandeur, voire plus favorables aux systèmes les plus capacitaires (tramway ferroviaire).

Tableau 3.7 Coût d'exploitation

	Tramway	SRB - Autobus	SRB - Trolley Bus
Par véh-km	10 à 14 \$	3 à 4 \$	3 à 5 \$

3.13 OPPORTUNITÉ OFFERTES

3.13.1 Reconstruction des services municipaux souterrains

Le tramway offre l'opportunité de reconstruire l'infrastructure de chaussée et les services municipaux souterrains, qui sont souvent à la fin de leur durée de vie utile. La déviation des réseaux souterrains représente de 10% à 15% du coût du projet du tramway, ce qui réduit le ratio des coûts associés à la construction du tramway versus un mode SRB ou trolley.

3.13.2 Accroissement de la valeur foncière des propriétés riveraines

Les expériences de projets de tramway moderne montrent que la mise en place d'un tel système de transport, avec les réaménagements urbains qui l'accompagnent, permettent d'augmenter la valeur foncière des propriétés dans le corridor d'influence du tramway, et plus particulièrement pour les riverains immédiats de la ligne. L'amélioration des temps de déplacement et la fiabilité du service augmentent l'accessibilité en transport collectif du secteur. Cette accessibilité accrue augmente l'attractivité du secteur pour résidents et commerçants et cause ainsi un entraînement des valeurs foncières dans le secteur.

Les projets de type SRB et trolleybus s'accompagnent rarement d'un réaménagement complet de l'espace public. Les secteurs desservis profitent donc moins des retombées secondaires de la mise en place d'un transport collectif à proximité. Cependant, l'accessibilité en transport collectif accrue augmente habituellement les valeurs foncières, mais pas autant que pour le tramway.

3.13.3 Développement ou redéveloppement de certains secteurs

Avec un réaménagement de façade à façade, des projets connexes d'embellissement de l'espace public et un accompagnement artistique, les projets de tramways modernes participent à donner une nouvelle image aux secteurs et quartiers traversés. De plus, la permanence et la visibilité du tramway sont des éléments clés pour attirer du développement dans le secteur. Ainsi, le tramway joue souvent un rôle déterminant de catalyseur d'autres projets de développement ou de redéveloppement urbain.

Les quartiers traversés par la première ligne du tramway de Montréal pourront ainsi bénéficier de cet effet d'entraînement du tramway. Ce développement aidera à attirer plus de ménages à Montréal et ainsi, à contrer l'étalement urbain. Cependant, il est important que les règlements d'urbanisme permettent une densification du secteur et une réduction de l'offre en stationnement (sauf aux endroits où un stationnement incitatif est prévu).

Les projets de type SRB et trolleybus s'accompagnent rarement d'un réaménagement complet de l'espace public. Les secteurs desservis profitent donc moins des retombées secondaires de la mise en place d'un transport collectif à proximité.

Il est à noter que le développement urbain dépend aussi de facteurs externes, notamment économiques, mais ces facteurs sont indépendants du mode choisi.

3.13.4 Accroissement de l'achalandage

Le tramway peut augmenter l'achalandage le long du corridor. Premièrement, l'achalandage peut augmenter en raison de son rôle de catalyseur pour attirer des développements urbains. Deuxièmement, l'amélioration du service de transport collectif peut attirer plus de résidents susceptibles d'utiliser le transport collectif dans le secteur. Troisièmement, les tramways peuvent attirer plus d'usagers non captifs. À Toronto, où la plupart des lignes de tramway ne bénéficient pas de mesures prioritaires, environ 60% des usagers sont propriétaires d'une voiture, mais choisissent tout de même d'utiliser le tramway (Portland Streetcar Plan, 2009). Les touristes sont une autre clientèle susceptible d'utiliser le tramway.

3.13.5 Amélioration de l'environnement piétonnier

Les usagers se promènent à pied pour accéder au tramway et ces projets sont associés à l'amélioration de la qualité des aménagements pour les piétons. Il est donc important de bonifier les aménagements piétonniers : trottoirs larges, mobilier urbain et des arbres. Ces aménagements améliorent la convivialité et la sécurité (réelle et perçue) du secteur. Les stations de tramway ainsi que ces aménagements augmenteront habituellement le nombre de piétons dans le secteur, ce qui a habituellement des effets bénéfiques pour le quartier (amélioration de la qualité de vie et revitalisation commerciale). L'amélioration des aménagements publics et piétonniers favorise à leur tour l'utilisation du tramway.

4.0 ANALYSE ET RECOMMANDATION

Le **tramway** est idéal lorsque l'on prévoit un achalandage entre 3 000 et 7 000 passagers par heure. Aussi, son statut permanent attire les investisseurs aux abords des stations. À Portland, Oregon, les investissements dans le train léger et dans le tramway ont suscité des investissements immobiliers de 8 milliards⁵ aux abords des stations.

Le tramway représente également un mode intermédiaire entre le métro et l'autobus, permettant une bonne complémentarité d'offre entre ces différents modes de transport collectif.

Il est vrai que l'**autobus** requiert le moins d'investissement initial. Toutefois, lorsqu'il y a un très grand nombre de passagers, les autobus montrent rapidement leurs limites à offrir un service adéquat aux heures de pointe. Le terminus centre-ville illustre cette limite. Celui-ci ne peut plus, aujourd'hui, accueillir de nouveaux autobus, car le temps de montée et de descente des passagers est trop long.

La ville d'Ottawa vit les mêmes problèmes de congestion des autobus au centre-ville, malgré un réseau de voies réservées pour ses services rapides par bus. Les études comparatives pour la ville d'Ottawa concluent que le tramway est plus approprié⁶.

Le **trolleybus** est une option intéressante car son coût d'infrastructure par passager est moindre que le tramway. Aussi, il ne nécessite pas la déviation systématique des réseaux et utilités publiques et les véhicules peuvent contourner les obstacles au besoin. La capacité passagère est adaptée pour des lignes en site propre fréquentées par 1 500 à 3 000 usagers à l'heure. Néanmoins, ces véhicules n'ont pas le statut de ligne permanente comme les stations de métro et de tramway. Ainsi, les investissements privés aux abords des stations sont généralement moins importants que dans le cas de projet de tramway.

L'achalandage prévisionnel du point de charge maximal est de l'ordre de 2400 usagers à l'heure, mais l'expérience a démontré que, dans le cas d'un tramway, l'achalandage des premières années dépasse nettement les prévisions. Cet achalandage de base pourrait de plus être bonifié avec un prolongement à l'ouest vers le secteur de l'hippodrome. Un mode de transport basé sur des trolleybus ou des SRB arriverait rapidement à saturation, alors que le tramway, de par sa modularité (caisses de 30 mètres pouvant être allongées à 40 mètres), est capable de supporter une augmentation d'achalandage.

Le tramway permet d'intervenir sur deux axes principaux :

- L'axe du transport, dont les objectifs sont d'augmenter la capacité de desserte des travailleurs et des travailleuses dont l'emploi est situé au centre-ville ou le long du tracé du tramway (pôle universitaire et hospitalier de CDN, etc.) et de favoriser leurs déplacements une fois au centre-ville, ainsi que ceux des visiteurs et des touristes. Son aspect attrayant ainsi que son confort et la qualité du service offert permettent non seulement l'atteinte de ces objectifs mais vont également induire la création de nouveaux déplacements en transport collectif dans le centre-ville (déplacements d'affaires en journée, déplacements à l'heure du lunch, déplacements internes au centre-ville des touristes et résidents du centre-ville, etc.);

- L'axe du développement urbain durable, dont les objectifs sont de réduire les émissions polluantes et de favoriser le développement d'espaces urbains attrayants pour les citoyens. L'utilisation de l'hydro-électricité comme source énergétique permet de réduire significativement les émissions polluantes et les gaz à effet de serre. Son intégration dans le paysage urbain favorise des aménagements qui répondent aux préoccupations des citoyens sur la sécurité, sur un meilleur partage entre automobilistes, piétons et cyclistes et sur le verdissement, pour une meilleure qualité de vie et un environnement plus sain.

En conclusion :

- Le tramway est le bon mode de transport collectif pour combler les besoins de mobilité; la meilleure réponse à un besoin grandissant;
- Le tramway est particulièrement adapté aux secteurs urbains où l'on retrouve une densité et une diversité d'activités engendrant une demande de déplacements de courte ou de longue distance;
- Il s'agit d'un mode de capacité intermédiaire entre l'autobus et le métro : le nombre de passagers actuels justifie un tramway car il est supérieur à ce que peut accommoder l'autobus mais pas suffisant pour justifier un métro (par exemple sur Côte-des-Neiges ou sur l'avenue du Parc).
- C'est le mode idéal de transport collectif en milieu urbain : il est moderne, rapide et efficace.
- Le tramway comporte des éléments de design qui le rend attrayant et qui favorise un aménagement urbain qui fait place aux citoyens plutôt qu'aux automobiles.
- Le tramway crée de nouveaux déplacements, ce qui est un avantage pour tous.

Enfin, de nombreux exemples démontrent que le tramway moderne permet d'atteindre l'objectif principal du plan de Transport de Montréal qui consiste à augmenter le nombre d'usagers du transport en commun (accroissement de l'achalandage de 8% d'ici 2012).

Dans plusieurs villes du tramway moderne, le transport en commun avait décliné jusqu'à atteindre des niveaux inquiétants, proches de la rupture : 13% des déplacements motorisés à Strasbourg et à Bordeaux, 15% à Nantes et à Lille, 17% à Rouen. Le tramway moderne a permis de redresser la situation en faveur du transport en commun. Depuis sa mise en opération, la progression de l'achalandage a été de 66% à Nantes, de 73% à Strasbourg. Dans les deux cas, la part modale du transport en commun a gagné environ 5 points de pourcentage sur l'automobile.

Le tramway moderne a été un succès instantané. À Strasbourg, on avait prévu 50 000 usagers par jour lors de la première année d'opération de la première ligne; ce fut plutôt 68 000 (pour rappel, ce sont près de 70 000 voyageurs/jours qui sont attendus sur la première ligne du tramway de Montréal). Dans cette ville, comme chez les deux autres pionnières du tramway moderne, Nantes et Grenoble, l'engouement croissant de la population pour ce nouveau mode ne s'est à ce jour pas démenti. À Nantes et Strasbourg, l'achalandage récent du tramway moderne correspond à la croissance de l'achalandage global du TC depuis sa mise en service (34 millions de déplacements supplémentaires à Nantes, 23 millions à Strasbourg). L'achalandage de l'autobus est lui demeuré inchangé. On en déduit que s'il y a eu de nombreux transferts de l'autobus vers le tramway moderne, le rehaussement global de l'offre, de la qualité et de la performance du système TC apporté par le tramway moderne et par son articulation étroite à l'autobus, jumelé aux nouvelles contraintes imposées à l'automobile, ont convaincu un grand nombre d'utilisateurs de l'automobile de revenir au transport en commun. Sous l'angle du transport des personnes, l'objectif poursuivi fut donc atteint.

Les mêmes constats valent pour Montpellier, qui a inauguré son tramway moderne fin 2000. En 2001, l'achalandage journalier de l'unique ligne en service fut de 60 000 usagers/j. Quant à l'achalandage global du TC, il est passé de 110 000 usagers/j en 2000 à 160 000 usagers/j en 2001. À Montpellier comme dans les villes pionnières du tramway moderne, celui-ci a résolument repositionné et relancé le TC. Dans les villes de plus grandes tailles déjà dotées d'une variété d'infrastructures lourdes de TC, telle Lyon, Paris le tramway s'est révélé un succès dans les arrondissements où il a été mis en service.

Bien que son coût soit plus important, l'efficacité et les retombées secondaires liées au projet de tramway font de ce mode le candidat idéal pour les axes identifiés au Plan de Transport de Montréal.

⁵ http://trimet.org/pdfs/publications/review_debunking_portland.pdf, 23 déc 08, page 4
⁶ http://www.ottawa.ca/public_consult/lrt/ns/stage_2/oh_boards_12_fr.shtml 1 jan 09.