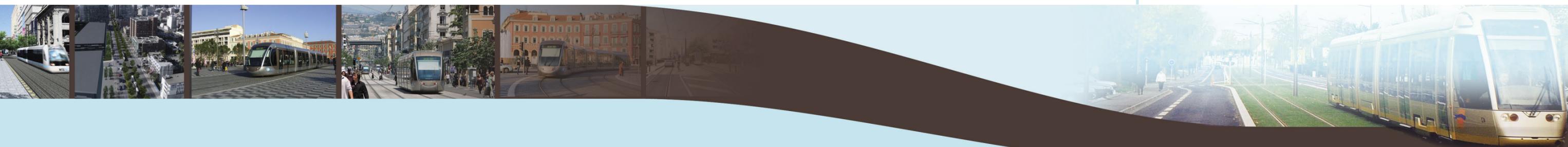




TRAMWAY de Montréal

PHASE 1
Analyse du réseau initial de tramways



PHASE 1 – ANALYSE DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS

Volume C1 – Exploitation du système de transport

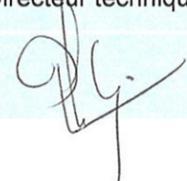
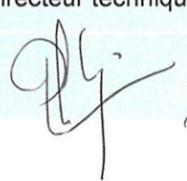
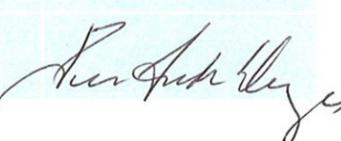
Tramway de Montréal

24 juillet 2009

090802	20	C1	ALL	RAP	CGS	10	2.0
Projet	Phase	Livable	Lieu.	Forme	Émetteur	Numéro	Version



SIGNATURES

	Rédigé par	Vérifié par	Validé par	Approuvé par
Prénom, Nom	Voahangiso Ramakutty	Philippe Grisez	Philippe Grisez	Pierre-André Dugas, ing. (OIQ 25694)
Fonction	Responsable exploitation	Directeur technique	Directeur technique	Directeur de projet
Signature				

VERSIONS

Version	Date	Nature du document
v1.0	2009-04-03	Pour avis
v2.0	2009-07-24	Rapport final

Référence complète

Consortium GENIVAR - SYSTRA (2009) PHASE 1 – ANALYSE DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS, Volume C1 – Exploitation du système de transport Pour la Ville de Montréal, Montréal, 31 pages et annexes.

P:\Montreal\M1140\X\M11401201-Structure\20 Phase 1\1C Études générales\1C1 Exploitation du système de transport\23-Évaluation\090802_20_C1_ALL_FAP_CGS_00_Exploitation_v2.0_20090724.doc

SOMMAIRE GÉNÉRAL DES VOLUMES

- VOLUME A – SYNTHÈSE – LE TRAMWAY DE MONTRÉAL – PRÉSENTATION DU PROJET
- B – OBJECTIFS GÉNÉRAUX
 - VOLUME B1 – COÛTS DU PROJET
 - VOLUME B2 – CALENDRIER DU PROJET
 - VOLUME B3 – IDENTIFICATION DES DANGERS
- C – ÉTUDES GÉNÉRALES
 - VOLUME C1 – EXPLOITATION DU SYSTÈME DE TRANSPORT**
 - VOLUME C2 – HYPOTHÈSES DE CONCEPTION
 - VOLUME C3 – PLANIFICATION DES TRANSPORTS
 - PARTIE I – DIAGNOSTIC DES DÉPLACEMENTS
 - PARTIE II – ORGANISATION DU RÉSEAU INITIAL DE TRAMWAYS
 - PARTIE III – IDENTIFICATION DE LA PREMIÈRE LIGNE
- F – SYSTÈMES
 - VOLUME F1 – MATÉRIEL ROULANT
- Y – ASSISTANCE AU CLIENT
 - VOLUME Y1 – STRATÉGIE D'ACHAT
 - VOLUME Y2 – COMMUNICATION
- Z – GESTION DE PROJET
 - VOLUME Z1 – PLAN DE GESTION DU PROJET
 - VOLUME Z2 – PLAN D'ASSURANCE QUALITÉ

PRÉAMBULE

Ce document constitue le volume C1– Exploitation du système de transport des études d'analyse du réseau initial de tramway de Montréal.

Il s'insère dans le cadre plus large des études générales (rubrique C), dont il représente l'un des thèmes. Les études générales abordent des problématiques transversales à toutes les disciplines techniques impliquées dans l'élaboration du projet, problématiques qui cadrent le processus de conception.

Le volume C1 décrit le service de transport à mettre en place pour répondre à la demande exprimée par les clients potentiels du transport collectif et il pose les principes généraux d'exploitation du mode tramway qui seront appliqués dans la suite des études.

Le volume C1 est constitué de 2 parties :

- la 1^{ère} partie – A : "Description du service de transport" présente une définition fonctionnelle du service de transport, propose des objectifs d'exploitation (à valider par la maîtrise d'ouvrage), synthétise les études de la STM¹ relatives à la demande de transport et décrit l'offre de transport qui répond le mieux à cette demande (service offert au voyageur, vitesse commerciale, parc de matériel roulant, etc.) ;
- la 2^{ème} partie – B : "Principes d'exploitation" identifie les principes généraux d'exploitation ayant un impact sur l'environnement du système de transport, c'est-à-dire les voyageurs, les riverains et les usagers de la voirie. Il traite également des configurations spécifiques du projet de Montréal constituées par le fonctionnement en ligne circulaire (boucle du centre-ville), en ligne à terminus unique (lasso du chemin de la Côte-des-neiges) et en tronçon commun (superposition de 2 lignes de tramway sur un même itinéraire).

¹ Société de Transport de Montréal, en charge des simulations d'achalandage

SYNTHÈSE

Objet du document

Le volume décrit le service de transport à mettre en place pour répondre à la demande exprimée par les clients potentiels du transport collectif et il pose les principes généraux d'exploitation du mode tramway qui seront appliqués dans la suite des études.

Définition fonctionnelle du service de transport

L'expression « service de transport » recouvre les 2 réalités suivantes :

- l'offre de transport, c'est-à-dire la réponse à la demande de transport, qui définit le service offert au voyageur, en termes de niveau de production kilométrique (exprimé en rames*kilomètres), de zone géographique desservie, d'horaires², de fréquence³ et de mode de transport ;
- la qualité de service, c'est-à-dire la manière dont l'offre de transport est mise en œuvre, qui évalue le niveau de qualité offert aux usagers du transport en commun (exprimé en termes de régularité⁴ / ponctualité⁵, efficacité de l'information voyageur, degré de confort, etc.).

Objectifs du service de transport

Le service de transport doit atteindre les objectifs suivants :

- répondre efficacement à la demande : adapter la structure de l'offre à la demande de transport et positionner les arrêts au plus près des besoins ;
- maximiser l'attractivité de la ligne et du réseau dans lequel cette ligne s'intègre : transporter les voyageurs le plus rapidement possible d'un point à un autre, élargir au maximum l'amplitude de l'offre, mailler le réseau de tramway avec les autres modes de transport et fournir un niveau de qualité de service répondant aux attentes de la clientèle d'un transport en commun moderne ;
- optimiser le coût de la ligne et du réseau : minimiser les dépenses (d'investissement et de fonctionnement) liées à l'offre de transport et maximiser les recettes.

Description de la demande de transport

La demande de transport est formalisée par :

- un serpent de charge PPAM (Période de Pointe d'Avant Midi) de référence, représentant la moyenne annuelle du serpent de charge de la période de pointe d'avant-midi sur le jour type de semaine en période de plein trafic (mardi et jeudi, hors jours fériés et vacances scolaires notamment) ;
- la charge horaire de référence de l'inter station la plus chargée, qui est définie comme la charge horaire maximale dans le sens le plus chargé.

Les prévisions d'achalandage sont issues de l'enquête Origine-Destination 2003, complétée par la projection à l'horizon 2016 du modèle ES-3 du ministère des Transports du Québec (MTQ), modèle tendanciel qui tient compte de l'évolution de la démographie, des emplois et de certains potentiels urbains.

² Publication des heures de passage des rames en fonction de l'itinéraire et des heures de fonctionnement

³ Nombre de départs ou de passages de rames prévu pendant une période spécifiée, en un point donné, pour la même destination

⁴ Capacité d'un système de transport à respecter les intervalles d'exploitation publiés

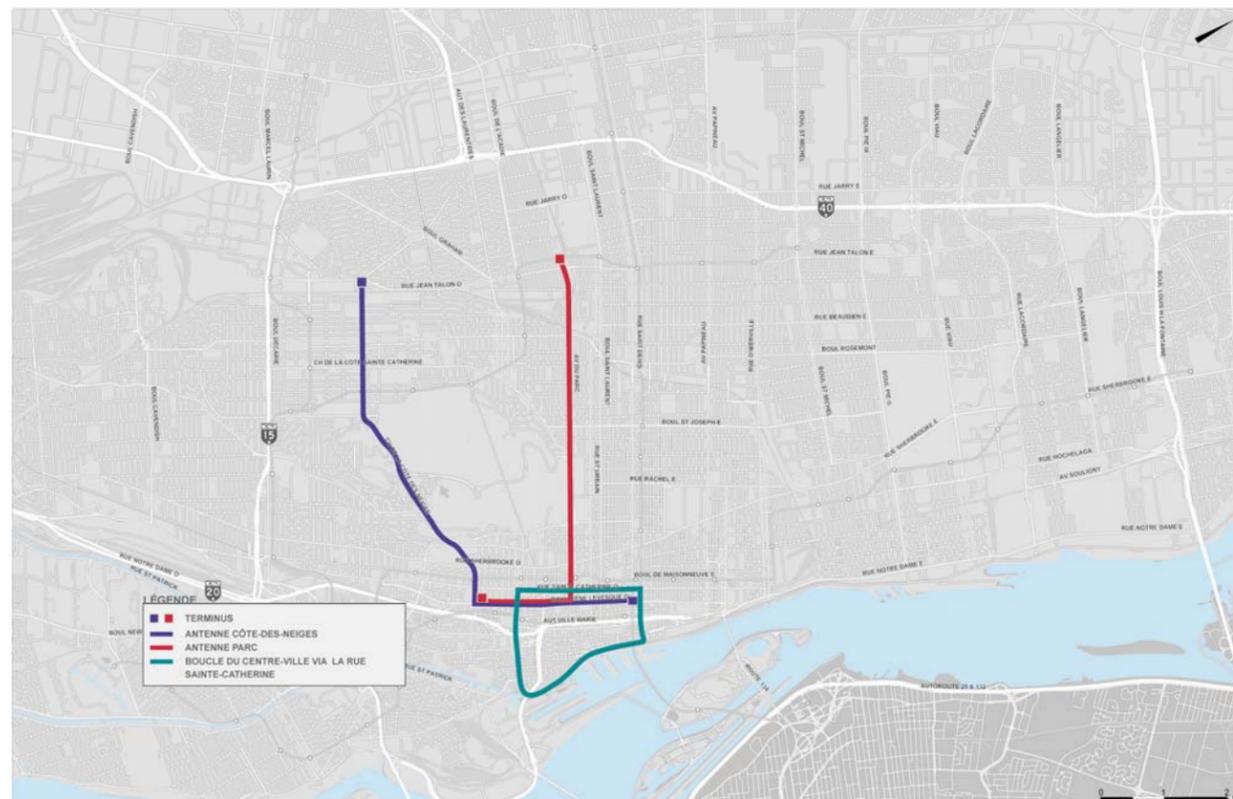
⁵ Capacité d'un système de transport à respecter les horaires d'exploitation publiés

La simulation prend seulement en compte la demande initiale, celle des usagers des transports en commun (TC), à l'exception de 2 types de déplacement du centre-ville de Montréal : ceux de plus de 500 m effectués entièrement à pied et ceux réalisés en taxi. À cette exception près, la simulation n'intègre donc ni le report modal ni l'induction modale, composés de tous les usagers qui ne se déplacent pas actuellement en TC et qui voient un intérêt à le faire en situation de projet :

Le scénario de référence "TC 2016" comprend les évolutions programmées du réseau TC (prolongement de la ligne 5 du métro à Pie-IX/Jean-Talon, existence du train de l'Est, variante Mascouche, existence du service rapide par bus sur Pie IX, variante avec dessertes directes) ainsi que des restructurations de l'offre bus autour du tramway.

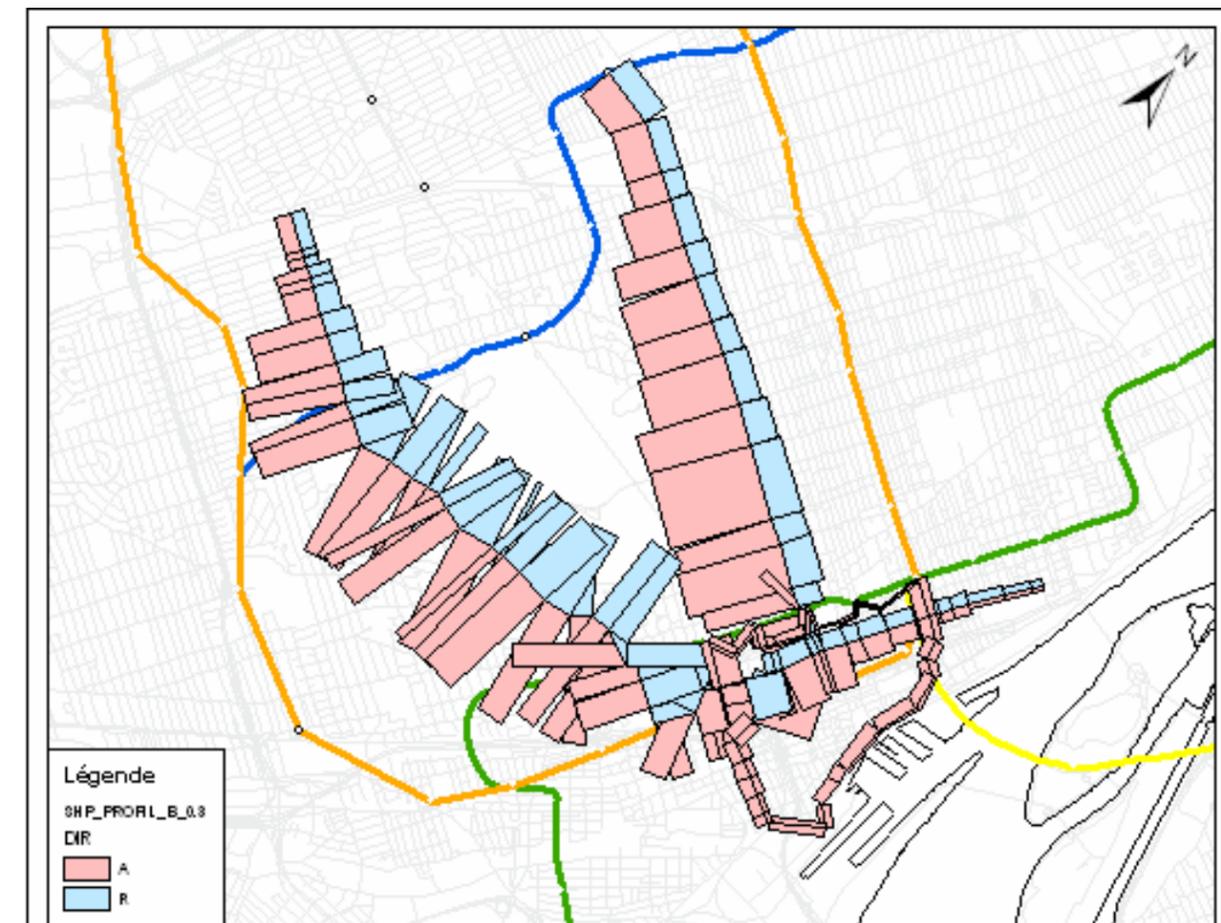
Plusieurs scénarios d'organisation du réseau initial de tramway ont été simulés mais seuls les résultats du scénario recommandé par le consultant (le scénario B, voir volume C3-2 Organisation du réseau initial) sont fournis.

Figure 0.1 Scénario modélisé : scénario B, comprenant 3 lignes : 2 antennes et 1 boucle de centre-ville



Le schéma ci-dessous représente le serpent de charge du scénario B sur la Période de Pointe d'Avant Midi (PPAM), soit les 3 heures du matin de 6H00 à 9H00 :

Figure 0.2 Serpent de charge PPAM du scénario B



Source : STM (2009)

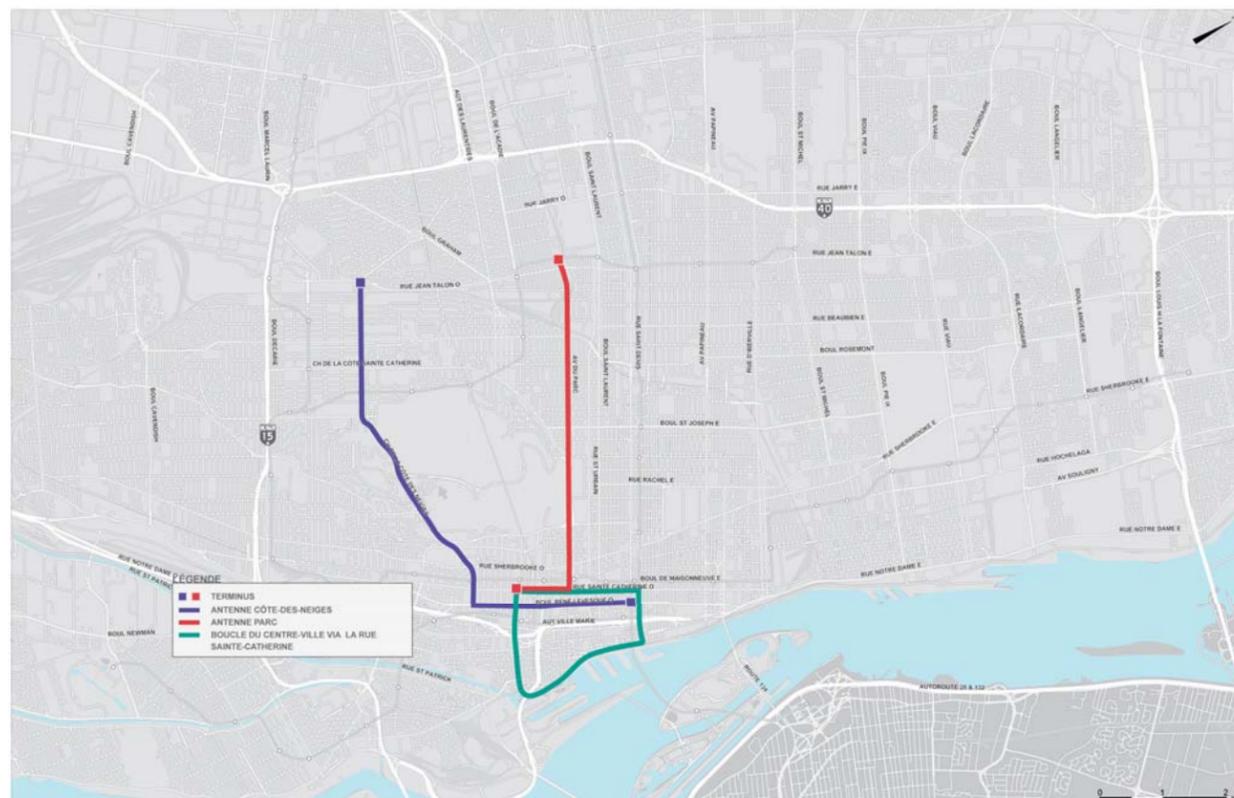
Les principaux résultats des simulations du scénario B sont synthétisés ci-dessous (simulation effectuée avec l'antenne de Côte-des-Neiges étendue jusqu'à Papineau) :

- l'achalandage journalier du réseau initial est très élevé, et se monte à :
 - plus de 97 000 voyages / jour en basse saison (respectivement plus de 110 000 voyages / jour en haute saison, c'est-à-dire en saison touristique) pour la totalité du réseau initial,
 - plus de 51 000 voyages / jour sur l'antenne Côte-des-Neiges,
 - plus de 30 000 voyages / jour sur l'antenne Parc,
 - plus de 15 000 voyages / jour en basse saison (respectivement plus de 29 000 voyages / jour en haute saison, c'est-à-dire en saison touristique) sur la boucle du centre-ville,
- le point de charge maximal est sur l'inter-station Ridgewood : 3 839 voyageurs PPAM en direction du centre-ville, c'est-à-dire :
 - 2303 passagers / heure à l'heure de pointe,
 - 614 passagers pour le ¼ heure d'hyperpointe.

Description de l’offre de transport

L’offre décrite ici correspond à une variante d’exploitation du scénario B, variante nommée scénario B’, dans laquelle le tronc commun sur René-Levesque des lignes bleue et rouge est remplacé par un tronc commun sur Sainte-Catherine des lignes rouge et verte. Les justifications du choix de cette variante sont indiquées dans le volume C3-2 *Organisation du réseau initial*.

Figure 0.3 Scénario B’ – Variante d’exploitation du scénario B avec tronc commun sur Sainte-Catherine



Les heures d’ouverture et de fermeture du réseau définissent l’amplitude horaire du service offert aux voyageurs. Par homogénéité avec les réseaux de métro et d’autobus, nous proposons les heures de début et de fin de service suivantes :

- premier départ des tramways : 5h30 ;
- dernier départ des tramways : 25h30 (1h30).

Ainsi, les premiers tramways circuleront à partir de 5h30 du matin et les derniers tramways s’arrêtent de circuler au plus tard à 2h00 du matin, soit une amplitude de 20 heures et 30 minutes.

Sur l’amplitude du service, la marche des rames est établie selon des intervalles de passage réguliers. Les intervalles sont adaptés à la demande de transport, sur la base des prévisions de déplacement :

- en heure de pointe, l’intervalle d’exploitation est minimal ;
- hors heure de pointe, les intervalles de passage des rames sont modulés en fonction de l’achalandage par tranche horaire.

L’intervalle d’exploitation à l’heure de pointe (intervalle minimal) est obtenu à partir de la capacité unitaire d’une rame et de la charge horaire maximale de la ligne.

La capacité unitaire de la rame est calculée avec une densité de 4 passagers debout par m² (cf. Volume *Hypothèses de conception*), ce qui correspond au standard de confort international. Par ailleurs, les contraintes de franchissement des fortes pentes de l’antenne Cote-des-Neiges incitent à sélectionner des rames courtes, soit de l’ordre de 30 m à 35 m de longueur. Une analyse comparative internationale réalisée grâce à la base de donnée "Tramexpert" sur les rames de cette gamme de longueur et de 2,65 m de large conduit à une capacité unitaire moyenne de 204 voyageurs / rame.

À l’heure de pointe, l’intervalle d’exploitation pourrait être :

- inférieur à 5 minutes sur Côte-des-Neiges ;
- inférieur à 6 minutes sur du Parc et la boucle de centre-ville.

La mention « inférieur à » est liée aux simplifications acceptées en phase 1, dans laquelle les simulations de déplacement ne prennent en compte, ni le report modal, ni l’induction modale. On s’attend ainsi à une augmentation de la prévision d’achalandage en phase 2, donc une diminution de l’intervalle d’exploitation à l’heure de pointe.

En heure creuse, l’intervalle d’exploitation pourrait être :

- inférieur à 8 minutes sur Côte-des-Neiges ;
- inférieur à 10 minutes sur du Parc et la boucle de centre-ville.

Aux heures de nuit, afin d’offrir un service au voyageur cohérent avec le métro, on pourrait conserver un intervalle d’exploitation de 10 minutes.

La vitesse commerciale théorique sera calculée en phase 2, quand le tracé et les contraintes d’insertion seront connus. Dans le cadre de la phase 1, une hypothèse de 18 km/h (correspondant en France à un centre-ville très dense) a été prise pour dimensionner le parc de matériel roulant.

Cette hypothèse a été établie « à dire d’expert » en se référant à des configurations de lignes semblables à celles de Montréal. En appui de cette hypothèse, il est rappelé les éléments d’environnement suivants :

- le réseau viaire des villes d’Amérique du Nord est en moyenne plus large qu’en Europe. Montréal n’échappe pas à la règle : la notion de « centre-ville très dense » utilisée en Europe n’a donc pas réellement d’équivalent à Montréal ;
- la priorité absolue aux carrefours serait facilitée à Montréal par l’absence de tourne à gauche, et donc un nombre réduit de phases de feux. Cet argument est cependant contrecarré par un changement de pratique anticipé sur les axes empruntés par le tramway ;
- la vitesse commerciale atteinte par les autobus circulant sur les axes empruntés par le tramway (ligne structurante n°535, pourtant partiellement en site propre), et qui se situe dans la fourchette [13km/h ; 14 km/h], est largement inférieure à la vitesse commerciale proposée pour le tramway. La vitesse commerciale suggérée pour le tramway en ressort pleinement justifiée.

Calcul du parc de matériel roulant

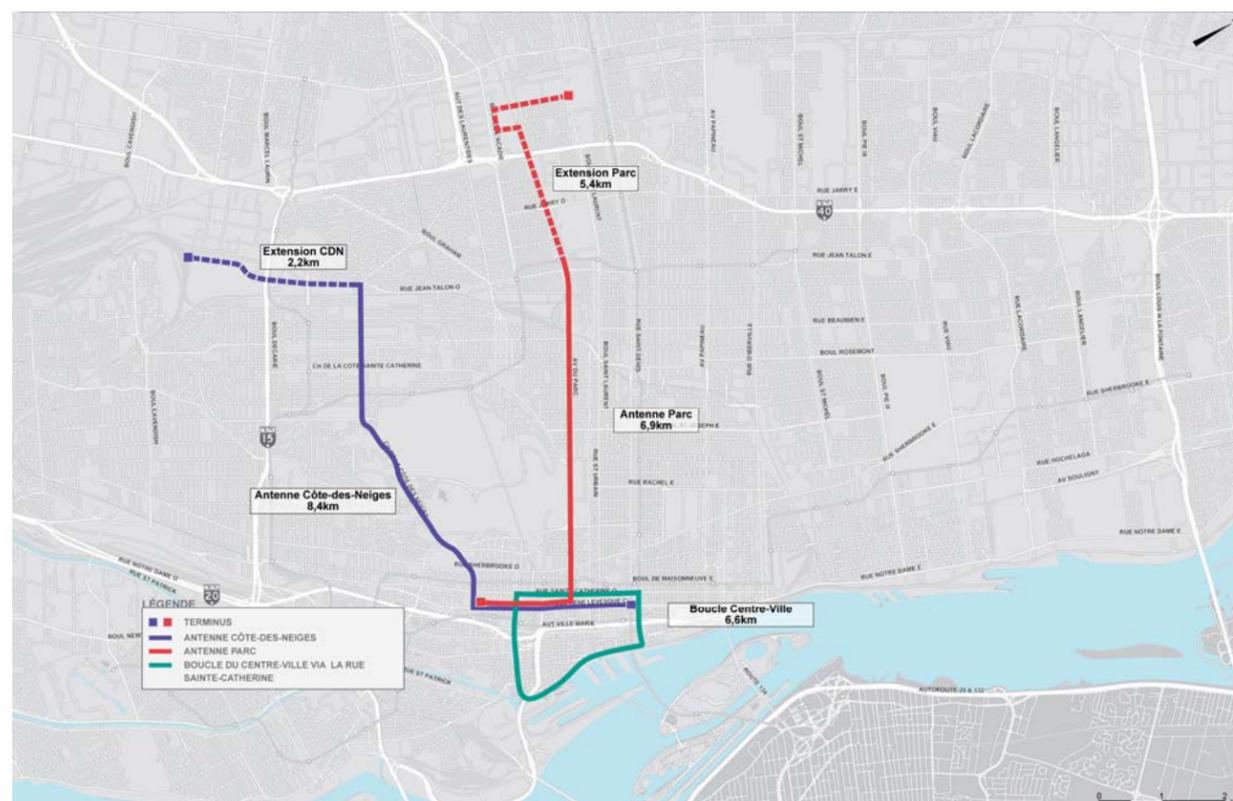
Le parc du matériel roulant est dimensionné pour :

- assurer l'offre de transport ;
- permettre les activités de maintenance ;
- pallier les éventuels accidents ou indisponibilités imprévues de rames.

Pour chaque ligne du réseau initial, deux cas ont été étudiés :

- cas 1 : ligne en configuration initiale ;
- cas 2 : ligne en configuration étendue.

Figure 0.4 Longueur des lignes constituant le scénario B en configuration initiale et étendue



Le calcul se base sur les hypothèses suivantes :

- l'intervalle d'exploitation minimal est pris égal à :
 - 4 min sur la ligne Côte-des-Neiges ;
 - 5 min pour les lignes du Parc et boucle de centre-ville,
- les temps de parcours sont calculés sur la base d'une vitesse commerciale de 18 km/h.

Les résultats sont les suivants :

- 50 tramways sont nécessaires pour exploiter le réseau en configuration initiale ;
- 63 tramways sont nécessaires pour exploiter le réseau en configuration étendue.

Principes d'exploitation

Les principes d'exploitation ont pour objectif de garantir :

- la circulation des tramways en ligne à l'intervalle minimal envisagé ;
- les changements de voie principale (retournements) dans les terminus ;
- les retraits et injections (garages/dégarages) de tramways affectés à la ligne, pour adapter au cours de la journée la capacité de transport offerte à la demande ;
- l'exploitation entre terminus intermédiaires en cas de perturbations en ligne (services partiels).

La ligne est exploitée avec des circulations de type omnibus et le changement de voies principales s'effectue par des manœuvres de retournement à chaque extrémité. En dehors des zones de manœuvre, les rames circulent sur la voie de droite et en marche avant.

Le tramway est soumis à la réglementation sur la circulation routière lorsqu'il est hors site propre. À l'inverse le tramway n'est pas soumis à la réglementation routière lorsqu'il est en site propre : dans une telle configuration, il n'est pas contraint notamment à respecter les limites de vitesse.

La vitesse maximale est adaptée à l'environnement : franchissement des courbes, des appareils de voie, des carrefours, adaptation au degré d'encombrement prévisible de la plateforme ou de ses abords immédiats (diminution de la vitesse aux heures de pointe par le règlement d'exploitation).

Le mode de conduite est la conduite manuelle en marche à vue. De ce fait, le conducteur doit être capable à tout instant de maîtriser sa vitesse afin de réaliser l'espacement nécessaire par rapport au tramway qui le précède et / ou de s'arrêter en toute sécurité devant un signal fermé ou un obstacle inopiné.

Le conducteur s'assure du respect des horaires et des intervalles d'exploitation en suivant les horaires de départ de chaque terminus ainsi que les indications d'avance/retard données par son Système d'Aide à l'Exploitation (SAE) embarqué.

Au PCC, les régulateurs ont une vision globale de l'état du réseau à travers le SAE :

- position de chaque véhicule ;
- avance retard de chaque véhicule ;
- information synthétique d'avance/retard par ligne.

Le système de transport est conçu de manière à permettre, en cas d'incident, la poursuite de l'exploitation sur la partie non perturbée, par la mise en place de services provisoires.

Dans la mesure du possible, le fonctionnement de la rame en mode dégradé :

- ne se répercute pas sur la vitesse commerciale des autres véhicules en ligne ;
- dégrade le moins possible la vitesse commerciale de la rame concernée ;
- n'impacte pas la sécurité des voyageurs ou de l'environnement.

Lorsqu'un conducteur constate une anomalie sur le matériel roulant, ou bien est affecté par un incident ou un accident d'exploitation, il en informe le PCC qui prend les dispositions nécessaires. Selon le cas, il peut être demandé au conducteur de :

- poursuivre l'exploitation commerciale (avec voyageurs) ;
- arrêter l'exploitation commerciale : repartir en « haut-le-pied » ou demander le secours, après avoir déposé les voyageurs.

Le principe est d'accorder au tramway une priorité de passage absolue aux carrefours :

- un tramway isolé est systématiquement prioritaire pour franchir un carrefour à feux, sans ralentissement en dessous de la vitesse sécuritaire d'approche ;

- si le tramway ne s'est pas présenté au carrefour au-delà d'un dépassement du temps d'approche normal depuis sa détection, il peut perdre sa priorité et être obligé de marquer un arrêt au pied du feu ;
- un tramway en sens inverse se présentant au carrefour peu de temps après le premier tramway détecté bénéficie de la même phase de passage. Au-delà de cette possibilité de prolongation de la phase spéciale, il s'arrête au feu et il est pris en charge à partir de ce moment.

Le réseau initial de tramway de Montréal présente une première configuration spécifique du point de vue de l'exploitation : l'existence d'une ligne circulaire, la « boucle » du centre-ville.

La gestion des insertions et des retraits, liée à la variation d'intervalle durant les périodes de transition (heure normale / heure creuse / nuit) constitue la principale problématique d'exploitation d'une ligne circulaire par rapport à une ligne classique. Cette gestion se fait en ligne, en raison de l'absence de terminus : les trains "sur-stationnent" en ligne, et les voyageurs subissent ces temps de stationnement supplémentaires. Des mesures d'amélioration sont proposées dans le document.

Une ligne circulaire ne possédant pas de terminus d'extrémité, la régulation (gestion des avances / retard) se fait, contrairement à une ligne classique, par prise de retard en ligne, ce qui diminue la vitesse commerciale. Le principe de régulation de remise à l'heure n'est pas envisageable.

Le réseau initial de tramway de Montréal présente une deuxième configuration spécifique du point de vue de l'exploitation : l'existence d'un tronc commun, c'est-à-dire la superposition de 2 lignes sur le même itinéraire.

La mise en place d'un tronc commun se fait généralement dans le cadre d'un renforcement de l'offre de transport ou de maîtrise des coûts d'infrastructure.

Nous préconisons de fixer à 4 minutes l'intervalle d'exploitation minimal d'un tronc commun au niveau d'une étude de préféabilité. Il existe certes des réseaux de tramway en France (Nantes, Grenoble, Montpellier, etc.) qui pratiquent un intervalle plus faible, de 2 minutes 30 secondes, sur le tronc commun. Mais on y constate un phénomène de « mur de tramways » : accumulation de rames circulant les unes derrière les autres à vitesse très lente.

Dans le cas où il est faisable, le tronc commun évite, pour certains voyageurs, une rupture de charge à la station du lieu du débranchement. Il présente en revanche les inconvénients suivants :

- la lisibilité du réseau et des lignes à emprunter est plus complexe pour le voyageur occasionnel ;
- des points de conflits sont créés à l'embranchement du tronc commun, entraînant un risque de ralentissement dans la progression des véhicules.

La 1^{ère} ligne du réseau initial de tramway de Montréal recommandée par le consultant présente une configuration spécifique du point de vue de l'exploitation : l'existence d'un seul terminus d'extrémité. Cette ligne est ainsi qualifiée de « lasso », en raison d'un parcours quasi circulaire dans le centre-ville.

Cette ligne est exposée au risque d'irrégularité de par sa longueur et sa faible capacité de régulation (résorption du retard) liée à l'existence d'un seul terminus. Des mesures de réduction du risque sont ainsi proposées dans le document.

TABLE DES MATIÈRES

A.	Description du service de transport	1
1.0	Objet	2
2.0	Définition du service de transport.....	2
3.0	Objectifs du service de transport.....	2
3.1	Répondre efficacement à la demande	2
3.2	Maximiser l'attractivité de la ligne et du réseau	2
3.3	Optimiser le coût de la ligne et du réseau.....	3
4.0	Description de la demande de transport	3
4.1	Définition opérationnelle.....	3
4.2	Prévisions d'achalandage : hypothèses et méthodologie	3
4.3	Description de la demande de transport	5
5.0	Description de l'offre de transport.....	7
5.1	Description du service au voyageur	7
5.2	Vitesse commerciale théorique	11
6.0	Dimensionnement du parc de matériel roulant.....	12
6.1	Objectif	12
6.2	Hypothèses	12
6.3	Modalités de calcul.....	12
6.4	Résultats du calcul	13
6.5	Synthèse	13
B.	Principes d'exploitation	14
7.0	Objet	15
8.0	Définitions et glossaire	15
9.0	Principes généraux.....	15
9.1	Principes de circulation des rames	15
9.2	Modes de conduite du tramway	15
9.3	Principes d'exploitation du matériel roulant.....	16
9.4	Principes d'alimentation et de distribution de l'énergie de traction	16
9.5	Principe de priorité absolue aux carrefours.....	16
9.6	Service des voyageurs aux points d'arrêt	16
9.7	Alarme déclenchée par les voyageurs.....	16
9.8	Cas particulier d'exploitation d'une ligne en boucle	17
9.9	Cas particulier d'exploitation d'une ligne en lasso	18
9.10	Cas particulier d'exploitation d'un tronç commun	18
C.	Annexes.....	19
A.	Calcul de l'achalandage journalier et annuel du réseau initial.....	20
B.	Calcul du parc de matériel roulant.....	21

LISTE DES FIGURES

Figure 4.1	Méthodologie utilisée pour évaluer l'achalandage	3
Figure 4.2	Méthodologie de prévision d'achalandage – Modélisation MADITUC.....	4
Figure 4.3	Scénario modélisé : scénario B, comprenant 3 lignes : 2 antennes et 1 boucle de centre-ville	4
Figure 4.4	Serpent en charge PPAM du scénario B	5
Figure 4.5	Répartition journalière de l'achalandage sur les antennes « Côte-des-Neiges » et « Parc »	6
Figure 4.6	Répartition journalière de l'achalandage sur la boucle du centre-ville.....	6
Figure 5.1	Scénario B' – Variante d'exploitation du scénario B avec tronç commun sur Sainte-Catherine	8
Figure 5.2	Capacité unitaire des tramways de 2,65 m de large et de 30 m à 35 m de long.....	9
Figure 5.3	1 ^{ère} ligne du réseau initial de tramways de Montréal recommandée par le consultant	10
Figure 6.1	Longueur des lignes constituant le scénario B en configuration initiale et étendue ..	12
Figure 9.1	Exemple de cinématique d'insertion de tramways sur une ligne circulaire.....	17

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1	Principaux résultats d'achalandage du scénario B	5
Tableau 5.1	Calcul des intervalles d'exploitation à l'heure de pointe	9
Tableau 5.2	Grille d'exploitation simplifiée de la 1 ^{ère} ligne	10
Tableau 5.3	Caractéristiques d'exploitation des lignes de bus circulant dans le corridor du tramway.....	11
Tableau 6.1	Parc de matériel roulant du réseau en configuration initiale (cas 1).....	13
Tableau 6.2	Parc de matériel roulant du réseau en configuration étendue (cas 2).....	13

A. DESCRIPTION DU SERVICE DE TRANSPORT

1.0 OBJET

Cette partie a pour objet la définition du service de transport : identification des objectifs, description de la demande de transport et de l'offre de service associée, calcul des principaux paramètres d'exploitation (à ce stade de l'étude) : vitesse commerciale, parc de matériel roulant.

2.0 DÉFINITION DU SERVICE DE TRANSPORT

Service de transport : expression qui recouvre les 2 réalités suivantes :

- l'offre de transport, c'est-à-dire la réponse à la demande de transport, qui définit le service offert au voyageur, en termes de niveau de production kilométrique (exprimé en rames*kilomètres), de zone géographique desservie, d'horaires, de fréquence et de mode de transport ;
- la qualité de service, c'est-à-dire la manière dont l'offre de transport est mise en œuvre, qui évalue le niveau de qualité offert aux usagers du transport en commun (exprimé en termes de régularité / ponctualité, efficacité de l'information voyageur, degré de confort, etc.).

Horaire (H) : publication des heures de passage des rames en fonction de l'itinéraire et des heures de fonctionnement [source : Norme NF-EN-13816].

Fréquence (F) : nombre de départs ou de passages de rames prévu pendant une période spécifiée, en un point donné, pour la même destination [source : Norme NF-EN-13816].

Rame : véhicule ou groupe de véhicules reliés ensemble et exploités simultanément, utilisés pour fournir un transport en commun à un certain nombre de voyageurs [source : Norme NF-EN-13816].

Itinéraire : déplacement d'une rame comprenant tous les arrêts prévus [source : Norme NF-EN-13816].

Régularité : capacité d'un système de transport à respecter les intervalles d'exploitation publiés [source : Norme NF-EN-13816].

Ponctualité : capacité d'un système de transport à respecter les horaires d'exploitation publiés [source : Norme NF-EN-13816].

3.0 OBJECTIFS DU SERVICE DE TRANSPORT

Objectif : but (ou finalité) que l'on cherche à atteindre.

Le service de transport doit atteindre les objectifs suivants :

- répondre efficacement à la demande ;
- maximiser l'attractivité de la ligne et du réseau dans lequel cette ligne s'intègre ;

- optimiser le coût de la ligne et du réseau.

3.1 RÉPONDRE EFFICACEMENT À LA DEMANDE

Cet objectif consiste à adapter la structure de l'offre à la demande de transport et à positionner les arrêts au plus près des besoins.

Adapter la structure de l'offre à la demande de transport signifie dimensionner la capacité horaire de transport offerte aux voyageurs et organiser l'offre de transport dans le temps :

- dimensionner la capacité horaire de transport, c'est identifier les 2 inter-stations les plus chargées d'une ligne donnée (une inter-station par direction) et définir le couple optimal [capacité unitaire d'un tramway ; fréquence maximale des tramways] permettant d'emporter ces 2 charges horaires maximales dans des conditions de confort définies ;
- organiser l'offre de transport dans le temps, c'est répondre à la demande tout au long de l'année, c'est-à-dire décomposer l'offre en niveaux d'offre constants par période (plein trafic / vacances scolaires), par jour type (semaine, fin de semaine, jours fériés) et par heure type (heure de pointe / heure creuse / nuit).

Positionner les arrêts au plus près des besoins consiste à bien identifier la localisation des points d'arrêt relativement à la typologie des territoires desservis (milieu urbain plus ou moins dense ou milieu périurbain), aux pôles générateurs de déplacement, au potentiel de développement urbain, etc. : on repère en général les points d'arrêt impératifs puis on répartit régulièrement les autres points d'arrêt entre 2 points d'arrêt impératifs, selon une inter-distance fonction du milieu (prise en compte de la trame urbaine notamment).

3.2 MAXIMISER L'ATTRACTIVITÉ DE LA LIGNE ET DU RÉSEAU

Cet objectif consiste à transporter les voyageurs le plus rapidement possible d'un point à un autre, à élargir au maximum l'amplitude de l'offre, à mailler le réseau de tramway avec les autres modes de transport et à fournir un niveau de qualité de service répondant aux attentes de la clientèle d'un transport en commun moderne.

Transporter les voyageurs le plus rapidement possible d'un point à un autre signifie :

- maximiser la vitesse commerciale : garantir la priorité absolue aux carrefours (voire limiter le nombre de carrefours franchis à niveau), créer des sites propres (ou prolonger des sites propres existants), diminuer les temps d'arrêt en station grâce à une meilleure accessibilité (du tramway notamment : plancher bas, larges portes coulissantes,...) et grâce à un système de pré vente des titres de transport ;
- proposer une fréquence attractive adaptée à l'heure type : intervalle entre 2 rames inférieur à 5 minutes en heures de pointe et inférieur à 10 minutes en heures creuses sur les lignes les plus chargées ;

Élargir au maximum l'amplitude de l'offre c'est démarrer le service commercial tôt le matin, le finir tard le soir et mettre en place un service de nuit les vendredis, samedis et veilles de jours fériés.

Mailler le réseau de tramway c'est organiser sa connexion avec les réseaux de transport en commun et avec la voiture particulière, sans trop morceler la chaîne de déplacement :

- créer des pôles d'échange avec les trains de banlieue, le métro et les lignes d'autobus structurantes ;
- créer des parcs relais (parcs de stationnement incitatif) bien signalisés et bien positionnés pour capter les flux de voitures particulières ;
- aménager des correspondances de qualité : échanges quai à quai, accessibilité aux plateformes ;

Le niveau de qualité de service n'est pas abordé au niveau de l'étude de pré-faisabilité. Il sera défini dans la phase suivante (faisabilité de la première ligne).

3.3 OPTIMISER LE COÛT DE LA LIGNE ET DU RÉSEAU

Cet objectif consiste à minimiser les dépenses (d'investissement et de fonctionnement) liées à l'offre de transport et à maximiser les recettes :

- minimiser les dépenses d'investissement : réduire les dépenses d'infrastructure (de la ligne principale, de la voie d'accès au CdEE, du CdEE, des bâtiments d'exploitation), des systèmes (matériel roulant, énergie, signalisation, systèmes d'exploitation, etc.) et doser correctement le réaménagement de façade à façade ;
- minimiser les dépenses de fonctionnement : réduire les dépenses de personnel, les coûts liés à la production kilométrique (nombre de kilomètres x rame, notamment ceux effectués hors service commercial), les consommations en énergie, les coûts d'entretien, limiter les accidents / incidents et le vandalisme, etc. ;
- maximiser les recettes : mettre en œuvre une politique tarifaire pertinente, limiter la fraude, fidéliser et développer la clientèle, etc.

4.0 DESCRIPTION DE LA DEMANDE DE TRANSPORT

4.1 DÉFINITION OPÉRATIONNELLE

La demande de transport est calculée en effectuant la moyenne annuelle de l'achalandage journalier sur le jour type de semaine en période de plein trafic (du lundi au vendredi, hors jours fériés et vacances scolaires notamment).

La demande de transport est formalisée par :

- un serpent de charge PPAM (Période de Pointe d'Avant Midi) de référence, représentant la moyenne annuelle du serpent de charge de la période de pointe d'avant-midi sur le jour type de semaine en période de plein trafic (du lundi au vendredi, hors jours fériés et vacances scolaires notamment) ;
- la charge horaire de référence de l'inter station la plus chargée, qui est définie comme la charge horaire maximale dans le sens le plus chargé.

4.2 PRÉVISIONS D'ACHALANDAGE : HYPOTHÈSES ET MÉTHODOLOGIE

4.2.1 Hypothèses

Les prévisions d'achalandage sont issues de l'enquête Origine-Destination 2003, complétée par la projection à l'horizon 2016 du modèle ES-3 du ministère des Transports du Québec (MTQ), modèle tendanciel qui tient compte de l'évolution de la démographie, des emplois et des potentiels urbains.

La simulation prend seulement en compte la demande initiale, celle des usagers des transports en commun (TC), à l'exception de 2 types de déplacement du centre-ville de Montréal : ceux de plus de 500 m effectués entièrement à pied et ceux réalisés en taxi. À cette exception près, la simulation n'intègre donc ni le report modal ni l'induction modale, composés de tous les usagers qui ne se déplacent pas actuellement en TC et qui voient un intérêt à le faire en situation de projet :

- report modal : demande additionnelle des automobilistes qui décident d'effectuer un transfert modal en faveur du tramway, de par l'attractivité de cette nouvelle offre de transport (renforcée par la mise en place de stationnements incitatifs) ;

- induction modale : demande additionnelle de personnes qui ne se déplaçaient pas avant l'arrivée du tramway.

Le scénario de référence "TC 2016" comprend les évolutions suivantes par rapport au réseau TC actuel :

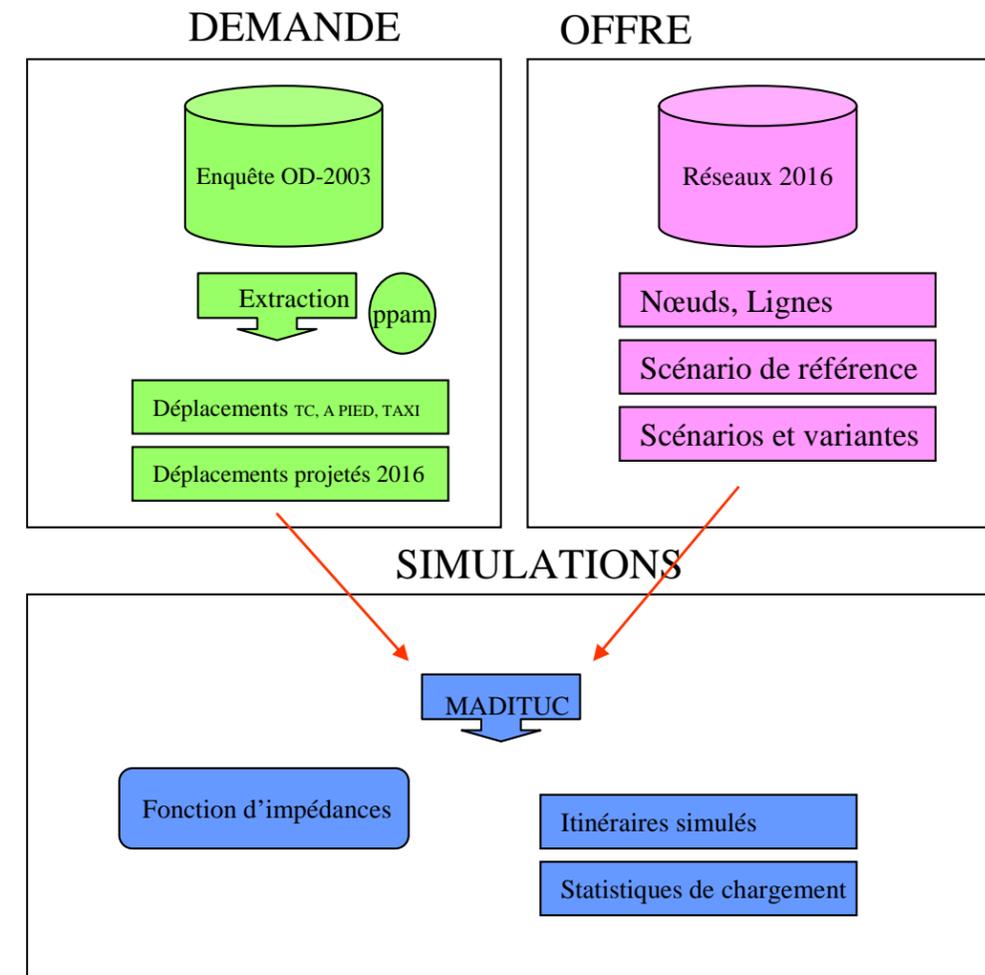
- prolongement de la ligne 5 à Pie-IX/Jean-Talon ;
- existence du train de l'Est, variante Mascouche ;
- SRB Pie-IX, variante avec dessertes directes.

La restructuration de l'offre autour du tramway comprend les modifications suivantes par rapport au scénario de référence :

- élimination des lignes d'autobus : 15, 74, 75, 80, 165, 515, 535, 935 ;
- prolongement des lignes d'autobus 18, 47 et 97 jusqu'à l'avenue du Parc, vers l'ouest ;
- rabattement de la ligne d'autobus 129 à la station de métro Mont-Royal ;
- création d'une desserte sur Laird et BloomField/Champagneur ;
- existence du réseau de tramway.

4.2.2 Méthodologie

Figure 4.1 Méthodologie utilisée pour évaluer l'achalandage



Source : STM (2009)

Les caractéristiques principales suivantes ont été retenues pour le tramway :

- intervalle minimum d'exploitation : 3 minutes;
- vitesse commerciale : 18 km / h.

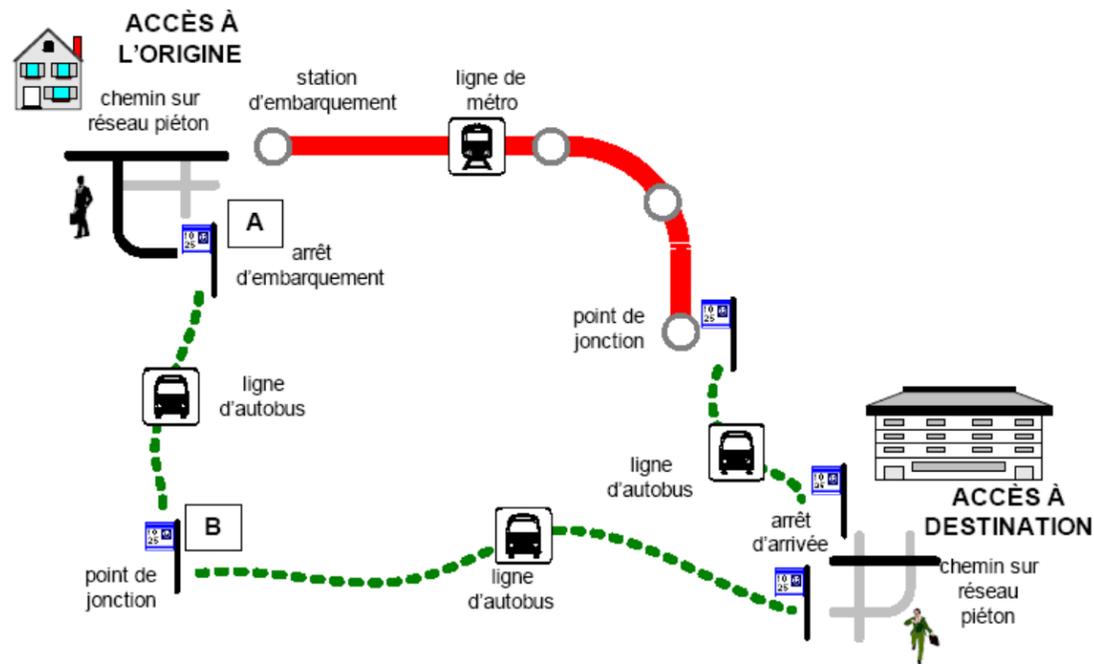
Une augmentation de 10% de la vitesse commerciale a été introduite dans le modèle afin de tenir compte de la facilité des correspondances avec le tramway et de son attrait supérieur.

L'approche de simulation utilise le Modèle d'Analyse Désagrégé des Itinéraires de Transport Urbain Collectif (MADITUC) qui prend en compte :

- le temps de marche ;
- le temps d'attente ;
- le temps véhicule ;
- le temps de correspondance.

Les déplacements TC sont affectés suivant l'algorithme PCC (Plus Court Chemin) qui pondère une fonction de coût généralisée.

Figure 4.2 Méthodologie de prévision d'achalandage – Modélisation MADITUC

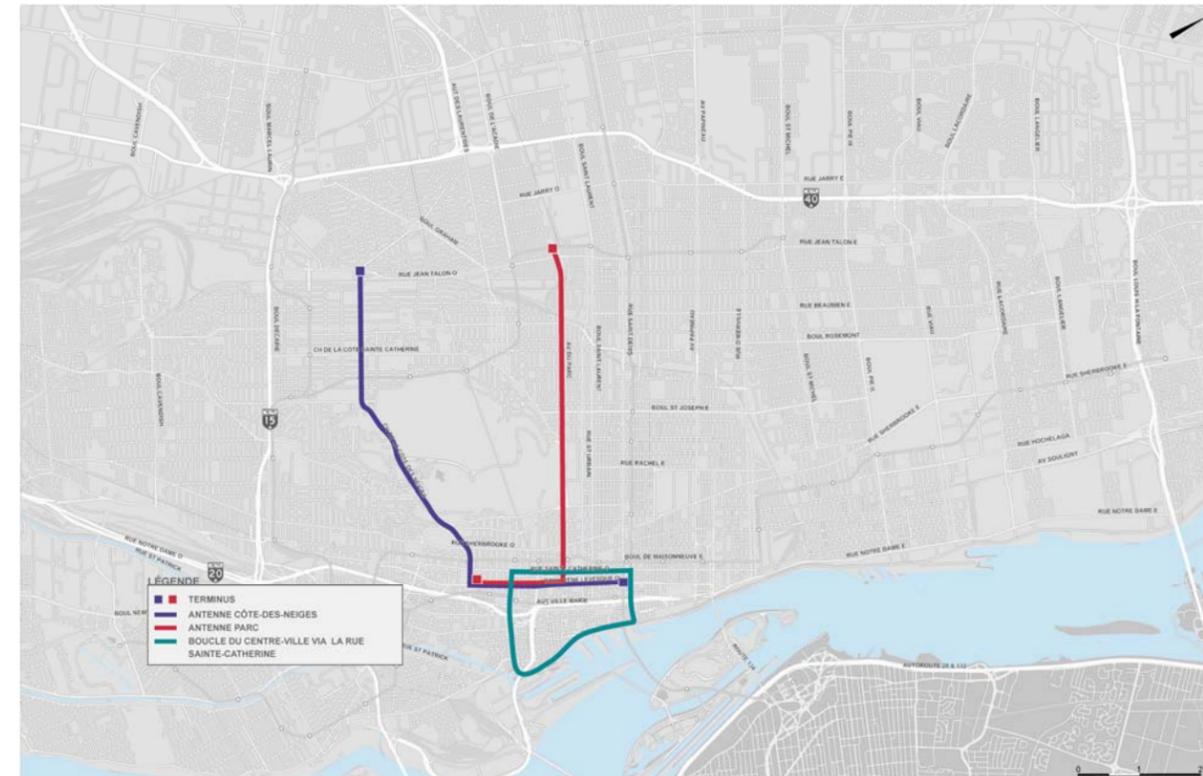


Source : STM (2009)

4.2.3 Scénario présenté

Plusieurs scénarios d'organisation du réseau initial de tramways ont été simulés mais seuls les résultats du scénario recommandé par le consultant (le scénario B, voir volume C3-2 Organisation du réseau initial) sont fournis dans le présent document.

Figure 4.3 Scénario modélisé : scénario B, comprenant 3 lignes : 2 antennes et 1 boucle de centre-ville

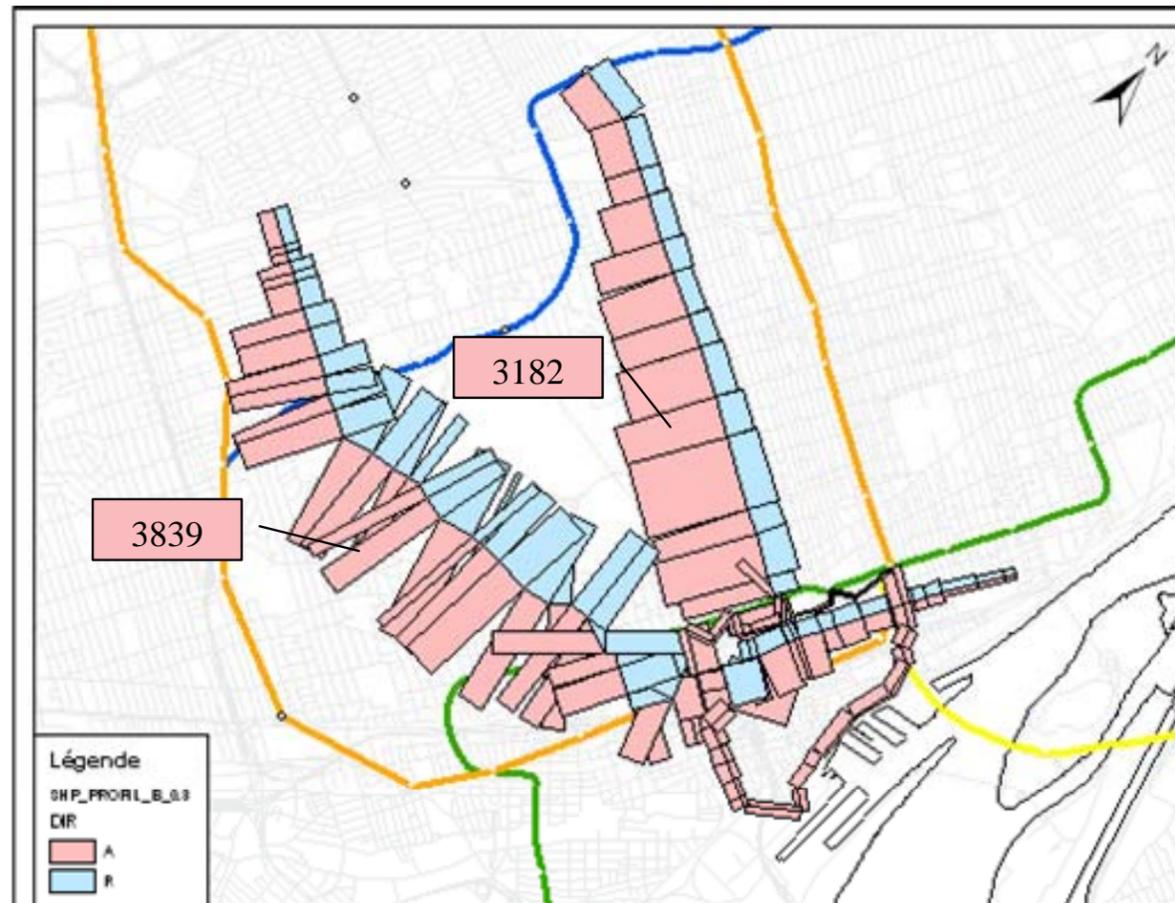


4.3 DESCRIPTION DE LA DEMANDE DE TRANSPORT

4.3.1 Serpent de charge PPAM de référence

Le schéma ci-dessous représente le serpent de charge du scénario B sur la Période de Pointe d'Avant Midi (PPAM), soit les 3 heures du matin de 6H00 à 9H00 :

Figure 4.4 Serpent en charge PPAM du scénario B



Source : STM (2009)

4.3.2 Synthèse des résultats principaux

Les principaux résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4.1 Principaux résultats d'achalandage du scénario B

Description	Scénario de référence* (réseau actuel)	Scénario B
Achalandage total	12 040	20 535
Point de charge max.	2 168	3 839
Gain de temps de 5 min.	0	7 690
Perte en pass-hr	0	-783
Gain en pass-hr	0	1 791
Impact pt Charge Ligne 2	0	1 284
Passager-km	26 128	53 051
Nob corr. moyen	0,70	0,98
Pt charge % 5001 (aller/aller+retour)	53%	77%
Pt charge % 5002 (aller/aller+retour)		57%
Achalandage ligne 5001	n.d.	6 804
Achalandage ligne 5002	n.d.	11 388
Achalandage ligne 5003	n.d.	1 353
Achalandage ligne 5004	n.d.	989

Source : STM (2009)

* : le scénario de référence, qui représente la situation avant l'introduction du projet de tramway, est utilisé pour fin de comparaison.

Termes du tableau :

- Gain (respectivement perte) en pass-hr = nombre d'heures gagnées (resp. perdues) par chaque passager * nombre de passagers;
- Impact point de charge ligne 2 = Soulagement de la ligne de métro orange;
- Passager-km = nombre de passager * longueur de trajet effectué par chaque passager;
- Nombre de correspondance moyen = Nombre de correspondance moyen effectué par les usagers du tramway;
- Point de charge % = nombre de passagers Aller / nombre total de passager (Aller+Retour);
- Numérotation des lignes :
 - ligne 5001 : antenne « Parc »,
 - ligne 5002 : antenne « Côte-des-Neiges »,
 - lignes 5003 et 5004 : boucle du centre-ville, sens horaire et sens antihoraire.

4.3.3 Calcul de l'achalandage journalier et de la charge horaire maximale

ACHALANDAGE JOURNALIER

Afin d'estimer l'achalandage journalier à partir de l'achalandage PPAM, l'enquête origine-destination 2003 a été utilisée et les distributions horaires des lignes d'autobus empruntant les mêmes corridors de desserte que celui du réseau initial de tramway ont été extraites :

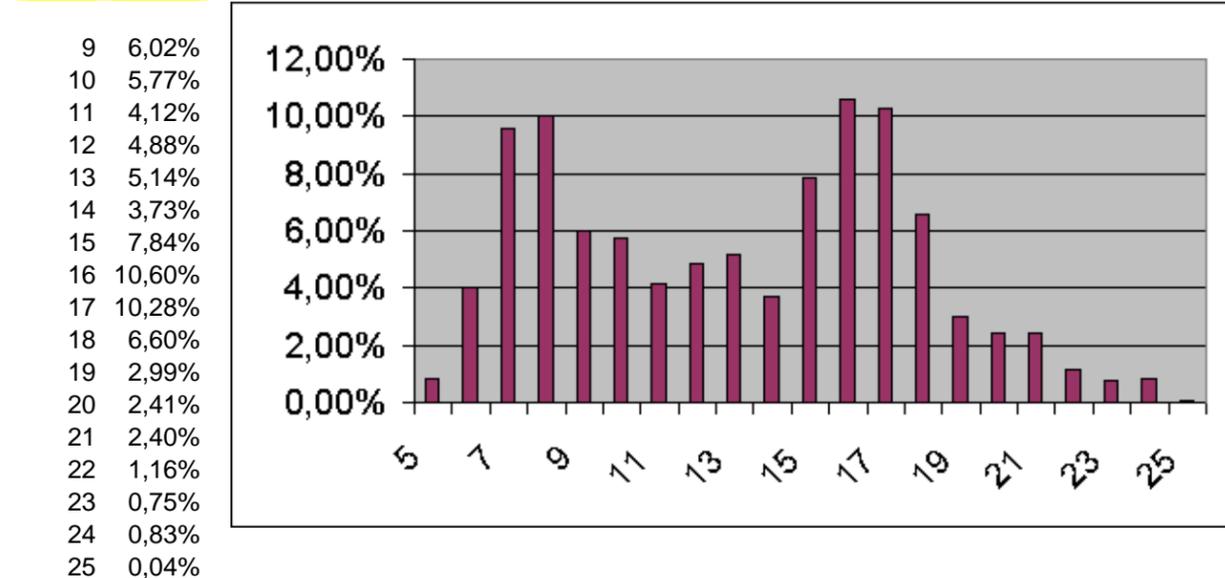
- lignes d'autobus des antennes;
- lignes d'autobus du centre-ville.

Concernant les antennes, l'achalandage actuel PPAM des lignes d'autobus représente environ 24% (23,6%) de l'achalandage journalier : il faut ainsi multiplier l'achalandage PPAM par le coefficient 4,24 (1/0,236) pour obtenir l'achalandage journalier. Au vu du bon équilibrage des déplacements par direction fourni par les simulations, sur l'antenne « Côte-des-Neiges » notamment, on estime qu'il est raisonnable de porter ce coefficient à 4,5.

Figure 4.5 Répartition journalière de l'achalandage sur les antennes « Côte-des-Neiges » et « Parc »

Heure	%
5	0,83%
6	4,01%
7	9,55%
8	10,03%

23,60%



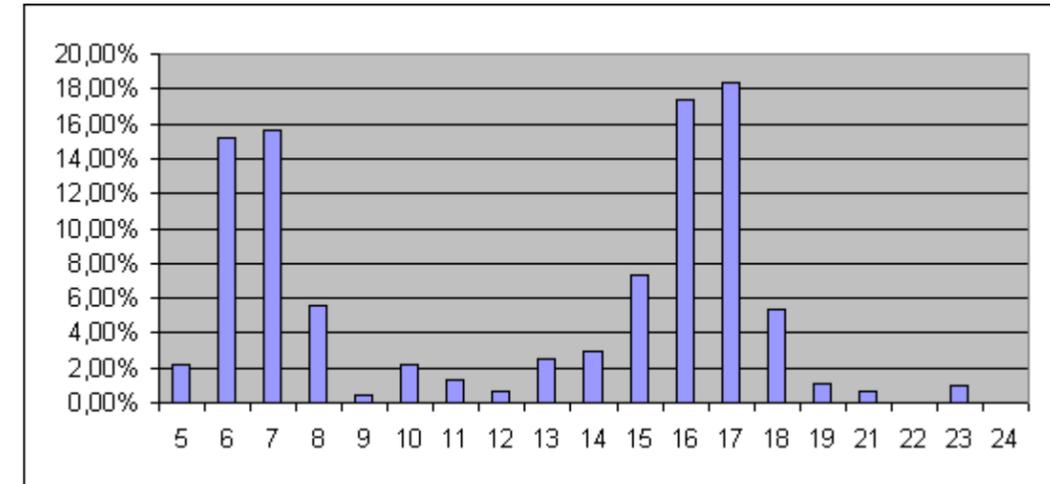
Source : Enquête O-D 2003, Déplacements des lignes d'autobus 80-165-535 et 935
 La période de pointe AM des simulations correspond à la période de 6h à 9h
 Le rapport « Pointe AM/24 heures » est de 23,6%, soit un ratio « 24 heures/ Pointe AM » de 4,24.

Concernant la boucle du centre-ville, l'achalandage actuel PPAM des lignes d'autobus représente environ 37% (36,39%) de l'achalandage journalier : il faut ainsi multiplier l'achalandage PPAM par le coefficient 2,75 (1/0,3639) pour obtenir l'achalandage journalier. Sachant que les simulations modélisent les déplacements de la boucle de manière très conservatrice, on estime qu'il est raisonnable de porter ce coefficient à 4, en raison d'une part, de l'attrait du mode tramway par rapport au mode autobus et, d'autre part, d'une meilleure répartition de la clientèle tout au long de la journée (notamment grâce aux très nombreux motifs de déplacement qui se cumulent et se complètent).

Figure 4.6 Répartition journalière de l'achalandage sur la boucle du centre-ville

Heure	%
5	2,15%
6	15,17%
7	15,67%
8	5,56%
9	0,43%
10	2,21%
11	1,32%
12	0,71%
13	2,53%
14	2,92%
15	7,36%
16	17,39%
17	18,41%
18	5,39%
19	1,10%
21	0,70%
22	0,00%
23	0,98%
24	0,00%

36,39%



Source : Enquête O-D 2003, Déplacements des lignes d'autobus 15-150-410 et 430
 La période de pointe AM des simulations correspond à la période de 6h à 9h
 Le rapport « Pointe AM/24 heures » est de 36,39%, soit un ratio « 24 heures/ Pointe AM » de 2,75.

Les principaux résultats des simulations du scénario B sont synthétisés ci-dessous (simulation effectuée avec l'antenne de Côte-des-Neiges étendue jusqu'à Papineau. Voir l'annexe A pour plus de détails) :

- l'achalandage journalier du réseau initial est très élevé, et se monte à :
 - plus de 97 000 voyages / jour en basse saison (respectivement plus de 110 000 voyages / jour en haute saison, c'est-à-dire en saison touristique) pour la totalité du réseau initial. L'appréciation de l'apport de la clientèle touristique est fondée sur les résultats de l'enquête 2005 auprès des touristes de la SVPM, la Société du Vieux-Port de Montréal, pour le secteur d'influence au centre-ville;
 - plus de 51 000 voyages / jour sur l'antenne Côte-des-Neiges,
 - plus de 30 000 voyages / jour sur l'antenne Parc,
 - plus de 15 000 voyages / jour en basse saison (respectivement plus de 29 000 voyages / jour en haute saison, c'est-à-dire en saison touristique) sur la boucle du centre-ville,

Les résultats relatifs à la boucle du centre-ville sont explicités dans le volume C3-II Organisation du réseau initial et en annexe A. En plus des valeurs issues de la simulation TC décrite ci-dessus, deux contributions d'achalandage ont été prises en compte :

- celle des résidents des projets en développement (programmés) le long de la zone d'influence de la boucle du centre-ville ;
- celle des touristes en haute saison.

CHARGE HORAIRE MAXIMALE

Les coefficients de passage de la charge PPAM à la charge de l'heure de pointe et du quart d'heure d'hyperpointe ont été estimés par la STM :

- heure de pointe = 60% PPAM ;
- quart d'heure d'hyperpointe = 16% PPAM.

Quantitativement, le point de charge maximal est sur l'inter-station Ridgewood : 3 839 voyageurs PPAM en direction du centre-ville, c'est-à-dire :

- 2303 passagers / heure à l'heure de pointe,
- 614 passagers pour le ¼ heure d'hyperpointe.

5.0 DESCRIPTION DE L'OFFRE DE TRANSPORT

5.1 DESCRIPTION DU SERVICE AU VOYAGEUR

5.1.1 Définitions

Amplitude de service : période de la journée pendant laquelle les services sont disponibles [source : Norme NF-EN-13816].

Heures de pointe (HP) : périodes durant lesquelles la demande de transport est la plus forte.

Heures de nuit (HN) : périodes durant lesquelles la demande de transport est la plus faible.

Heures creuses (HC) : périodes intermédiaires entre HP et HN, durant lesquelles la demande de transport a une valeur moyenne.

Intervalle (I) : temps s'écoulant en un point donné entre les départs ou les passages de 2 rames successives circulant dans le même sens et desservant une section d'itinéraire ayant au minimum en commun deux points d'arrêt [source : UTP – Terminologie d'exploitation].

Marche type : pour un itinéraire donné, pour une heure de départ ou une plage horaire donnée, suite des temps de parcours élémentaires entre les points d'arrêt successifs ou des points d'arrêt sélectionnés, la somme de ces temps élémentaires constituant un temps de parcours [source : UTP – Terminologie d'exploitation].

Parcours : trajet suivi (parcouru) par une rame.

Parcours de la ligne : trajet complet d'un terminus d'une ligne à l'autre.

Tronc commun : superposition de 2 lignes sur le même itinéraire.

5.1.2 Objectif

Le service au voyageur a pour objectif, en toute circonstance, la prise en charge des voyageurs en tous points de chaque ligne du réseau, dans des conditions acceptables de confort, de régularité, de rapidité et de sécurité.

5.1.3 Hypothèse

L'offre décrite ici correspond à une variante d'exploitation du scénario B, variante nommée scénario B', dans laquelle le tronc commun sur René-Levesque des lignes bleue et rouge est remplacé par un tronc commun sur Sainte-Catherine des lignes rouge et verte.

La fragilité du scénario B initial réside dans le tronc commun des 2 lignes pendulaires sur le boulevard René-Levesque entre les rues Guy et Bleury.

D'un point de vue fonctionnel, la mise en place d'un tronc commun se fait généralement dans le cadre d'un renforcement de l'offre de transport, ce qui ne semble pas être le cas du scénario B : le tronc commun se justifie ici par une contrainte d'insertion, doublée d'une exigence de maîtrise des coûts d'infrastructure, qui consiste à ne pas créer 4 voies de tramway sur le boulevard René-Levesque.

Le tronc commun n'est pas systématiquement faisable dans la mesure où une forte demande de transport sur les branches, qui nécessite une fréquence élevée sur ces branches, peut conduire à un intervalle d'exploitation trop faible sur le tronc commun, donc non réalisable d'un point de vue d'exploitation : on a préconisé de fixer à 4 minutes l'intervalle d'exploitation minimal d'un tronc commun au niveau d'une étude de préfaisabilité.

L'intervalle d'exploitation à l'heure de pointe calculé sur le tronc commun dans le volume C1 – Exploitation est inférieur à 2 minutes 30 secondes, ce qui compromet fortement une exploitation stable.

Une analyse plus poussée du tronc commun sur le boulevard René-Levesque permet cependant de mettre en évidence une configuration d'exploitation assez favorable :

- longueur réduite : 1.5 km ;
- faible nombre de carrefours franchis (15) et configuration de ces carrefours simple (interdiction des virages à gauche à de nombreux carrefours), donc pas de source supplémentaire de retard ;
- grande proximité des 2 terminus du tronc commun (dont celui de l'antenne Parc qui est au droit du tronc commun à la station Guy), d'où possibilité de régulation afin de retrouver la régularité potentiellement altérée sur le tronc commun.

En revanche, l'existence d'un nœud ferroviaire à la jonction Peel / René-Lévesque, entre le tronc commun et la boucle du centre-ville, fragilise l'exploitation du tronc commun, pouvant être source de retard, donc d'irrégularité sur l'ensemble du réseau. De plus ce carrefour est parmi les plus achalandés de Montréal.

Ces considérations nous incitent à proposer une variante d'exploitation au scénario B, qualifiée de scénario B', qui donne plus de souplesse d'exploitation pour 2 raisons :

- diminution du nombre de cisaillement de voie ;
- amélioration du fonctionnement du tronc commun.

Le scénario B' consiste à déplacer le tronc commun de René-Levesque sur Sainte-Catherine :

Les 2 intersections entre les antennes sur René-Levesque sont supprimées et le nouveau tronc commun présente une configuration plus favorable :

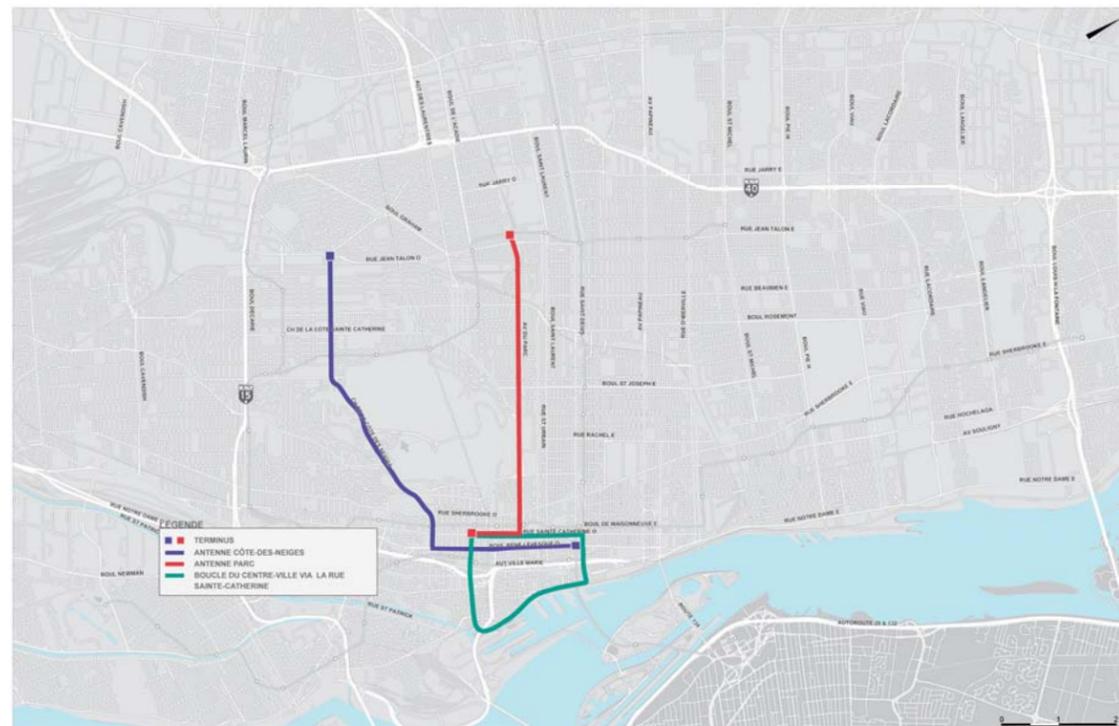
- il est plus court : 825 m ;
- il croise moins de carrefours : 9 ;
- les conséquences d'une instabilité sont moins graves car l'antenne Parc et la boucle du centre-ville ne répondent pas à la même demande de transport au même moment : l'heure de pointe sur Parc correspond à une heure creuse sur la boucle et vice-versa ;
- la probabilité d'occurrence d'une instabilité à l'heure de pointe de l'une des 2 lignes est également plus faible puisqu'à cette heure là l'autre ligne pratique un intervalle d'exploitation plus grand (normalement le double) ;

- contrairement au scénario B, une perturbation du tronc commun n'affecte pas les 2 lignes dans les 2 sens : un seul sens de la boucle du centre-ville est impacté, car sur une boucle les 2 sens se comportent de manière autonome ;
- le tronc commun ne présente plus de nœud ferroviaire, c'est-à-dire qu'il ne croise plus une autre ligne de tramway.

Du point de vue de l'exploitation, le scénario B' est ainsi composé de 3 lignes :

- une ligne en boucle, interne au centre-ville, reliant le vieux Montréal (au Sud) à la rue Sainte-Catherine (au Nord), en croisant le boulevard René-Lévesque au niveau de la rue Peel et de la rue Berri;
- une ligne en antenne reliant le terminus « Jean-Talon » au terminus « Berri » en passant par le Boulevard René-Lévesque;
- une ligne en antenne reliant le terminus « métro du Parc » au terminus « Peel » en passant par la rue Sainte-Catherine.

Figure 5.1 Scénario B' – Variante d'exploitation du scénario B avec tronc commun sur Sainte-Catherine



5.1.4 Résultats à atteindre

L'offre de transport établie répond à la demande et dépend des moments de la journée, des jours et des périodes de l'année.

Sur l'amplitude du service, la marche des rames est établie selon des intervalles de passage réguliers.

Les intervalles sont adaptés à la demande de transport, sur la base des prévisions de déplacement :

- en heure de pointe, l'intervalle d'exploitation est minimal ;
- hors heure de pointe, les intervalles de passage des rames sont modulés en fonction de l'achalandage par tranche horaire.

AMPLITUDE DU SERVICE

Les heures d'ouverture et de fermeture du réseau définissent l'amplitude horaire du service offert aux voyageurs. Par homogénéité avec les réseaux de métro et d'autobus, nous proposons les heures de début et de fin de service suivantes :

- 1er départ des terminus nord, « Côte-des-Neiges » et « du Parc », en direction du sud (centre-ville) : 5h30 ;
- 1er départ des terminus sud, « Berri » et « Peel », en direction du nord : 5h30 ;
- dernier départ des terminus nord, en direction du sud : 1h15 (25h15) ;
- dernier départ des terminus sud, en direction du nord: 1h30 (25h30).

Ainsi, les premiers tramways circuleront à partir de 5h30 du matin et les derniers tramways s'arrêtent de circuler au plus tard à 2h00 du matin, soit une amplitude de 20 heures et 30 minutes.

CALCUL DE L'INTERVALLE D'EXPLOITATION À L'HEURE DE POINTE DES ANTENNES

L'intervalle d'exploitation à l'heure de pointe (intervalle minimal) est obtenu à partir de la capacité unitaire d'une rame et de la charge horaire maximale de la ligne.

La capacité unitaire d'une rame est calculée avec une densité de 4 passagers debout par m² (cf. Volume C2 Hypothèses de conception), ce qui correspond au standard de confort international.

Par ailleurs, les contraintes de franchissement des fortes pentes de l'antenne Cote-des-Neiges incitent à sélectionner des rames courtes, soit de l'ordre de 30 m à 35 m de longueur, dont la capacité est de 204 voyageurs / rame (cf. Volume F Matériel roulant).

Figure 5.2 Capacité unitaire des tramways de 2,65 m de large et de 30 m à 35 m de long

Ville	Constructeur	modèle	Version du modèle	Mise en service	Plancher bas (%)	Long. (m)	Lar. (m)	Passagers		
				Date				Assis	Debout	Total
Chemnitz	Stadler	Variobahn	6 NGT-LDE	1993	100%	31,4	2,65	89	123	212
Chemnitz	Stadler	Variobahn	6 NGT-LDZ	2002	100%	31,4	2,65	74	124	198
Chemnitz	Stadler	Variobahn	6 NGT-LDZ	2002	100%	31,4	2,65	74	124	198
Schwerin	Bombardier	Flexity Classic		2001	70%	29,7	2,65	84	115	202
Barcelone	Alstom	Citadis	302	2004	100%	32,517	2,65	64	154	218
S. Cruz de Tenerife	Alstom	Citadis	302	2007	100%	33	2,65	60	140	200
Montpellier	Alstom	Citadis	302	2007	100%	32,5	2,65	64	146	210
Mulhouse	Alstom	Citadis	302	2006	100%	32,5	2,65	56	175	231
Nice	Alstom	Citadis	302	2007	100%	33	2,65	54	161	215
Bergen	Stadler	Variobahn		2009	100%	32,2	2,65	80	148	228
Gouda-Alphen	Bombardier	Flexity Swift	K4000	2006	72%	29,7	2,65	78	106	184
La Haye	Bombardier	Flexity Swift	LF	2002	100%	29,7	2,65	78	106	184
Londres-Croydon	Bombardier	Flexity Swift	LF	2000	76%	30,1	2,65	70	138	208
Manchester	AnsaldoBreda	LRV	T68a	1999	Haut	29,84	2,65	82	118	200
Manchester	Firema	Tramway	T68	1991	Haut	29,84	2,65	86	122	208
Stockholm	Bombardier	Flexity Swift	LF	1999	72%	29,7	2,65	78	106	184
Melbourne	Siemens	Combino	Plus	2003	100%	29,9	2,65	58	132	190
17									204	

Source: Tramexpert

La charge horaire maximale de la ligne utilisée pour calculer l'intervalle d'exploitation minimal est celle de l'hyperpointe (ramenée sur une heure), ce qui constitue donc un dimensionnement conservatif :

Tableau 5.1 Calcul des intervalles d'exploitation à l'heure de pointe

	Lignes	
	Côte-des-Neiges	Parc
Période de pointe d'avant-midi (passagers/3h)	3 839	3 182
Heure de pointe majorée ⁶ (64% PPAM) (passagers/h)	2 457	2 036
Capacité unitaire d'une rame (passagers)	204	204
Intervalle minimum (minutes)	5	6

⁶ Densité équivalente à celle du ¼ h d'hyperpointe, soit 4*16% PPAM = 64% PPAM

À l'heure de pointe, l'intervalle d'exploitation sur le parcours des lignes en antenne, sera ainsi :

- inférieur à 5 minutes sur Côte-des-Neiges;
- inférieur à 6 minutes sur du Parc.

L'intervalle à l'heure de pointe ne peut qu'être inférieur aux valeurs calculées dans le tableau ci-dessus (à caractéristiques de matériel roulant constantes) car les simulations de déplacement ne prennent en compte, au stade de la phase 1, ni le report modal, ni l'induction modale. On s'attend ainsi à une augmentation de la prévision d'achalandage en phase 2, donc une diminution de l'intervalle d'exploitation à l'heure de pointe.

Dans le scénario B, l'existence d'un tronç commun entre les 2 lignes en antenne obligerait à utiliser le même intervalle d'exploitation, soit :

- inférieur à 5 minutes sur les antennes;
- inférieur à 2 minutes 30 secondes sur le tronç commun.

Comme explicité ci-dessous, cette valeur d'intervalle d'exploitation sur le tronç commun compromet fortement une exploitation stable.

Dans le scénario B', les intervalles d'exploitation des antennes peuvent être différents puisque leurs itinéraires sont séparés.

La contrainte d'intervalles compatibles existe toujours sur le tronç commun, mais celui-ci concerne l'antenne du Parc et la boucle du centre-ville qui n'ont pas, rappelons-le, leurs heures de pointe au même moment. Si l'on considère un intervalle d'exploitation en heure creuse pour la boucle du centre-ville double de l'intervalle d'exploitation en heure de pointe pour l'antenne du Parc, les intervalles d'exploitation du scénario B' lors des périodes d'heure de pointe des antennes seraient ainsi inférieurs à :

- 5 minutes sur Côte-des-Neiges;
- 6 minutes sur du Parc;
- 12 minutes sur la boucle du centre-ville;
- 3 minutes et 6 minutes en alternance sur le tronç commun. Le tronç commun est en effet emprunté par :
 - une 1^{ère} rame en direction de du Parc,
 - puis une 2^{ème} rame en direction de du Parc (à moins de 6 minutes),
 - puis une rame en direction du centre-ville (à moins de 3 minutes),
 - puis une 1^{ère} rame en direction de du Parc (à moins de 3 minutes),
 - puis une 2^{ème} rame en direction de du Parc (à moins de 6 minutes),
 - et ainsi de suite.

DÉTERMINATION DE L'INTERVALLE D'EXPLOITATION HORS HEURE DE POINTE DES ANTENNES

Le tableau de la Figure 4.5 (cf. chapitre précédent) établi pour les autobus empruntant les corridors de desserte des antennes démontre que le rapport entre l'achalandage de l'heure de pointe et l'achalandage de l'heure creuse oscille autour de 50%, tantôt supérieur, tantôt inférieur. On pourrait donc utiliser un intervalle d'exploitation en heure creuse double de celui de l'heure de pointe.

Pour se placer dans une situation conservatrice, il est proposé, au stade de la phase 1, un intervalle d'exploitation en heure creuse un peu plus petit. Ainsi :

Dans le scénario B, l'existence du tronc commun entre les 2 lignes en antenne obligerait à utiliser le même intervalle d'exploitation, soit :

- inférieur à 8 minutes sur les antennes;
- inférieur à 4 minutes sur le tronc commun.

Dans le scénario B', les intervalles d'exploitation des antennes peuvent être différents puisque leurs itinéraires sont séparés :

- inférieur à 8 minutes sur Côte-des-Neiges ;
- inférieur à 10 minutes sur Parc;

L'intervalle d'exploitation inférieur à 10 minutes sur l'antenne Parc en heure creuse conduirait alors à choisir un intervalle d'exploitation d'heure de pointe réduit de moitié sur la boucle de centre-ville, c'est-à-dire inférieur à 5 minutes, ce qui est très convenable pour un contexte urbain. Les intervalles d'exploitation du scénario B' en dehors des périodes d'heure de pointe des antennes seraient ainsi inférieurs à :

- 8 minutes sur Côte-des-Neiges;
- 10 minutes sur du Parc;
- 5 minutes sur la boucle du centre-ville;
- 2 minutes 30 secondes et 5 minutes en alternance sur le tronc commun. Le tronc commun est en effet emprunté par :
 - une 1^{ère} rame en direction du centre-ville,
 - puis une 2^{ème} rame en direction du centre-ville (à moins de 5 minutes),
 - puis une rame en direction de du Parc (à moins de 2,5 minutes),
 - puis une 1^{ère} rame en direction du centre-ville (à moins de 2,5 minutes),
 - puis une 2^{ème} rame en direction du centre-ville (à moins de 5 minutes),
 - et ainsi de suite.

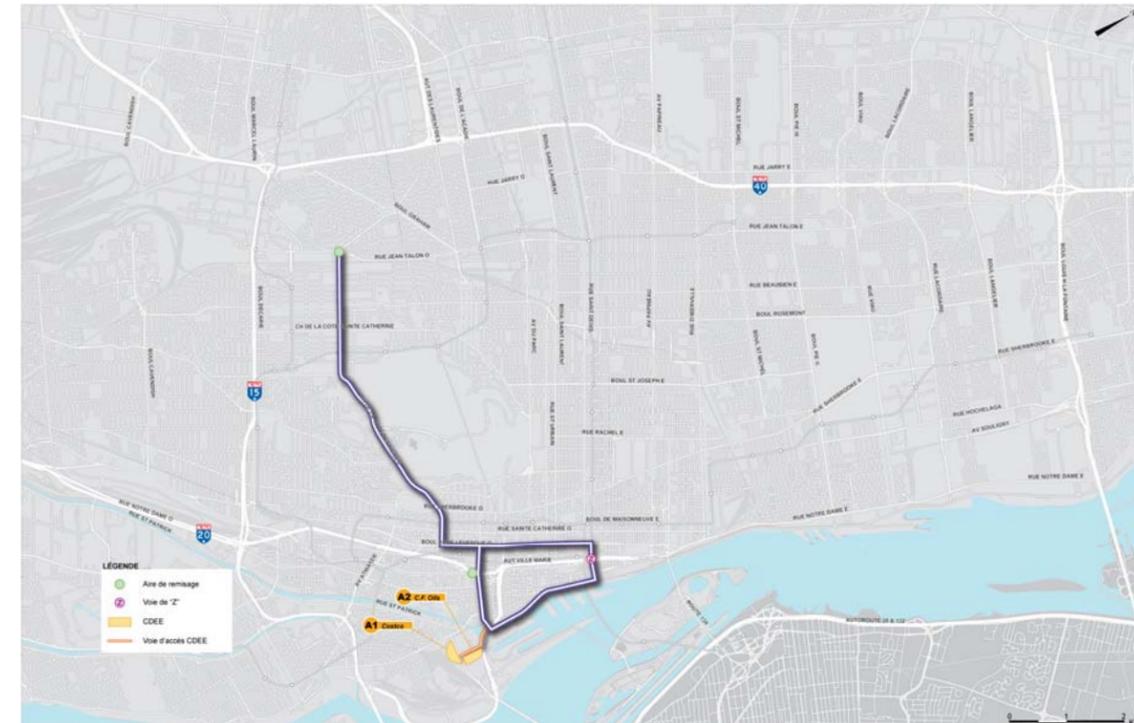
Aux heures de nuit, afin d'offrir un service au voyageur cohérent avec le métro, il pourrait être décidé de ne pas augmenter l'intervalle au-dessus de 10 minutes.

Si les valeurs des intervalles d'exploitation HC (heures creuses) et HN (heures de nuit) étaient trop proches (cas de Parc et de la boucle du centre-ville), il conviendrait de les rendre égales et l'on obtiendrait une grille horaire plus simple, ce qui est particulièrement intéressant dans le cas de la boucle du centre-ville.

5.1.5 Exemple de grille d'exploitation simplifiée pour la 1^{ère} ligne du réseau

La 1^{ère} ligne recommandée par le consultant au terme de l'étude phase 1 est le lasso « Côte-des-Neiges / boucle du centre-ville » tel que décrit dans le Volume Identification de la 1^{ère} ligne et rappelé ci-dessous :

Figure 5.3 1^{ère} ligne du réseau initial de tramways de Montréal recommandée par le consultant



Par analogie avec tableau de la Figure 4.5, la structure de la grille d'exploitation de cette 1^{ère} ligne, pour un jour type de semaine en période de plein trafic, pourrait être la suivante :

Tableau 5.2 Grille d'exploitation simplifiée de la 1^{ère} ligne

Horaire	Périodes			Nbre services	
	Durée	Heure-type	Intervalle (minutes)	Par heure	Par période
5h30 – 6h30	1 h	HC	< 8	> 7,5	> 8
6h30 – 9h30	3 h	HP	< 5	> 12	> 36
9h30 – 15h30	6 h	HC	< 8	> 7,5	> 45
15h30 – 18h30	3 h	HP	< 5	> 12	> 36
18h30 – 21h30	3 h	HC	< 8	> 7,5	> 22,5
21h30 – 26 h	4,5 h	HN	< 10	> 6	> 27
Total par jour	20,5 h				174,5

5.2 VITESSE COMMERCIALE THÉORIQUE

5.2.1 Définition

La vitesse commerciale théorique sur un parcours donné encadré par deux points d'arrêt est le rapport entre :

- la distance séparant les deux points d'arrêt : du quai du point d'arrêt origine (quai de départ) au quai du point d'arrêt destination (quai d'arrivée) ;
- la durée théorique de parcours entre ces deux points d'arrêt, hors temps d'arrêt à ces deux points, mais y compris temps d'arrêt à tous les points d'arrêt intermédiaires et y compris aléas de parcours.

La vitesse commerciale représente la vitesse moyenne perçue par l'utilisateur.

5.2.2 Contraintes

Les contraintes à prendre en compte dans le calcul de la durée théorique de parcours, et donc l'établissement de la vitesse commerciale théorique, sont les suivantes :

- la sécurité des voyageurs et des tiers (personnel d'exploitation, usagers de la voirie, etc.) ;
- le confort des voyageurs ;
- la configuration de la ligne (pentes, courbes, ..) ;
- les caractéristiques du matériel roulant (puissance des véhicules, masse des convois en charge, résistance à l'avancement...);
- le niveau de priorité pour le franchissement des carrefours (si possible priorité dite absolue) ;
- l'environnement traversé (zones piétonne, urbaine dense, périurbaine) et ses usages eu égard aux typologies d'insertion (axial, latéral) et d'utilisation (infranchissable, franchissable, mixte) de la plateforme.

5.2.3 Performance

La vitesse commerciale théorique sera calculée en phase 2, quand le tracé et les contraintes d'insertion seront connus.

Dans le cadre de la phase 1, des hypothèses de vitesse commerciale sont prises pour dimensionner le parc de matériel roulant. Ces hypothèses sont établies « à dire d'expert » et se réfèrent à des configurations de lignes semblables à celles de Montréal, compte tenu du profil de la ligne et de la pénalité apportée par le franchissement des carrefours (15 % supplémentaire sur le temps de course)⁷ :

- hypothèse basse : 18 km/h (centre-ville très dense) ;
- hypothèse haute : 20 km/h (centre-ville dense).

En appui de ces hypothèses, il est rappelé les 2 éléments d'environnement suivants :

- le réseau viaire des villes d'Amérique du Nord est en moyenne plus large qu'en Europe. Montréal n'échappe pas à la règle : la notion de « centre-ville très dense » utilisée en Europe n'a donc pas réellement d'équivalent à Montréal ;
- la priorité absolue aux carrefours serait facilitée à Montréal par l'absence de tourne à gauche, et donc un nombre réduit de phases de feux. Cet argument est cependant contrecarré par un changement de pratique programmé sur les axes empruntés par le tramway, avec introduction de tourne à gauche par les services de la ville.

Ces hypothèses sont confrontées à la vitesse commerciale atteinte par les autobus circulant sur les axes empruntés par le tramway dont les caractéristiques principales sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5.3 Caractéristiques d'exploitation des lignes de bus circulant dans le corridor du tramway

Ligne	Direction	Vitesses commerciales (KM/H)	Heure début	Heure fin	Nbre de voyages	Temps parcours directionnel (min.)	Intervalle minimum (min.)	Intervalle maximum (min.)	Longueur odomètre (mètres)
80	N	14,71	606	653	3	33	23	24	8 089
80	S	15,74	607	619	2	30	12	12	7 872
165	N	15,63	602	700	4	26	11	30	6 773
165	S	16,31	614	614	1	29	0	0	7 885
535	E	14,10	625	859	37	73,2	2	10	17 203
535	O	13,26	625	856	38	74	3	5	16 353
935	S	17,20	600	900	6	33	33	33	7 430

Source: STM

Il apparaît clairement que les vitesses atteintes par la ligne structurante (n°535), pourtant en voie réservée, et qui se situent dans la fourchette [13km/h ; 14 km/h], sont largement inférieures à l'hypothèse basse proposée pour le tramway. Cette hypothèse basse en ressort pleinement justifiée.

Par comparaison, les études du SLR du Parc avaient abouti à une vitesse commerciale de 16 km / h, avec, sur une bonne partie du parcours (entre le terminus nord et la station de Maisonneuve - métro Place-des-Arts) une vitesse commerciale qui atteignait 17,4 km / h.

⁷ Cf. Compte-rendu de la réunion n°8 du 20/11/2008 « Hypothèses de conception », §2.1.

6.0 DIMENSIONNEMENT DU PARC DE MATÉRIEL ROULANT

6.1 OBJECTIF

Le parc du matériel roulant est dimensionné pour :

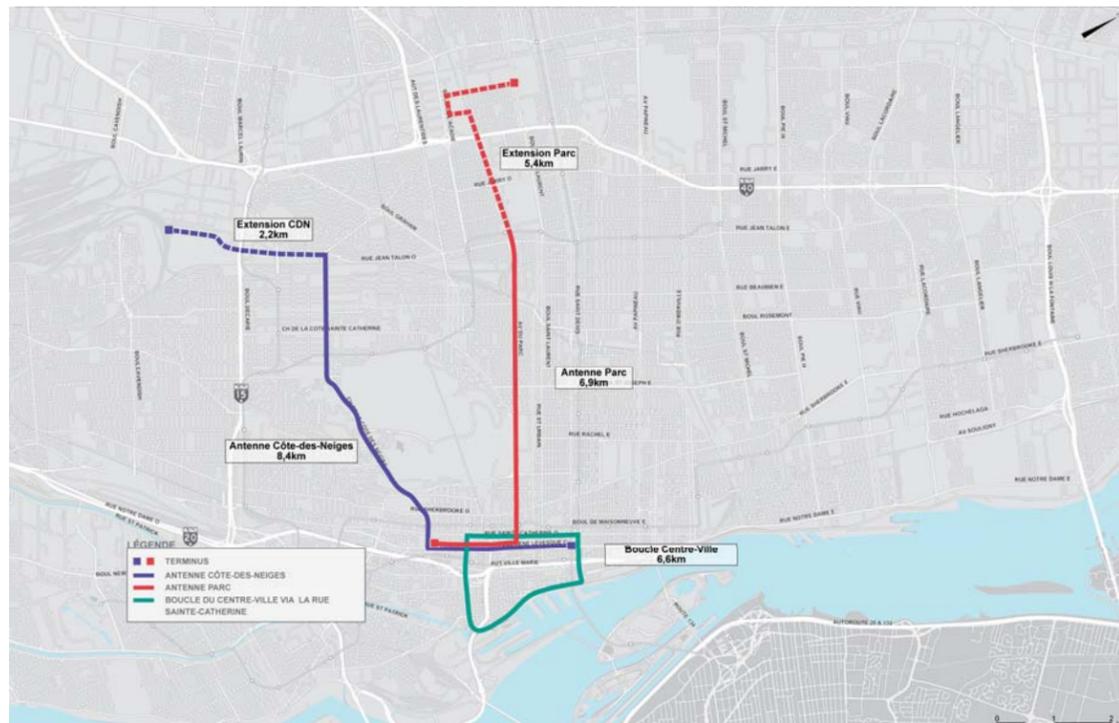
- assurer l'offre de transport ;
- permettre les activités de maintenance ;
- pallier les éventuels accidents ou indisponibilités imprévues de rames.

6.2 HYPOTHÈSES

Le réseau initial de tramways est le réseau B', identifiant trois lignes de tramway ainsi numérotées :

- ligne 1 : boucle du centre-ville;
- ligne 2 : antenne Côte-des-Neiges;
- ligne 3 : antenne Parc.

Figure 6.1 Longueur des lignes constituant le scénario B en configuration initiale et étendue



L'étude se base sur les hypothèses suivantes :

- l'intervalle d'exploitation minimal est pris égal à :
 - 4 min sur la ligne 2 : le calcul du Tableau 5.1 conduisant à un intervalle inférieur à 5 min, on adopte une valeur conservative,
 - 5 min pour les lignes 1 et 3 : le calcul du Tableau 5.1 conduisant à un intervalle inférieur à 6 min, on adopte également une valeur conservative,
- les temps de parcours (ou temps de course) sont calculés sur la base d'une vitesse commerciale moyenne des courses de 18 km/h ;
- le temps de parcours est identique sur chaque voie (voie 1, voie 2) ;
- les temps de retournement dans les terminus, nécessaires pour effectuer la manœuvre du train et changer de cabine, sont estimés à 200 s selon notre expérience sur différents projets de tramway (Orléans, Clermont-Ferrand, Florence...) ;
- le battement minimal au tour, soit la réserve de temps matériel permettant de résorber les retards, a été fixé à 240 s à répartir sur les deux terminus. Ce temps est nécessaire pour absorber la majeure partie des aléas de temps de parcours. Ces aléas sont proportionnels à la longueur de l'itinéraire parcouru, au nombre de carrefours franchis, à l'environnement aux abords de la plateforme, notamment dans les tronçons urbains denses.

La notion de temps de retournement en terminus ne s'applique pas à la ligne en boucle (qui n'a pas de terminus). Elle a cependant été conservée dans le calcul car le fonctionnement d'une ligne en boucle suppose une détente supplémentaire de la marche type du tramway, dont on estime qu'elle équivaut, en première approximation, au temps de retournement en terminus.

Pour chaque ligne, deux cas ont été abordés :

- cas 1 : ligne en configuration initiale ;
- cas 2 : ligne en configuration étendue.

Enfin, un test de sensibilité a été effectué sur la vitesse commerciale : le parc a été dimensionné avec une vitesse de 20 km/h, toutes conditions égales par ailleurs. Le battement minimal au tour a cependant été majoré (de 240 s à 360 s) pour prendre en compte un temps de pénalité supplémentaire lié au franchissement des carrefours : plus la vitesse commerciale est élevée, plus le risque de non priorité au passage d'un carrefour augmente.

6.3 MODALITÉS DE CALCUL

Le calcul du parc nécessaire à l'exploitation tient compte des caractéristiques du service et de la politique d'exploitation et de maintenance. Il dépend ainsi :

- du temps complet de rotation des rames (durée du tour théorique) et de l'intervalle d'exploitation minimal pratiqué, qui détermine le nombre de matériel roulant nécessaire à l'exploitation ;
- de l'existence ou non d'une réserve d'exploitation, permettant ou non de disposer de rames prêtes à être injectées sur la ligne au cas où l'une d'elles serait indisponible ;
- de la politique de maintenance pratiquée par l'exploitant (mise à disposition des trains et maintenance préventive réalisée). La réserve de maintenance permet d'effectuer les opérations de maintenance sans perturber l'exploitation. Elle dépend de la disponibilité du matériel roulant et des durées d'immobilisation pendant les heures de service.

Le temps complet de rotation est le temps qui s'écoule entre deux départs successifs d'une même rame depuis le même terminus. Ce temps est la somme des temps :

- de course aller (y compris les temps d'arrêt aux points d'arrêt) ;
- de course retour (y compris les temps d'arrêt aux points d'arrêt) ;
- de retournement au terminus d'arrivée ;

- de retournement au terminus de départ ;
- du battement minimal au tour.

Pour une ligne donnée, le temps de course est obtenu en divisant la longueur de la ligne par la vitesse commerciale.

Les temps de retournement aux terminus et le battement minimal au tour sont définis à dire d'expert (cf. ci-dessus).

Le nombre de matériel roulant nécessaire à l'exploitation « N » se calcule alors par la formule : $N \geq \frac{T}{I}$

- « N » est un nombre entier
- « T » représente le temps complet de rotation (durée du tour théorique)
- « I » représente l'intervalle d'exploitation minimal

La réserve d'exploitation est prise égale à 1 (une) rame pour cette catégorie de longueur de ligne.

La réserve de maintenance est prise égale à 15% du parc d'exploitation, valeur conservative généralement retenue au niveau d'un pré-dimensionnement.

6.4 RÉSULTATS DU CALCUL

Ce paragraphe ne présente que les résultats obtenus pour une vitesse commerciale théorique objectif de 18 km / h, valeur finalement retenue pour le calcul.

Les tableaux de synthèse pour une vitesse commerciale théorique objectif de 20km / h figurent en annexe.

Tableau 6.1 Parc de matériel roulant du réseau en configuration initiale (cas 1)

Vitesse commerciale 18 km/h	Lignes			Réseau
	1	2	3	
Vitesse commerciale (km/h)	18	18	18	18
Longueur de ligne (km)	6,6	8,4	6,9	21,9
Nombre de tramways en exploitation	11	17	12	40
Réserve d'exploitation	1	1	1	3
Réserve de maintenance (15%)	2	3	2	7
Total	14	21	15	50

Tableau 6.2 Parc de matériel roulant du réseau en configuration étendue (cas 2)

Vitesse commerciale 18 km/h	Lignes			Réseau
	1	2	3	
Vitesse commerciale (km/h)	18	18	18	18
Longueur de ligne (km)	6,6	11,6	12,3	30,5
Nombre de tramways en exploitation	11	22	19	49
Réserve d'exploitation	1	1	1	3
Réserve de maintenance (15%)	2	3	3	8
Total	14	26	23	63

6.5 SYNTHÈSE

Concernant le réseau initial, pour une vitesse commerciale de 18 km/h :

- 50 tramways sont nécessaires pour exploiter le réseau en configuration initiale ;
- 63 tramways sont nécessaires pour exploiter le réseau en configuration étendue ;
- tout accroissement de ligne de 600 m nécessite une rame supplémentaire.

29 rames sont nécessaires pour exploiter la 1^{ère} ligne recommandée par le consultant, pour une vitesse commerciale de 18 km/h.

B. PRINCIPES D'EXPLOITATION

7.0 OBJET

Cette partie décrit les principes d'exploitation ayant un impact sur l'environnement du système de transport, c'est-à-dire les voyageurs, les riverains et les usagers de la voirie.

Les principes d'exploitation relatifs au système de transport, de nature essentiellement techniques, seront décrits dans les phases ultérieures : exploitation en mode nominal (configuration des terminus, du raccordement au centre d'entretien et d'exploitation, etc.) et en modes dégradés (implantation des services provisoires, création de voies uniques temporaires, etc.).

8.0 DÉFINITIONS ET GLOSSAIRE

Les principes d'exploitation ont pour objectif de garantir :

- la circulation des tramways en ligne à l'intervalle minimal envisagé,
- les changements de voie principale (retournements) dans les terminus ;
- les retraits et injections (garages/dégarages) de tramways affectés à la ligne, pour adapter au cours de la journée la capacité de transport offerte à la demande ;
- l'exploitation entre terminus intermédiaires en cas de perturbations en ligne (services partiels).

9.0 PRINCIPES GÉNÉRAUX

9.1 PRINCIPES DE CIRCULATION DES RAMES

La ligne est exploitée avec des circulations de type omnibus et le changement de voies principales s'effectue par des manœuvres de retournement à chaque extrémité.

En fonction des jours et des heures de la journée, plusieurs types de marche faisant varier les temps de stationnement et/ou les temps de parcours sont prévus.

En dehors des zones de manœuvre, les rames circulent sur la voie de droite et en marche avant.

Le tramway est soumis à la réglementation sur la circulation routière lorsqu'il est hors site propre. À l'inverse le tramway n'est pas soumis à la réglementation routière lorsqu'il est en site propre : dans une telle configuration, il n'est pas contraint notamment à respecter les limites de vitesse imposées à la circulation générale.

La vitesse maximale est adaptée à l'environnement : franchissement des courbes, des appareils de voie, des carrefours, adaptation au degré d'encombrement prévisible de la plateforme ou de ses abords immédiats (diminution de la vitesse aux heures de pointe par le règlement d'exploitation).

L'injection et le retrait des rames de tramway pour répondre aux besoins de l'exploitation commerciale se font majoritairement à partir du CdEE. Les rames injectées sur la ligne lors des dégarages peuvent assurer le service commercial, soit depuis le terminus, soit depuis la 1^{ère} station rencontrée. Les tramways se rendant vers le CdEE pour garage à la fin des heures de pointe peuvent assurer le service commercial jusqu'au terminus ou jusqu'à la dernière station rencontrée avant le CdEE.

Des positions de garage sont prévues aux terminus afin :

- d'une part : de garer une rame défaillante ou d'assurer une opération de régulation au cours de la journée ;
- d'autre part, de remiser des rames la nuit afin de limiter la production kilométrique non commerciale (haut-le-pied).

9.2 MODES DE CONDUITE DU TRAMWAY

9.2.1 Conduite en mode nominal

Le mode de conduite est la conduite manuelle en marche à vue. De ce fait, le conducteur doit être capable à tout instant de maîtriser sa vitesse afin de réaliser l'espacement nécessaire par rapport au tramway qui le précède et / ou de s'arrêter en toute sécurité devant un signal fermé ou un obstacle inopiné.

Il est donc de la responsabilité du conducteur de s'assurer que la voie sur laquelle il circule est libre d'obstacle, de respecter la signalisation et d'adapter sa vitesse au profil de la voie, aux instructions spécifiques du Poste de Contrôle Centralisé (PCC) et à l'environnement, y compris conditions climatiques. Pour la sécurité, il doit ainsi respecter :

- la distance de sécurité avec la rame qui le précède ;
- la signalisation de franchissement de carrefour pour éviter toute collision avec un autre usager de la voirie ;
- la limitation de vitesse en site protégé et en site non protégé ;
- la limitation de vitesse de franchissement des appareils de voie ;
- la signalisation spécifique au tramway.

9.2.2 Régularité/Ponctualité

Le conducteur s'assure du respect des horaires et des intervalles d'exploitation en suivant les horaires de départ de chaque terminus ainsi que les indications d'avance/retard données par son Système d'Aide à l'Exploitation (SAE) embarqué.

En cas de retard, plusieurs possibilités sont données au conducteur :

- quand l'afflux de clientèle le permet, réduire le temps d'ouverture des portes en station ;
- le temps de parcours ayant été calculé avec un coefficient de « marche détendue », le conducteur dispose d'un temps de réserve en adhérant au plus près au profil de vitesse ;
- le temps de battement en terminus peut être raccourci (temps de régulation).

En cas d'avance, plusieurs possibilités sont données au conducteur :

- sur-stationnement, en gardant les portes ouvertes plus longtemps que prévu dans la marche type ;
- assouplissement de la conduite (ralentissement, donc augmentation ponctuelle du temps de parcours) ;
- allongement du temps de battement en terminus afin de respecter le prochain horaire de départ.

Les deux premières manœuvres (sur-stationnement et assouplissement de la conduite) ne doivent pas être utilisées de manière abusive pour ne pas donner au client l'impression de perte de temps.

Au PCC, les régulateurs ont une vision globale de l'état du réseau à travers le SAE :

- position de chaque véhicule ;
- avance retard de chaque véhicule ;
- information synthétique d'avance/retard par ligne.

En cas de retard ou d'avance important par rapport à l'horaire, le PCC donne des consignes spécifiques au conducteur appelées « manœuvres de régulation ».

9.2.3 Conduite en mode dégradé

Le système de transport est conçu de manière à permettre, en cas d'incident, la poursuite de l'exploitation sur la partie non perturbée, par la mise en place de services provisoires.

Dans la mesure du possible, le fonctionnement de la rame en mode dégradé :

- ne se répercute pas sur la vitesse commerciale des autres véhicules en ligne ;
- dégrade le moins possible la vitesse commerciale de la rame concernée ;
- n'impacte pas la sécurité des voyageurs ou de l'environnement.

Lorsqu'un conducteur constate une anomalie sur le matériel roulant, ou bien est affecté par un incident ou un accident d'exploitation, il en informe le PCC qui prend les dispositions nécessaires. Selon le cas, il peut être demandé au conducteur de :

- poursuivre l'exploitation commerciale (avec voyageurs) ;
- arrêter l'exploitation commerciale : repartir en « haut-le-pied » ou demander le secours, après avoir déposé les voyageurs.

En cas de haut-le-pied, les voyageurs sont déposés à l'arrêt le plus proche du lieu de l'avarie dans le sens de la marche du train.

En cas de secours, les dispositifs équipant le matériel et les procédures appliquées minimisent la perturbation pour les voyageurs. L'évacuation des voyageurs est effectuée conformément aux instructions d'exploitation.

9.3 PRINCIPES D'EXPLOITATION DU MATÉRIEL ROULANT

Le matériel roulant est exploité par un seul conducteur installé en position assise.

Le véhicule est un espace non fumeur y compris dans la cabine de conduite.

Le matériel roulant capte l'énergie électrique de la Ligne Aérienne de Contact (LAC) par l'intermédiaire d'un pantographe venant frotter sur la LAC., le retour du courant se faisant par le rail.

9.4 PRINCIPES D'ALIMENTATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE DE TRACTION

Le dimensionnement du système d'alimentation et de distribution en énergie électrique de traction permet de répondre à l'offre de service évoquée ci-dessus.

En mode nominal, l'alimentation en énergie électrique de traction est commandée et contrôlée depuis le Poste de Contrôle Centralisé (PCC).

L'exploitation n'est pas perturbée par une défaillance de 1^{er} niveau⁸ du système d'alimentation et de distribution en énergie électrique de traction. Ainsi, par exemple, la neutralisation d'un poste de redressement (incident, maintenance, etc.) est sans conséquence pour l'exploitation de la ligne.

En cas de perturbation de l'alimentation en énergie électrique de traction (mode dégradé inopiné), par exemple lorsque la puissance disponible devient insuffisante pour une exploitation normale, une marche adaptée et une réduction du nombre de rames en exploitation peuvent être prescrites. Des mesures dites de délestage sont alors appliquées.

9.5 PRINCIPE DE PRIORITÉ ABSOLUE AUX CARREFOURS

Le principe est d'accorder au tramway une priorité de passage absolue aux carrefours :

- un tramway isolé est systématiquement prioritaire pour franchir un carrefour à feux, sans ralentissement en dessous de la vitesse sécuritaire d'approche ;
- si le tramway ne s'est pas présenté au carrefour au-delà d'un dépassement du temps d'approche normal depuis sa détection, il peut perdre sa priorité et être obligé de marquer un arrêt au pied du feu ;
- un tramway en sens inverse se présentant au carrefour peu de temps après le premier tramway détecté bénéficie de la même phase de passage. Au-delà de cette possibilité de prolongation de la phase spéciale, il s'arrête au feu et il est pris en charge à partir de ce moment.

9.6 SERVICE DES VOYAGEURS AUX POINTS D'ARRÊT

Aux points d'arrêt, la rame est immobilisée de manière que toutes les portes permettant l'échange des voyageurs soient accessibles en sécurité au niveau du quai.

Le service normal des portes est le libre service : toutes les portes peuvent être ouvertes individuellement de l'intérieur comme de l'extérieur de la rame sur demande d'un voyageur, par un appui sur un bouton de commande.

Le conducteur peut, si besoin, interdire une manœuvre d'ouverture des portes depuis l'extérieur dans les secondes précédant le départ pour éviter de prolonger la durée du stationnement au-delà du strict nécessaire.

Les voyageurs sont informés de la fermeture imminente des portes par un dispositif sonore et visuel.

Le conducteur ne peut mettre la rame en mouvement que lorsque toutes les portes sont fermées et verrouillées.

9.7 ALARME DÉCLENCHÉE PAR LES VOYAGEURS

Le matériel roulant est muni d'un dispositif d'alarme facilement accessible aux voyageurs.

Ce dispositif déclenche une alarme au conducteur (signal sonore et lumineux dans la cabine de conduite) et met en communication phonique et visuelle le conducteur et la personne ayant actionné le système d'alarme.

Le dispositif d'alarme provoque également un freinage d'urgence dans certaines conditions (zone de dégagement de quai en sortie de station).

⁸ Survenance d'un événement isolé qui provoque la perte de tout ou partie d'un poste de redressement électrique (par exemple : perte d'un fusible HT, ouverture d'un Disjoncteur Ultra Rapide (DUR), arrêt d'urgence local, etc).

9.8 CAS PARTICULIER D'EXPLOITATION D'UNE LIGNE EN BOUCLE

Le réseau initial de tramway de Montréal présente une configuration spécifique du point de vue de l'exploitation : l'existence d'une ligne circulaire, la « boucle » du centre-ville.

L'objet de ce chapitre est de comparer la gestion d'exploitation d'une ligne de tramway classique et d'une ligne circulaire en termes d'insertion/retraits des tramways et de régulation.

Signalons pour mémoire que l'exploitation d'une ligne circulaire n'entraîne pas de rupture de charge pour les voyageurs. De plus, des perturbations d'exploitation sur une voie n'ont aucun impact sur l'exploitation de l'autre voie.

9.8.1 Gestion des insertions / retraits des tramways

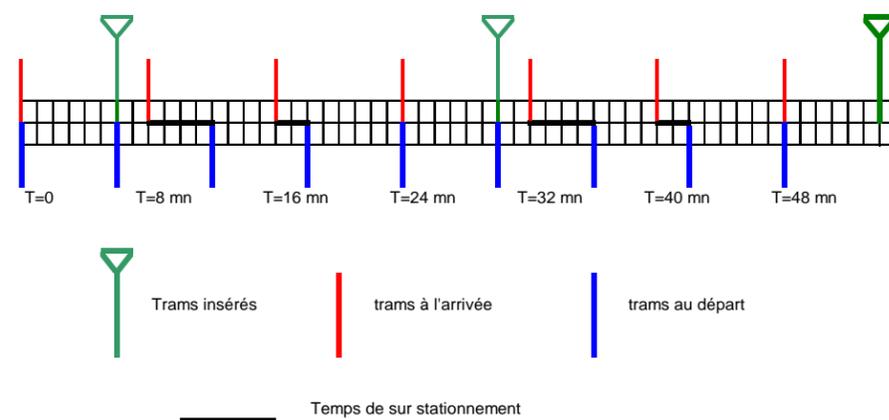
La gestion des insertions et des retraits, liée à la variation d'intervalle durant les périodes de transition (heure de pointe / heure creuse / nuit) constitue la principale problématique d'exploitation d'une ligne circulaire par rapport à une ligne classique.

Sur une ligne classique, la gestion des insertions et des retraits des trains est assurée par les terminus d'extrémité : les trains stationnent en terminus sur les positions d'attente (trottoir de manœuvre, quai d'arrivée ou de départ) et sont insérés progressivement conformément au tableau de marche. Ces stationnements sont transparents pour les voyageurs qui ne les subissent pas.

Sur une ligne circulaire, la gestion des insertions et des retraits des trains se fait en ligne en raison de l'absence de terminus : les trains "sur-stationnent" en ligne, et les voyageurs subissent ces temps de stationnement supplémentaires.

Par exemple, si l'intervalle d'exploitation en cours est de 8 minutes et qu'on souhaite passer à un intervalle de 6 minutes, à chaque insertion d'un train au nouvel intervalle (I = 6 min), les deux trains suivants devront sur-stationner, respectivement de 4 min et de 2 min, comme le montre le schéma ci-dessous :

Figure 9.1 Exemple de cinématique d'insertion de tramways sur une ligne circulaire



9.8.2 Gestion des retards

Sur une ligne classique, les terminus d'extrémité constituent une zone de régulation : les petits et moyens retards occasionnés en ligne sont résorbés en terminus grâce aux battements, réserves de temps intégrées à la marche type, qui donnent la flexibilité d'exploitation permettant de garantir un intervalle régulier au départ des trains.

La gestion des retards plus importants fait appel à un principe de régulation qualifié de « remise à l'heure » qui permet le retour progressif vers l'offre de transport prévue initialement.

Une ligne circulaire ne possédant pas de terminus d'extrémité, la régulation ne peut pas se faire par l'insertion d'un temps de battement, mais essentiellement par prise de retard en ligne, ce qui diminue la vitesse commerciale et n'est pas aussi efficace que la régulation par temps de battement. La marche type de la ligne circulaire intègrera ainsi des temps de détente plus importants qu'une ligne classique à terminus.

Le principe de régulation de remise à l'heure n'est pas envisageable.

9.8.3 Mesures de nature à améliorer la souplesse d'exploitation d'une ligne circulaire

En pré-requis à toute mise en place de mesures, rappelons qu'en centre-ville il faut construire une stratégie globale et cohérente intégrant à la fois l'exploitation du tramway, le plan de circulation et le stationnement des voitures particulières.

Signalons également que la limitation au strict minimum de la durée des périodes de transition entre les heures de pointe, les heures creuses et la nuit permet de réduire les coûts d'exploitation : c'est donc d'abord un objectif économique, avant de constituer une mesure d'amélioration de l'exploitation d'une ligne circulaire.

Pour améliorer la gestion des insertions et des retraits sur chaque voie, on peut envisager les mesures suivantes :

- intégrer plusieurs points d'insertion / retrait des trains en ligne ;
- multiplier les zones de remisage des tramways, les répartir régulièrement le long de la ligne plutôt que de privilégier des zones de garage de grande capacité ;
- limiter le nombre des périodes de transition si la demande de transport le permet, en offrant un intervalle d'exploitation identique aux heures creuses et en nuit ;
- adopter des intervalles d'exploitations hors heure de pointe qui sont des multiples de l'intervalle d'exploitation de l'heure de pointe, si la demande de transport le permet : c'est la seule façon d'insérer des tramways sans faire stationner les tramways suivants. Dans l'exemple utilisé plus haut, on passerait d'un intervalle I0 de 8 minutes à un intervalle I1 de 4 minutes en insérant des rames toutes les 8 minutes aux horaires I0+1/2. La transition de I0 à I1 n'est cependant pas progressive, ce qui est contraignant pour l'exploitation ;
- pendant le service de nuit et aux heures creuses, il pourrait être envisagé d'exploiter la ligne en voie unique temporaire (VUT).

Concernant l'organisation du remisage des trains, certains des principes suivants pourraient être retenus :

- les tramways constituant le parc de matériel de réserve sont stockés dans les ateliers de maintenance ;
- les tramways circulant aux heures de nuit sont garés à quai en station à fin de service ;
- les tramways à garer, ou à dégarer, pour le passage heures creuses - heures de nuit sont stockés en ligne sur les voies principales, ce qui implique qu'en heures de nuit, une partie de la ligne est exploitée en VUT ;
- les tramways à garer, ou à dégarer, pour le passage heures de pointe - heures creuses, sont stockés, pendant l'exploitation en heures creuses :
 - totalement en dehors des voies principales : au dépôt et dans des aires de remisage hors dépôt. Les stations à proximité de ces aires de remisage sont donc terminus de certaines missions aux heures de transition, ce qui implique des ruptures de charge, mais présente néanmoins un avantage car elles peuvent être utilisées comme « terminus intermédiaire » dans le cas où la totalité de la ligne n'est pas exploitée avec le même intervalle,
 - en partie en ligne, ce qui implique qu'une partie de la ligne est exploitée en voie unique temporaire.

9.9 CAS PARTICULIER D'EXPLOITATION D'UNE LIGNE EN LASSO

La 1^{ère} ligne du réseau initial de tramway de Montréal recommandée par le consultant présente une configuration spécifique du point de vue de l'exploitation : l'existence d'un seul terminus d'extrémité. Cette ligne est ainsi qualifiée de « lasso », en raison d'un parcours quasi circulaire dans le centre-ville.

Cette ligne est exposée au risque d'irrégularité de par sa longueur et sa faible capacité de régulation (résorption du retard) liée à l'existence d'un seul terminus. Les mesures de réduction du risque qui pourraient être envisagées portent sur :

- la réduction de la circulation routière en relation avec le centre-ville ;
- la création ponctuelle d'une 3^{ème} voie qui permette le stockage d'un tramway avarié ou l'immobilisation d'un rapatriement de matériel sans perturber les deux voies principales ;
- l'implantation judicieuse du centre d'exploitation et d'entretien et la répartition régulière de zones de remisage des tramways.

9.10 CAS PARTICULIER D'EXPLOITATION D'UN TRONC COMMUN

Le réseau initial de tramway de Montréal présente une configuration spécifique du point de vue de l'exploitation : l'existence d'un tronc commun, c'est-à-dire la superposition de 2 lignes sur le même itinéraire.

La mise en place d'un tronc commun se fait généralement dans le cadre d'un renforcement de l'offre de transport ou de maîtrise des coûts d'infrastructure.

Elle n'est pas systématiquement faisable dans la mesure où une forte demande de transport sur les branches, qui nécessite une fréquence élevée sur ces branches, peut conduire à un intervalle d'exploitation trop faible sur le tronc commun, donc non réalisable d'un point de vue d'exploitation : impossibilité d'atteindre les objectifs de rapidité (vitesse commerciale) et de régularité, se traduisant par des accumulations de rames (« murs de tramways ») circulant à vitesse très lente (de 10 à 20 km/h) sur le tronc commun.

Nous préconisons de fixer à 4 minutes l'intervalle d'exploitation minimal d'un tronc commun au niveau d'une étude de préfaisabilité. Il existe certes des réseaux de tramway en France (Nantes, Grenoble, Montpellier, etc.) qui pratiquent un intervalle plus faible, de 2 minutes 30 secondes, sur le tronc commun. Mais on y constate le phénomène de murs de tramways évoqué ci-dessus.

Dans l'organisation du réseau de transport, la création d'une ou plusieurs ruptures de charge peut être un compromis acceptable entre le temps consacré par le voyageur au transfert d'une ligne vers une autre et celui induit par les stationnements prolongés dus à l'irrégularité du trafic et les progressions ralenties dans les lieux conflictuels. Il faudra toutefois s'assurer que les correspondances entre les différentes lignes pourront s'effectuer commodément et sans pénaliser les usagers.

Dans le cas où il est faisable, le tronc commun évite, pour certains voyageurs, une rupture de charge à la station du lieu du débranchement. Il présente en revanche les inconvénients suivants :

- la lisibilité du réseau et des lignes à emprunter est plus complexe pour le voyageur. Un voyageur occasionnel dont la destination se trouve sur une branche peut omettre de consulter l'indicateur de destination à la station de départ et monter dans un train se dirigeant vers la mauvaise direction ;
- bien que la desserte soit dense sur le tronc commun, la fréquence des trains sur les antennes peut être insuffisante pour répondre à la demande de transport. Une fréquence trop faible risque également d'être dissuasive pour les usagers ;
- des points de conflits sont créés à l'embranchement du tronc commun, entraînant un risque de ralentissement dans la progression des véhicules et, de manière plus générale, une exploitation plus difficile à mettre en œuvre.

C. ANNEXES

A. CALCUL DE L'ACHALANDAGE JOURNALIER ET ANNUEL DU RÉSEAU INITIAL

Basse saison (PPAM)

	Simultaion de base	Clientèle supplémentaire liées aux projets résidentiels*	Total basse saison
Achalandage total	20 534		22 030
Boucle	2 342	1 496	3 838
CDN	11 388		11 388
Parc	6 804		6 804

Achalandage de la boucle (24h)

	Clientèle touristique	Clientèle régulière	Total
Semaine	13 700	15 352	29 052
Fin de semaine	23 000	5 825	28 825

Achalandage de la boucle (annuel)

	Nombre de jour / an	Semaine	
		Clientèle moyenne	Total
Clientèle touristique	75	13 700	1 027 500
Clientèle régulière	186	15 352	2 855 472

	Nombre de jour / an	Fin de semaine	
		Clientèle moyenne	Total
Clientèle touristique	30	23 000	690 000
Clientèle régulière	74	5 825	431 050

Achalandage du réseau

	PPAM	Coefficient de journalisation	24h	Coefficient d'annualisation	Annuel
CDN	11 388	4,50	51 246	325	16 654 950
Parc	6 804	4,50	30 618	325	9 950 850
Boucle basse saison	3 838	4,00	15 352		5 004 022
Boucle haute saison	3 838		29 052		
					31 609 822

Répartiton des lignes

	PPAM	%	24h basse saison	%	24h haute saison	%	Annuel	%
CDN	11 388	52%	51 246	53%	51 246	46%	16 654 950	53%
Parc	6 804	31%	30 618	31%	30 618	28%	9 950 850	31%
Boucle	3 838	17%	15 352	16%	29 052	26%	5 004 022	16%
Total	22 030		97 216		110 916		31 609 822	

B. CALCUL DU PARC DE MATÉRIEL ROULANT

RÉSEAU INITIAL

Parc MR Vitesse commerciale 18 km/h	Lignes			Réseau
	1	2	3	
Vitesse commerciale (km/h)	18	18	18	18
Longueur ligne	6,6	8,4	6,9	21,9
Nombre de tramway en exploitation	11	17	12	40
Réserve d'exploitation	1	1	1	3
Réserve de maintenance (15%)	2	3	2	7
Total	14	21	15	50

RÉSEAU ÉTENDU

Parc MR Vitesse commerciale 18 km/h	Lignes			Réseau
	1	2	3	
Vitesse commerciale (km/h)	18	18	18	18
Longueur ligne	6,6	11,6	12,3	30,5
Nombre de tramway en exploitation	11	22	19	52
Réserve d'exploitation	1	1	1	3
Réserve de maintenance (15%)	2	3	3	8
Total	14	26	23	63

LIGNE 1 - LASSO CDN

Parc MR Vitesse commerciale 18 km/h	Lignes
Vitesse commerciale (km/h)	18
Longueur ligne	12,55
Nombre de tramway en exploitation	24
Réserve d'exploitation	1
Réserve de maintenance (15%)	4
Total	29

	Lignes		
	1	2	3
Vitesse commerciale (km/h)	18	18	18
Longueur ligne (km)	6,6	8,4	6,9
Intervalle d'exploitation minimal (s)	300	240	300
Battement minimal au tour (s)	360	240	240
Temps de course aller (s)	1320	1680	1380
Temps de battement au terminus (s)	200	200	200
Durée totale théorique (s)	3040	3760	3160
Nombre rame hors battement au tour	11	16	11
Battement (s)	260	80	140
Nombre rame avec battement au tour	11	17	12
Battement (s)	260	320	440
Réserve d'exploitation	1	1	1
Réserve de maintenance (15%)	2	3	2
Total	14	21	15

	Lignes		
	1	2	3
Vitesse commerciale (km/h)	18	18	18
Longueur ligne (km)	6,6	11,6	12,3
Intervalle d'exploitation minimal (s)	300	240	300
Battement minimal au tour (s)	240	240	240
Temps de course aller (s)	1320	2320	2460
Temps de battement au terminus (s)	200	200	200
Durée totale théorique (s)	3040	5040	5320
Nombre rame hors battement au tour	11	22	18
Battement (s)	260	240	80
Nombre rame avec battement au tour	11	22	19
Battement (s)	260	240	380
Réserve d'exploitation	1	1	1
Réserve de maintenance (15%)	2	3	3
Total	14	26	23

	Lignes
Vitesse commerciale (km/h)	18
Longueur ligne (km)	12,55
Intervalle d'exploitation minimal (s)	240
Battement minimal au tour (s)	240
Temps de course aller (s)	2510
Temps de battement au terminus (s)	200
Durée totale théorique (s)	5420
Nombre rame hors battement au tour	23
Battement (s)	12
Nombre rame avec battement au tour	24
Battement (s)	360
Réserve d'exploitation	1
Réserve de maintenance (15%)	4
Total	29

RÉSEAU INITIAL

Parc MR Vitesse commerciale 20 km/h	Lignes			Réseau
	1	2	3	
Vitesse commerciale (km/h)	20	20	20	20
Longueur ligne	6,6	8,4	6,9	21,9
Nombre de tramway en exploitation	11	16	11	38
Réserve d'exploitation	1	1	1	3
Réserve de maintenance (15%)	2	2	2	6
Total	14	19	14	47

RÉSEAU ÉTENDU

Parc MR Vitesse commerciale 20 km/h	Lignes			Réseau
	1	2	3	
Vitesse commerciale (km/h)	20	20	20	20
Longueur ligne	6,6	11,6	12,3	30,5
Nombre de tramway en exploitation	11	21	18	50
Réserve d'exploitation	1	1	1	3
Réserve de maintenance (15%)	2	3	3	8
Total	14	25	22	61

	Lignes		
	1	2	3
Vitesse commerciale (km/h)	20	20	20
Longueur ligne (km)	6,6	8,4	6,9
Intervalle d'exploitation minimal (s)	300	240	300
Battement minimal au tour (s)	360	360	360
Temps de course aller (s)	1188	1512	1242
Temps de battement au terminus (s)	200	200	200
Durée totale théorique (s)	2776	3424	2884
Nombre rame hors battement au tour	10	15	10
Battement (s)	224	176	116
Nombre rame avec battement au tour	11	16	11
Battement (s)	524	416	416
Réserve d'exploitation	1	1	1
Réserve de maintenance (15%)	2	2	2
Total	14	19	14

	Lignes		
	1	2	3
Vitesse commerciale (km/h)	20	20	20
Longueur ligne (km)	6,6	11,6	12,3
Intervalle d'exploitation minimal (s)	300	240	300
Battement minimal au tour (s)	240	360	360
Temps de course aller (s)	1188	2088	2214
Temps de battement au terminus (s)	200	200	200
Durée totale théorique (s)	2776	4576	4828
Nombre rame hors battement au tour	10	20	17
Battement (s)	224	224	272
Nombre rame avec battement au tour	11	21	18
Battement (s)	524	464	572
Réserve d'exploitation	1	1	1
Réserve de maintenance (15%)	2	3	3
Total	14	25	22